

DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE VEHÍCULOS EN BASE A LOS CICLOS DE CONDUCCIÓN EPA FTP 75 Y EPA HWFET, EN DINAMÓMETRO DE CHASIS.

Casos de estudio: vehículos Renault Logan 1.6L, 2008 y Renault Logan 1.4L, 2011

Barriga Adrián

Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería en Mecánica Automotriz, Universidad del Azuay, Av. 24 de mayo y Hernán Malo González, Cuenca Ecuador
oso88adrian@hotmail.com

Verdugo Freddy

Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería en Mecánica Automotriz, Universidad del Azuay, Av. 24 de mayo y Hernán Malo González, Cuenca Ecuador
frvv423verdugo@hotmail.com

Resumen. En Ecuador el parque automotor entre los años 2010 y 2015 se incrementó en un 57%, este crecimiento es proporcional al consumo de combustible, por esta razón el presente artículo presenta información sobre el consumo de combustible en los vehículos Renault Logan 1.4L 2011 y Renault Logan 1.6L 2008, ya que se carece de información sobre esta índole. El consumo de combustible se estima en un dinamómetro de chasis mediante ciclos de conducción representativos, de la zona urbana (FPT 75) y de circulación en carretera (HWFET). Considerando el estado del arte referente al consumo de combustible y a la estimación de los coeficientes aerodinámico y a la rodadura, así como los valores de ajuste en carretera A, B, C, (rodadura, fricción, aerodinámico). Para la determinación de los coeficientes mencionados se aplicó la recomendación SAE J1263 que implica la ejecución de ensayos de desaceleración (coast down), mediante un sistema de adquisición de datos que se acopla en el puerto OBD II del vehículo, para obtener antecedentes como son tiempo, velocidad, altitud, latitud, longitud, consumo instantáneo de combustible del vehículo. A través del cálculo del consumo instantáneo, que se genera en los ciclos de conducción se obtuvieron valores referentes para el ciclo urbano de 1.15 [l] para el Renault Logan 1.4L y 0.7628 [l] para el vehículo Renault Logan 1.4L en el ciclo característico de carretera, se obtuvo 1.16 [l] para el vehículo Renault Logan 1.6L en el urbano y de 0.6905 [l] para el vehículo Renault Logan 1.6L en carretera.

Palabras claves: ciclos de conducción, eficiencia, consumo de combustible, coast down, coeficiente aerodinámico, resistencia a la rodadura.

I. INTRODUCCION

Entre el año 2010 y 2015 el parque automotor a nivel nacional se incrementó en un 57% (Instituto de Estadísticas y Censos del Ecuador, 2016), dado que el crecimiento es significativo y a la gran dependencia de la sociedad por el motor a combustión interna y que en el Ecuador el 42% de demanda energética en combustible, es consumida por el sector del transporte siendo el diésel en un 45% y la gasolina en un 41% (Agencia Nacional de Energía, 2016). En consideración al impacto ambiental que el consumo de combustible genera en el país es de suma importancia tener alternativas para aminorar dichos consumos y buscar alternativas de la utilización de energías renovables.

En post de reducir esta energía no renovable proveniente del petróleo, se está forzando al sector automotriz a producir vehículos que tengan un mejor rendimiento o a su vez que la fuente de energía sea amigable con el ambiente. Se han realizado estudios para determinar el consumo de combustible en donde se obtuvieron resultados muy favorables: como es el caso estudiado por Marchese y Golato, en el año 2011, los cuales estimaron el consumo en vehículos livianos y pesados en diferentes regímenes de carga en función de la resistencia a la rodadura y la aerodinámica de los vehículos. Donde obtuvieron que los vehículos livianos con un motor más eficiente y una mejora en la aerodinámica, disminuye el consumo en un 30% y en los vehículos pesados el consumo no era tan significativo.

El consumo de combustible también se encuentra asociado con la masa del vehículo y la potencia donde otro estudio asoció estas variables para estimar el consumo en el cual desarrollaron modelos de ecuaciones para determinar el consumo. (González, Rodríguez, García, Fernández, 2010). De igual manera, López Ángel en el año 2016 estimó el consumo de combustible en regímenes de conducción según el tipo de conductor y

regímenes del motor este consumo se determinó mediante la implementación de un scanner conectado al OBD II del vehículo. Para tener un mayor panorama sobre el consumo de combustible en la ciudad de Quito se estimó el consumo en las vías de mayor tráfico vehicular y que abarcaron toda la ciudad, en función de ciclos de conducción en este caso se consideró la zona geográfica y todos los factores que actúan en la dinámica del vehículo que influye en el desempeño de los motores, lo que llevo a determinar que el consumo de combustible en la ciudad de Quito, el cual es un 30% mayor al que el fabricante indica, con el fin de estimar el consumo de combustible en el año 2010, Ion Preda, Dino Covacio y Gheorghe Ciolan, estimaron el consumo de combustible por medio de desaceleración, en el cual influye todas las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo y por medio de ecuaciones y coeficientes que intervienen en movimiento del vehículo estimaron el consumo de combustible

Considerando el exceso de consumo de combustible y sus consecuencias, es útil generar una base de datos de los vehículos Renault Logan 1.4L año 2011 y el Renault Logan 1.6L año 2008 en la ciudad de Cuenca, con la finalidad de que esta información sea un aporte para la creación de políticas que ayuden a la reducción del consumo y a su vez que la sociedad opte por transportes alternativos sostenibles.

II. MATERIALES Y METODOS

Para el desarrollo de la investigación se tomaron en cuenta características técnicas constructivas de dos vehículos de la misma marca y modelos con diferente cilindrada (Tabla 2).

Tabla 2.- Especificaciones técnicas de los vehículos.

REANULT LOGAN		
Año fabricación	2011	2008
Cilindrada	1390 cm ³	1598 cm ³
Par máximo	112 Nm / 3000 rpm	131 Nm / 2500rpm
Numero de Cilindros	4	4
Numero de válvulas por cilindro	2	2
Masa	975 kg	1098 kg
Tamaño de neumáticos	165/80 R 14	185/65 R15

Fuente: Manual del vehículo

La metodología utilizada para determinar los coeficientes aerodinámicos (Cd), de rodadura (Fr), y los de ajuste en carretera, se lo realiza en condiciones de práctica como indica la SAE-J1263, que recomienda utilizar esta metodología para este tipo de prueba (prueba desaceleración o coast down).

Para la obtención de información se debe utilizar un dispositivo de adquisición de datos (data logger) el cual estará conectado directamente en el puerto OBDII del vehículo que tienen comunicación compatible con los protocolos ISO15765-4 (CAN), ISO14230-4 (KWP2000), ISO9141-2 J1850 (VPW), J1850(PWM).

El dispositivo se conecta por bluetooth a una aplicación Android "Torque", el cual permite monitorear parámetros que el vehículo detecta para su correcto funcionamiento. Estas mediciones serán obtenidas con un almacenamiento de frecuencia de 0.2 a 10 Hz, el cual la información generada por las pruebas se exporta en forma de texto, estos parámetros son:

Tabla 1.- Parámetros ELM327

Parámetros obtenidos por dispositivo		
1	Velocidad OBD	[km/h]
2	Tiempo	[seg]
3	Torque actual del motor	[Nm]
4	Flujo de combustible	[l/km]
5	Revoluciones del motor	[rpm]
6	Temperatura del aire en múltiple de admisión	[°C]
7	Presión barométrica del vehículo	[bar]

Fuente: ELM327

El consumo de combustible se estima en un dinamómetro de chasis, en función a los ciclos de conducción FPT75 que representa una conducción urbana: con un tiempo de duración de 1880 segundos y un recorrido de 11.04 millas; y el HWFET que representa una conducción en carretera: con un tiempo de duración de 765 segundos y un recorrido de 10.26 millas. En el dinamómetro de chasis se pueden cargar diferentes ciclos de conducción, tiene una potencia máxima de 1200 hp, una velocidad máxima de 362 km/h y una carga máxima de 3629 kg.

Básicamente, en el desplazamiento del vehículo intervienen cuatro fuerzas fundamentales que se oponen al movimiento: resistencia a la rodadura [1], resistencia a la pendiente [2], resistencia a la inercia [3] y resistencia a la aerodinámica [4] (Muñoz, Sanflix, Franco, Garraín, Vidal, 2010).

$$R_x = F_r \cdot N \quad [1]$$

$$R_g = m \cdot g \cdot \sin \theta \quad [2]$$

$$R_i = m \cdot a \quad [3]$$

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho \cdot V^2 \quad [4]$$

La fuerza de tracción del vehículo es igual a la sumatoria de todas las resistencias las cuales se oponen al movimiento del vehículo, La fuerza de tracción es la que permite estimar la cantidad de energía necesaria para mover el vehículo junto con la velocidad y el tiempo determinado.

$$F_X = F_d + R_x + R_g + R_i \quad [5]$$

En todo vehículo los coeficientes aerodinámicos interfieren en el consumo de combustible debido a factores como al área frontal, la masa, la resistencia al aire, la densidad, son influyen en el consumo de combustible por esta razón debemos tener en cuenta estos factores que influyen en la determinación del consumo.

Tabla 3.- Parámetros del vehículo

REANULT LOGAN		
Año fabricación	2011	2008
Área Frontal (A)	2.65 [m ²]	2.65 [m ²]
Coefficiente aerodinámico (Cd)	0.34*	0.34
densidad de aire (paire)	0.91 [kg/m ³]	0.91 [kg/m ³]
Gravedad (g)	9.81[m/s ²]	9.81 [m/s ²]
Coefficiente de rodadura (fr)	0.014	0.014
Radio de la rueda (Rd)	62 [cm]	62 [cm]

* Manual Vehículo

Con la información obtenida por las pruebas de desaceleración y el uso de hojas de cálculo se estima los coeficientes de resistencia a la aerodinámica (Cd) y la resistencia a la rodadura entre los neumáticos y la calzada (Fr) con las siguientes ecuaciones de la distancia recorrida [X], la pendiente [θ], la velocidad calculada [V] y la aceleración.

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

Donde:

V : velocidad [$\frac{m}{s}$]
 t_i : tiempo final [s]
 t_{i-1} : tiempo inicial [s]

$$\vartheta = \sin^{-1} \frac{(Alt_i - Alt_{i-1})}{x_i} [rad] \quad [7]$$

Donde:

Alt_i : Altitud final [m]
 Alt_{i-1} : Altitud inicial [m]
 x_i : distancia final [m]

$$V = (V_{i-1} - (t_i - t_{i-1})) * \frac{(Fd + Rx + Rg)}{M} [m/s] \quad [8]$$

Donde:

V_{i-1} : velocidad inicial [$\frac{m}{s}$]
 t_i : tiempo final [s]
 t_{i-1} : tiempo inicial [s]
 fd : fuerza de resistencia aerodinamica [N]
 Rx : fuerza de resistencia a la rodadura [N]
 Rg : fuerza de resistencia ala pendiente [N]
 M : masa del vehiulo [N]

$$a_{cal} = \frac{(Fd + Rx + Rg)}{M} [m/s^2] \quad [9]$$

Donde:

fd : fuerza de resistencia aerodinamica [N]
 Rx : fuerza de resistencia a la rodadura [N]
 Rg : fuerza de resistencia ala pendiente [N]
 M : masa del vehiulo [N]

Para el cálculo de los coeficientes se utilizó valores de referencia de Cd y fr que en este caso da el fabricante (Tabla 3). Mediante la gráfica velocidad – tiempo (figura 1), se compara la similitud de las curvas de velocidad obtenida en las pruebas de desaceleración libre y la calculada [8]. Para reducir el error que existe entre las velocidades se realizó por medio de interacciones para su similitud (figura 2), (Microsoft, 2017)

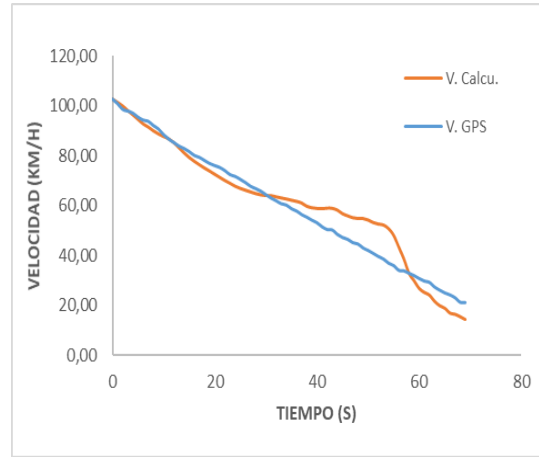


Fig.1 Gráfica de velocidad – tiempo calculada

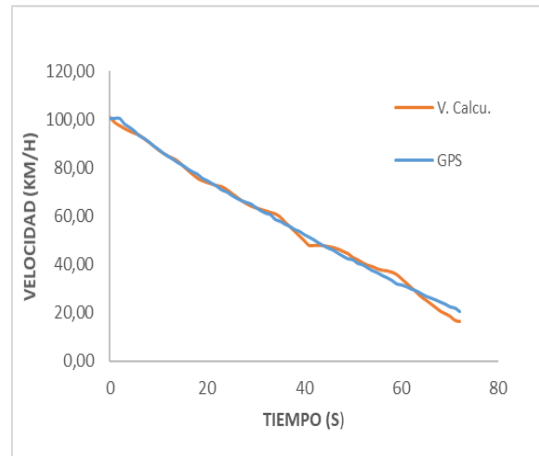


Fig. 2 Gráfica de velocidad – tiempo con ajuste

A pesar del ajuste que se realiza el valor de los coeficientes todavía no se puede asegurar que sean los correctos, esto se debe a que cada prueba que se realizó tiene su variación, por tal motivo se aplicó el método estadístico t-student, el cual se utiliza para valores de muestra menores a 30, con un nivel de confianza del 95% del valor real y un 5% de error (Escofit, s.f.).

Calculado los coeficientes aerodinámicos y de rodadura, se procede con la obtención de las fuerzas de resistencia a la rodadura [1], y la fuerza de resistencia aerodinámica [4].

Determinación de los coeficientes de ajuste de carga (a), (b), (c), (rodadura, fricción, aerodinámico), para el dinamómetro de chasis.

El coeficiente de ajuste de carretera se obtuvo por la diferencia de carga en carretera (F0, F1, F2), y los obtenidos en las pruebas realizadas en el banco dinamométrico (D0, D1, D2). La fuerza de coeficientes se determinó con el siguiente modelo.

$$F_{coef} = F0 + F1 * (V) + F2 * (V)^2 [N] \quad [10]$$

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

Donde:

F0, D0 Coeficiente de ajuste de carga de rodadura [N]

F1, D1: Coeficiente de ajuste de carga de fricción [N/(km/h)]

F2, D2: Coeficiente de ajuste de carga aerodinámico [N/(km/h)²]

En la gráfica fuerza de tracción calculada [11] – velocidad del vehículo (Figura 3), se tiene una línea de tendencia para determinar los coeficientes, esta curva es polinómica de segundo grado por lo cual se presenta la ecuación de la curva y el valor de R2 para describir la confiabilidad de la línea de tendencia, siendo más fiable cuando el valor de R2 es 0 o tiende a 1. Para reducir el error que existe entre la fuerza calculada y la velocidad se debe graficar (figura 3).

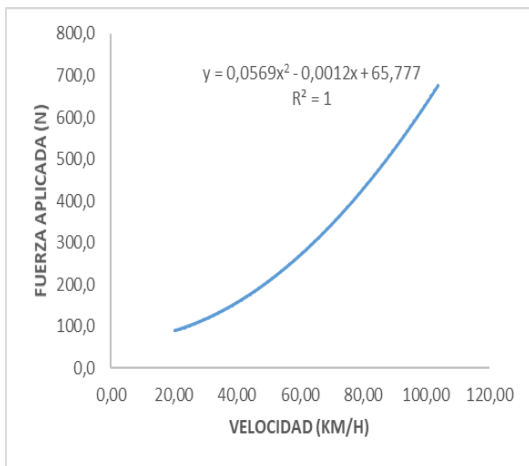


Fig. 3 Fuerza de tracción calculada con respecto a la velocidad del vehículo

Con la ecuación [10] que es igual a la obtenida en la gráfica 3 tenemos, 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.

De igual manera en el dinamómetro de chasis, se efectuaron pruebas de desaceleración libre, para determinar los mismos coeficientes ya calculados anteriormente con la única diferencia que en este caso no se considera la fuerza de tracción del vehículo, se toma 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, se realizó un intervalo de confianza de los mismos utilizando nuevamente el método estadístico “t-student” y con sus resultados realizar la estimación de los coeficientes de ajuste de carga a, b, c, donde se obtuvieron los siguientes valores:

Los coeficientes de ajuste de carga para el dinamómetro A, B, C, son los que se utilizan para simular los ajustes en carretera

cuando se estén realizando los ciclos de conducción FPT75 y el HWFET, en el dinamómetro, mientras se realiza estos ciclos es necesario que la data logger se mantenga monitorizando el consumo instantáneo que se produce en cada ciclo de conducción.

Una vez realizados los ciclos de conducción, la información generada y almacenada por la aplicación Android, se realiza una comparación gráfica de velocidad –tiempo de cada ciclo cumplido en el dinamómetro de chasis, para de esta manera comparar los consumos estimados en cada ciclo de los vehículos en mención y realizar la diferencia en los consumos.

III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos presentan una estimación del consumo de combustible en función de las fuerzas y coeficientes que actúan en el vehículo mediante pruebas libres de desaceleración en carretera y en un dinamómetro de chasis con ayuda de los ciclos de conducción representativos se estima el consumo en los vehículos de estudio.

En la tabla 4, se puede observar que los coeficientes calculados y de referencia tiene un error de confiabilidad del 5%, el cual quiere decir, que de todo el muestreo que se recopiló se tiene un alto índice de confiabilidad, a pesar de las pocas pruebas realizadas, el cual se puede mejorar con un mayor número de pruebas.

Tabla 4.- Coeficientes aerodinámico y de rodadura.

RENAULT Logan	Coeficiente aerodinámico (Cd)		Coeficiente de rodadura (fr)	
	Calculada [-]	Fabricante [-]	Calculada [-]	Referencia [-]
1400 cc	0.39±0.17	0.36 ^a	0.0165±0.0107	0.013 ^b
1600 cc	0.37±0.18	0.36 ^a	0.0135±0.0071	0.013 ^b

^aManual del vehículo ^bWong

Tabla 5.- Coeficientes ajuste carretera.

RENAULT LOGAN 1.4					
Coeficiente ajuste carretera		Coeficiente ajuste dinamómetro		Coeficientes de ajuste de carga	
F ₀	199.53	D ₀	184.79	A	14.74
F ₁	0.0159	D ₁	1.5180	B	-1.50
F ₂	0.0365	D ₂	-0.0093	C	0.05

Tabla 6.- Coeficientes ajuste carretera.

RENAULT LOGAN 1.6					
Coeficiente ajuste carretera		Coeficiente ajuste dinamómetro		Coeficientes de ajuste de carga para de chasis	
F ₀	159.55	D ₀	93.15	A	66.40
F ₁	0.02	D ₁	1.16	B	-1.14
F ₂	0.03	D ₂	-0.002775	C	0.04

En la tabla 7 se pueden observar los consumos de combustibles estimados en los diferentes ciclos de conducción, la fiabilidad de los resultados no se puede asegurar debido a que los coeficientes de ajuste en carretera no se ajustaron en el dinamómetro debido a que eran muy altos y ocasionaba endurecimiento en el rodillo del dinamómetro.

Tabla 7.- Diferencia de consumo en ciclos de conducción.

CONSUMO COMBUSTIBLE		
Vehículo	FPT75	HWFET
LOGAN 1.4	1.1546 [l]	0.7628[l]
LOGAN 1.6	1.1588[l]	0.6905[l]

Tabla 8.- Diferencia de consumo de combustible.

RENAULT	Consumo entorno urbano		Consumo entorno en carretera	
	Calculada [L/KM]	Referencia [L/KM]	Calculada [L/KM]	Referencia [L/KM]
Logan 1400 cc	6,50/100	9,2/100*	4,64/100	5,5/100*
1600 cc	6,56/100	10/100*	4,20/100	5,8/100*

Fuente: ELM327

IV. CONCLUSIONES

La base bibliográfica para esta investigación nos permite tener un mejor panorama para estimar todos aquellos factores que influyen en el consumo de combustible en los vehículos, logrando encontrar diversas formas para estimar el consumo, la que emplearemos en este proyecto es mediante la recomendación SAE J1263 de la EPA, mediante un dinamómetro de chasis, las pruebas simularán condiciones reales de operación del vehículo en un banco dinamométrico, en base a los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET.

Los valores obtenidos nos permiten crear un campo abierto sobre las consideraciones prácticas que se realizaron en este proyecto. Analizar y discutir sobre los procedimientos empleados en las pruebas realizadas de desaceleración “Coast Down” y los ciclos de conducción ya establecidos en un dinamómetro de chasis para la estimación del consumo de

combustible en los vehículos Renault logan 1.4L 2011 Y Renault logan 1.6L 2008.

El resultado de estos parámetros prácticos es adquirido mediante sistemas de intercomunicación y procesamiento de datos, principalmente a través de un receptor de información OBD-II, Esa estimación de datos será con pequeños márgenes de error, dichos errores se reducirán al aumentar el número de pruebas mencionadas anteriormente.

De este estudio se puede concluir que las características importantes de los automóviles en cuanto a su masa, coeficiente de resistencia aerodinámica, coeficiente de rodadura, eficiencia de su motor, y hasta los tamaños de los neumáticos, pueden alterar los resultados en los consumos de cada vehículo, y más aún en las pruebas de ciclos de conducción que se realizan en el dinamómetro. Para estas pruebas se permitió la estimación de los coeficientes aerodinámicos “Cd”, resistencia a la rodadura “Fr” y los coeficientes de ajuste en carretera “A, B y C”, que podrían tener ciertas variaciones.

Los resultados finales nos indican que los vehículos en estudio a pesar de ser de la misma marca y modelo con características constructivas iguales, existe una mínima diferencia en el consumo de combustible debido al cilindraje del motor. A pesar de esto, los valores de consumo obtenidos en cada ciclo, no reflejan lo que se esperaba, Esto se debe a que los coeficientes de ajuste A, B, C, no permiten realizar las pruebas de ciclos de conducción para los vehículos, ya que, al ingresar los valores a la base de datos del dinamómetro, el rodillo del sistema colapso volviéndose muy friccionado para moverse, siendo imposible realizar las pruebas, por lo que se utilizó valores nulos a cada uno de los coeficientes de ajuste.

A través del cálculo del consumo instantáneo, que se genera en los ciclos de conducción se obtuvieron valores referentes para el ciclo urbano de 1.15 [l] para el Renault Logan 1.4L y 0.7628 [l] para el vehículo Renault Logan 1.4L en el ciclo característico de carretera, se obtuvo 1.16 [l] para el vehículo Renault Logan 1.6L en el urbano y de 0.6905 [l] para el vehículo Renault Logan 1.6L en carretera

V. RECOMENDACIONES

Para garantizar el éxito en un estudio tan importante como el que se ha desarrollado, es primordial mejorar aquellos factores que están directamente relacionados con los resultados obtenidos y estos son:

- Realizar el mayor número de pruebas mencionadas anteriormente para reducir el margen de error de cada una de ellas en cada vehículo.
- Si es posible buscar una calzada ideal para realizar la prueba de desaceleración o “Coast Down”, ya que, al momento de recopilar los datos necesarios, estos

varían mucho, por las irregularidades geográficas y pendientes que esta presenta.

REFERENCIAS

- Aguirre, L. F. G., & Álvarez, S. (2006). Evaluación del consumo de los combustibles (GM, E-10 y GNC) en un vehículo de combustión interna de servicio público en la ciudad de Cali-Colombia. *Entramado*, 2(1), 52-55.
- Correa Espinal, A. A., Salazar López, J. C., & Cogollo Flórez, J. M. (2010). Evaluación del efecto de la conducción eficiente en el consumo de combustible en vehículos de transporte de carga pesada usando diseño de experimentos.
- Escofet, C. R. (n.d.). Teorema del límite central.
- 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).
- Instituto de Estadísticas y Censos del Ecuador, 2016.
- López Terán., (20.13) Evaluación del consumo de combustible de vehículos livianos en el distrito metropolitano de Quito.
- Marchese, R. A., & Golato, M. A. (2011). El consumo de Combustible y Energía en el transporte. *Revista CET/UNTucuman*, 33, 1-9.
- Microsoft. (2017). Definir y resolver un problema con Solver. 08-09-2017, de Excel Sitio web: <https://support.office.com/es-es/article/Definir-y-resolver-un-problema-con-Solver-9ed03c9f-7caf-4d99-bb6d-078f96d1652c#bm1>.
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (enero 2016). Agenda Nacional de Energía. *Agenda Nacional de Energía*, 1, 77.
- Muñoz Marzá, C., Sanfelix, J., Franco García, V., Garraín Cordero, D., Vidal, R., & Justel Lozano, D. (2010). Estimación de la reducción del consumo de combustible en vehículos como consecuencia de la reducción del peso.
- России, С. В. (2014). Renault Logan —, (495).
- Preda, I., Covaciu, D., & Ciolan, G. (2010). Coast Down Test—Theoretical and Experimental Approach.
- Wong, J. Y. (2001). Theory of ground vehycles