



**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 FTP 75 y EPA HWFET, en dinamómetro de chasis**

**Casos de estudio: vehículos Hyundai Tucson 2.0 , 2005  
y Kia Picanto 1,1L, 2010.**

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

**Nombre de los autores:**

**JUAN SEBASTIÁN BUSTOS CORDERO  
PABLO ANDRÉS PAREDES CASTRO**

**Nombre del director:**

**DANIEL CORDERO-MORENO**

**CUENCA-ECUADOR**

**2018**

**Dedicatoria:**

A toda mi familia por el apoyo constante durante estos años que me a permitido alcanzar este objetivo.

*Sebastián*

**Dedicatoria:**

A mis padres, Graciela y Milton que me apoyaron durante todo este tiempo para poder alcanzar esta meta de mi vida, a mi hermano Javier y mi abuelita Carmelina que siempre estuvieron presentes. Y a Dios por la fuerza y protección durante todos estos años.

*Pablo*

**AGRADECIMIENTO:**

A los docentes que forman parte de la carrera y durante los últimos años nos brindaron sus conocimientos y apoyo constante, especialmente a nuestro director por su compromiso con este trabajo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIAS.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iv
INDICE DE CONTENIDOS.....	v
INDICE DE FIGURAS.....	vi
INDICE DE TABLAS.....	vi
INDICE DE FÓRMULAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGÍA.....</b>	<b>2</b>
<b>3. MATERIALES Y EQUIPOS.....</b>	<b>4</b>
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>5</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>6</b>
<b>6. REFERENCIAS.....</b>	<b>7</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. (EPA)-(DOT)-FUELECONOMY.....	2
Figura 2. Comparación toneladas de CO2 emitidas y (MPG) de un vehículo.....	2
Figura 3. Fig. 3. Fuerza en [N] Velocidad [km/h], COASTDOWN carretera.....	3
Figura 4. KIA Picanto.....	4
Figura 5. HYUNDAI Tucson.....	4
Figura 6. Dinamómetro de chasis.....	4
Figura 7. GPS.....	4
Figura 8. Flujómetro A.....	4
Figura 9. Flujómetro B.....	4
Figura 10. HYUNDAI Tucson especificaciones.....	5
Figura 11. KIA Picanto especificaciones.....	5
Figura 12. Desaceleración de 100-0 [km/h] vs el tiempo [s], Coast-Down.....	5
Figura 13. Comparación ciclo dinamómetro vs ciclo Original.....	6
Figura 14. Comparación de los flujómetros A y B, ciclo FTP75.....	6

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Influencia del automóvil en la contaminación atmosférica, por gas, en la ciudad.....	1
Tabla II. Factores ambientales y características del combustible, comparación recomendado por la (epa), y local.....	2
Tabla III. Número de pruebas realizadas.....	4
Tabla IV. Coeficientes de carretera y dinamómetro.....	5
Tabla V. Coeficientes finales para ambos vehículos.....	5
Tabla VI. Tiempos de desaceleración.....	6
Tabla VII. Rendimientos de consumo de combustible.....	6
Tabla VIII. Comparativa de los rendimientos (EPA)-Pruebas.....	6
Tabla IX. Ajuste entre ciclos original vs dinamómetro.....	6
Tabla X. Comparación entre flujómetros ciclo HWFET.....	6

## ÍNDICE DE FORMULAS

ECUACIÓN 1. Ecuación de fuerza necesaria para que el vehículo se desplace en carretera....3	3
ECUACIÓN 2. Ecuación de fuerza necesaria que el vehículo debe vencer en el dinamómetro...3	3
ECUACIÓN 3. Ecuación general de las fuerzas que actúan en el vehículo.....3	3
ECUACIÓN 4. Ecuación para obtener el coeficiente de resistencia a la inercia.....3	3
ECUACIÓN 5. Ecuación para obtener el coeficiente de resistencia a la rodadura.....3	3
ECUACIÓN 6. Ecuación para obtener el coeficiente de resistencia al arrastre.....3	3

# **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 Hyundai Tucson 2.0, 2005  
y Kia Picanto 1,1L, 2010.*

"En la actualidad existen bases de datos con valores de consumo de combustible. Estos datos son obtenidos mediante pruebas de laboratorio. Existen varios factores que afectan el rendimiento. El presente trabajo propone la creación de una base de datos con valores de consumo en los vehículos más representativos del Ecuador. La investigación abarca dos modelos, 1) HYUNDAI Tucson y 2) KIA Picanto, para esto se trabajó con la norma ISO 10521. Los coeficientes A, B y C representan las fuerzas que un vehículo tiene que vencer al circular. Las pruebas se realizaron en un dinamómetro de chasis, y mediante ciclos de conducción de la EPA. Para el consumo se implementó un medidor de caudal instalado en la cañería de combustible." **CONSIDERAR COMO ABSTRACT**

**Palabras clave**—Consumo de combustible, Ciclos de conducción, Coast-Down, Eficiencia, Flujómetro, dinamómetro de chasis.



Ing. Mateo Coello Salcedo MSc.  
**Director de Escuela**



Ing. Daniel Cordero Moreno, Ph.D  
**Director de trabajo de titulación**



Juan Sebastián Bustos Cordero  
**Autor**



Pablo Andrés Paredes Castro  
**Autor**

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

*Study cases: 2005 Hyundai Tucson 2.0 and 2010 Kia Picanto 1,1L.*

At present, there were databases with values of fuel consumption. These data were obtained through laboratory tests. There were several factors that affected the performance. The present work proposed the creation of a database with consumption values of the most representative vehicles of Ecuador. The investigation covered two models: 1) HYUNDAI Tucson and 2) KIA Picanto. The ISO 10521 standard was used. The coefficients A, B and C represented the forces that a vehicle had to overcome when driving. The tests were performed on a chassis dynamometer using EPA driving cycles. A flow meter was installed in the fuel pipe to determine the consumption.

**Keywords**—Fuel consumption, Driving cycles, Coast-Down, Efficiency, Flowmeter, chassis dynamometer.



Ing. Mateo Coello Salcedo MSc.  
**Faculty Director**



Ing. Daniel Cordero Moreno, Ph.D  
**Thesis Director**



Juan Sebastián Bustos Cordero  
**Author**



Pablo Andrés Paredes Castro  
**Author**



Translated by  
Ing. Paul Arpi

Trabajo de Titulación.

Juan Sebastián Bustos Cordero

Pablo Andrés Paredes Castro

Octubre, 2018

**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 Hyundai Tucson 2.0 , 2005  
y Kia Picanto 1,1L, 2010.

**INTRODUCCIÓN**

Dado que en la actualidad existen bases de datos con valores de consumo de combustible de vehículos en países como Estados Unidos, México, Chile y recientemente en Colombia, el estudio pretende determinar el consumo de combustible de dos vehículos en base a los ciclos de conducción de la EPA y la metodología de la norma ISO 10521 con el fin de estimar los coeficientes de ajuste de las fuerzas en carretera “A, B y C”, para la medición de consumo de combustible en pruebas de dinamómetro de chasis. De manera que los resultados formen parte de una base de datos local, que permita brindar información a los consumidores.

# 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 Hyundai Tucson 2.0, 2005  
y Kia Picanto 1,1L, 2010.

Juan Sebastián Bustos Cordero  
Facultad de Ciencia y Tecnología  
Ingeniería en Mecánica Automotriz, Universidad del  
Azuay Av.24 de mayo y Hernán Malo, Cuenca,  
Ecuador.  
[sebastian92@es.uazuay.edu.ec](mailto:sebastian92@es.uazuay.edu.ec)

Pablo Andrés Paredes Castro  
Facultad de Ciencia y Tecnología  
Ingeniería en Mecánica Automotriz, Universidad del  
Azuay Av.24 de mayo y Hernán Malo, Cuenca,  
Ecuador.  
[ua074791@uazuay.edu.ec](mailto:ua074791@uazuay.edu.ec)

**Resumen**— En la actualidad existen bases de datos que indican el consumo de combustible en vehículos. Estos datos son obtenidos mediante pruebas de laboratorio; sin embargo ¿qué tan representativos son estos valores para nuestro medio? Existen varios factores que afectan a este consumo, como son: factores ambientales, como la presión, temperatura y humedad; el octanaje del combustible; entre otros. El presente trabajo propone la creación de una base de datos con valores de consumo de combustible en los vehículos más representativos del Ecuador. La investigación abarca dos modelos, 1) HYUNDAI Tucson y 2) KIA Picanto. Antes de realizar las pruebas en laboratorio, se deben determinar los coeficientes A, B y C, para lo cual se trabajó con la norma ISO 10521. Los coeficientes A, B y C representan las fuerzas que un vehículo tiene que vencer al circular en la carretera, como son: el peso del vehículo (inercia), resistencia a la rodadura y fuerza de arrastre, respectivamente. Las pruebas se realizaron en un dinamómetro de chasis, y mediante ciclos de conducción de la (EPA) HWFET y FTP75. Para cuantificar el consumo se implementó un medidor de caudal instalado en la cañería de entrada de combustible. Se realizaron veinticuatro pruebas en total y los resultados obtenidos en los ciclos (EPA) HWFET y FTP75 para los vehículos, HYUNDAI Tucson fueron  $44.85 \pm 1.08$  MPG y  $31.71 \pm 0.640$  MPG, mientras que para el KIA Picanto fue de  $52.78 \pm 2.093$  MPG y  $68.98 \pm 1.559$  MPG, respectivamente.

**Palabras clave**—Consumo de combustible, Ciclos de conducción, Coast-Down, Eficiencia, Flujoímetro, dinamómetro de chasis.

**Abstract**—At present there are databases that indicate fuel consumption in vehicles. These data are obtained through laboratory tests; However, how representative are these values for our environment? There are several factors that affect this consumption, such as: environmental factors, such as pressure, temperature and humidity; the octane of the fuel; among others. The present work proposes the creation of a database with values of fuel consumption in the most representative vehicles of Ecuador. The research covers two models, 1) HYUNDAI Tucson and 2) KIA Picanto. Before carrying out laboratory tests, the coefficients A, B and C must be determined, for which ISO 10521 was used. The coefficients A, B and C represent the forces that a vehicle must overcome when driving on the road, road, such as: vehicle weight (inertia), rolling resistance and drag force, respectively. The tests were performed on a chassis dynamometer, and by driving cycles of the (EPA) HWFET and FTP75. To quantify the consumption, a flow meter installed in the fuel inlet pipe was implemented. Twenty-four tests were performed in total and the results obtained in the cycles (EPA) HWFET and FTP75 for the vehicles, HYUNDAI Tucson were  $44.85 \pm 1.08$  MPG and  $31.71 \pm 0.640$  MPG, while for the KIA

Picanto it was  $52.78 \pm 2.093$  MPG and  $68.98 \pm 1.559$  MPG, respectively.

**Keywords**—Fuel consumption, Driving cycles, Coast-Down, Efficiency, Flow meter, chassis dynamometer.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad uno de los grandes problemas a nivel mundial es la contaminación atmosférica. Esto se puede evidenciar dentro de las ciudades, donde la contaminación del aire urbano se ha vuelto un problema de salud pública [1]. Según la organización mundial de la salud (OMS) solo en 2012 la contaminación del aire causó 7 millones de muertes en el mundo [2]. En Cuenca, Ecuador, el 76% de esta contaminación es causada por el parque automotor, el mismo que se compone de alrededor de 100.000 vehículos de pasajeros y cerca de 500 autobuses [3]. Se debe considerar que además a nivel local el crecimiento del parque automotor fue de un 4,5% en 2017, lo cual representan cerca de 7.181 vehículos nuevos [4], que contribuyen a incrementar el problema.

Dicha contaminación está formada por distintos elementos como el monóxido de carbono (CO) o el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), los mismos que son productos de la combustión de combustibles fósiles, principalmente diésel y gasolina [5]. En el estudio de la calidad del aire en la ciudad de Cuenca se revelan datos del porcentaje de influencia del parque automotor en la emisión de varios de estos elementos a la atmósfera, estos se pueden apreciar en la Tabla I [3].

TABLA I  
INFLUENCIA DEL AUTOMÓVIL EN LA CONTAMINACIÓN  
ATMOSFÉRICA, POR GAS, EN LA CIUDAD

Elemento*	%
Monóxido de carbono (CO)	94,5
Óxidos de nitrógeno (NOx)	71,2
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	30,2
Material particulado fino (MP <sub>2,5</sub> )	42,5
Material particulado fino (MP <sub>10</sub> )	55,6

\*Dentro de este análisis de la calidad del aire, no se consideraron los hidrocarburos (HC), los cuales si son tomados en cuenta por organizaciones como la (EPA), dentro de las Normas Tier, y (CEPE) con las normas Euro.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU), con su oficina para el cambio climático, trabaja junto con la Comisión

Económica para Europa (CEPE), organismo que ha desarrollado las normas euro (1- 6) desde 1992; en las cuales se fijan los límites de emisión de distintos componentes [6]. Otras instituciones como la Agencia de protección del medio ambiente (EPA), en Estados Unidos, implementó las normas TIER (1-3), para vehículos livianos y camiones ligeros; estas normas fueron establecidas a partir 1994 y fijan los límites de emisión de gases, también miden el rendimiento de combustible promedio de los vehículos [7]. La (EPA), en conjunto con el Departamento de Transporte de Estados Unidos (DOT), brindan información sobre el desempeño energético de los vehículos, misma que puede encontrarse en la página fueleconomy.gov. Esta información gira entorno al rendimiento de combustible, emisiones y clasificación del vehículo. En la Fig. 1. podemos observar la información brindada por fueleconomy.gov.

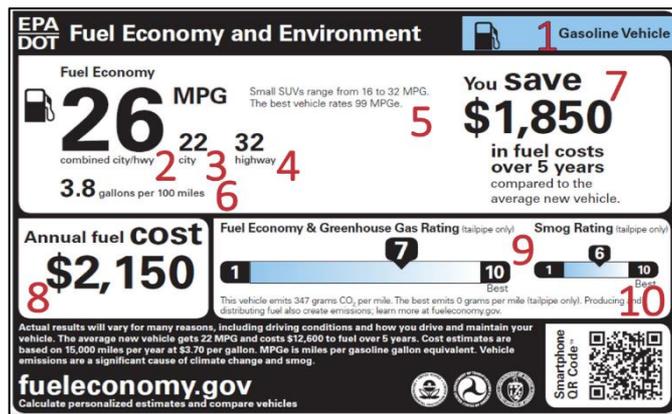


Fig. 1. (EPA)-(DOT)-FUELECONOMY [8]: 1. Tipo de combustible 2. rendimiento combinado en millas por galón MPG 3. Rendimiento en ciudad en MPG 4. Rendimiento en Carretera en MPG 5. Rango de rendimientos promedio del segmento o categoría del vehículo 6. Rendimiento combinado en galones cada 100 millas. 7. Ahorro en costo de combustible anual comparado con el promedio de la categoría 8. Costo promedio anual del combustible 9. Clasificación en economía de combustible y emisión de gases de efecto invernadero 10. Clasificación en emisión Smog. Basados en un recorrido promedio de 15.000 millas anuales y \$3,70 costo por galón.

Según la EPA, cada automóvil contribuye en promedio de 6 a 9 toneladas de gases de efecto invernadero (GHG) por sus siglas en inglés, al año. Además, la EPA indica que los vehículos que presentan un rendimiento promedio de 20 millas por galón (MPG) con respecto a vehículos de 25 MPG, pueden reducir las emisiones de (GHG) en aproximadamente 1,7 toneladas anuales [9]. Estas relaciones entre emisión de gases (GHG) y rendimiento en (MPG) pueden apreciarse en la Fig. 2.

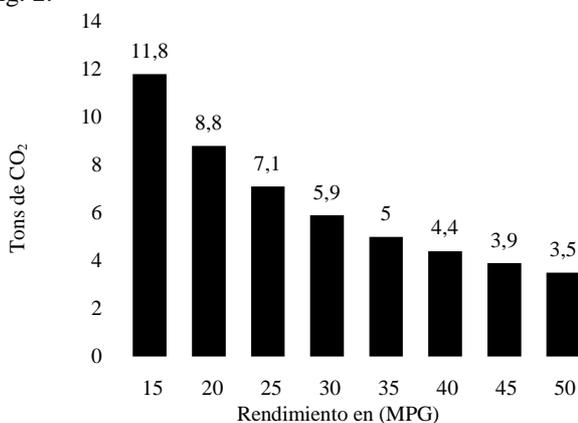


Fig. 2. Comparación toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas y (MPG) de un vehículo. [9]

Los valores medidos por la (EPA) son obtenidos en pruebas cuyos factores pueden no ser representativos de las

características en ciudades de altura, estos pueden ser factores ambientales, conforme aumenta la altura sobre el nivel del mar disminuye la presión y temperatura atmosférica así como la concentración de oxígeno en el aire, la altitud disminuye notablemente la potencia indicada y por tanto la efectiva desarrollada por un motor de aspiración natural, en todo el rango de regímenes de giro [10]. En cuanto al combustible las características del combustible local no se encuentran dentro de los rangos que sugiere la (EPA), ver tabla II. [11] [12] [13] [14], principalmente el octanaje de la gasolina y contenido de azufre. El nivel inferior de octanaje puede alterar el rendimiento del motor y por ende el consumo de combustible [15].

TABLA II  
FACTORES AMBIENTALES Y CARACTERÍSTICAS DEL COMBUSTIBLE, COMPARACIÓN RECOMENDADO POR LA (EPA), Y LOCAL

Factores ambientales	Unidad	(EPA)	CUENCA
Altura	msnm	0-20	2500
Presión	atm	1	0,675
Temperatura	°C	20	13-18
Factores Combustible	Unidad	(EPA)	CUENCA
Octanaje	-	91-94	90-92
Contenido de Azufre	ppm	22-24	300-650

Unidades: msnm = metros sobre el nivel del mar; atm = atmosfera; °C = grados Celsius; ppm = partículas por millón

Dado que existe diferencia en las condiciones locales respecto a la (EPA), el rendimiento en consumo de combustible puede verse alterado, por lo que este estudio se centra en determinar el consumo de combustible de dos vehículos, bajo los parámetros locales, siguiendo también la norma ISO 10521 para la obtención de los coeficientes A, B y C, estos coeficientes hacen referencia al peso del vehículo, resistencia a la rodadura y fuerza de arrastre, respectivamente y nos permiten simular las fuerzas que actúan sobre el vehículo durante las pruebas estáticas en laboratorio, además se emplean los ciclos de conducción de la (EPA) HWET y FTP75 [16], los ciclos de conducción son representación velocidad-tiempo que describen patrones típicos de conducción, estos ciclos de conducción son los mismos que usa la (EPA) en Estados Unidos para realizar sus pruebas. También para calcular el consumo se debe emplear un dispositivo que permite medir el caudal en la cañería de entrada de combustible, durante el procedimiento los vehículos están montados en un dinamómetro de chasis.

Dado que en la actualidad existen bases de datos con valores de consumo en países como Estados Unidos, México, Chile y recientemente en Colombia, el estudio pretende determinar el consumo de combustible de dos vehículos en base a los ciclos de conducción EPA, para formar parte de una base de datos local, que permita brindar información a los consumidores.

## II. METODOLOGÍA

Para la selección los vehículos, se recabo información de los informes anuales de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), acerca de los vehículos con mayor comercialización en el país, se seleccionó al HYUNDAI Tucson, vehículo que estuvo dentro del segmento SUV como uno de los más vendidos en el periodo 2004-2009 [17], también el KIA Picanto fue uno de los automóviles más

vendidos de su marca en el mercado nacional entre 2005-2010 [18].

Para el desarrollo de este trabajo se empleó la norma ISO 10521 parte 1 y parte 2, en la cual se especifica el procedimiento para realizar las pruebas de coast-down o desaceleración libre en carretera, éstas se realizan con el fin de calcular la resistencia ofrecida a un vehículo en movimiento. Dentro las normas ISO 10521 se especifican las condiciones ambientales, condiciones de pista, rangos de velocidades del vehículo y posición de la palanca de transmisión, etc. [19]. Además, se indica el procedimiento para las pruebas coast-down o desaceleración libre en dinamómetro de chasis, incluyendo valores y ajustes de los coeficientes A, B y C que deben ser tomados en cuenta previo a la ejecución de las pruebas.

Con la información recolectada en las pruebas de coast-down, y siguiendo la metodología de la norma ISO 10521 parte 1 y 2 [19], [20] se procede a obtener los valores de los coeficientes A, B y C, se debe contar con información de tiempo y velocidad de desaceleración del vehículo, estos datos se los introduce en las ecuaciones (1) y (2):

$$F_{carr} = - \left( \frac{m_{vehi} - m_r}{3.6} \right) * 2 * \left( \frac{\Delta V}{\Delta t} \right) \quad (1)$$

En donde  $F_{carr}$  es la fuerza necesaria para el vehículo empiece a moverse en carretera cuya unidad es [N],  $m_{vehi}$  es la masa del vehículo con piloto y copiloto en [kg],  $m_r$  es la masa de los elementos del vehículo en movimiento en [kg],  $\Delta V$  es la diferencia de velocidades en [km/h] y  $\Delta t$  es la diferencia de tiempos en [s].

$$F_{din} = \left( \frac{m_{din} - m_{r_d}}{3.6} \right) * 2 * \left( \frac{\Delta V}{\Delta t} \right) \quad (2)$$

En donde  $F_{din}$  es la fuerza necesaria para que el vehículo empiece a moverse en el dinamómetro de chasis la cual se expresa en [N],  $m_{din}$  es la masa del dinamómetro en [kg],  $m_{r_d}$  es la masa de los elementos en movimiento del vehículo sobre el dinamómetro de chasis en [kg],  $\Delta V$  es la diferencia de velocidades en [km/h] y  $\Delta t$  es la diferencia de tiempos en [s].

Se realiza una tabulación con los datos obtenidos en la ecuación (2) en función de las velocidades de desaceleración del vehículo, se procede a graficar estos valores mediante una hoja de cálculo, en el programa se genera una línea de tendencia de ajuste polinómico de segundo grado, además de presentar la ecuación de la curva y el R cuadrado de la gráfica, de esta manera se aprecia el ajuste de la línea respecto a los datos. La ecuación del gráfico presentada en el programa hace referencia a la ecuación (3), en la Fig. 3. Se presenta una de las pruebas de coast-down realizadas.

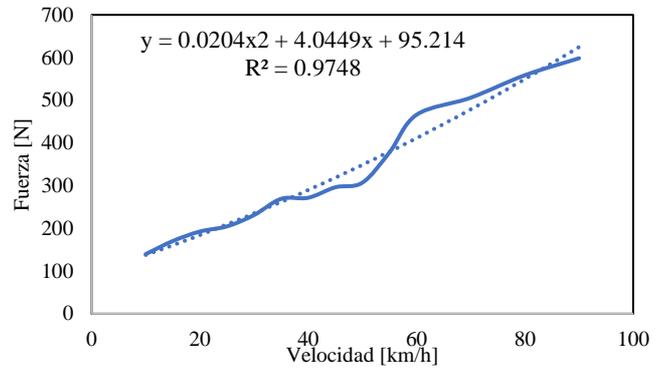


Fig. 3. Fuerza en [N] Velocidad [km/h], la ecuación presentada en la gráfica con la forma;  $y = ax^2 + bx + c$ , hace referencia a la ecuación (3),  $R^2$  es el valor de ajuste entre la línea de tendencia y la ecuación generada.

$$F = A + BV + CV^2 \quad (3)$$

De los coeficientes A, B y C los subíndices que acompañan a estos hacen referencia; t=target, d=dynamometer y s=simulated. De la ecuación (3) se obtiene los coeficientes  $A_t$  en [N],  $B_t$  en [N/(km/h)] y  $C_t$  en [N/(km/h)<sup>2</sup>], de las ecuaciones (4), (5) y (6), que representan las fuerzas que se oponen al vehículo y que debe superar para empezar a desplazarse en carretera. En el dinamómetro se obtienen los coeficientes  $A_s$  en [N],  $B_s$  en [N/(km/h)] y  $C_s$  en [N/(km/h)<sup>2</sup>].

También la norma sugiere que previo a realizar las pruebas coast-down de dinamómetro, se introduzcan coeficientes  $A_d = A_t \times 0.5$ ,  $B_d = B_t \times 0.2$  y  $C_d = C_t$ . Para las pruebas se consideró los coeficientes  $A_d$ ,  $B_d$  y  $C_d$  como cero.

Para obtener los coeficientes finales que serán introducidos en el dinamómetro de chasis, esto previo a la ejecución de los ciclos de conducción, se aplican las ecuaciones (4) (5) y (6), para cada uno de estos[20].

$$A = A_t + A_d - A_s \quad (4)$$

$$B = B_t + B_d - B_s \quad (5)$$

$$C = C_t + C_d - C_s \quad (6)$$

Para cuantificar el consumo de combustible se emplea un flujómetro unidireccional, este se encarga de medir el caudal de combustible, este dispositivo está instalado en la línea de entrada de combustible, posterior al filtro de elemento que va al riel de inyección. Los datos obtenidos de consumo se almacenan en una consola Fig. 8.

Además, se aplican ciclos de conducción establecidos por la EPA estos son el HWFET, que representa condiciones de conducción en carretera y el FTP 75 que corresponde a condiciones de conducción urbana. Estos ciclos de conducción se utilizan con el vehículo montado en el dinamómetro de chasis. Como se aprecia en la Fig. 4.- Fig. 5. Se introduce en la programación, previa a la ejecución del ciclo de conducción, los parámetros de masa del vehículo, diámetro del neumático y los coeficientes finales.



Fig. 4. KIA Picanto



Fig. 5. HYUNDAI Tucson

Durante el procedimiento se realizan los ciclos de conducción alternando el HWFET y el FTP75, para cada vehículo, durante las pruebas se considera el patrón de cambios de marcha.

También se realizaron pruebas en uno de los vehículos, con dos Flujómetros A y B, conectados en serie en la línea de combustible, y con el fin de tener una comparación del porcentaje de variación de consumo entre ambos.

A continuación, en la TABLA. III se detallan las pruebas realizadas en cada uno de los vehículos.

TABLA III  
NUMERO PRUEBAS REALIZADAS

Prueba	KIA Picanto	HYUNDAI Tucson
Coast-Down Carretera	22	20
Coast-Down Dinamómetro	12	12
Comparación tiempos de desaceleración	-	12
Ciclo EPA HWFET	6	6
Ciclo EPA FTP75	6	6

Las pruebas de comparación de tiempos de desaceleración se realizaron únicamente con el HYUNDAI Tucson

### III. MATERIALES Y EQUIPOS

A continuación, se exponen los equipos empleados para el desarrollo de las pruebas, en la que se especifican sus características. Además, se expone los vehículos que fueron seleccionados para el estudio.



Fig. 6. Dinamómetro de chasis [21]

- Potencia admisible: 2500 HP (1864 KW)
- Velocidad Máxima: 225 mph (362 km/h)
- Diámetro del Rodillo: 30" (76,2 cm)
- Ancho de Pista: 26-100 in (66 a 254 cm)
- Requerimientos de aire: 50-100 psi (345-690 kPa)



Fig. 7. GPS [22]

- Precisión: 0.1 Km/h
- Unidades: Km /h o Mph
- Velocidad de actualización: 20 Hz
- Velocidad mínima: 0.1 Km/h
- Velocidad máxima: 1800 km/h
- Resolución: 0.01 Km / h



Fig. 8. Flujómetro A [23]

- Rango de operación +20 a +100 ° C
- Rango de presión (sensor de flujo) -1 a +16 bar
- Sensor de flujo: sensor 1 15 a 500 l / h
- Sensor de flujo: sensor 2 3 a 50 l / h
- Precisión de la línea de alimentación: -1% ... 0%
- Precisión de la línea de retorno: -1% ... 0%



Fig. 9. Flujómetro B [24]

- Modelo: P213 Piston Flow Meter
- Rango de operación: 0.5 cc/min a 1800 cc/min
- Máxima presión de operación: 210 bar (3000 psi)
- Temperatura ambiente de operación: -40°C a 80°C
- Temperatura del combustible de operación: -40°C a 90°C
- Precisión: ± 0.2% de lectura en un rango de 200: 1



Fig. 10. HYUNDAI Tucson [25]

- Motor: 2000 cm<sup>3</sup>
- Transmisión: Automática de 4 velocidades
- Tracción: Delantera 2WD
- Año: 2005
- Segundo vehículo SUV más vendido del 2003-2009



Fig. 11. KIA Picanto [26]

- Motor: 1083 cm<sup>3</sup>
- Transmisión: Manual de 5 velocidades
- Tracción: Delantera 2WD
- Año: 2010

#### IV. RESULTADOS

Una vez realizadas las pruebas coast-down en carretera se procedió a recolectar los datos de velocidad y tiempo del módulo GPS, para las pruebas de coast-down de dinamómetro los datos de velocidad-tiempo se obtienen del mismo dinamómetro, el cual está enlazado a un computador. Esta información se tabuló en una hoja de cálculo, también se puede generar una gráfica velocidad-tiempo para apreciar los resultados de las pruebas, en la Fig. 12. se muestra los datos obtenidos para una prueba de coast-down, en esta se aprecia la desaceleración de 100 a 0 km/h, y el tiempo total que fue necesario para que el vehículo se detenga.

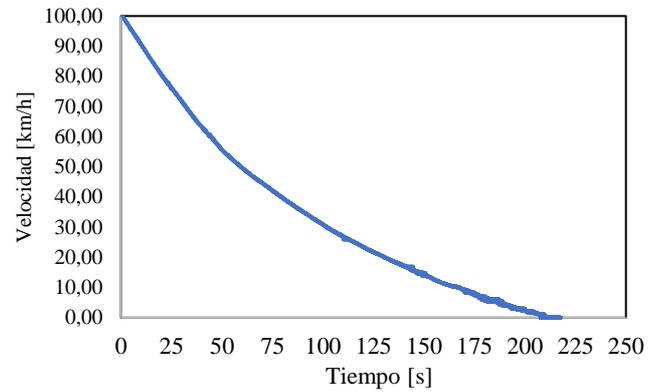


Fig. 12. Desaceleración de 100-0 [km/h] vs el tiempo [s], para una prueba de Coast-Down.

Aplicando la norma ISO 10521 se obtienen los valores de los coeficientes A, B y C para cada una de las pruebas realizadas, en la Tabla III se puede observar un resumen de estos, para ambos vehículos, tanto para el coast-down de carretera, así como de dinamómetro.

TABLA IV  
COEFICIENTES DE CARRETERA Y DINAMÓMETRO

Coast-Down Carretera		
	HYUNDAI Tucson	KIA Picanto
At	561.403 ± 380.376	311.053 ± 213.991
Bt	6.043 ± 4.119	3.562 ± 1.783
Ct	0.0015 ± 0.032	0.0165 ± 0.0140
Coast-Down Dinamómetro		
	HYUNDAI Tucson	KIA Picanto
As	350.097 ± 24.532	195.545 ± 9.501
Bs	4.259 ± 1.538	1.940 ± 0.598
Cs	-0.026 ± 0.015	-0.0025 ± 0.0064

Para cada vehículo, se muestran los coeficientes At, Bt y Ct así como As, Bs y Cs, los cuales hacen referencia a los coeficientes de pruebas en carretera y de dinamómetro respectivamente.

Al contar con los valores de los coeficientes de las pruebas, para cada vehículo, se aplican las ecuaciones (3) (4) y (5) para obtener los valores finales de los coeficientes, que serán empleados para la ejecución de los ciclos.

TABLA V  
COEFICIENTES FINALES PARA AMBOS VEHÍCULOS

	HYUNDAI Tucson	KIA Picanto
A	211.306	115.508
B	1.784	1.621
C	0.028	0.0190

Se presentan los coeficientes finales A, B y C, los mismos que se ingresan en la programación del dinamómetro de chasis.

Una vez obtenidos los coeficientes de coast-down en carretera se procede a realizar las pruebas en el dinamómetro de chasis, al introducir los coeficientes; At, Bt y Ct, con el fin de comparar los tiempos de desaceleración libre entre ambas pruebas, los datos se presentan en la Tabla V.

Tabla VI.  
TIEMPOS DE DESACELERACIÓN

	Carretera	Dinamómetro	Variación
	[s]	[s]	%
Subida	89,6	77,5	13,50%
Bajada	198,28	77,5	60,91%
Combinado	143,94	77,5	46,16%

Comparación de los tiempos de desaceleración de las pruebas Coast-Down, en el vehículo HYUNDAI Tucson.

Con la ejecución de los ciclos de conducción en el dinamómetro de chasis para cada vehículo, e instrumentados con el Flujómetro en la línea de combustible, se obtiene los valores de consumo.

TABLA VII  
RENDIMIENTOS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

HYUNDAI Tucson		
	HWFET	FTP75
L/100km	5.37 ± 0.126	7.62 ± 0.089
MPG	44.85 ± 1.08	31.71 ± 0.640
KIA Picanto		
	HWFET	FTP75
L/100km	4.49 ± 0.183	3.49 ± 0.077
MPG	52.78 ± 2.093	68.98 ± 1.559

Con los valores de consumo obtenido de las pruebas, se realiza una comparación contra los datos del fabricante esto con el objetivo de comparar cuánto es el porcentaje de variación.

TABLA VIII  
COMPARATIVA DE LOS RENDIMIENTOS (EPA)-PRUEBAS

KIA picanto		HYUNDAI Tucson				
Fabricante*	Pruebas	% de variación	(EPA)	Pruebas	% de variación	
HWFET						
L/100km	4.4	4.49	2%	8.71	5.37	-38%
MPG	53	52.78	-1%	27	45	66%
FTP75						
L/100km	6.5	3.49	-46%	10.68	7.62	-29%
MPG	36	68.98	91%	22	31.71	44%

\*Para el KIA Picanto los valores de rendimiento de combustible se obtuvieron del fabricante [26]. Para el HYUNDAI Tucson los valores se obtuvieron de Fueleconomy.gov [25].

Posterior al desarrollo de los ciclos en el dinamómetro, se realizó un análisis comparativo de estos con respecto al ciclo original, para ello se comparan los valores de velocidad, en la Fig. 13. se muestran una prueba realizada para el ciclo HWFET, donde  $R^2$  hace referencia al ajuste entre ambos ciclos, se trabaja únicamente con las velocidades.

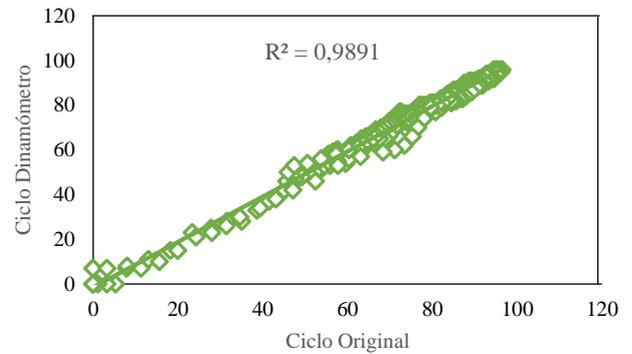


Fig. 13. Comparación ciclo dinamómetro vs ciclo Original.

En la tabla VIII, se aprecian los valores de ajuste obtenidos en las pruebas realizadas para los 2 ciclos aplicados en ambos vehículos.

TABLA IX  
AJUSTE ENTRE CICLOS ORIGINAL VS DINAMÓMETRO

Ciclo	HYUNDAI Tucson	KIA Picanto
	$R^2$	$R^2$
HWFET	0.9893 ± 0.0064	0.9877 ± 0.0029
FTP 75	0.9835 ± 0.0016	0.9852 ± 0.0022

$R^2 = \text{Ajuste}$

Se realizaron pruebas de consumo de combustible, con dos flujómetros de diferente modelo, estos conectados en serie, al realizar los mismos ciclos de conducción existe diferencias entre sus mediciones.

TABLA X  
COMPARACIÓN ENTRE FLUJÓMETROS CICLO HWFET

	Flujómetro A	Flujómetro B	% de variación
L/100km	3.44	4.49	-23%
MPG	73.28	53	39%
Comparación entre flujómetros ciclo FTP75			
	Flujómetro A	Flujómetro B	% de variación
L/100km	3.49	4.90	-40%
MPG	69	48.05	30%

En la Fig. 14. Se presenta una comparación entre los valores medidos por los dos flujómetros utilizados, aplicando el ciclo FTP75.

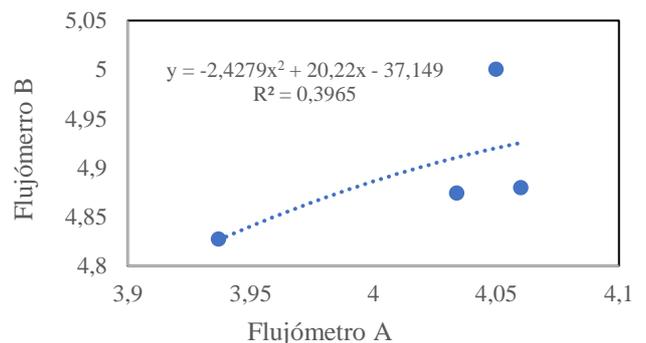


Fig. 14. Comparación de los flujómetros A y B, ciclo FTP75

## V. CONCLUSIONES

Posterior a realizar el análisis del estado del arte se presenta los parámetros, de las condiciones en las cuales se realizan las pruebas siguiendo el procedimiento de la norma ISO10521, estas están especificadas en la tabla II. Estas condiciones varían con respecto a las locales, lo cual puede alterar el valor

de los coeficientes que se obtienen, y por ende el rendimiento en el consumo de combustible. Además, los factores ambientales repercuten en el rendimiento del motor. Las condiciones de la pista donde se realizaron las pruebas de Coast-Down, no son las favorables para el procedimiento, pero dadas las características topográficas del sector, se dificulta encontrar una carretera con mejores condiciones.

Aplicada la metodología de la norma ISO10521 para la obtención de los coeficientes A, B y C, aplicada en ambos vehículos. Los coeficientes de peso del vehículo, resistencia a la rodadura y fuerza de arrastre obtenidos del KIA Picanto son 115.508, 1,621 y 0.0190, mientras que para el HYUNDAI Tucson son 211.306, 1.784 y 0.028 respectivamente. Estos coeficientes son introducidos en la programación del dinamómetro de chasis. Cabe recalcar que, al momento de adquirir los datos de velocidad y tiempo tanto del GPS como del Dinamómetro de chasis, la norma ISO 10521, recomienda una velocidad de 20 Hz, esta velocidad de toma de datos no fue lograda en el dinamómetro el mismo que se encuentra configurado a 1 Hz.

Para el consumo de combustible se utilizó un dinamómetro de chasis además de un medidor de caudal, implementando los ciclos de conducción de la (EPA), FTP75 y HWFET. Durante el procedimiento se ejecutaron seis pruebas por ciclo en cada vehículo. Las comparaciones entre los ciclos originales y los del dinamómetro presentan un ajuste  $R^2=0.9877 \pm 0.0029$ .

Los resultados de rendimiento fueron para el ciclo HWFET son:  $44.85 \pm 1.08$  MPG y  $52.78 \pm 2.093$  MPG para el HYUNDAI Tucson y el KIA Picanto, en el ciclo FTP 75 son:  $31.71 \pm 0.640$  MPG y  $68.98 \pm 1.559$  respectivamente, comparándola con la (EPA) se obtiene una diferencia porcentual de 66.00% y -1.00% con el ciclo HWFET, en comparación con el ciclo FTP 75 44.00% y 91.00% respectivamente.

#### REFERENCIAS

[1] “OMS | 7 millones de muertes cada año debidas a la contaminación atmosférica”, *WHO*, 2014.

[2] E. Palacios y C. Espinoza, “CONTAMINACIÓN DEL AIRE EXTERIOR. CUENCA - ECUADOR, 2009- 2013. POSIBLES EFECTOS EN LA SALUD.”, *Rev. la Fac. Ciencias Médicas Univ. Cuenca*, vol. 32, núm. 2, pp. 6–17, 2014.

[3] A. Casrro Piedra, *Informe de la calidad del aire*. Cuenca, 2016, pp. 30–31.

[4] AEADE, *ANUARIO 2017*. QUITO, Ecuador, 2017, pp. 50–57.

[5] M. Astudillo Romero, “Modelación de dispersión espacial de contaminantes del aire en la ciudad de Cuenca”, UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO, 2012.

[6] “WP.29 - Introduction - Transport - UNECE”. [En línea]. Disponible en: <https://www.unece.org/trans/main/wp29/introduction.html>. [Consultado: 29-ago-2018].

[7] O. US EPA, OAR, “All EPA Emission Standards”. [En línea]. Disponible en: <https://www.epa.gov/emission-standards-reference-guide/all-epa-emission-standards>. [Consultado: 29-ago-2018].

[8] “Drivers Say Fuel Economy Better Than EPA Ratings; Discrepancies Matter, Though”. [En línea].

Disponible en: [https://www.greencarreports.com/news/1098858\\_drivers-say-fuel-economy-better-than-epa-ratings-discrepancies-matter-though](https://www.greencarreports.com/news/1098858_drivers-say-fuel-economy-better-than-epa-ratings-discrepancies-matter-though). [Consultado: 29-ago-2018].

[9] F. E. Estimates, “Fuel Economy Guide Model Year 2018”. .

[10] M. Lapuerta, O. Armas, J. R. Agudelo, y C. A. Sánchez, “Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna. Parte 1: Funcionamiento”, *Inf. tecnológica*, vol. 17, núm. 5, pp. 21–30, 2006.

[11] U. Epa, O. of Transportation, A. Quality, y S. Division, “Reformulated Gasoline Parameters by Reporting Year, Updated through 2016 (August 2017)”, 2016.

[12] “Confirman calidad de combustible que distribuye EP PETROECUADOR al país – Ministerio de Hidrocarburos”. [En línea]. Disponible en: <https://www.hidrocarburos.gob.ec/confirman-calidad-de-combustible-que-distribuye-ep-petroecuador-al-pais/>. [Consultado: 30-ago-2018].

[13] “El tiempo en Cuenca, Ecuador - Worldmeteo”. [En línea]. Disponible en: <https://www.worldmeteo.info/es/america-del-sur/ecuador/cuenca/tiempo-101293/>. [Consultado: 03-sep-2018].

[14] INEN, “Productos derivados del petróleo. Gasolina. Requisitos”, p. 9, 2016.

[15] S. K. Jain y S. K. Aggarwal, “Compositional effects on the ignition and combustion of low octane fuels under diesel conditions”, *Fuel*, vol. 220, núm. November 2017, pp. 654–670, 2018.

[16] O. US EPA, “Dynamometer Drive Schedules”.

[17] AEADE, *Anuario*. Ecuador, 2008, pp. 15–18.

[18] D. Pardo, “Contáctanos – AEADE”, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.aeade.net/contactanos/>. [Consultado: 29-ago-2018].

[19] ISO 10521-1, “Determination under reference atmospheric conditions”, vol. 2006, 2006.

[20] ISO 10521-2, “Reproduction on chassis dynamometer”, vol. 2006, p. 22674, 2006.

[21] “SF-832 Chassis Dyno | SuperFlow”. [En línea]. Disponible en: <https://www.superflow.com/asp/prodDetail.aspx?prodid=4&catid=1&navid=6>. [Consultado: 03-sep-2018].

[22] “VBOX Sport Performance Meter”. [En línea]. Disponible en: <https://www.vboxmotorsport.co.uk/index.php/en/products/performance-meters/vbox-sport>. [Consultado: 03-sep-2018].

[23] LR Germany, “Kvm 2012”, 2012.

[24] Max, “Model P213 Piston Flow Meter ( Analog)”, pp. 1–3, 2018.

[25] “Hyundai - Tucson I - 2.0 i 16V (140 Hp) Automatic - Datos técnicos, consumo de combustible”, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.auto-data.net/es/hyundai-tucson-i-2.0-i-16v-140hp-automatic-13769>. [Consultado: 03-sep-2018].

[26] “Kia - Picanto - 1.1i 12V (64 Hp) - Datos técnicos, consumo de combustible”, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.auto-data.net/es/kia-picanto-1.1i-12v-64hp-2717>. [Consultado: 03-sep-2018].