

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: vehículo Chevrolet Spark 1.0 lt 2010 y Mitsubishi L200 2.5 lt Diésel 2009.

Juan Fernando Espinoza^a, Adrián Cantos Suarez^a

^aFacultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería en Mecánica Automotriz, Universidad del Azuay, Av. 24 de mayo y Hernán Malo, Cuenca, Ecuador
jespinoza45732@gmail.com, cantosadrian465@gmail.com

Abstract.

This article aimed at creating a fuel consumption database of two vehicles circulating in our country: the Chevrolet Spark 1.0 lt 2010 and the Mitsubishi L200Sportero 2.5lt diesel 2009. The most common and used methods for fuel consumption estimation based on the state of the art, are the SAE: J1263 road free deceleration, a chassis dynamometer, and the worldwide FTP75 and HWFET characteristic driving cycles. These resulted in an estimate of the coefficients of aerodynamics resistance on a body, rolling resistance, as well as the adjustment values of road forces. At the end of the study, fuel consumption for the urban cycle was evaluated, evidencing higher fuel consumption of 4,45 L/100km for the Chevrolet vehicle, and 25,78 L/km for the Mitsubishi. In the highway characteristic cycle 3,018 L/100km was obtained for the Chevrolet Spark and 9,59 L/100km for the Mitsubishi.

Keywords: driving cycles, fuel consumption, vehicle, data, calculation, force, speed, coefficient, force displacement.

Resumen.

El presente artículo busca la creación de una base de datos del consumo de combustible de dos vehículos que circulan en nuestro país el Chevrolet Spark 1.0 lt 2010 y la Mitsubishi L200Sportero 2.5lt diésel 2009. Basándose en el estado del arte los métodos más comunes y empleados para estimación del consumo de combustible es la de desaceleración libre en carretera SAE: J1263, un dinamómetro de chasis y los ciclos de conducción característicos a nivel mundial FTP75 y HWFET, dando como resultado un estimado de los coeficientes de resistencia a la aerodinámica del cuerpo, resistencia a la rodadura, así como los valores de ajuste de las fuerzas de carretera. Al terminar el estudio se llegó a valorar un consumo de combustible, para el ciclo urbano, un mayor consumo de combustible de 4,45 L/100kmlitros de combustible para el vehículo de Chevrolet y para la Mitsubishi se obtuvo 25,78 L/100 km. En el ciclo característico de autopista se obtuvo 3.018 L/100km para el Chevrolet Spark y 9,59L/100km para la Mitsubishi.

Palabras clave: ciclos de conducción, consumo, combustible, vehículo, datos, cálculo, fuerza, velocidad, coeficiente, fuerza desplazamiento.

Introducción

En el Ecuador el consumo energético generado por vehículos automotores debido al consumo de combustible ha tenido un gran aumento en los últimos cinco años. Según datos del INEC, en el año 2015 se matricularon 1'925.368 vehículos motorizados, 57% más de los que se registraron en el año 2010 (Telégrafo, 2016). Solo en la ciudad de Cuenca en ese mismo año el parque automotor creció un 5.8% (EMOV, 2015).

A nivel internacional se han realizado estudios para determinar el consumo de combustible, en donde se obtuvieron resultados muy favorables como es el caso estudiado por Marchese, Golato, 2011, en donde se estimó el consumo en vehículos livianos y pesados en diferentes

regímenes de carga en función de la influencia a la rodadura y la aerodinámica de los vehículos y se concluyó que los vehículos livianos con un motor más eficiente además de una mejora en la aerodinámica disminuye su consumo de combustible en un 30%, mientras que en los vehículos pesados el consumo no era tan significativo.

A nivel nacional, los autores (Lima B., Gálvez E. (2016)., realizaron la medición del consumo de combustible de vehículos pequeños (sedan, coupe, station wagon, hatchback) que se movilizan en el casco urbano de la ciudad de Cuenca mediante la practica SAEJ1321:2012, en 12 puntos conflictivos de la ciudad donde se

produce congestión vehicular. Para la medición de consumo de combustible utilizaron un tanque portátil para medir la disminución de combustible, comparando el peso al inicio de la practica con el peso final, obteniendo así un consumo en litros/min y en litros/km, permitiendo determinar los costos generados al transitar por la urbe de la ciudad, sin embargo, para la realización de estas prácticas se generalizaron los vehículos en función de su cilindraje y no se considera la masa del mismo ni de los ocupantes, además de la tecnología que posee, por tanto, quedaría en la incertidumbre si los vehículos con las mismas características consumen la misma cantidad de combustible.

Los fabricantes de vehículos analizan el consumo de combustible de cada vehículo luego de que este es lanzado a la venta, sin embargo, se desconoce la metodología que utilizaron para esta estimación, además, se debe considerar que generalmente este tipo de pruebas se realizan en condiciones estándar. (Villava, Urroz, 2016). Así también la agencia de protección del medio ambiente estadounidense cuenta con una base de datos que provee de los datos de consumo de una gran cantidad de vehículos, sin embargo en ella no se incluyen muchos de los vehículos que circulan en nuestro país, no obstante, es necesario contar con una base de datos en la que se dé a conocer cuál es el consumo de combustible de los vehículos que circulan en nuestro medio, ya que se sospecha que podrían presentarse variaciones importantes con respecto a los datos de consumo presentados por los fabricantes.

El presente trabajo aporta con la creación de una base de datos del consumo de combustible de dos vehículos que circulan comúnmente en el país como el Chevrolet Spark 1.0 lt 2007 y la camioneta Mitsubishi L200Sportero 2.5 lt diésel 2009. El consumo se midió siguiendo los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET, para lo cual se realizaron pruebas en un dinamómetro de chasis en donde se simulaban las cargas que el vehículo experimentaría en un trayecto urbano y en un traslado en carretera; así también se registró el consumo instantáneo de combustible durante cada prueba, a través de una interface conectada al puerto OBD2

Al procesar los datos, se logró evidenciar que el consumo de combustible en los vehículos de estudio, varía significativamente en relación a los presentados por el fabricante.

Metodología

El presente estudio se desarrolló en la ciudad de Cuenca, ubicada a 2550m sobre el nivel del mar.

Las pruebas de consumo de combustible se realizaron en un banco dinamométrico de chasis, el cual simula las cargas que el vehículo debe enfrentar al desplazarse. Para este propósito fue necesario estimar los coeficientes de resistencia aerodinámica " C_d " y de resistencia a la rodadura " f_r ", así como los factores de ajuste de las fuerzas en carretera "a", "b", y "c" (P.R. SAEJ1263). Para estimar estos coeficientes, se realizaron pruebas de desaceleración libre "coast down" para ello se eligió la ubicación con las coordenadas; latitud = 3°03'04.9"S y longitud = 79°02'20.2"W. **Figura 1** que corresponden a la ruta Panamericana km 35, que atraviesa la provincia del Azuay. En este tramo no existen pendientes considerables, ideal para la aplicación de la practica SAEJ1263, en total se realizaron 6 pruebas para cada vehículo.



Figura 1. Ruta de pruebas

Para la aplicación de esta práctica, se tomó el peso total de los vehículos con sus ocupantes en una balanza electrónica, Con esto y datos del fabricante de cada vehículo, se creó un perfil en la aplicación "Torque" para cada uno. Esta aplicación Android enlazada con la interface OBDII ELM327 mediante bluetooth permite recolectar los siguientes parámetros en carretera:

Tiempo	s
Velocidad GPS	km/h
Velocidad OBD	km/h
Altitud GPS	m
Latitud GPS	m
Longitud GPS	m

Los valores de estos parámetros se exportaron a una hoja de cálculo para obtener valores de distancia, pendiente, aceleración y la velocidad, añadiendo la información del área frontal del vehículo calculada en un programa CAD y la densidad del aire (tabla 1.). Estos factores influyen en el aumento o disminución de la fuerza de resistencia, lo que genera mayor o menor consumo de combustible.

Tabla. 1. Parámetros de los vehículos

	Chevrolet Spark		Mitsubishi L200	
Masa (M)	925	[kg]	2132,3	[kg]
Área frontal (A)	1,75	[m ²]	2,59	[m ²]
Densidad del aire (paire)	0.91	[kg/m ³]	0.91	[kg/m ³]
Gravedad (g)	9.81	[m/s ²]	9.81	[m/s ²]
Radio dinámico de la rueda (Rd)	27,235	[cm]	20,57	[cm]

La estimación de las fuerzas que influyen en el desplazamiento del vehículo, fueron estimadas por medio de los siguientes modelos [1], [2], los cuales se formulan a partir del equilibrio dinámico del sistema, al relacionar la fuerza propulsiva y las fuerzas que se oponen al desplazamiento (Gillespie, 1992).

Para la obtención de coeficientes reales, y solo como datos de partida, se ocupó valores de referencia de los coeficientes “Cd” y “fr” brindados por el fabricante. Mediante la Gráfica velocidad – tiempo, obtenida de las pruebas de desaceleración libre, se observó la similitud de las curvas de velocidad obtenida por la interface ELM327 con la calculada con la ecuación [9]. Estas curvas (Figura 2) pueden ser ajustadas por medio de iteraciones para reducir el error que existe entre las velocidades, y de esta manera obtener los coeficientes “Cd” y “fr” que más se aproximen a la realidad.

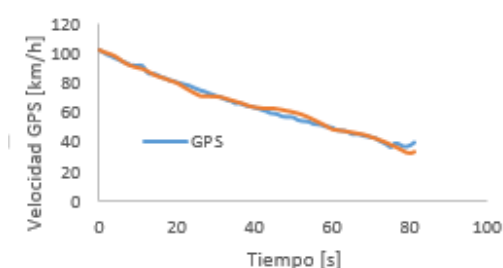


Figura 2. Comparación entre los resultados de las pruebas de desaceleración libre y el modelo matemático de predicción, ajustado con los valores “cd” y “fr” obtenidos.

Los resultados de los coeficientes “cd” y “fr” fueron estimados con un intervalo de confianza, suponiendo condiciones de normalidad, a través de la función de distribución de probabilidades “t” de student (muestra relativamente pequeña), con un límite de confianza del 95%.

Con los valores de los coeficientes “cd” y “fr” se calcularon las fuerzas de resistencia aerodinámica [4] y la fuerza de resistencia a la rodadura ecuación [5] para poder obtener la fuerza de tracción calculada [3].

Estimación de los Coeficiente de ajuste de carga (a), (b), (c) para el banco de chasis.

La estimación de estos coeficientes se realizó por medio de la diferencia de los valores obtenidos de los coeficientes de carga en carretera (F0, F1, F2), y los obtenidos en el dinamómetro (D0, D1, D2) ecuación [10]

Los coeficientes de ajuste de carga F0, F1 y F2 se obtuvieron para cada prueba en carretera.

De la gráfica Fuerza de tracción calculada [8] - velocidad del vehículo (Figura 3), se obtiene la línea de tendencia para determinar los valores de los coeficientes de carga. La curva que describe es polinómica de segundo orden, por lo cual se presenta la ecuación de la curva y el valor de “R²” (coeficiente de determinación) para describir la confiabilidad de la línea de tendencia, siendo más fiable cuando el valor de R² tiende a 1.

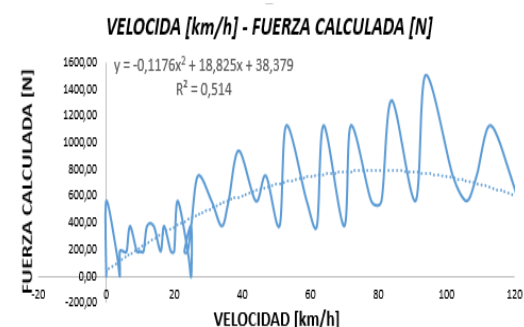


Figura 3. Grafica fuerza de tracción calculada – velocidad del vehículo.

La ecuación obtenida en la Figura 4 es igual a la ecuación de la fuerza de coeficiente [10], así tenemos como resultado F0 = (valor sin variable), F1= (valor que multiplica a la variable “x”), F2 = (valor que multiplica a la variable “x²”), que corresponden a los coeficientes de ajuste de carga en carretera.

En el dinamómetro de chasis se realizaron las pruebas de “coast down” para obtener los parámetros necesarios para la determinación de valores de sus coeficientes de carga con la utilización de la ecuación [10] sustituyendo las variables de F0, F1, F2 por D0, D1, D2. Para el cálculo de estos valores no se considera la fuerza de tracción del vehículo, la fuerza a utilizarse se

calcula mediante la ecuación [11], tomando en cuenta la masa del rodillo con un valor de 674 kg. Con los valores de los coeficientes de carga en carretera y en el banco de chasis estimados, nuevamente se presentaron los resultados con un intervalo de confianza, estimado a partir del modelo “*t-student*”.

Los valores de a, b, c, se utilizaron para simular la carga en carretera al momento de realizar los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET en el dinamómetro de chasis, en los cuales se mantuvo la conexión de la interface ELM327 que permite monitorizar el consumo instantáneo que generará el vehículo en cada ciclo de conducción.

Al finalizar los ciclos de conducción, se recuperaron los datos recolectados por la aplicación Torque y la interface ELM327, con los que se realizó una comparación gráfica velocidad – tiempo entre un ciclo de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET con los realizados en el dinamómetro de chasis, con lo que se pudo estimar el consumo de combustible de los vehículos Chevrolet Spark 1.0cc gasolina 2010 y Mitsubishi L200 2.5cc diésel 2009, aportando de esta manera una base de datos de consumo de combustible de los vehículos en estudio.

Nomenclatura

Distancia recorrida:

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

V: velocidad [m/s]

t_i : Tiempo final [s]

t_{i-1} : Tiempo inicial [s]

Pendiente:

$$\theta = \sin^{-1} \frac{(Alt_i - Alt_{i-1})}{x_i} \quad [rad] [2]$$

[2]

Alt_i : Altitud final [m]

Alt_{i-1} : Altitud inicial [m]

x_i : Distancia final [m]

$$F_x = F_d + R_x + R_g + R_i \quad [3]$$

$$F_d = \frac{1}{2} * C_d * A_o * \rho_a * V^2 [4]$$

$$R_x = f_r \cdot m \cdot g \cdot \cos \theta \quad [5]$$

$$R_g = m * g * \sin \theta [6]$$

$$R_i = m * a [7]$$

$$F_{calculada} = -M * a \quad [8]$$

Velocidad calculada:

$$V = (V_{i-1} - (t_i - t_{i-1})) * \frac{(F_d + R_x + R_g)}{M} \left[\frac{m}{s} \right] [9]$$

V_{i-1} : Velocidad inicial [m/s]

t_i : tiempo final [s]

t_{i-1} : tiempo inicial [s]

F_d : fuerza de resistencia aerodinámica [N]

R_x : fuerza de resistencia a la rodadura [N]

R_g : fuerza de resistencia a la pendiente [N]

M: masa del vehículo [kg]

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

F_0 : Coeficiente de ajuste de carga de rodadura [N]

F_1 : Coeficiente de ajuste de carga de fricción [N/(km/h)]

F_2 : Coeficiente de ajuste de carga aerodinámico [N/(km/h)²]

Fuerza calculada en el banco

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

M: masa del rodillo [kg]

a: aceleración del vehículo [m/s²]

Resultados

Con la finalización del presente proyecto se obtuvieron los siguientes resultados:

Con una revisión apropiada del estado del arte, se determinó los procedimientos adecuados para estimar el consumo de combustible en un dinamómetro de chasis para los vehículos en estudio, dando por sentado, que los métodos aplicados en el presente artículo, podrían ser utilizados para estudios en base al tema en un futuro.

En la Tabla 2 presenta los resultados obtenidos para los valores de coeficientes de resistencia aerodinámica “*cd*” y de rodadura “*fr*” para cada vehículo en estudio, además del intervalo de confianza de cada valor.

Tabla 2. Valores de “cd” y “fr” para los vehículos en estudio.

	Coeficiente aerodinámico (Cd)	Coeficiente de rodadura (fr)
Mitsubishi L200	0,66 ± 0,11	0,0144 ± 0,0027
Chevrolet Spark	0,47 ± 0,12	0,0164 ± 0,0092

Así también, se determinaron los coeficientes de carga en carretera (F0, F1, F2) y los coeficientes de carga en el banco dinamómetro de chasis (D0, D1, D2), por medio de la práctica SAEJ1263, la diferencia entre estos Valores F0-D0, F1-D1, F2-D2, dan como resultado los coeficientes a, b, c, los cuales se ingresan en el

banco dinamómetro de chasis al realizar los ciclos de conducción. Las tablas 3 y 4 muestran los valores mencionados para cada vehículo en estudio.

Tabla 3. Coeficientes de carga en carretera, carga en el banco dinamómetro de chasis, coeficientes resultantes A, B, C, para el vehículo Mitsubishi L200

Mitsubishi L200					
Coef. de carga en carretera		Coef. de carga en el banco		Coef. de ajuste de carga para banco dinamométrico	
F0	306,62	D0	156,52	A	150,10
F1	0,014	D1	7,4387	B	-7,4362
F2	0.0606	D2	0,0415	C	0,1021

Tabla 4. Coeficientes de carga en carretera, carga en el banco dinamómetro de chasis, coeficientes resultantes A, B, C, para el vehículo Chevrolet Spark

Chevrolet Spark					
Coef. de carga en carretera		Coef. de carga en el banco		Coef. de ajuste de carga para de chasis	
F0	153,16	D0	93,70	A	59,46
F1	0,0043	D1	3,6984	B	-3,6941
F2	0,0281	D2	-0,0150	C	0,0431

Con la realización de los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET en el banco dinamómetro de chasis, se obtuvieron los datos necesarios para el cálculo del consumo de combustible, los parámetros recolectados por la interface OBDII nos permitieron graficar la velocidad vs el tiempo de los ciclos EPA FTP75 (Anexo1) y EPA HWFET (Anexo 2) que realizó cada uno de los vehículos en estudio, los cuales se asemejan a las gráficas reales de cada ciclo de conducción, de esta manera se obtuvieron los valores de consumo indicados en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de intervalo de confianza del consumo de combustible en cada uno de los ciclos FTP75 y HWFET de los vehículos en estudio

Mitsubishi L200 2,5 LT DIESEL		
	FTP75	HWFET
Galones	1,137 ± 0,098	0,420 ± 0,447
Litros	4,304 ± 0,370	1,591 ± 1,690
Distancia [km]	17.59 ± 0.081	18.04 ± 0.54

Chevrolet Spark 1.0 LT GASOLINA		
	FTP75	HWFET
Galones	0,209 ± 0,007	0,129 ± 0,004
Litros	0,790 ± 0,26	0,489 ± 0,016
Distancia [km]	16.36 ± 0.047	17.03 ± 0.046

Tabla6. Consumo de combustible comparado con las fichas técnicas en [L/100km] para el vehículo Mitsubishi L200 2,5 LT DIESEL

	FTP75 (ciclo en ciudad)	HWFET (ciclo en carretera)
Ficha Técnica	9.7 [L/100km]	7.2 [L/100km]
Consumo Estimado	25,78 [L/100km]	9,59 [L/100km]

Tabla7. Consumo de combustible comparado con las fichas técnicas en [L/100km] para el vehículo Chevrolet Spark

	FTP75 (ciclo en ciudad)	HWFET (ciclo en carretera)
Ficha Técnica	8,2 [L/100km]	5,3 [L/100km]
Consumo Estimado	4,45 [L/100km]	3.018 [L/100km]

Conclusión

Los resultados obtenidos de la medición del consumo de combustible de los vehículos Chevrolet Spark 1.0 lt 2010 y Mitsubishi L200 2.5 lt Diésel, presentan errores del 45.7% y 43.05% respectivamente, en comparación con los datos presentados por los fabricante; esto puede deberse a la ubicación geográfica de la ciudad, ya que las condiciones climáticas y la altura podrían ser diferentes de donde realiza las pruebas el fabricante, además. Los factores de ajuste A, B, C obtenidos no permiten que los vehículos puedan realizar los ciclos de conducción, pues al introducirlos en el dinamómetro de chasis para simular las cargas en carretera se ejerce mucha resistencia al desplazamiento, por ello no se utilizaron dichos valores para la realización de los ciclos.

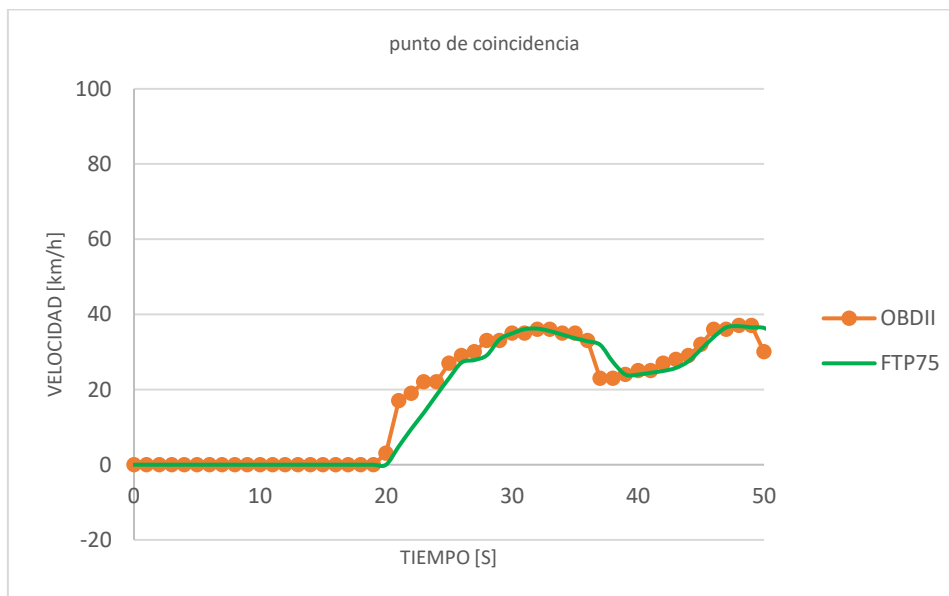
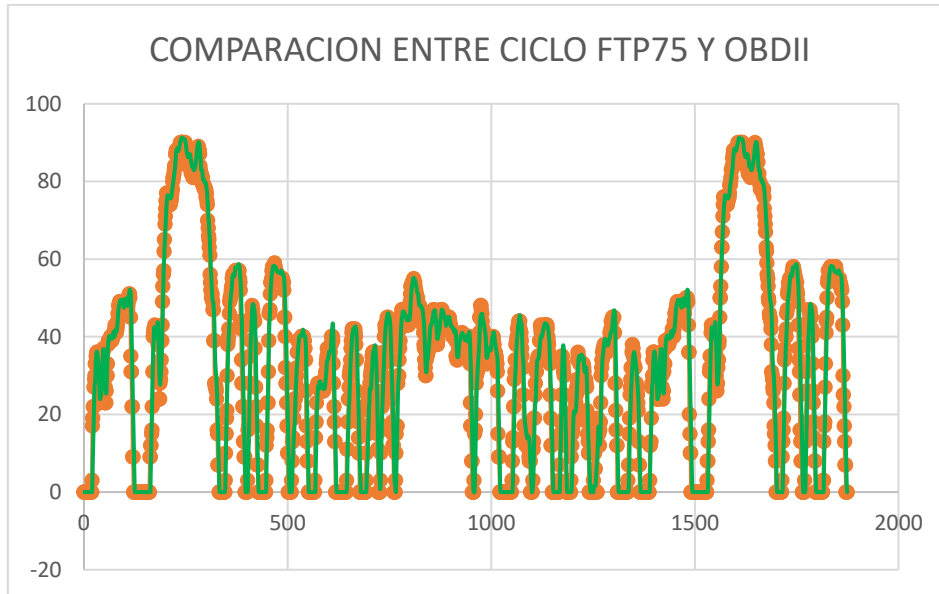
Para un mejor resultado se deberían realizar más pruebas con el uso de dispositivos mas preciosos para la recolección de los datos necesarios para llegar a una estimación más exacta del consumo de combustible en un lugar adecuado en donde no exista demasiada variación de la pendiente, pues esto en sí afecta a la obtención del valor de los factores “*cd*” y “*fi*” alejándose de los brindados por el fabricante e influyendo en los resultados de consumo de combustible, así también el lugar de pruebas debe proveer una mejor conectividad de los equipos de medición.

Referencias:

- Hernández, J. P., Sánchez, E. I., & Sandoval, J. C. (2014). Actualización de los ciclos de conducción de manejo en el valle de México para vehículos para vehículos ligeros (Tesis de Grado). México.
- Lima, B., Sandoval, E., 05/2016, .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 (Trabajo de titulación).Ecuador.
- Walter, J. A., Pruess, D. J., & Romberg, G. F. (2001). *Coastdown/wind tunnel drag correlation and uncertainty analysis* (No. 2001-01-0630). SAE TechnicalPaper.
<http://www.superflow.com/aspx/prodDetail.aspx?prodid=4&catid=1&navid=6>
 Página del producto elm327
- United States Environmental Protection Agency, Dynamometer Drive Schedules, 31/01/2017, <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules>, 02/07/17, 19:00pm.
- El telégrafo (en línea) tomado de: <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/inec-parque-automotor-de-ecuador-crecio-57-en-5-anos>, publicado el 9 de diciembre de 2016, recuperado el 18 de Julio de 2017.
- 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* (Bachelor'sthesis).
- Miyashiro Pérez, L., & Delgado Fernández, M. (2009). Procedimiento para la mejora de procesos que intervienen en el consumo de combustible. *Ingeniería Industrial*, 30(3).
- M. Sebastián, José Sebastián (2013). «Las Leyes de Newton de la mecánica». En Universidad Simón Bolívar. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales* (27): 210. ISSN 0214-4379. Consultado el 9 de julio de 2015
- Tippens, P. (1992). Física 1. México: McGraw-Hill Interamericana S. A. newton
- Gillespie Thomas, (1992).Fundamentals of vehicle dynamics. Warrendale, society of automotive engineers, Inc.
- González Oropeza, R. (2005). Los ciclos de manejo, una herramienta útil si es dinámica para evaluar el consumo de combustible y las emisiones contaminantes del auto transporte. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, 6(3).

Anexos

Anexo 1. Comparación entre el ciclo de conducción realizado y recolectado sus datos mediante OBDII y el proporcionado por la EPA.



Anexo 2. Comparación entre el ciclo de conducción realizado y recolectado sus datos mediante OBDII y el proporcionado por la EPA.

