



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP75 Y EPA HWFET, en dinamómetro de chasis.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ

Nombre de los autores:

JHORDAN XAVIER ERRAEZ JUMBO
JONATHAN STEVEN FAJARDO REYES

Nombre del Director:

ING. MATEO COELLO SALCEDO. MSC

CUENCA-ECUADOR

2018

DEDICATORIA:

A mis padres, Mirian y Geovanny, quienes han sido la guía y el camino para poder llegar a este punto de mi carrera. Que con su ejemplo, dedicación y palabras de aliento nunca bajaron los brazos en los momentos difíciles.

Jhordan Erraez

DEDICATORIA:

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre Teresa Reyes

Por haberme apoyado en todo momento, por sus valores, perseverancia y motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi Hijo Nicolás Fajardo

Posiblemente en estos momentos no entiendas mis palabras, pero para cuando seas capaz, quiero que te des cuenta de lo que significas para mí. Le agradezco a Dios por ponerte en mi camino, que, aunque no hables y tu único medio para expresarse es el llanto, me has enseñado siendo tan pequeñito muchas sabias lecciones para la vida.

Jonathan Fajardo

AGRADECIMIENTO:

A nuestro Director de Tesis, Ing. Mateo Coello Salcedo, Msc por su generosidad al brindarnos la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica en un marco de confianza, afecto y amistad, fundamentales para la concreción de este proyecto. Al Centro de Investigación ERGON de la Universidad Del Azuay por brindarnos el espacio y la infraestructura donde desarrollar este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	2
A. Cálculo de los coeficientes de carga.....	2
1) Prueba coastdown carretera.....	2
2) Pruebas coastdown en el dinamómetro de chasis.	3
B. Medición del consumo de combustible en dinamómetro de chasis.....	4
1) Flujómetro KVM 2012.....	5
2) Interface OBD II, ELM327.....	5
3. RESULTADOS.....	5
A. Consumo de combustible del vehículo X.....	6
B. Consumo de combustible vehículo Y.....	7
4. CONCLUSIONES.....	7
5. REFERENCIAS.....	8

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Test de desaceleración libre	3
Figura 2. Dinamómetro de chasis	4
Figura 3. Ciclo de conducción FTP75	4
Figura 4. Ciclo de conducción HWFET	4
Figura 5. Metodología consumo de combustible.....	5
Figura 6. Obtención de coeficientes de carga, mediante regresión polinomial de segundo grado. .5	
Figura 7. Consumo de combustible del vehículo X.....	6
Figura 8. Comparación Consumo de combustible.....	6
Figura 9. Consumo de combustible del vehículo Y.....	7
Figura 10. Comparación Consumo de combustible.....	7
Figura 11. Consumo de combustible anual.	7
Figura 12. Consumo de combustible OBDII, Flujometro y Fabricante del vehículo X	8
Figura 13. Consumo de combustible OBDII, Flujometro y Fabricante del vehículo Y.	8

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características técnicas de los vehículos	2
Tabla 2. Coeficientes de carga en carretera	5
Tabla 3. Coeficientes de carga en dinamómetro de chasis	6
Tabla 4. Coeficientes de carga finales	6
Tabla 5. Consumo de combustible vehículo X.....	6
Tabla 6. Consumo de combustible del Vehículo Y.....	7

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: Chevrolet Aveo Activo 1.6L, 2011 y Kia Picanto 1.1L, 2006

RESUMEN

El presente trabajo propone determinar el consumo de combustible en dos de los vehículos más comercializados en la ciudad de Cuenca (Chevrolet Aveo Activo 2011 y Kia Picanto 2006). Para ello se utilizó un dinamómetro de chasis y ciclos de conducción establecidos por la EPA (FTP75 y HWFET). Se definieron los coeficientes de carga A (inercia), B (fricción) y C (arrastre) que actúan sobre un vehículo, simulando las condiciones de carretera. Para esto se realizan pruebas *coastdown* en carretera y en el dinamómetro, bajo la norma ISO 10521. Para determinar el consumo se utilizó un medidor de flujo de combustible y una Interface OBDII. Los resultados para el ciclo urbano y extra urbano fueron de 8,377 L/100km y 6,644 L/100km, para el Chevrolet Aveo Activo; y de 6,45 L/100km y 6,09 L/100km para el Kia Picanto.

Palabras claves: *coastdown*, dinamómetro de chasis, consumo de combustible, ciclos de conducción, ISO 10521, EPA HWFET, EPA FTP75.



Ing. Mateo Coello Salcedo, MSc

Director de Escuela



Ing. Mateo Coello Salcedo, MSc.

Director del trabajo de titulación



Jhordan Xavier Erraez Jumbo

Autor



Jonathan Steven Fajardo Reyes

Autor

Determination of vehicle fuel consumption based on EPA FTP 75 and EPA HWFET driving cycles in chassis dynamometer.

Study Cases: 2011 Chevrolet Aveo Activo 1.6L and 2006 Kia Picanto 1.1L.

ABSTRACT

This work aims to determine the fuel consumption in two of the most commercialized vehicles in Cuenca (2011 Chevrolet Aveo Activo and 2006 Kia Picanto). Driving cycles established by the EPA (FTP75 and HWFET) and a chassis dynamometer were used. The load coefficients A (inertia), B (friction) and C (drag) that operate on the vehicle were defined to simulate road conditions. Coastdown tests were performed on the road and on the dynamometer under ISO 10521. A fuel flow meter and an OBDII Interface were used to determine the consumption. The results for the urban and extra urban cycle were 8,377 L/100km and 6,644 L/100km for the Chevrolet Aveo Activo and of 6,45 L/100km and 6,09 L/100km for the Kia Picanto.

Keywords: *coastdown*, chassis dynamometer, fuel consumption, driving cycles, ISO 10521, EPA HWFET, EPA FTP75.



Ing. Mateo Coello Salcedo, MSc

Faculty Director



Jhordan Xavier Erraez Jumbo

Author



Ing. Mateo Coello Salcedo, MSc.

Thesis Director

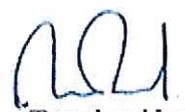


Jonathan Steven Fajardo Reyes

Author



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by
Ing. Paul Arpi

Trabajo de Titulación.

Jhordan Erraez Jumbo

Jonathan Fajardo Reyes

Septiembre, 2018

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: Chevrolet Aveo Activo 1.6L, 2011 y Kia Picanto 1.1L, 2006

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador no existe una base de datos de consumo de combustible de los vehículos que circulan en el medio. Si bien algunos fabricantes de vehículos brindan esta información, no se sabe con exactitud si estos datos se ajustan a las condiciones en las que los vehículos operan, ciudades en la sierra entre 2000 y 3000 msnm, topografías de las vías con altas pendientes y combustible con un octanaje inferior al que el fabricante recomienda. El propósito de este trabajo es alimentar a una base de datos con el consumo de combustible de los vehículos que circulan en la localidad en base a los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET en dinamómetro de chasis.

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: Chevrolet Aveo Activo 1,6L, 2011 y Kia Picanto 1,1L, 2006

Jhordan Erraez Jumbo
Facultad de Ciencia y
Tecnología, Ingeniería en
Mecánica Automotriz.
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador.
jxerreaez@gmail.com

Jonathan Fajardo Reyes
Facultad de Ciencia y
Tecnología, Ingeniería en
Mecánica Automotriz.
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador.
24jonathan1992@gmail.com

Mateo Coello Salcedo
Centro de Investigación y
Desarrollo en Ingeniería
Automotriz (ERGON).
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador.
mfcoello@uazuay.edu.ec

Andrés López Hidalgo
Centro de investigación
Desarrollo en Ingeniería
Automotriz (ERGON).
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador
alopezh@uazuay.edu.ec

Daniel Cordero Moreno
Centro de Investigación y
Desarrollo en Ingeniería
Automotriz (ERGON).
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador.
dacorderom.uazuay.edu.ec

Resumen. El presente trabajo propone determinar el consumo de combustible en dos de los vehículos más comercializados en la ciudad de Cuenca (Chevrolet Aveo Activo 2011 y Kia Picanto 2006). Para ello se utilizó un dinamómetro de chasis y ciclos de conducción establecidos por la EPA (FTP75 y HWFET). Se definieron los coeficientes de carga A (inercia), B (fricción) y C (arrastre) que actúan sobre un vehículo simulando las condiciones de carretera. Para esto se realizan pruebas *coastdown* en carretera y en el dinamómetro, bajo la norma ISO 10521. Para determinar el consumo se utilizó un medidor de flujo de combustible y una Interface OBDII. Los resultados para el ciclo urbano y extra urbano fueron de 8,377 L/100km y 6,644 L/100km, para el Chevrolet Aveo Activo; y de 6,45 L/100km y 6,09 L/100km para el Kia Picanto.

Palabras claves: *coastdown*, dinamómetro de chasis, consumo de combustible, ciclos de conducción, ISO 10521, EPA HWFET, EPA FTP75.

Abstract. This work aims to determine the fuel consumption in two of the most commercialized vehicles in Cuenca (2011 Chevrolet Aveo Activo and 2006 Kia Picanto). Driving cycles established by the EPA (FTP75 and HWFET) and a chassis dynamometer were used. The load coefficients A (inertia), B (friction) and C (drag) that operate on the vehicle were defined to simulate road conditions. Coastdown tests were performed on the road and on the dynamometer under ISO 10521. A fuel flow meter and an OBDII Interface were used to determine the consumption. The results for the urban and extra urban cycle were 8,377 L/100km and 6,644 L/100km for the Chevrolet Aveo Activo and of 6,45 L/100km and 6,09 L/100km for the Kia Picanto.

Keywords: *coastdown*, chassis dynamometer, fuel consumption, driving cycles, ISO 10521, EPA HWFET, EPA FTP75

INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud certificó que el 98% de las ciudades de los países en desarrollo con más de 100,000 habitantes no cumplen con los estándares de calidad del aire [1]. Así mismo, un informe de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, estimó que el 33 % de emisiones CO₂ en el 2011, fueron del sector del transporte, de las cuales el 63% son provenientes del transporte por carretera [2]. Por otra parte, en el 2011, el 59% de la producción total de petróleo se utilizó para el transporte y se estima que para el 2040 ascienda a 63%, lo que representaría un consumo diario de 70 mb [3]. Por lo tanto, los fabricantes de automóviles están bajo presión para proporcionar vehículos más respetuosos con el medio ambiente y más eficientes en cuanto al consumo de combustible [4].

En Ecuador, el balance de energía calculado cada año por el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (MICSE) muestra que el sector del transporte es el mayor consumidor de combustible en el país. En el año 2015, el consumo total de combustible del país fue de aproximadamente 43.7 millones de Barriles de Petróleo (BEP), donde los combustibles más demandados fueron: diésel, gasolina convencional y premium, kerosene y búnker. El transporte por carretera es el más significativo en términos de consumo de energía, ya que demanda más del 87% de las necesidades totales en el sector [5].

Hay varias metodologías para determinar el consumo de combustible. La selección de un método adecuado depende generalmente de la instrumentación que se implemente. La Unión Europea mediante el IDEA (*Instituto para la diversificación y ahorro de la energía*) y la VCA (*Agencia de*

certificación de vehículos), utiliza un dinamómetro de chasis, donde el conductor sigue rutas estándar, denominados ciclos de conducción que son curvas de velocidad-tiempo y representan patrones de manejo típico de una ciudad o región. El IDEA y la VCA utiliza un ciclo de conducción, el NEDC (*Nuevo ciclo de conducción europeo*). [6]

Por otro lado, la EPA (*Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos*) posee una base de datos con el consumo de combustible de diversos vehículos, para esto utiliza 2 ciclos de conducción, el FTP75 (*Procedimiento de prueba federal*) y el HWFET (*Prueba de economía de combustible en carretera*) [7]. Estos valores de consumo de combustible se obtienen en condiciones de pruebas específicas y, por lo tanto, no necesariamente se logran en condiciones de conducción de la vida real. Una variedad de factores puede influir en el consumo real de combustible, por ejemplo, el estilo de conducción y el comportamiento, así como el entorno y las condiciones bajo las cuales se opera el vehículo. [8]

En Grecia, en la ciudad de Patra en su estudio denominado Impacto de la altitud en el consumo de combustible de un automóvil a gasolina, se determinó el consumo de combustible en dos diferentes altitudes 700 y 2200 msnm, implementando tres ciclos conducción estandarizados, el autor concluye que existe una disminución de consumo de combustible en la altura con los ciclos de conducción FTP75 y NEDC cuya diferencia porcentual es 2.5% y 3.5% respectivamente. Además, en el ciclo de conducción HWFET presenta una tendencia negativa, es decir existe un aumento de combustible cuya diferencia porcentual es 6.5 %. [9].

En la ciudad de Quito se desarrollaron ciclos de conducción para evaluar el rendimiento de combustible, tanto en ciudad como en carretera, los resultados obtenidos fueron que el consumo en ciudad es 11.287 L/100km y en carretera 7.524 L/100km. Además, realizaron una comparación del rendimiento de combustible, implementando los ciclos de conducción desarrollados, cuya diferencia porcentual fue 36% mayor a los datos proporcionados por el fabricante. [10]

En Ecuador, en la ciudad de Cuenca se determinó el consumo de combustible de vehículos categoría M1, para ello se tomó como base la norma SAE J1321:2012 *Fuel Consumption Test Procedure*, donde se utiliza métodos de recolección de datos y análisis estadístico para medir el consumo. Por otra parte, realiza pruebas en dinamómetro de chasis, con ciclos de conducción locales [11].

En el Ecuador no existe una base de datos de consumo de combustible de los vehículos que más circulan en el país. Si bien algunos fabricantes de vehículos brindan esta información, no se sabe con exactitud si estos datos se ajustan a las condiciones en las que los vehículos operan en la localidad, ciudades en la sierra entre 2000 y 3000msnm, topografía de las vías con altas pendientes y combustible con un octanaje inferior

al que el fabricante recomienda.

Por todo lo expuesto anteriormente, el propósito de este trabajo es alimentar a una base de datos con el consumo de combustible de los vehículos que circulan en la ciudad de Cuenca; con base en los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET en dinamómetro de chasis. Esta información se podría utilizar en futuros estudios de mitigación sobre el impacto que generan los vehículos al medio ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la determinación del consumo de combustible, este estudio toma como referencia la norma ISO 10521, la cual, consta de dos partes: ISO 10521 (1) describe el método para obtener los coeficientes de carga A, B y C bajo condiciones atmosféricas de referencia en carretera y la ISO 10521 (2) reproducción de carga en el dinamómetro de chasis.

Estos coeficientes de carga describen la fuerza total, A (inercia), B (fricción) y C (arrastre) que actúan sobre un vehículo, las cuales generan la carga en los rodillos del banco dinamométrico, simulando las condiciones de carretera.

Este estudio abarca el análisis del consumo de combustible de dos vehículos de prueba, los cuales fueron denominados como: Vehículo X: Chevrolet Aveo Activo 1.6L, 2011 y Vehículo Y: Kia Picanto 1.1L, 2006.

En la Tabla 1 se aprecia las características de cada vehículo de prueba.

Tabla 1. Características técnicas de los vehículos

Características	Vehículo	
	Vehículo X	Vehículo Y
Año	2011	2006
Cilindrada	1600 cm ³	1100 cm ³
Transmisión	Manual	Manual
Torque/rpm	14.7 kg-m a 3600 rpm	9.8 kg-m a 2800 rpm
Potencia/rpm	103hp a 6000rpm	64hp 5500 rpm
Combustible	Gasolina	Gasolina
Peso bruto vehicular	1535 Kg	1350 kg
Peso en vacío	1125 Kg	966 kg

A. Cálculo de los coeficientes de carga.

1) Prueba coastdown carretera.

Las pruebas se realizan bajo la norma ISO 10521 (1), donde se efectúan pruebas de desaceleración libre (*coastdown*), para esto el vehículo debe llegar a una velocidad de 100 km/h, y dejar que el vehículo se detenga por la resistencia a la rodadura y por acción del aire, para esto se debe colocar la caja de cambios en posición neutral.

Las pruebas *coastdown*, se llevaron a cabo en la provincia del Azuay, ciudad Cuenca, parroquia Cumbe, en la carretera panamericana 35. Esta encuentra ubicada a 2639 msnm, una distancia total de 2 km aproximadamente y posee una inclinación máxima de 2.4%.

A continuación, se detallan algunos requisitos para realizar las pruebas *coastdown*:

- El vehículo debe estar en condiciones normales según lo especificado por el fabricante, es decir: presión de los neumáticos, alineación de las ruedas, altura del vehículo, lubricantes en el tren motriz y el ajuste de los frenos para evitar la resistencia parásita no deseada.
- Antes de la prueba, el vehículo debe pre acondicionarse adecuadamente, para alcanzar la temperatura óptima de funcionamiento, se recomienda conducir el vehículo durante un período de 30 minutos.
- Durante la prueba de carretera, cualquier cubierta del sistema de ventilación de aire, faros, etc., deberá estar cerrada y el aire acondicionado apagado.
- El movimiento del volante se debe evitar tanto como sea posible, y el vehículo no se operará hasta el final de la desaceleración.
- Repetir la prueba, teniendo cuidado de comenzar la desaceleración a la misma velocidad y condiciones previas.
- Realizar el test de desaceleración libre en ambas direcciones para eliminar la pendiente.
- Si, durante un test en una dirección, el conductor se ve obligado a cambiar bruscamente la dirección del vehículo, esta medición y la medida emparejada en la dirección opuesta serán rechazadas.

Para la obtención de los datos de velocidad y tiempo los vehículos son instrumentados con un sistema de posicionamiento global (GPS VBOX SPORT) con frecuencia de 20Hz. En la Figura 1 se aprecia la curva característica de la prueba de desaceleración libre, en donde disminuye la velocidad en función del tiempo.

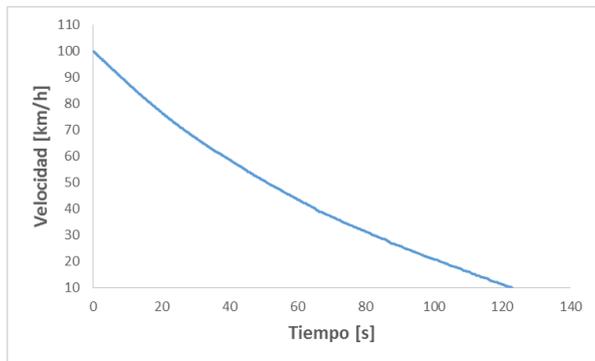


Figura 1. Test de desaceleración libre

Es necesario calcular la fuerza requerida en rueda, para ello, se utiliza la ecuación 1.

$$F_t = ((m + m_r) / 3.6) \times 2 \Delta V / \Delta t \quad (1)$$

En donde:

m: es la masa del vehículo de prueba, incluidos el conductor y los instrumentos, en kilogramos (kg);

m_r: se puede estimar como el 3% de la masa del vehículo sin carga.

A partir de la Ecuación 1 se obtiene un valor de fuerza respecto a cada valor de velocidad, generando un diagrama fuerza-velocidad, se obtiene los coeficientes de carga mediante el método de regresión polinomial de segundo grado, donde obtendrá:

$$F = A_t + B_t V + C_t V^2 \quad (2)$$

$$A_t = [N]$$

$$B_t = [N / (km/h)]$$

$$C_t = [N / (km/h)^2]$$

En donde A_t, B_t, y C_t son los coeficientes de carga en carretera, ecuación 2.

Definidos los coeficientes de carga en carretera, es necesario aplicar los factores de corrección de acuerdo a la norma ISO 10521 (2) para esto se aplicarán las ecuaciones 3, 4 y 5:

$$A_d = 0.5 \times A_t \quad [3]$$

$$B_d = 0.2 \times B_t \quad [4]$$

$$C_d = C_t \quad [5]$$

En donde A_d, B_d y C_d son los coeficientes de carga inicial del rodillo del dinamómetro de chasis.

Previo a realizar las pruebas *coastdown* en el dinamómetro de chasis, es necesario ingresar estos coeficientes, que se utilizarán como configuración de carga inicial del rodillo

2) Pruebas *coastdown* en el dinamómetro de chasis.

El dinamómetro de chasis utilizado para el test de aceleración libre, se puede observar en la Figura 2. El cual posee un rodillo de 30" de diámetro, capacidad para soportar una velocidad máxima de 362 km/h, una potencia máxima de absorción de 1200 Hp, y soporta un peso máximo de 3629 kg.



Figura 2. Dinamómetro de chasis.

Las pruebas se realizan bajo la norma ISO 10521 (1), donde se efectúan pruebas de desaceleración libre, para esto el vehículo debe llegar a una velocidad de 100 km/h, y dejar que el vehículo se detenga por la carga generada en el rodillo. Para esto se debe colocar la caja de cambios en posición neutral.

Para la obtención de los datos de velocidad y tiempo se utiliza el software del banco dinamométrico, el cual entrega datos a 1Hz de frecuencia. Por otra parte, es necesario calcular la fuerza requerida en rueda, para ello, se utiliza la ecuación 6.

$$F_t = ((m_d + m'_r) / 3.6) \times 2 \Delta V / \Delta t \quad (6)$$

En donde:

m_d : es la masa de inercia equivalente del dinamómetro del chasis, en kilogramos (kg);

m'_r : es la masa efectiva equivalente de las ruedas motrices y componentes del vehículo que giran con las ruedas durante la desaceleración en el dinamómetro, en kilogramos (kg). Se puede estimar como el 1.5% de la masa del vehículo sin carga.

De la misma manera, con la ecuación 6 se obtiene un valor de fuerza respecto a cada valor de velocidad, generando un diagrama fuerza-velocidad, se obtiene los coeficientes de carga mediante el método de regresión polinomial de segundo grado, donde obtendrá:

$$F_s = A_s + B_s V + C_s V^2 \quad (7)$$

$$A_s = [N]$$

$$B_s = [N / (km/h)]$$

$$C_s = [N / (km/h)^2]$$

En donde A_s , B_s y C_s son los coeficientes de carga del dinamómetro de chasis, ecuación 7.

Para obtener los coeficientes finales de carga A, B y C, la norma ISO 10521 (2) establece las ecuaciones 8, 9 y 10.

$$A = A_t + A_d - A_s \quad [8]$$

$$B = B_t + B_d - B_s \quad [9]$$

$$C = C_t + C_d - C_s \quad [10]$$

Las siglas s, t y d, hacen referencia a *simulate*, *target* y *dynamometer* respectivamente.

Estos serán introducidos en el dinamómetro de chasis para realizar las pruebas de consumo de combustible.

B. Medición del consumo de combustible en dinamómetro de chasis.

El procedimiento para la medición del consumo de combustible es seguir las trayectorias de los ciclos de conducción que se cargan en el dinamómetro de chasis, considerando las condiciones de la localidad de Cuenca. Para esto se utilizan dos ciclos de conducción, el FTP75 y el HWFET.

El FTP75 posee una distancia total 11.04 millas (17.77 km), una velocidad media de 21.2 mph (34.12 km/h), velocidad máxima de 56.7 mph (91.26 km/h) y una duración de 1874 segundos (Figura 3).



Figura 3. Prueba de laboratorio (Ciclo de conducción FTP75)

El HWFET posee una distancia total de 10.26 millas (16.45 km), una velocidad media de 48.3 mph (77.7 km/h) velocidad máxima de 59.9 mph (96.4 km/h) y una duración de 765 segundos (Figura 4).



Figura 4. Prueba de laboratorio (ciclo de conducción HWFET).

Para obtener los datos del consumo de combustibles se utilizan los siguientes equipos:

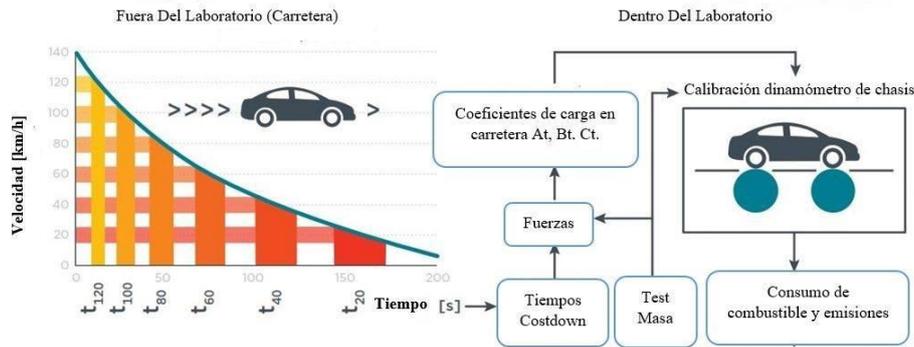


Figura 5. Metodología consumo de combustible

1) Flujómetro KVM 2012

Para esta medición se cuenta con un medidor de flujo de combustible KVM 2012 con rango de operación de 20 a 100°C, un rango de presión de -1 a 16bar y capacidad para medir un flujo de 15 a 500 L/h. Este equipo se lo conecta directamente en el sistema de alimentación del vehículo, generando así datos de consumo de combustible en tiempo real.

2) Interface OBD II, ELM327

Para esta medición se cuenta con un sistema de adquisición de datos del motor a través del puerto de conexión OBDII, con este equipo se puede estimar el consumo de combustible mediante la relación de variables físicas, 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.

En la Figura 5, se puede observar en resumen la metodología a seguir para la determinación del consumo de combustible.

RESULTADOS

A partir de la regresión polinomial de segundo grado se obtuvieron tanto los coeficientes de carga en carretera como en el dinamómetro de chasis. En la Figura 6 se aprecia la regresión polinomial donde se puede observar que, a mayor velocidad, mayor será la fuerza que se opone al movimiento del vehículo.

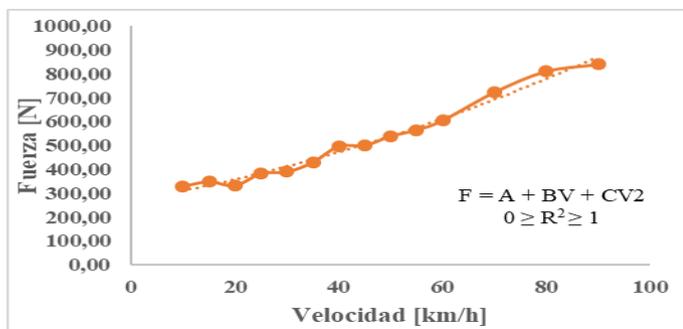


Figura 6. Obtención de coeficientes de carga, mediante regresión polinomial de segundo grado.

Los coeficientes de carga obtenidos de las pruebas *coastdown* en carretera se describen en la tabla 2.

Tabla 2. Coeficientes de carga en carretera

Vehículo X		
At	435,465 ± 276,16	[N]
Bt	3,109 ± 2,821	[N/(km/h)]
Ct	0,038 ± 0,029	[N/(km/h) ²]
Vehículo Y		
At	380,285 ± 161,659	[N]
Bt	3,350 ± 1,809	[N/(km/h)]
Ct	0,024 ± 0,015	[N/(km/h) ²]

Para este análisis no se consideraron los coeficientes de carga inicial del rodillo. Es decir, Ad, Bd, Cd con valores de cero.

Por lo que la ecuación final para determinar los coeficientes A, B y C es:

$$A = At - As \quad [11]$$

$$B = Bt - Bs \quad [12]$$

$$C = Ct - Cs \quad [13]$$

Los coeficientes de carga obtenidos de las pruebas *coastdown* en el dinamómetro de chasis se describen en la Tabla 3.

Tabla 3. Coeficientes de carga en dinamómetro de chasis

Vehículo X		
A _s	235,251 ± 10,771	[N]
B _s	2,663 ± 0,443	[N/(km/h)]
C _s	-0.006 ± 0.004	[N/(km/h) ²]
Vehículo Y		
A _s	177,984 ± 7,771	[N]
B _s	3.283 ± 0,677	[N/(km/h)]
C _s	-0.014 ± 0,005	[N/(km/h) ²]

Los coeficientes finales obtenidos se pueden observar en la Tabla 4. Para lo cual se utilizaron las Ecuaciones 11, 12 y 13.

Tabla 4. Coeficientes de carga finales

Vehículo X		
A	200,214	[N]
B	0,475	[N/(km/h)]
C	0,044	[N/(km/h) ²]
Vehículo Y		
A	202,300	[N]
B	0,067	[N/(km/h)]
C	0,039	[N/(km/h) ²]

Se determinó el consumo de combustible de los vehículos seleccionados siguiendo los ciclos de conducción HWFET Y FTP75. Para esto se instrumentó a los vehículos con los equipos mencionados anteriormente que son: flujómetro e Interface OBDII, ELM327.

A. Consumo de combustible del vehículo X

En la Tabla 5 se puede observar el consumo de combustible obtenido con cada equipo de medición.

Tabla 5. Consumo de combustible vehículo X.

CICLO DE CONDUCCIÓN	VEHÍCULO X		Unidades
	Equipos		
	KVM 2012	ELM 327	
HWFET	6,644±0,05	7,765±0,07	[L/100km]
FTP75	8,377±1,20	9,944±1,18	[L/100km]

Como se puede observar en la Figura 7 el consumo de combustible obtenido por el flujómetro en el ciclo de conducción HWFET es 16.9% menor al brindado por el ELM 327. Así mismo el consumo en el ciclo de conducción FTP75 proporcionado por el flujómetro es 18% menor al calculado por el OBD II, ELM327.

Esta diferencia se debe a que el OBDII realiza un cálculo considerando variables físicas del motor, mencionadas anteriormente. Y el flujómetro mide de manera física el consumo de combustible, ya que este se conecta directamente en el sistema de alimentación del vehículo.

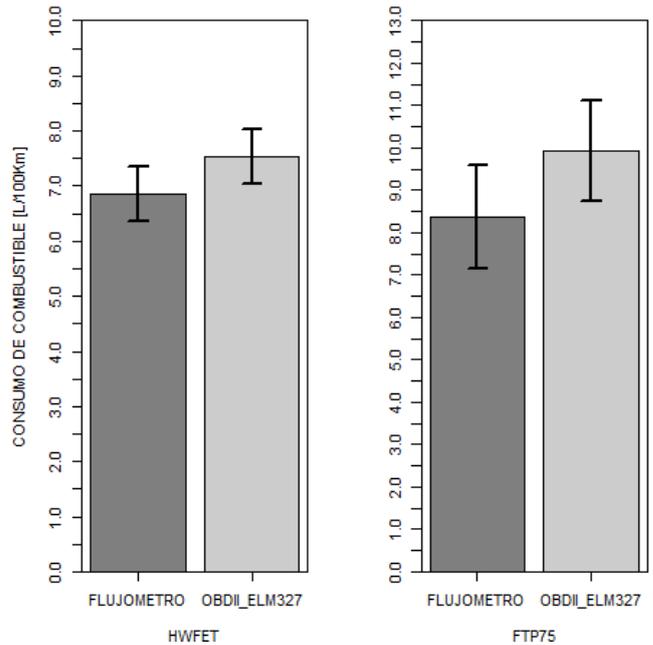


Figura 7. Consumo de combustible del vehículo X.

Por otra parte, la Figura 8 muestra una comparación del consumo de combustible entre los datos obtenidos por el flujómetro y los del fabricante.

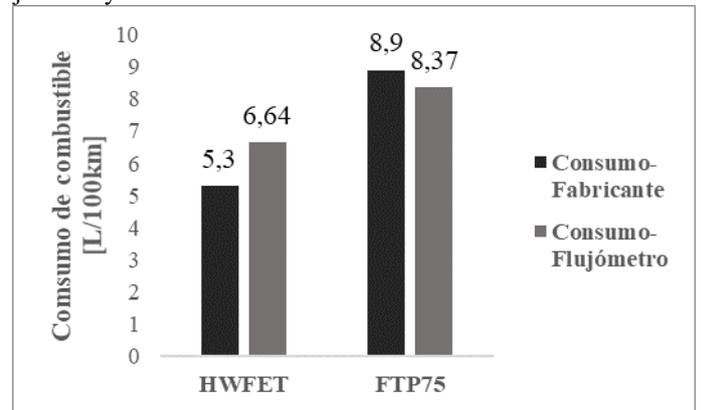


Figura 8. Comparación Consumo de combustible.

Como se puede observar en la Figura 8 el consumo de combustible obtenido por el flujómetro en el ciclo HWFET es 25% mayor a los datos proporcionados por el fabricante. Así mismo, el consumo en el ciclo FTP75 es 5% menor a los datos del fabricante.

Esta diferencia se debe a las condiciones a las cuales fueron realizadas las pruebas. Ya que no existe información de la metodología implementada por el fabricante.

B. Consumo de combustible vehículo Y.

En la Tabla 6 se puede observar el consumo de combustible obtenido con los equipos de medición del vehículo Y.

Tabla 6. Consumo de combustible del Vehículo Y.

VEHÍCULO Y			
CICLO DE CONDUCCIÓN	Equipos		Unidades
	KVM 2012	ELM 327	
HWFET	6,09±0,13	7,13±0,3 3	[L/100km]
FTP75	6,45±0,10	7,90±0,2 4	L/100 km]

El consumo de combustible obtenido por el flujómetro, en el ciclo de conducción HWFET es 17 % menor al calculado por el ELM327. Así mismo, la Figura 9 muestra que el consumo proporcionado por el flujómetro en el ciclo de conducción FTP75 es 22.4% menor al brindado por el ELM 327.

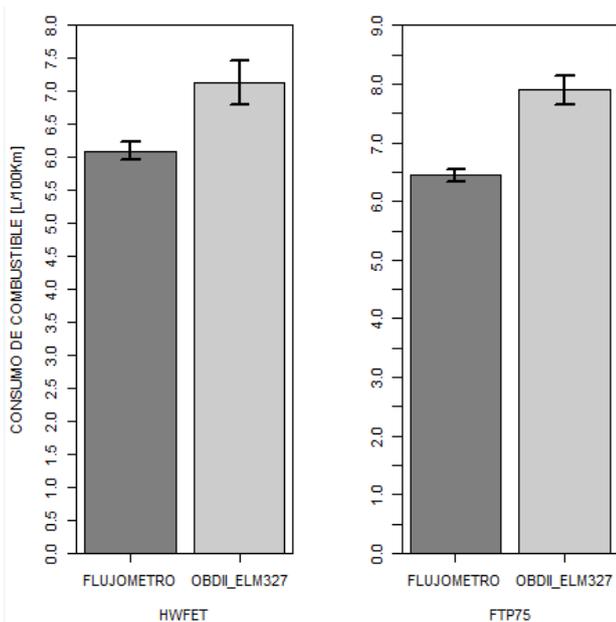


Figura 9. Consumo de combustible del vehículo Y.

Como se puede observar en la Figura 10 el consumo de combustible obtenido por el flujómetro en el ciclo FTP75 es 0.67% menor a los datos proporcionados por el fabricante. Así mismo, el consumo en el ciclo HWFET es 27% mayor a los datos del fabricante.

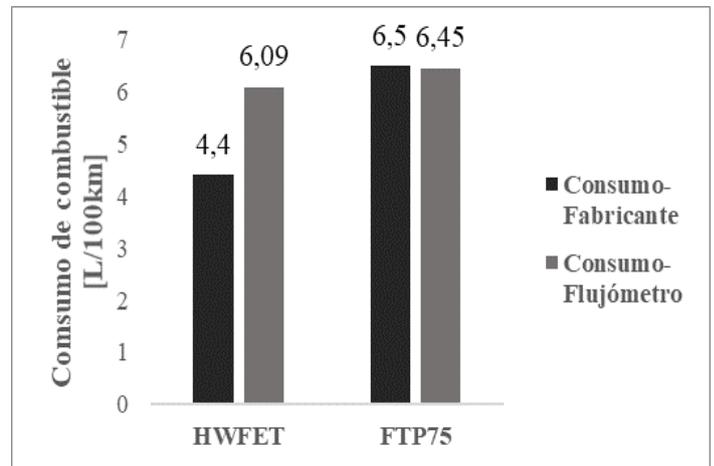


Figura 10. Comparación consumo de combustible.

Si se considera el KVR (indicador de kilómetros recorridos) local que es 36.04 km/día [12], se estima que el consumo de combustible del vehículo X es 873. 4 L/año y del vehículo Y es 822.23 L/año.

Como se puede observar en la Figura 11, el consumo de combustible anual del vehículo X es, 5.8% mayor al vehículo Y. Esto se debe a las características técnicas de cada vehículo, ya que el vehículo X presente mayor cilindrada.

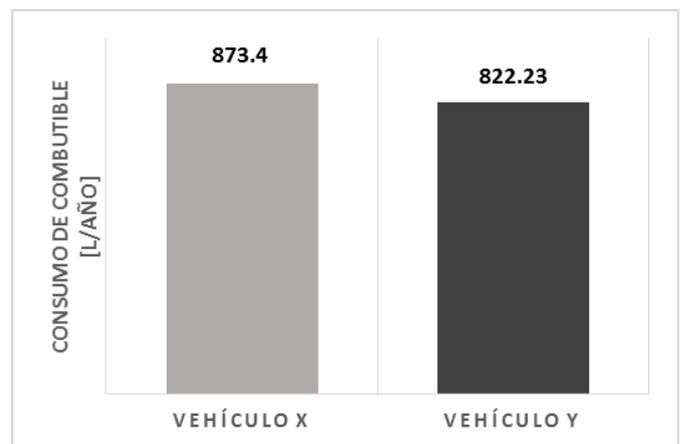


Figura 11. Consumo de combustible anual.

CONCLUSIONES.

Para la estimación de consumo de combustible, se utilizan ciclos de conducción que representan la forma típica de conducción en ciudad y carretera. Las mediciones se llevaron a cabo en dinamómetro de chasis siguiendo ciclos de conducción establecidos por la EPA, el FTP75 y HWFET, siendo estos los más representativos a nivel mundial.

Al seguir la metodología de la norma ISO 10521 se obtuvieron los coeficientes de carga de configuración del dinamómetro de chasis. Los coeficientes para el vehículo X son: $A=200,214$ [N], $B=0,475$ [N/(km/h)] y $C= 0,044$ [N/(km/h)²]; para el vehículo X son: $A=202,300$ [N], $B=0.067$ [N/(km/h)] y C igual a $0,039$ [N/(km/h)²].

Para determinar el consumo de combustible se utilizaron dos dispositivos: flujómetro e interfaz OBII, siguiendo los ciclos de conducción FTP75 y HWFET mediante un dinamómetro de chasis. Se realizó un total de 20 pruebas en cada vehículo, los resultados obtenidos fueron: Vehículo X: flujómetro 6.64 L/100km y con ELM327 7,765 L/100km en el ciclo de conducción HWFET. De la misma manera para el ciclo de conducción FTP75: flujómetro 8.377 L/100km y con ELM327 9.944 L/100km. En cuanto al vehículo Y, los resultados obtenidos fueron: flujometro 6,09 L/100km y con ELM327 7.13 L/100km, en el ciclo de conducción HWFET, así mismo para el ciclo de conducción FTP75: flujómetro 6.45 L/100km y con ELM327 7.90 L/100km.

Por otra parte, se presenta una comparación entre dos dispositivos de adquisición de flujo de combustible (flujometro, interfaz OBII) dando una diferencia porcentual para el ciclo FTP75 de 15.75% y para el HWFET de 14.43% estas diferencias mayores se presentan en el vehículo X con la interfaz OBII respecto al flujómetro. Así mismo se presentan diferencias porcentuales mayores para el ciclo de FTP75 de 18.35% y para HWFET 14.58% debido a que el primer dispositivo (flujómetro) brinda una medida física, mientras que el segundo dispositivo (lector OBII) brinda una estimación de flujo tomando en cuenta datos monitoreados por los sensores.

Al comparar el consumo de combustible obtenido por los dos sistemas de medición se obtuvo que para el vehículo X, el OBDII presenta un 31.7% mayor de consumo de combustible en relación al del fabricante y un 14.4% mayor al obtenido por el flujómetro en el ciclo HWFET, y para el ciclo FTP75, existe una diferencia de 10.46% mayor al del fabricante y 15.79% mayor al obtenido por el flujómetro. (Figura 12)

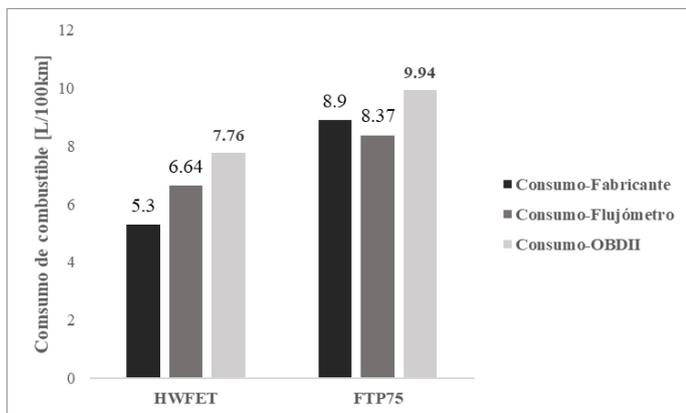


Figura 12. Consumo de combustible OBDII, Flujometro y Fabricante del vehículo X.

En cuanto al vehículo Y, el consumo de combustible obtenido por el OBD II es 38.28% mayor al del fabricante y 14.5% mayor al obtenido por el flujómetro en el ciclo de conducción HWFET, y para el ciclo FTP75, hay una diferencia de 18.35% mayor al del fabricante y 17.7% mayor al obtenido por el flujómetro. (Figura 13)

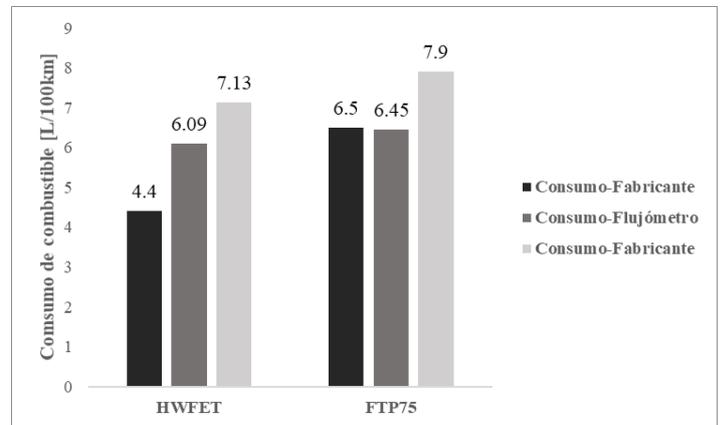


Figura 13. Consumo de combustible OBDII, Flujometro y Fabricante del vehículo Y.

Finalmente, estos valores de consumo de combustible contribuirán a una base de datos que permitirá tener una referencia del consumo de los vehículos que circulan en la ciudad, considerando las condiciones de la localidad de Cuenca.

Esta determinación de combustible puede ser utilizada como una herramienta que ayude en la toma de decisiones para instituciones encargadas del control del tránsito vehicular, planteamiento de futuros estudios ambientales o nuevas revaloraciones de los impuestos de circulación del vehículo en la ciudad entre otras utilidades que se puedan dar.

REFERENCIAS.

- [1] Organización Mundial de la Salud. (2003). Informe sobre la Salud en el Mundo 2003, 1–140. Retrieved from http://www.who.int/whr/2003/en/whr03_es.pdf?ua=1
- [2] US State Department. (2014). US Climate Action Report.
- [3] IEA, 2013. CO2 Emissions from Fuel Combustion 2013, IEA, Paris. doi: http://dx.doi.org/10.1787/co2_fuel-2013-en (2014, accessed 20 February 2015).
- [4] M. Zhou, H. Jin, and W. Wang, “A review of vehicle fuel consumption models to evaluate eco-driving and eco-routing,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 49, no. 5, pp. 203–218, 2016.
- [5] J. C. Sierra, “Estimating road transport fuel consumption in Ecuador,” *Energy Policy*, vol. 92, pp. 359–368, 2016.

- [6] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, "Guía de Vehículo de Turismo de venta en España, con indicación de consumos y emisiones de CO₂" MADRID, 2017.
- [7] EPA. (19 de julio de 2017). Vehicle and Fuel Emissions Testing. Obtenido de Vehicle and Fuel Emissions Testing: <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules>
- [8] V. V. C. A. Offices *et al.*, "The fuel consumption testing scheme," 2016. [online]. Available: <http://www.dft.gov.uk/vca/fcb/new-car-fuel-consump.asp>
- [9] E. Zervas, "Impact of altitude on fuel consumption of a gasoline passenger car," Fuel, vol. 90, no. 6, pp. 2340–2342, 2011.
- [10] F. E. Quinchimbla Pisuña and J. M. Solís Santamaría, "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," Esc. Politécnica Nac., p. 163, 2015.
- [11] B. A. Loyola, E. Sandoval, and J. Galvez, "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," p. 62, 2016.
- [12] D. Sarango and P. Moncayo, "Determinación del indicador kilómetros-vehículo recorrido (KVR) para la ciudad de Cuenca," p. 94, 2016.