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

CASO DE ESTUDIO: VEHÍCULOS HYUNDAI ACCENT 1.4L 2012 Y CHEVROLET SAIL 1.4L 2015

Eduardo Quito
Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería en Mecánica Automotriz
Universidad del Azuay
Av. 24 de Mayo y Hernán Malo Gonzales, Cuenca, Ecuador.
edu.adn1984@gmail.com

Andrés Avila
Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería en Mecánica Automotriz
Universidad del Azuay
Av. 24 de Mayo y Hernán Malo Gonzales, Cuenca, Ecuador.
anestavila@gmail.com

Abstract: This paper proposed the generation of a fuel consumption database of vehicles with the highest circulation in Ecuador. The study covered the Hyundai accent and Chevrolet Sail car models. A fuel consumption analysis through chassis dynamometer testing was carried out; the state of the art regarding the methods to estimate fuel efficiency in motor vehicles was analyzed by determining the drag and rolling coefficients, as well as the A, B and C adjustment values of road load forces, to perform the FTP75 and HWFET driving cycles. The SAE J 1263 test recommended by the standard, were used for the analysis of the mentioned coefficients. This involves the execution of a deceleration test by means of an OBD II data acquisition system and a mobile application. According to the calculation of the instantaneous consumption that was generated in the driving cycles, the following reference values were obtained for the Hyundai Accent vehicle, urban cycle of 70.74 km / gal. And for the Chevrolet Sail vehicle, 40.68 m / gal. In the extra urban cycle, 97.28 km / gal was obtained for the Hyundai Accent, and 66.69 Km / gal for the Chevrolet Sail.

Keywords: driving cycles, drag coefficient, rolling coefficient, dynamometer.

Resumen: El artículo propone la generación de una base de datos de consumo de combustible de los vehículos con mayor circulación en el Ecuador. Este documento abarca los siguientes modelos: Hyundai Accent y Chevrolet Sail, realizando un análisis de consumo de combustible a través de pruebas en el dinamómetro de chasis, analizando el estado del arte referente a los métodos de estimación de eficiencia de combustible en vehículos automóviles determinando los coeficientes de resistencia aerodinámica y rodadura, así como también los valores de ajuste de las fuerzas en carretera A, B y C, para realizar los ciclos de conducción FTP75 y HWFET. Para el análisis de los coeficientes mencionados se utilizó las pruebas recomendadas de la norma SAE J 1263 que implica la ejecución de una prueba de desaceleración mediante un sistema de adquisición de datos OBD II y una aplicación móvil. Según el cálculo del consumo instantáneo que se generó en los ciclos de conducción se obtuvieron valores referentes para el ciclo urbano de 70,74 Km/gal para el vehículo Hyundai Accent y de 40,68 Km/gal para el vehículo Chevrolet Sail y en el ciclo extra urbano se obtuvo 97,28 Km/gal para el Hyundai Accent y 66,69 Km/gal para el Chevrolet Sail.

Palabras Clave: Ciclos de conducción, Coeficiente de Arrastre, Coeficiente de Rodadura, Dinamómetro.

I. INTRODUCCION

En la actualidad existen vehículos que utilizan fuentes de energía alternativas al petróleo, como son los vehículos eléctricos; en realidad aún no se ha podido suplir esta dependencia, ya que de acuerdo a(González, 2009) alrededor del 80% de la producción de energía eléctrica mundial proviene de la quema de combustibles fósiles; según lo indica (Serpa & Zumba, 2016), se debe considerar que las ciudades de la sierra , se encuentran emplazadas a una altura en la cual el rendimiento de los motores de combustión interna es significativamente menor que en condiciones estándar, las mismas que se realizan a nivel del mar; por lo que, se genera un consumo mayor.

De acuerdo Tong, H. Y., Hung, W. T., & Cheung, C. S. 2000, en su trabajo analizan la velocidad en carretera, emisiones contaminantes y consumo de combustible tomando como instrumentos de medida el tiempo, distancia, combustible y factores de emisión, los datos de emisiones fueron medidos directamente al tubo de escape; para obtener los resultados realizó pruebas en carretera y los comparó con los datos del ciclo de conducción FTP75. Los resultados indican que el mayor consumo y mayor contaminación está en la aceleración y desaceleración, por lo que sugieren mejorar el tráfico en las zonas urbanas.(Tong, Hung, & Cheung, 2000)

De acuerdo a Lima Oyola, B. A., & Gálvez Sandoval 2016, en su investigación obtuvieron el consumo de combustible y el costo que tiene circular por esta zona urbana en función de los

ciclos de conducción, con los datos obtenidos en pruebas de carretera y en el dinamómetro de chasis se establece un consumo promedio y el costo generado al circular por la zona urbana, los mismos que son: Para vehículos ≤ 1000 cc, un consumo de 0,12 L/Km con un costo de 4,8 ctvs./Km; para los vehículos entre 1000 cc y 1600 cc, un consumo de 0,15 L/Km con un costo de 6 ctvs./Km; para los vehículos entre 1600 cc y 2000 cc, un consumo de 0,18 L/Km con un costo de 7,3 ctvs./Km y para los vehículos > 2000 cc un consumo de 0,34 L/Km con un costo de 13,2 ctvs./Km.(Lima Oyola, B. A., & Gálvez Sandoval, 2016)

Para analizar el consumo de combustible de los vehículos Hyundai Accent 1.4L 2012 y Chevrolet Sail 1.4L 2015,se realizará pruebas de desaceleración libre basados en la normativa SAE J 1263 (SAE, 2010), donde se obtendrán los coeficientes de resistencia aerodinámica "cd" y "fr" de resistencia a la rodadura y posteriormente los valores de los coeficientes A, B y C que se aplican para simular los ciclos de conducción FTP75 y HWEFT en el dinamómetro de chasis, mediante un software interface OBDII se obtienen los valores de consumo de combustible generado en los ciclos de conducción, considerando que las pruebas realizadas son a una altura sobre el nivel del mar de 2500 metros. Se debe considerar además que en nuestro país el 38.24% del costo/litro de combustible es subsidiado parcialmente por el estado (Globalpetrolprice, 2017). De acuerdo a Mosquera, José Daniel 2010, en su estudio: "Análisis de emisiones de CO_2 para diferentes combustibles en la población de taxis en Pereira y Dosquebradas" indican que al quemar 1 litro de gasolina se emite 2.28 Kg de CO_2 a la atmósfera.(Mosquera, 2010)

II. MATERIALES Y MÉTODOS.

Esta investigación pretende desarrollar una herramienta que puede replicar la forma de realizar el análisis del consumo de combustible de los vehículos Hyundai Accent 1.4L, 2012 y Chevrolet Sail 1.4L, 2015, con el fin de estimar los coeficientes característicos de la dinámica vehicular. Se llevan a cabo pruebas de desaceleración libre *"coast down"* en la ciudad de Cuenca en el tramo de la vía panamericana E35, el trayecto de pruebas corresponde entre las coordenadas: punto de inicio latitud y longitud (– 3.044204, - 79044431), punto final latitud y longitud (-3.070423, - 79.023636) donde se realizan varias pruebas de desaceleración de 110 Km/h hasta 0 Km/h, por medio del interface OBD II, aplicación que permite el procesamiento de los datos recabados con una frecuencia de 0.2 a 10hz se obtiene: Aceleración, velocidad, tiempo, distancia, altitud, cuyos valores serán aplicados para determinar los coeficientes de arrastre y rodadura que intervienen en el análisis de las fuerzas a vencer del vehículo para realizar el desplazamiento en el trayecto. Los estudios realizados en esta investigación permitieron determinar los coeficientes fr y cd para ello se determinó los datos necesarios que se indican en la tabla 1, para el cálculo respectivo en los cuales los valores de los coeficientes iniciales son dato del fabricante.

Tabla 1 Datos de los vehículos.

Parámetros del vehículo (1) Hyundai Accent		
Masa (m):	1210.00	[kg]
Área Frontal (A):	2.079	[m²]
Coeficiente de Arrastre (cd)*:	0.33	[-]
Densidad del aire (ρ):	0.91	[kg/m³]
Gravedad (g):	9.81	[m/s²]
Coeficiente de resistencia a la rodadura (fr)*:	0.014	[-]
Parámetros del vehículo (2) Chevrolet Sail		
Masa (m):	1136.80	[kg]
Área Frontal (A):	1.760	[m²]
Coeficiente de Arrastre (cd)*:	0.33	[-]
Densidad del aire (ρ):	0.91	[kg/m³]
Gravedad (g):	9.81	[m/s²]
Coeficiente de resistencia a la rodadura (fr)*:	0.014	[-]

*Fuente: datos tomados del fabricante

Con los datos del tiempo, velocidad y altitud obtenidos de las pruebas "*coast down*" se calcula los siguientes parámetros:

Distancia:

$$d = v * \Delta t \quad (1)$$

d = distancia [m]
v = velocidad [m/s]
Δt = tiempo[s]

Pendiente:

$$\theta = ASeno\frac{Alt2-Alt1}{d} \quad (2)$$

θ = pendiente [rad]
*Alt*2 = altitud 2 [m]
*Alt*1 = altitud 1 [m]

Aceleración:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (3)$$

a = aceleración [m/s²]
v = velocidad [m/s]
t = tiempo [s]

Fuerza de Arrastre: Es la fuerza que se resiste al avance del vehículo al desplazarse a través del aire.

$$Fd = \frac{1}{2} * Cd * A\rho * v2 \quad (4)$$

Fd = fuerza de Arrastre [N]
Cd = coeficiente de Arrastre [-]
A = área [m²]
ρ = densidad del aire 1.18 [Kg/m³]
v = velocidad [m/s]

Resistencia a la Rodadura: Se produce en la interface entre la rueda y la calzada.

$$Rx = Fr * m * g * Cos\theta \quad (5)$$

Rx = resistencia a la rodadura.
Fr = coeficiente de resistencia a la rodadura [-]
m = masa [Kg]

g = gravedad 9.81 [m/s²]
θ = pendiente

Resistencia a la Pendiente: Es la resistencia que debe vencer el vehículo, ocasionada por su propio peso, cuando la pendiente es ascendente se la considera una fuerza resistente, en cambio; cuando la pendiente es descendente es una fuerza que favorece el movimiento del vehículo.

$$Rg = m * g * sen\theta \quad (6)$$

Rg = resistencia a la pendiente.
m = masa [Kg]
g = gravedad 9.81 [m/s²]
θ = pendiente

Resistencia a la Inercia: Es la resistencia que se opone a la variación de la velocidad del vehículo.

$$Ri = m * a \quad (7)$$

Ri = resistencia a la inercia.
a = aceleración [m/s²]
m = masa [Kg]

Fuerza de tracción: La suma de todas las fuerzas resistentes es la fuerza de tracción, la cual se obtiene a partir del análisis del equilibrio dinámico del sistema.

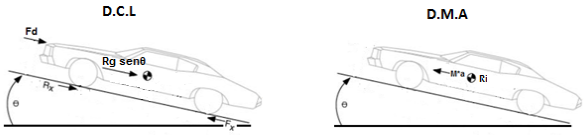

Figura1

$$Fx = Rx + Fd + Rg + Ri \quad (8)$$

Fx = fuerza de Tracción [N]
Rx = resistencia a la rodadura [N]
Fd = resistencia al Arrastre [N]
Rg = resistencia debido a la pendiente [N]
Ri = resistencia a la inercia. [N]

Una vez determinadas las fuerzas que intervienen en el desplazamiento se realiza el análisis de los datos de la velocidad, aceleración y la fuerza instantánea; para determinar los coeficientes A, B y C, que suelen ser aplicados para la corrección del ensayo en el dinamómetro de chasis con las siguientes características: Velocidad máxima de 362 Km/h, potencia de 1200 hp, carga máxima de 3629 Kg y la masa del rodillo es de 674 Kg. Estos coeficientes son calculados en todas las pruebas realizadas con el fin de plasmar los resultados con un intervalo de confianza del 95%.

Para estimar el consumo de combustible se realizan pruebas en el dinamómetro de chasis basados en ciclos de conducción EPA: FTP75(EPA, 2017) para el análisis de traslados en un entorno urbano y HWFET para ciclos extra urbanos, además los vehículos están instrumentados con un sistema de adquisición de datos del motor a través del puerto de conexión OBD II, con ello se podrá 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 másico de aire de admisión, régimen de giro del motor, temperatura del aire, proporción de mezcla aire – combustible, para obtener los datos de consumo y velocidad instantánea. Se genera un gráfico comparativo entre la velocidad OBDII y la velocidad del ciclo de conducción, en el cual se tiene que alinear las curvas moviendo las velocidades del ciclo, una vez realizado el ajuste se eliminan los datos excedentes. Realizando una sumatoria de consumos instantáneas se obtiene los consumos totales para cada prueba.

III. RESULTADOS.

El proyecto general considera la elaboración de una base de datos con los vehículos de mayor circulación a nivel nacional; este trabajo en particular, se centra en la medición del consumo de los vehículos Hyundai Accent 1.4L, 2012 y Chevrolet Sail 1.4L, 2015. Con los datos de la velocidad y el tiempo obtenidos de las pruebas "coast down" se calcula la distancia, pendiente, resistencia al arrastre, resistencia a la rodadura y resistencia a la pendiente, seguidamente con estos datos se obtiene una velocidad calculada en cada segundo de la prueba, la misma que se coteja con la velocidad obtenida de la interfaz OBDII para obtener el intervalo de error de las mismas, la sumatoria de estos errores es utilizada para calcular los coeficientes cd y fr mediante la herramienta solver (Microsoft Office, 2017), este proceso se realizó en todas las pruebas para tener una base de datos suficientes que permitan obtener factores de confianza de los diferentes coeficientes obteniendo los siguientes resultados como indica la tabla 2.

Tabla 2 coeficientes Cd y Fr

Vehículo (1) Hyundai Accent			
Coeficiente de Arrastre (Cd):	0.38	± 0.023	[-]
Coeficiente de resistencia a la rodadura (Fr):	0.013	± 0.001	[-]
Vehículo (2) Chevrolet Sail			
Coeficiente de Arrastre (Cd):	0.54	± 0.13	[-]
Coeficiente de resistencia a la rodadura (Fr):	0.015	±0.004	[-]

Para determinar los coeficientes A, B y C se utilizan los datos de velocidad y tiempo obtenidos de la interfaz OBD II, con ello se calcula la aceleración instantánea y se obtiene la fuerza en cada segundo; con los valores de velocidad y fuerza se determinan los valores referentes a los coeficientes como se indica en la tabla 3.

Tabla 3 coeficientes A, B y C

Vehículo (1) Hyundai Accent			
Coeficiente A (Fuerza a la rodadura)	213.555	± 67.037	[-]
Coeficiente B (Fuerza de fricción)	-0.362	± 2.710	[-]
Coeficiente C (Fuerza aerodinámica)	0.125	± 0.089	[-]
Vehículo (2) Chevrolet Sail			
Coeficiente A (Fuerza a la rodadura)	259.3	± 114.5	[-]
Coeficiente B (Fuerza de fricción)	0.18	± 12.23	[-]
Coeficiente C (Fuerza aerodinámica)	0.330	± 0.32	[-]

En este estudio no se aplica los coeficientes calculados debido a que existen varios factores que intervienen en la determinación de los mismos por lo que se aplicaron valores de cero a los coeficientes ingresados en el dinamómetro.

Terminado los ensayos se realiza el procesamiento de los datos medidos para determinar el consumo de combustible realizando una sumatoria de consumos instantáneos se obtienen los consumos totales en cada prueba como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4 consumo de combustible

Vehículo (1) Hyundai Accent			
Consumo en ciudad (FTP75)	70.74	± 0.24	[km/gal]
Consumo en carretera (HWEFT)	97.28	± 1.27	[km/gal]
Vehículo (2) Chevrolet Sail			
Consumo en ciudad (FTP75)	40.68	± 0.57	[km/gal]
Consumo en carretera (HWEFT)	66.69	± 1.48	[km/gal]

IV. CONCLUSIONES

Para el desarrollo de esta investigación se realizó el estudio de los coeficientes y fuerzas que intervienen en el desplazamiento del vehículo, mediante el análisis del estado del arte se determinaron varios métodos que se utilizaron en diferentes estudios para la medición de consumo de combustible. Las mediciones se realizaron en dinamómetros de chasis siguiendo ciclos de conducción urbanos y extra urbanos.

Los valores para los coeficientes obtenidos son: coeficiente de arrastre 0.38± 0,023 y 0,54 ± 0,13, coeficiente de rodadura 0,013 ± 0.001 y 0,015 ± 0,004 para los vehículos Hyundai y Chevrolet respectivamente.

Continuando con la metodología aplicada se determinaron los coeficientes para la configuración del dinamómetro de chasis. Para el vehículo Hyundai Accent los coeficientes son: A igual a 213.55 ± 67.037 [-], B igual a -0.362 ± 2.710 [-] y C igual a 0.125 ± 0.089 [-]; para el vehículo Chevrolet Sail los coeficientes son: A igual a 259.3 ± 114.5 [-], B igual a 0.18 ± 12.23 [-] y C igual a 0.330 ± 0.32 [-]. Los valores de los coeficientes A, B y C determinados en este estudio no resultaron convenientes ya que se necesita realizar un estudio más afondo de todas las variables que intervienen al momento de encontrar estos coeficientes.

De acuerdo a trabajos de estudio similares realizados en nuestro país y en otras partes del mundo se realizaron los ciclos de conducción en el dinamómetro de chasis, los datos obtenidos con la ayuda del interface OBDII se determina el consumo de combustible para el ciclo de conducción FTP 75 es: 70,74 ± 0,24 Km/gal para el vehículo Hyundai Accent y de 40,68 ± 0,57 Km/gal para el vehículo Chevrolet Sail. Para el ciclo de conducción HWEFT: 97,28 ± 1.27 Km/gal para el Hyundai Accent y 66,69 ± 1.48 Km/gal para el Chevrolet Sail.

Este estudio será de aporte para consolidar la base de datos de consumo de combustible de los vehículos con mayor circulación en la ciudad de Cuenca el mismo que puede ser de utilidad para estudios en diferentes campos.

Es importante establecer un procedimiento para determinar los coeficientes de ajuste de carga para el dinamómetro de chasis, debido a que al realizar el estudio, estos coeficientes simulan las fuerzas a las que está sometido el vehículo al circular por una carretera y deben estar definidos adecuadamente para evitar problemas en las pruebas de ciclos de conducción. De la misma forma se debe instrumentar el vehículo con tecnologías que estén certificadas bajo normas vigentes para tener valores más exactos referentes al consumo de combustible.

Trabajos a futuro

Esta investigación servirá como referencia para estudios futuros de consumo de combustible en ciudades de altura, además la información obtenida podrá servir como referencia para el análisis de costos de circulación así también se podrá analizar el impacto ambiental que ocasionan estos vehículos en nuestro medio con lo cual se puede aportar a la creación de políticas, reglamentos y normativas que deberían cumplir los fabricantes para introducir nuevos vehículos al país.

Este trabajo investigativo es un referente para futuros análisis de rendimiento y eficiencia de vehículos de similares características.

REFERENCIAS

EPA. (2017). Dynamometer Drive Schedules. Retrieved from https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules#vehicleDDS

Globalpetrolprice. (2017). precio de la gasolina, litro. Retrieved July 24, 2017, from http://es.globalpetrolprices.com/gasoline_prices/

González, M. (2009). La generación eléctrica a partir de combustibles fósiles. *Divulgacion*, *2*, 143–151.

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.

Microsoft Office. (2017). Definir y resolver un problema con Solver. Retrieved from https://support.office.com/es-es/article/Definir-y-resolver-un-problema-con-Solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040

Mosquera, J. D. (2010). Análisis De Emisiones De Co 2 Para Diferentes Combustibles En La, (45), 141–146.

SAE. (2010). Road Load Measurement and Dynamometer Simulation Using Coastdown Technique, 39. Retrieved from http://standards.sae.org/j1263_201003/

Serpa, G., & Zumba, X. (2016). *No Title*. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.

Tong, H. Y., Hung, W. T., & Cheung, C. S. (2000). On-Road Motor Vehicle Emissions and Fuel Consumption in

Urban Driving Conditions. *Journal of the Air & Waste Management AssociationOnline) Journal Journal of the Air & Waste Management Association Journal of the Air & Waste Management Association J. Air & Waste Manage. Assoc*, *504*(50), 1096–2247. https://doi.org/10.1080/10473289.2000.10464041