

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

Casos de estudio: vehículos Chevrolet Aveo Activo 1.6L, 2012 y Kia Sportage R 2.0L, 2013.

*Juan Andrés Méndez Flores**

**Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería en Mecánica Automotriz, Universidad del Azuay, Av. 24 de mayo y Hernán Malo, Cuenca, Ecuador.
juan.mendez.140790@gmail.com.*

*John Paul Palacios Tapia**

**Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería en Mecánica Automotriz, Universidad del Azuay, Av. 24 de mayo y Hernán Malo, Cuenca, Ecuador.
paul23john@gmail.com.*

Abstract. *There is no database on fuel consumption in Ecuador; therefore, this study aimed at generating this information. For this purpose, two specific vehicles were used in order to obtain relevant data on fuel consumption among the automobiles of greater use and demand in the country. This research project used SAE: J1263 road free deceleration test, a chassis dynamometer and the FTP-75 and HWFET world – leading driving cycles. This resulted in the coefficients of resistance to body aerodynamics, rolling resistance, as well as road adjustment factors. At the end of the project, fuel consumption was estimated for the Chevrolet Aveo in 6.85 [L/100km] FTP75 cycle, and 3.92 [L/100km] in the HWFET cycle. Also, for the Kia Sportage R. in 8.4 [L/100km] for the FTP75 cycle, and in 4.75 [L/100km] for the HWFET cycle.*

Keywords: *coast down, body aerodynamic resistance coefficient, rolling resistance coefficient, driving cycle, fuel consumption.*

Resumen. *En el país no se cuenta con una base de datos sobre el consumo de combustible y el presente estudio busca generar la misma, para lo cual se utiliza dos vehículos en específico, los mismos que proporcionan información relevante sobre el consumo de combustible en los automóviles de mayor uso y demanda en el Ecuador. En este proyecto se empleó pruebas 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 los coeficientes de resistencia a la aerodinámica del cuerpo, resistencia a la rodadura, como también los factores de ajuste de carretera. Al culminar el proyecto se llegó a estimar un consumo de combustible para el Chevrolet Aveo en el ciclo FTP75 de 6.85 [L/100km] y en el ciclo HWFET de 3.92 [L/100km], también para el Kia Sportage R en el ciclo FTP75 de 8.4 [L/100km] y en el ciclo HWFET de 4.75 [L/100km].*

Palabras clave: *Coast Down, Coeficiente de resistencia a la aerodinámica del cuerpo, Coeficiente de resistencia a la rodadura, Ciclo de conducción, Consumo de combustible.*

I. INTRODUCCIÓN

Según estadísticas la producción automotriz asiática ha desplazado la industria norteamericana y europea alcanzando un cuarto de la producción mundial debido a que la clase media ha incrementado en diferentes países (Novedades Económicas, 2014).

Por este motivo en Hong Kong se realizaron estudios sobre la contaminación por consumo de combustible; obteniendo pruebas en el dinamómetro de chasis las cuales no ratifican las condiciones reales de conducción en el país, por lo que el tipo de manejo genera una variable que se debe considerar en el consumo, tal como demuestran Tong, Hung & Cheung en 2000, para los vehículos de pasajeros:

- Modo de aceleración: velocidad incremental positiva: 94.58 g/km.
- Modo de crucero: velocidad incremental absoluta: 49.92g/km.
- Modo desaceleración: velocidad incremental negativa: 40.66 g/km.

En Ecuador con un parque automotor creciente en los últimos años según el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2016) los vehículos han aumentado en un 57% desde el año 2010. También es el caso del consumo de combustible y por este hecho el país mantiene el subsidio a la gasolina según Yépez el país en el año 2013 destinó 778 millones de dólares al subsidio de este. Por lo tanto, se ha visto la necesidad de crear una base de datos de consumo de combustible de los vehículos Chevrolet Aveo Activo 1.6L y Kia Sportage R 2.0L, que están entre los vehículos más utilizados en el Ecuador según la AEAE (Agencia de Empresas Automotrices del Ecuador, 2016).

Según estudios, los motores térmicos que funcionan a altitudes mayores al nivel del mar se ven afectados en su funcionamiento considerando que existe una variación en la presión atmosférica proporcionando como resultado una disminución en el oxígeno, por lo tanto el vehículo necesita mayor energía para desplazarse como lo asevera Velasco & Velasco en 2014.

En Quito se evaluó el consumo de combustible en las distancias más concurridas, las cuales cruzan la ciudad de norte a sur y son: Av. Pedro Maldonado, Av. Mariscal Sucre, Av. 10 de Agosto y circundantes. Teniendo en cuenta que la geografía influye directamente en el consumo de los vehículos livianos de marca Hyundai (i10 y Accent) lo que llevó a la estimación de un 30% de consumo mayor a lo que el fabricante del vehículo indica, como afirma López en 2016.

Para la ciudad de Cuenca situada a 2550 metros sobre el nivel del mar, se realizó un estudio del consumo de combustible como sugiere Gálvez & Lima en 2016, utilizando vehículos de categoría M1 (vehículos para pasajeros) que están dentro de la “Norma Técnica Ecuatoriana 2656” véase (Tabla 1); el procedimiento es en base a la “SAE J1321 Fuel Consumption Test Procedure”, la cual permite el uso de un tanque de combustible portable para así llegar a medir el gasto que se genera mientras se conduce el vehículo en diferentes trayectos ya establecidos en el centro de la ciudad, obteniendo un consumo de:

TABLA 1
CONSUMO DE COMBUSTIBLE SEGÚN EL TIPO DE CILINDRADA

Tipo de cilindrada	Consumo en [L/km]
Vehículo ≤1000cc	0.1204282
1000cc < Vehículo ≤ 1600cc	0.1549922
1600cc < Vehículo ≤ 2000cc	0.1887089
Vehículo > 2000cc	0.3453869

Este estudio busca recopilar bibliografía concerniente para conocer y validar los métodos más utilizados para la estimación del consumo de combustible, que son desaceleración libre y el uso del dinamómetro de chasis junto a los ciclos característicos urbanos y carretera FTP75 y HWFET respectivamente como afirma la EPA (Agencia de Protección Ambiental, 2017).

Con el método de desaceleración libre recomendado por SAE J1263 se obtendrá los valores aproximados de los coeficientes de resistencia a la aerodinámica del cuerpo C_d y resistencia a la rodadura pavimento-neumático Fr . Así también con el dinamómetro de chasis y utilizando los ciclos de conducción se estimará los coeficientes de ajuste de carretera y el consumo de combustible de los vehículos.

Los resultados de este proyecto podrán ser utilizados en estudios de la mitigación del impacto ambiental o la remediación de la calidad de aire en las principales ciudades, favoreciendo a la movilidad del país.

II. MATERIALES Y METODOS.

La prueba de desaceleración libre recomendada por la SAE J1263 se realizó en una vía de la zona rural de la ciudad de Cuenca ubicada a 2550 metros sobre el nivel del mar. Cumpliendo con 16 pruebas, 8 en dirección Cuenca-Cumbe y 8 en sentido Cumbe-Cuenca en los siguientes vehículos. (Fig. 1 y Tabla 2).

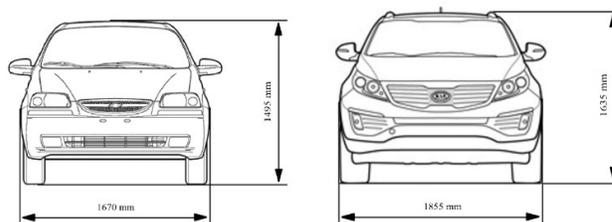


Fig. 1.- Área Frontal Aveo Activo y Kia Sportage R.

TABLA 2
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS VEHÍCULOS

Especificaciones			
Marca	Chevrolet	Marca	Kia
Modelo	Aveo Activo 1.6	Modelo	Sportage R 2.0
Año	2012	Año	2013
Tipo motor	DOHC 1.6	Tipo motor	CVVT
Cilindrada(cm³)	1598	Cilindrada(cm³)	1998
Nº cilindros/válvulas	4 cilindros, 16 válvulas	Nº cilindros/válvulas	4 cilindros, 16 válvulas
Alimentación	Inyección multipunto	Alimentación	Inyección multipunto
Tipo de caja	Manual de 5 velocidades	Tipo de caja	Automática de 6 velocidades
Neumáticos	195/55 R15	Neumáticos	215/70 R16
Área Frontal[m²]	2.49	Área Frontal[m²]	3.03
Masa [kg]	1120	Masa[kg]	1397

Para efectos prácticos se mostrarán los procedimientos del Chevrolet Aveo Activo 1.6L, 2012.

Los datos obtenidos en esta prueba se recopilan por medio de un receptor de datos OBD-II que tiene una comunicación compatible con los protocolos: ISO15765-4 (CAN), ISO14230-4 (KWP2000), ISO9141-2, J1850 (VPW) y J1850 (PWM).

El receptor se conecta vía bluetooth a una aplicación Android llamada “Torque”, la misma que permite monitorear la mayor parte de los parámetros (Tabla 3) que la ECU (Unidad de Control del Motor) del vehículo manipula con una frecuencia de almacenamiento de 0.2 a 10Hz, lo que permite exportar los datos en formato texto.

TABLA 3
DATOS EXPORTADOS DE LA APLICACIÓN

Parámetros del OBD-II	
Temperatura del aire en múltiple admisión	[°C]
Presión barométrica del vehículo	[bar]
Torque actual del motor	[Nm]
Revoluciones del motor	[rpm]
Flujo de combustible	[L/min]
Velocidad OBD	[km/h]
Caudal de aire	[m³/seg]
Tiempo	[seg]

Para la obtención de C_d y F_r se manejaron las siguientes formulas basándose en la Fig. 2:

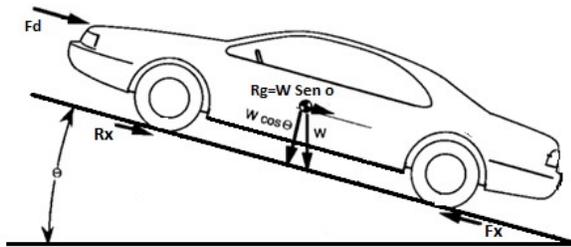


Fig. 2.- Dinámica del vehículo, (Fundamentals of Vehicle Dynamics, 1992. p.27).

$$F_x = R_d + R_x + R_g + R_i \quad [1]$$

$$R_d = 0.5 * A * v^2 * \rho_{aire} * C_d \quad [2]$$

$$R_x = m * g * F_r * \cos \theta \quad [3]$$

Donde:

F_x : Fuerza de tracción R_d : Resistencia a la aerodinámica. [N]
 A : Área frontal [m²] v : Velocidad [m/s]
 ρ_{aire} : Densidad del aire [kg/m³] R_x : Resistencia a la rodadura. [N]
 m : Masa [kg] g : Gravedad [m/s²]

Luego de determinar los valores C_d y F_r con las formulas [2] y [3]. Se grafican las velocidades medidas y calculadas, por medio de una iteración Solver (Microsoft support, 2013). (Fig. 3). Solver es una herramienta de análisis para encontrar un valor optimo sean máximos o mínimos entre las variables en este caso las velocidades GPS y calculada. Solver ajusta los valores cumple con los límites establecidos y da el resultado más próximo.

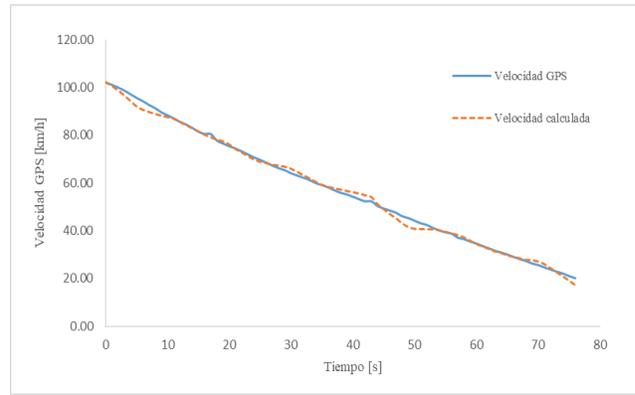


Fig. 3.- Relación de las curvas de velocidad medida y velocidad calculada con respecto al tiempo del Chevrolet Aveo Activo.

Por consiguiente se llegó a la estimación de los factores de ajuste [5]: rodadura, fricción y aerodinámica, tomando en cuenta la fuerza calculada [4], se describen de la siguientes fórmulas:

$$\text{Fuerza Calculada} = m * a \quad [4]$$

$$\text{Fuerza de Coeficientes} = A + Bv + Cv^2 \quad [5]$$

Donde:

m : Masa. [kg] A : Factor de ajuste a la rodadura.
 a : Aceleración. [m/s²] B : Factor de ajuste a la fricción.
 v : Velocidad. [m/s] C : Factor de ajuste aerodinámico.

Por último se utiliza una línea polinómica de tendencia la misma que da como resultado una ecuación de segundo grado y serán los primeros valores de A, B y C en carretera (Fig. 4).

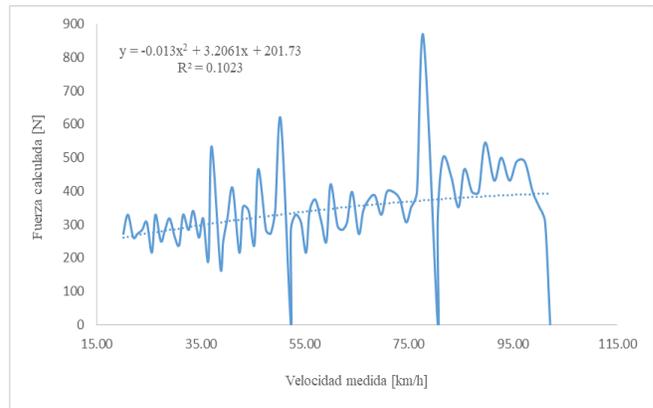


Fig. 4.- Valores de A, B, C obtenidos por medio de una línea de tendencia polinómica del Chevrolet Activo.

Las especificaciones técnicas del dinamómetro de chasis son: Carga máxima 3629 [kg], velocidad máxima 362 [km/h], potencia máxima 1200 [hp] y sensores de velocidad [rpm].

Considerando el peso del vehículo con todos los fluidos “Curb weight” (Carsdirect, 2012) y la presión de los neumáticos, se introduce los valores A, B y C para simular los factores de ajuste en carretera.

Una vez cumplido lo anterior se aplican los siguientes ciclos de conducción (Tabla 4), puesto que estos son los más conocidos a nivel mundial y la EPA utiliza para homologar los vehículos que van a ser comercializados en los Estados Unidos.

TABLA 4
CICLOS DE CONDUCCIÓN (EPA, 2017)

FTP75 (ciclo urbano)		HWFET (ciclo carretera)	
Velocidad promedio [km/h]	34,12	Velocidad promedio [km/h]	77,7
Distancia total recorrida [km]	17,77	Distancia total recorrida [km]	16,45
Duración del ciclo [seg]	1874	Duración del ciclo [seg]	765

En consecuencia los primeros coeficientes de ajustes de carretera bloquean el rodillo del dinamómetro de chasis, por lo tanto es necesario calcular los nuevos coeficientes que se denominan F0, F1 y F2 con la variación de que las fuerzas Rd [2] y Rx [3] mismas que se suman. (Tabla 5).

TABLA 5
SUMA DE FD Y RX, COMO RESULTADO LOS NUEVOS VALORES DE F0, F1, F2 DEL CHEVROLET AVEO ACTIVO

Fd: Resistencia aerodinámica	Rx: Resistencia rodadura	Nuevos Valores	[N]
[N]	[N]		[N]
325.3	185.8	F0	184.25
322.8	185.7	F1	-0.0037
316.1	185.7	F2	0.0489

Se realizan en cada vehículo 4 pruebas más de desaceleración libre en el dinamómetro de chasis y con el OBD-II se recopila nueva información que se procesa y se obtiene otros coeficientes de ajuste para el dinamómetro llamados D0, D1 y D2. (Preda, Covaciu & Ciolan, 2010. p.159-161). Seguido se realizó una sustracción entre los valores de carretera, F0, F1, F2 y los valores del dinamómetro de chasis D0, D1, D2, para adquirir valores más reales de los coeficientes de ajuste A, B y C. (Tabla 6).

TABLA 6
EJEMPLO DE LA SUSTRACCIÓN ENTRE LOS COEFICIENTES F0, F1, F2 Y D0, D1, D2 DEL CHEVROLET AVEO ACTIVO

A	B	C
F0 - D0	F1 - D1	F2 - D2
184.25	0.0037	0.0489
97.509	1.3336	-0.0054
86.74	-1.33	0.05

Finalmente con todas las pruebas realizadas y los ciclos de conducción cumplidos, se recuperan los datos del software para tabularse en una hoja de cálculo e igualar los ciclos realizados en el dinamómetro de chasis con respecto a los ciclos reales FTP75 y HWFET, (véase en Fig. 5 y 6). En la Fig. 5 (a) y Fig. 6 (a) se muestran la igualación y similitud de los ciclos de conducción FTP75 y HWFET con el ciclo medido OBD-II. En la Fig. 5 (b) y Fig. 6 (b) se aprecia el punto de partida de cada uno de los ciclos para confirmar que se cumplió con el ciclo especificado.

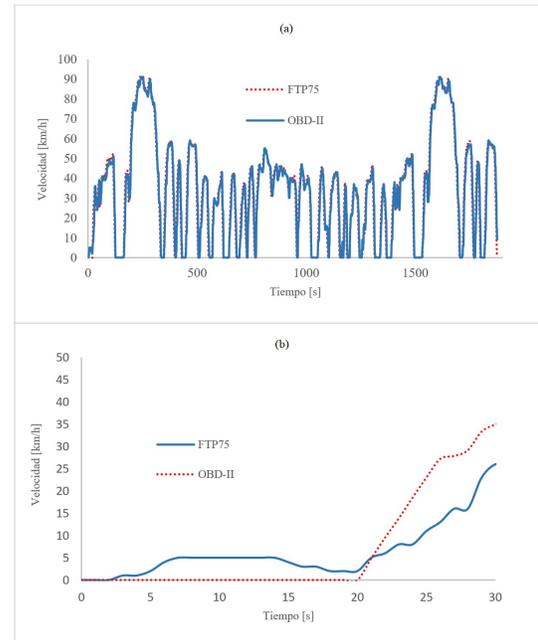


Fig. 5.- Ciclo de conducción FTP75 igualado con el ciclo de conducción del Chevrolet Aveo Activo.

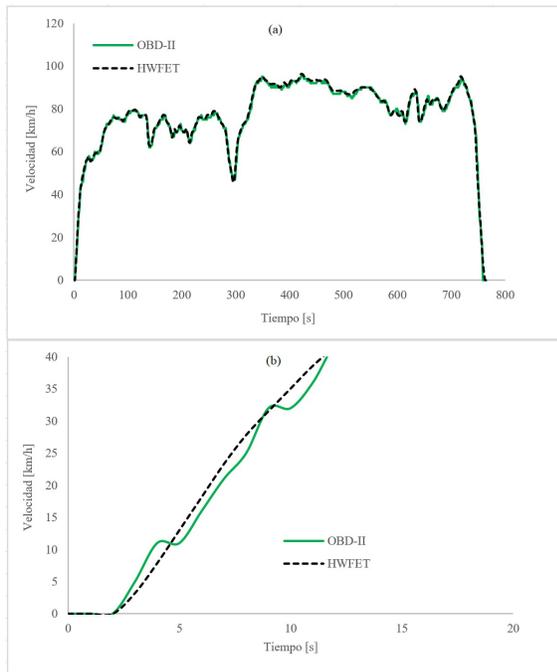


Fig. 6.- Ciclo de conducción HWFET igualado con el ciclo de conducción Chevrolet Aveo Activo.

Por último se estima el consumo de combustible de los vehículos Chevrolet Aveo Activo 1.6L y Kia Sportage R 2.0L. Con el estudio realizado se obtendrá la base de datos que podrá ser utilizada en un futuro para mejorar o aplicar normativas para disminuir la contaminación.

III. RESULTADOS.

1. Se validaron los métodos de estudio con el estado del arte propuesto en este proyecto.
2. Los intervalos de confianza para los coeficientes **C_d** y **Fr** se presentan a continuación:

TABLA 7
VALORES DE CD Y FR CALCULADOS POR MEDIO DE LAS PRUEBAS DE DESACELERACIÓN LIBRE “COAST DOWN”

	CHEVROLET AVEO ACTIVO	KIA SPORTAGE R.
CD	0.56 ± 0.0923	0.53 ± 0.0715
FR	0.0121 ± 0.0015	0.0106 ± 0.0008

3. El consumo de combustible en cada uno de los ciclos FTP75 y HWFET de los vehículos Chevrolet Aveo Activo y Kia Sportage R 2.0L, 2013.

TABLA 8
CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE LOS VEHÍCULOS EN CADA UNO DE LOS CICLOS DE CONDUCCIÓN EN [GAL] Y [L]

	CHEVROLET AVEO ACTIVO		KIA SPORTAGE R	
	FTP75	HWFET	FTP75	HWFET
GALONES	0.3181 ± 0.0074	0.1870 ± 0.0020	0.3631 ± 0.0028	0.2137 ± 0.0031
LITROS	1.204 ± 0.0281	0.7079 ± 0.0074	1.3743 ± 0.0106	0.8091 ± 0.0119
DISTANCIA [KM]	17.59 ± 0.0815	18.0274 ± 0.5429	16.3710 ± 0.0478	17.0308 ± 0.0460

4. Por último el consumo de combustible en [L/100km] del Chevrolet Aveo Activo y Kia Sportage R, se muestran en las siguientes tabla.

TABLA 9
CONSUMO ESTIMADO DE COMBUSTIBLE EN L POR CADA 100KM, CHEVROLET AVEO ACTIVO 1.6L, 2012 Y KIA SPORTAGE R, 2.0L, 2013

	FTP75 (CICLO EN CIUDAD)	HWFET (CICLO EN CARRETERA)
CHEVROLET AVEO ACTIVO	6.85 [L/100km]	3.92 [L/100km]
KIA SPORTAGE R	8.4 [L/100km]	4.75 [L/100km]

IV. CONCLUSIONES.

Los resultados presentan consideraciones teóricas y prácticas validando los métodos empleados en las pruebas realizadas en desaceleración libre “Coast Down” y los ciclos FTP75 y HWFET en un dinamómetro de chasis.

Mediante la metodología aplicada se obtuvo los valores de **C_d** y **Fr** del Chevrolet Aveo Activo **0.56 ± 0.0923** y **0.0121 ± 0.0015** respectivamente, y a su vez los valores para el Kia Sportage R **0.53 ± 0.0715** y **0.0106 ± 0.0008** respectivamente.

Por último la estimación del consumo de combustible combinado entre los ciclos de conducción FTP75 y HWFET son: para el Aveo **5.38 [L/100km]** y para el Kia **6.57 [L/100km]**.

V. RECOMENDACIONES.

- Se deberían obtener dispositivos precisos para la obtención de los datos, como también realizar un mayor número de pruebas en carretera para obtener una estimación con un menor margen de error.

VI. TRABAJO A FUTURO.

- Esta base de datos se podría utilizar para generar leyes que mitiguen la contaminación del aire en base a consumos de combustible.
- El proyecto se podrá utilizar en el estudio de reglamentos e incentivos fiscales para la adquisición de vehículos amigables con el medio ambiente.
- Realizar pruebas utilizando un flujómetro para medir el consumo de combustible real, y así verificar las diferencias con los valores que brinda la base de datos de consumo estimado de combustible.

VII. AGRADECIMIENTOS.

El presente proyecto de investigación se realizó bajo la dirección y supervisión de los profesores Gustavo Álvarez, Andrés López, Francisco Torres, Daniel Cordero y Robert Rockwood, a quienes nos gustaría expresar nuestro más sincero agradecimiento.

REFERENCIAS.

- Achour, H. y Olabi, A. (2015). *Driving Cycle Development And Their Impacts On Energy Consumption of Transportation*. Journal of Cleaner Production, pp. 1-25.
- Adam Schneider. (2003-2016). *GPS Visualizer*. GPS Visualizer: <http://www.gpsvisualizer.com/elevation>.
- Alejandra Marconi. (2014). *Tendencias mundiales en el sector automotriz*. Volumen (787).Revista Novedades. pp. 2-6.
- Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEAE). (2016). *ANUARIO*. Cifras. recuperado de: <http://www.aeade.net/anuario-2016/anuario2016.pdf>
- Bryan Alexander Lima Oyola. (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 máxima demanda en función de ciclos de conducción* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador.
- El vehículo. (10 agosto 2017). *Transporte*. drtcsanmartin. Recuperado de: http://www.drtcsanmartin.gob.pe/documentos/manual_conductor/cap08_transporte.pdf
- Engeneering360. (2010). Standard: SAE J1263. Recuperado de: <http://standards.globalspec.com/std/1232323/sae-j1263>
- EPA. (2017). *Fuel Economy Guide*. Pag.7-54. Recuperado de: <https://www.fueleconomy.gov/feg/pdfs/guides/FEG2017.pdf>
- Gillespie T. (1992). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, Society of Automotive Engineers, United States.
- INER. (2013). *Identificación de las necesidades de eficiencia energética en el transporte*. ISEREE. pp. 1-9.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2016). *El parque automotor de Ecuador creció 57% en cinco años*. INEC. Recuperado de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/el-parque-automotor-de-ecuador-crecio-57-en-cinco-anos/>.
- Ion, P., Covaciu, D., y Ciolan, G. (2010). *Coast Down Test-Theoretical and Experimental Approach*. CONAT, pp. 155-162.
- Jorge Luis López Terán. (2013). *Evaluación del consumo de combustible de vehículos livianos en el distrito metropolitano de Quito (Tesis de Maestría)*. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- Microsoft. (2013). *Gradiente reducido generalizado (GRG) no lineal*. Recuperado de: <https://support.office.com/es-es/articulo/Definir-y-resolver-un-problema-con-Solver-9ed03c9f-7caf-4d99-bb6d-078f96d1652c>
- Resistencia a la rodadura. (2012-2017). *Todo sobre el neumático*. España. Recuperado de: <http://www.michelin.es/neumaticos/consejos/todo-sobre-el-neumatico/resistencia-a-la-rodadura>.
- The official US. Government source for fuel economy information. (2017). Compare side-by-side. Recuperado de: <https://www.fueleconomy.gov/feg/Find.do?action=sbs&id=20679&id=34761>.
- The official US. Government source for fuel economy information. (2017). US Department of Energy. Recuperado de: <http://www.fueleconomy.gov/>.
- Tong, H., Hung, W., & Cheung., C. (2000). *On-Road Motor Vehicle Emissions and Fuel Consumption in Urban Driving Conditions*, Volumen (50), Air & Waste Manage Association. pp.543-554.
- United States Environmental Protection Agency. (2017). *Dynamometer Drive Schedules*. Vehicle and Fuel Emission Testing. Recuperado de: <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules>
- Velasco, C. y Velasco, J. (2014). *Efectos de la altitud sobre la combustión*, volumen (35), pp. 20-29.
- Wilson Kumar. (2016). *What is coast Down testing?*. Quora. Recuperado de: <https://www.quora.com/What-is-coastdown-testing>.
- Yépez Cadena, F. (2013). *El subsidio más grande del Ecuador no es para los más pobres*. Ramdon. Recuperado de: <https://economiarandom.wordpress.com/2013/02/18/el-subsidio-mas-grande-del-ecuador-no-es-para-los-mas-pobres/comment-page-1/>