



**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. Casos de estudio: vehículo Hyundai Santa Fe 2.4L, 2011 y Chevrolet Aveo Activo 1.6L, 2010.**

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

**Nombre de los autores:**  
**JOSÉ LUIS CASTILLO MORA**  
**CHRISTIAN FERNANDO VERA IÑIGUEZ**

**Nombre del Director:**  
**ROBERT ROCKWOOD IGLESIAS**

**CUENCA-ECUADOR**

**2018**

**Dedicatoria:**

A Dios por permitirme llegar a concluir esta etapa de mi vida; a mis padres, a mis hermanas Andrea y Fernanda, y a Belén por su apoyo incondicional.

*José Luis*

**Dedicatoria:**

A mis padres Julio y Catalina, quienes me apoyaron en esta importante etapa, de igual manera a mi familia que me acompañó siempre.

Gracias,

*Christian*

**AGRADECIMIENTO:**

A todos los profesores que conforman ERGON, por el apoyo para la realización de este estudio, en especial al Ingeniero Robert.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIAS.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iv
INDICE DE CONTENIDOS.....	v
INDICE DE FIGURAS.....	vi
INDICE DE TABLAS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	ix

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>2</b>
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>4</b>
<b>4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>5</b>
<b>5. REFERENCIAS.....</b>	<b>6</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Hyundai Santa Fe (referencial).....	2
Figura 2. Chevrolet aveo (referencial).....	2
Figura 3. Velocidad-Fuerza.....	3
Figura 4. Vehículo equipado en dinamómetro de chasis.....	3
Figura 5. Valores de rendimiento de combustible Santa Fe, EPA.....	6
Figura 6. Ciclo FTP75.....	6
Figura 7. Ciclo HWFET.....	6
Figura 8. Valores de rendimiento de combustible Aveo, EPA.....	6
Figura 9. Ciclo FTP75.....	6
Figura 10. Ciclo HWFET.....	6

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los vehículos utilizados en el estudio.....	2
Tabla 2. Parámetros norma ISO 10521.....	3
Tabla 3. Resultados de las pruebas “Coast Down” carretera (Hyundai Santa Fe).....	4
Tabla 4. Resultados de las pruebas “Coast Down” carretera (Chevrolet Aveo).....	4
Tabla 5. Resultados de las pruebas “Coast Down” dinamómetro (Hyundai Santa Fe).....	4
Tabla 6. Resultados de las pruebas “Coast Down” dinamómetro (Chevrolet Aveo).....	5
Tabla 7. Coeficientes de fuerza de carretera sobre rueda finales.....	5
Tabla 8. Consumo y rendimiento de combustible promedio .....	5
Tabla 9. Consumo y rendimiento combinado.....	5
Tabla 10. Variación de consumo y rendimiento de combustible .....	5

**DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE VEHÍCULOS EN BASE A LOS CICLOS DE CONDUCCIÓN EPA FTP75 Y EPA HWFET, EN DINAMÓMETRO DE CHASIS. CASOS DE ESTUDIO: VEHÍCULO HYUNDAI SANTA FE 2.4L, 2011 Y CHEVROLET AVEO ACTIVO 1.6L, 2010.**

**RESUMEN**

Este estudio presenta una metodología para determinar el consumo de combustible en dos modelos de vehículos, utilizando ciclos de conducción normalizados en un dinamómetro de chasis.

Se determina el consumo de combustible de los modelos Hyundai Santa Fe 2011 y Chevrolet Aveo 2010. Las pruebas se realizan a 2560msnm., empleando los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET en un dinamómetro de chasis con la ayuda de un flujómetro para medir el consumo, basándose en la norma ISO 10521.

Se obtuvieron rendimientos de 36MPG en ciudad y 39MPG en autopista en el Chevrolet, y de 29MPG y 28MPG respectivamente en el Hyundai, corroborando en este caso, la teoría de disminución de consumo de combustible en ciudades de altura.

**Palabras Clave-** consumo de combustible, dinamómetro de chasis, ciclos de conducción.



Ing. Mateo Coello Salcedo

**Director de Escuela**



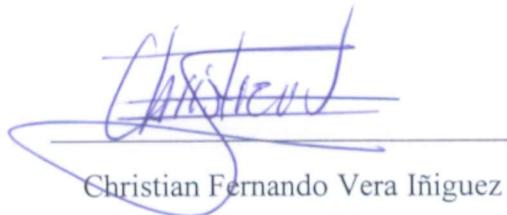
Ing. Robert Rockwood Iglesias

**Director de trabajo de titulación**



José Luis Castillo Mora

**Autor**



Christian Fernando Vera Iñiguez

**Autor**

**DETERMINATION OF VEHICLE FUEL CONSUMPTION BASED ON EPA FTP75 AND EPA HWFET DRIVING CYCLES IN CHASSIS DYNAMOMETER. CASE STUDIES: 2011 HYUNDAI SANTA FE 2.4L AND 2010 CHEVROLET AVEO ACTIVO 1.6L.**

**ABSTRACT**

This study presented a methodology to determine fuel consumption in two vehicle models using standardized driving cycles on a chassis dynamometer. The fuel consumption of a 2011 Hyundai Santa Fe and a 2010 Chevrolet Aveo were determined. The tests were conducted at 2560 m.a.s.l. using EPA FTP75 and EPA HWFET driving cycles in a chassis dynamometer with a flowmeter to measure consumption, based on ISO 10521. A performance of 36MPG in the city and 39MPG in the highway were determined for the Chevrolet vehicle. A performance of 29MPG in the city and 28MPG in the highway were determined for the Hyundai vehicle. These corroborated the theory of the decrease of fuel consumption in high altitude cities.

**Keywords-** fuel consumption, chassis dynamometer, driving cycles.



Ing. Mateo Coello Salcedo

**Faculty Director**



Ing. Robert Rockwood Iglesias

**Thesis Director**



José Luis Castillo Mora

**Author**



Christian Fernando Vera Iñiguez

**Author**



Translated by  
Ing. Paul Arpi



AZUAY

Dpto. Idiomas

Trabajo de Titulación.

José Luis Castillo Mora.

Christian Fernando Vera Iñiguez.

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. CASOS DE ESTUDIO: VEHÍCULO HYUNDAI SANTA FE 2.4L, 2011 Y CHEVROLET AVEO ACTIVO 1.6L, 2010.**

**INTRODUCCIÓN**

El crecimiento del mercado automotor es una realidad a nivel mundial, sin ser el Ecuador una excepción; incrementando a la par la contaminación debido a la combustión de combustibles fósiles.

Actualmente el país atraviesa una crisis económica que conlleva a tomar medidas con respecto al subsidio de los combustibles, lo cual despierta interés en el consumidor sobre el tema. Este estudio presenta una metodología para determinar el consumo de combustible en dos modelos de vehículos, utilizando ciclos de conducción normalizados en un 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.

## Casos de estudio: vehículo Hyundai Santa Fe 2.4L, 2011 y Chevrolet Aveo Activo 1.6L, 2010.

José Castillo, Universidad del Azuay, [jcastillo@es.uazuay.edu.ec](mailto:jcastillo@es.uazuay.edu.ec), Christian Vera, Universidad del Azuay, [christianverain@es.uazuay.edu.ec](mailto:christianverain@es.uazuay.edu.ec)

Cuenca- Ecuador

**Palabras claves:** Consumo de combustible, dinamómetro de chasis, ciclos de conducción.

**Resumen—** En el año 2015 se tenía registrado la existencia de mil millones de vehículos a nivel mundial [1], número que ha venido aumentando en los últimos años por el crecimiento del mercado automotor, sin ser el Ecuador la excepción, donde se ha incrementado el parque automotor en un 10.6% en los últimos ocho años. El país subsidia parte del costo de los hidrocarburos de consumo, entre ellos la gasolina y el diésel, por lo que el estímulo económico asociado a la elección de vehículos eficientes no ha sido significativo desde el punto de vista económico, sin embargo, actualmente el estado aplicó políticas para eliminar o reducir este subsidio, despertando en los consumidores interés para que estas medidas no afecten su economía.

Este estudio tiene como objetivo determinar el consumo de combustible de dos modelos de vehículos, el Hyundai Santa Fe 2.4L, 2011 y el Chevrolet Aveo Activo 1.6L, 2010, las pruebas se realizarán en la ciudad de Cuenca, la cual está a 2560m sobre el nivel del mar; el estudio aporta a la creación de una base de datos que podría incentivar a los usuarios a buscar modelos de vehículos más eficientes.

El método empleado para determinar este consumo es la utilización de los ciclos de conducción normalizados (EPA FTP75 y EPA HWFET) en un dinamómetro de chasis, el cual simula las cargas que el vehículo experimenta en carretera, para la medición del consumo se ha utilizado un flujómetro dedicado a este fin, los análisis fueron realizados en base a la norma ISO 10521.

Los resultados obtenidos fueron un rendimiento aproximado de 36MPG en ciudad y 39MPG en autopista en el Chevrolet Aveo, y de 29MPG y 28MPG respectivamente en el Hyundai Santa Fe, consiguiendo corroborar la teoría de disminución de consumo de combustible en vehículos que operan en ciudades de altura.

**Key words:** fuel consumption, chassis dynamometer test, driving wheel road forces.

**Abstract--** In 2015, one million vehicles were registered worldwide [1], which has increased in recent years due to the growth of the automotive market, without Ecuador being the exception, where the vehicle fleet has increased by 10.6% in the last eight years. The country subsidized the share of the cost of

hydrocarbons from consumption, including gasoline and diesel, so the economic stimulus was selected to the choice of efficient vehicles, it has not been significant from the economic point of view, however, currently the state applied policies to eliminate or reduce this subsidy, awakening in the consumers so that these measures do not affect their economy.

This study aims to determine the fuel consumption of vehicle models, the Hyundai Santa Fe 2.4L, 2011 and the Chevrolet Aveo Active 1.6L, 2010, the tests are conducted in the city of Cuenca, which is 2550m above the sea level; The study contributes to the creation of a database that could encourage users to search for more efficient vehicle models.

The method used to determine this consumption is the use of standardized driving cycles (EPA, FTP75 and EPA HWFET) in a chassis dynamometer, which simulates the loads that the vehicle experiences on the road, for the measurement of consumption a flowmeter dedicated to this purpose, the analyzes were performed based on the ISO 10521 standard.

The results were similar to 36MPG in city and 39MPG in highway in Chevrolet Aveo, and of 29MPG and 28MPG respectively in Hyundai Santa Fe, getting to corroborate the theory of decrease of consumption of fuel in vehicles that operate in cities of height

## I. INTRODUCCIÓN

En el año 2015, existían 1000 millones de vehículos circulando a nivel mundial, es decir uno por cada siete personas [1], estadística que muestra el crecimiento del mercado automotriz, sin ser el Ecuador una excepción.

Según el anuario de transporte 2016 del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, en ese año se matricularon 2'056.213 vehículos a nivel nacional [2], representando un incremento del 10.6% en relación a los últimos ocho años; tendencia que posiblemente continúe con el pasar de los años.

Actualmente el costo del combustible está en discusión en el país debido a la situación económica, pero no se toma en cuenta el problema de fondo, es decir la contaminación causada por combustibles fósiles. Según diario El Comercio, este 2018 el estado presupuestó \$1707 millones para subsidios de diésel, gas y gasolinas, incrementando en un 20% en relación al año 2017; es decir, los ecuatorianos cancelan aproximadamente la tercera

parte de lo que realmente cuesta el combustible, la diferencia es asumida por el estado quién ha gastado \$29421 millones en este subsidio en los últimos doce años [3]; según el ministerio de economía y finanzas [4], los subsidios en combustibles le cuestan al estado más que el gasto en salud, se precisa que el país gasta \$187 por persona en subsidio de combustible y \$156 en salud, siendo una razón suficiente para disminuir este apoyo estatal inicialmente a la gasolina denomina “super”, la cual hasta el 26 de agosto de 2018 tenía un subsidio de \$0.80 dólares/gal; es decir, el galón de este combustible pasó de costar \$2,10 a \$2,98, además se incrementó su octanaje (RON) de 90 a 92.

Debido a estas medidas, el consumo de combustible de los vehículos pasa a ser un factor importante para los usuarios, más aún cuando el país no cuenta con información sobre el consumo real a diferentes alturas sobre el nivel del mar.

Un estudio realizado por el departamento de ingeniería ambiental de la Universidad Demócrito de Tracia[5], analiza el impacto de la altitud en el consumo de combustible, utilizando tres ciclos de conducción, el NEDC donde se incrementa el consumo en un 3.5%, el HWFET donde aumenta a un 6.2% y el último FTP donde disminuye al 2.6%. En realidad, el estudio no es concluyente, ya que se asumen diferentes características de función de la tecnología de cada motor.

Un ciclo de conducción es un patrón típico de velocidad que siguen los vehículos de una ciudad en el tiempo, bajo diferentes condiciones de circulación, y se utiliza para estimar las emisiones contaminantes y consumo de combustible, éste se representa en una gráfica de velocidad contra tiempo; la ventaja de utilizar ciclos normalizados de conducción es que permiten normalizar las condiciones de las pruebas, tomando en cuenta la carga del motor y la aceleración. [6]

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Entre los métodos existentes para la obtención del consumo de combustible usando ciclos de conducción, los más comunes son los siguientes: por balance de carbono, gravimetría, con flujómetro o con instrumentación electrónica (por ejemplo, a través de una interface de conexión OBD II), el protocolo de pruebas de consumo de combustible en dinámometro de chasis normalmente se han realizado en base a las norma SAE J1321; o la norma ISO 10521.

La norma SAE J1321 emplea pruebas de desaceleración libre o “*coast down*” para estimar las fuerzas que se oponen al desplazamiento del vehículo, como : la resistencia a la rodadura ( $R_x$ ), resistencia aerodinámica( $F_d$ ), resistencia a la pendiente ( $R_g$ ) y la resistencia por inercia ( $R_i$ ); con ello se obtiene una curva normalizada de segundo grado que representa las cargas de carretera sobre rueda expresada como potencia resistente, los factores de cada término de la ecuación representan los coeficientes de fuerza de carretera sobre rueda, denominados como coeficientes (A), (B) y (C). Por otro lado, la norma ISO 10521 busca mediante pruebas “*Coast-Down*”, obtener la variación de la velocidad en los diferentes intervalos de tiempo, con ello se alimenta la ecuación (1), la cual estima las fuerzas de carretera sobre rueda, y con ella la potencia resistente expresada de igual forma como una curva de segundo grado, en la cual se identifican de igual forma los coeficientes (A), (B) y

(C); estos coeficientes han sido normalizados para configurar la resistencia que ejerce el banco dinamométrico.

$$F = - \frac{(M + Mr)}{3.6} * \frac{2 * \Delta V}{\Delta t} \quad (1)$$

Donde:

M: en carretera, masa del vehículo con ocupantes y equipos

Mr: en carretera, masa rotación ( $M_{vehículo} * 0.03$ )

$\Delta V$ : variación de velocidad ( $V_{final} - V_{inicial}$ )

$\Delta t$ : variación de tiempo ( $t_{final} - t_{inicial}$ )

Para el desarrollo de las pruebas se utilizó el proceso descrito en la norma ISO 10521. Los vehículos de prueba en este estudio fueron de las marcas Hyundai y Chevrolet (figuras 1 y 2), cuyas características se muestran en la tabla 1; según información de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador AEADE [7], estas marcas están entre las tres más vendidas a nivel nacional.



Fig. 1 Hyundai Santa Fe (referencial)



Fig. 2 Chevrolet Aveo (referencial)

Tabla 1 Características de los vehículos utilizados en el estudio.

Marca	Modelo	Año	Cilindraje	Peso	Transmisión	Tren Motriz
Hyundai	Sante Fe	2011	2.4L	1690kg	Automática	Tracción
Chevrolet	Aveo	2010	1.6L	1070kg	Manual	Tracción

Antes de iniciar con las pruebas previas a la medición de consumo de combustible, se inspecciona el correcto estado mecánico del vehículo; el cuál debe estar alineado y balanceado, con neumáticos y suspensión en buen estado, ayudando de esta manera a conseguir mejores resultados en las pruebas.

### A. Pruebas “*Coast-down*” de carretera

Esta es una prueba de desaceleración libre en carretera, basada en las recomendaciones de la norma ISO 10521, las cuales se han sintetizado, y se muestran en la tabla 2.

Tabla 2 Parámetros Norma ISO 10521

Masa bruta máx. vehículo	≤3500kg
Temp. Atmosférica	≈ 20°C
Densidad aire	≈ 1.189 kg/m <sup>3</sup> <sup>1</sup>
Pendiente longitudinal	≤ ± 1%
Pendiente transversal	≤ 1.5 %
Presión aire neumáticos	recomendada por el fabricante

Una prueba de desaceleración libre consiste en acelerar el vehículo hasta sobrepasar la velocidad máxima de prueba, que en este caso fue de 100 km/h, para luego desacelerar de forma libre en marcha neutral hasta que el mismo se detenga por sí solo, mediante el uso de un GPS se almacena datos de tiempo y velocidad con una frecuencia mínima de 5Hz, el modelo usado para esta muestra graba datos a 20Hz.

La prueba se realizó en las afueras de la ciudad de Cuenca, a una altura de 2560 msnm, en una carretera que se acerca a las condiciones de la norma, de pavimento rígido y seca, en donde se tomaron 20 muestras en cada vehículo; 10 en cada sentido para poder así compensar la pendiente de la carretera, ya que en cada sentido la distancia y tiempo promedio fueron distintas.

El principal objetivo es obtener los coeficientes At, Bt y Ct de carretera, que serán necesarios posteriormente para realizar las pruebas de ciclos de conducción en el dinamómetro de chasis y obtener el consumo de combustible.

#### B. Análisis estadístico

Para realizar el filtrado de datos obtenidos en el GPS durante las pruebas de desaceleración libre, se utilizó el software Excel, las variables que se usan para este cálculo son tiempo y velocidad, inicialmente se ordena de forma descendente el tiempo con su respectiva velocidad, es importante indicar que se debe redondear los valores de velocidad para poder comparar con el rango de velocidades impuestas por la norma; de esta forma encontramos el tiempo respectivo para cada valor de velocidad establecida anteriormente.

Se realiza este proceso con el fin de obtener la fuerza resistente correspondiente, aplicando la ecuación (1).

Seguidamente se realiza la gráfica de dispersión entre velocidad impuesta y fuerza resistente, a partir de esta se inserta una línea de tendencia polinómica de segundo orden presentando la ecuación y el valor de R cuadrado en el gráfico. La ecuación obtenida es de tipo  $y = Cx^2 + Bx + A$ , de donde se consiguen los coeficientes At, Bt y Ct de carretera, en tanto que el valor de R cuadrado es el coeficiente de determinación que indica el ajuste de la dispersión a la línea de tendencia, este coeficiente varía de 0 a 1, siendo 1 un ajuste perfecto de la muestra.

<sup>1</sup> Se ha estimado que la densidad media aproximada del aire en el lugar de las pruebas es aproximadamente de 0.965 kg/m<sup>3</sup>.

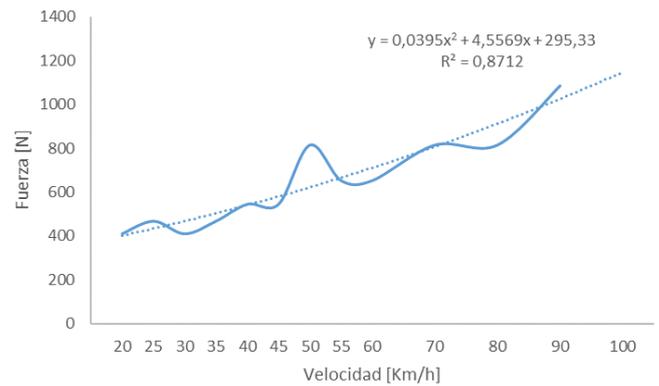


Fig. 3 Velocidad-Fuerza

En resumen, se efectúa este análisis para cada prueba, obteniendo así los coeficientes At, Bt y Ct; el promedio correspondiente, y desviación estándar; los resultados se presentan con una confianza del 95% (en base a las características de la muestra se utilizó una función de distribución de probabilidades “t de student”). Finalmente, y con el fin de corroborar la calidad de las pruebas, se ha calculado el coeficiente de variabilidad.

#### C. Pruebas “Coast-down” en dinamómetro

Siguiendo las recomendaciones de la norma ISO 10521, luego se realizaron pruebas de desaceleración libre, pero ésta vez en un dinamómetro de chasis (Figura 4); el mismo que soporta una potencia máxima absorbida de 1200hp, un peso máximo de 3629kg y una velocidad máxima de 362km/h en un rodillo de 30” de diámetro.

Para esto, el vehículo debe estar limpio, en las mismas condiciones mecánicas que fueron necesarias para los ensayos en carretera, para así ser fijado de forma segura en el dinamómetro de chasis, entre las cuáles está la correcta posición del punto de contacto de los neumáticos con el rodillo, estos deben estar situados a  $\pm 25$  mm o  $\pm 2\%$  del eje central del rodillo con respecto a su eje vertical, también es necesario mencionar que los neumáticos deben estar correctamente alineados, permitiéndose una tolerancia de 2mm de diferencia con respecto al rodillo entre ellos.



Fig. 4 Vehículo equipado en dinamómetro de chasis

Se realizaron diez pruebas de desaceleración libre en cada vehículo, con los mismos rangos de velocidad que en la prueba de carretera. En este caso la información se obtuvo desde el dinamómetro para posteriormente realizar el filtrado de datos

de la misma forma que en los ensayos de carretera, con la diferencia que la fórmula (1) se aplicó de la siguiente manera:

M: en dinamómetro, masa del rodillo (674 Kg)

Mr: en dinamómetro, masa rotación ( $M_{\text{vehículo}} * 0.015$ )

$\Delta V$ : variación de velocidad ( $V_{\text{final}} - V_{\text{inicial}}$ )

$\Delta t$ : variación de tiempo ( $t_{\text{final}} - t_{\text{inicial}}$ )

Los coeficientes resultantes de las pruebas de desaceleración libre en el dinamómetro de chasis son As, Bs y Cs, de los cuáles, como en el primer caso, se debe obtener el promedio, desviación estándar, y el coeficiente de variabilidad.

Cabe mencionar que los coeficientes iniciales del dinamómetro se derivan de los coeficientes de las pruebas de desaceleración de carretera, sin embargo, los mismos se desprecian por razones metodológicas.

Para obtener los coeficientes finales que se usarán para las pruebas de consumo de combustible, se aplica:

*Coefficientes iniciales del dinamómetro + coeficientes coast down de carretera - coeficientes coast down de dinamómetro*

$$\begin{aligned} A &= Ad + At - As \\ B &= Bd + Bt + Bs \\ C &= Cd + Ct - Cs \end{aligned} \quad (2)$$

#### D. Pruebas de consumo de combustible

Una vez obtenidos los coeficientes finales, se ingresaron en el software del dinamómetro, en donde también se debe usar el dato de peso del rodillo que es 674 Kg. Se instaló el flujómetro en la cañería de presión de combustible; equipo encargado de medir el consumo instantáneo en L/100km; Así se da inicio a las pruebas de consumo de combustible, siguiendo los ciclos de conducción EPA FTP75 de 17.77km de distancia y 1877 s de duración, así como el EPA HWFET con 16.45 km y 765 s.

Además, se instrumentaron los vehículos con un sensor de RPM para que el dinamómetro de chasis pueda disponer del dato de revoluciones por minuto del motor.

Se realizaron 5 pruebas con cada ciclo de conducción, usando los dos casos de estudio, siendo la cantidad suficiente de muestras, ya que los resultados no presentaron un alto coeficiente de variación.

Al finalizar las pruebas de consumo de combustible con ciclos de conducción, se almacenaron los datos obtenidos en el dinamómetro y flujómetro para proceder a realizar el análisis estadístico y la comparación de resultados.

Además, se realizó la medición de consumo de combustible mediante una interfaz OBD II llamado ELM327, que obtiene datos directamente de la unidad de control del motor, esto en el caso de estudio Chevrolet Aveo, que fue el único compatible con este equipo.

El lector OBD II entrega el consumo instantáneo de combustible, por lo que se debe realizar la suma de estos

valores para obtener el consumo total de cada ciclo de conducción.

### III. RESULTADOS

Para los casos de estudio presentados, se realizó el procedimiento descrito en la metodología con vehículos de diferentes prestaciones, los resultados han sido comparados con las estimaciones de la agencia de control ambiental estadounidense (EPA).

A continuación, se muestran los resultados correspondientes para cada prueba realizada:

#### A. Coast-down carretera

Las tablas 3, y 4 muestran los resultados obtenidos de At, Bt y Ct para cada vehículo en las pruebas realizadas en carretera:

Tabla 3. Resultados de las pruebas "Coast Down" carretera (Hyundai Santa Fe)

	PROMEDIO [-]	DESV.EST.M [-]	IC [-]	CV [%]	RESULTADO [-]
At	594,33	213,66	100,00	16,83	594.33 ± 100
Bt	-5,53	5,88	2,75	-49,79	-5.53 ± 2.75
Ct	0,15	0,04	0,02	11,55	0.15 ± 0.02
R <sup>2</sup>	0,84	0,03	0,01	1,74	0.84 ± 0.01

Tabla 4. Resultados de las pruebas "Coast Down" carretera (Chevrolet Aveo)

	PROMEDIO [-]	DESV.EST.M [-]	IC [-]	CV [%]	RESULTADO [-]
At	350,26	210,05	98,31	28,07	350.26 ± 98.31
Bt	2,02	3,86	1,81	89,50	2.02 ± 1.81
Ct	0,06	0,04	0,02	34,34	0.06 ± 0.02
R <sup>2</sup>	0,86	0,05	0,02	2,50	0.86 ± 0.02

#### B. Coast-down dinamómetro

Las tablas 5 y 6, muestran los resultados de las pruebas "coast down" realizadas en el dinamómetro:

Tabla 5. Resultados de las pruebas "Coast Down" Dinamómetro (Hyundai Santa Fe)

	PROMEDIO [-]	DESV.EST.M [-]	IC [-]	CV [%]	RESULTADO [-]
As	321,48	33,74	24,14	10,50	321.48 ± 24.14
Bs	5,09	0,85	0,61	16,80	5.09 ± 0.61
Cs	-0,03	0,01	0,01	-28,87	-0.03 ± 0.01
R <sup>2</sup>	0,72	0,11	0,08	15,69	0.72 ± 0.08

Tabla 6. Resultados de las pruebas "Coast Down" Dinamómetro (Chevrolet Aveo)

	PROMEDIO [-]	DESV.EST.M [-]	IC [-]	CV [%]	RESULTADO [-]
As	219,77	6,70	4,79	3,05	219,77 ± 4,79
Bs	3,17	0,52	0,37	16,25	3,17 ± 0,37
Cs	-0,01	0,01	0,004	-59,12	-0,01 ± 0,004
R <sup>2</sup>	0,87	0,03	0,02	4,00	0,87 ± 0,02

Utilizando la ecuación (2) se calculó los coeficientes finales A, B y C para cada caso de estudio, los resultados se muestran en la tabla 7; estos datos fueron introducidos en el software de configuración del dinamómetro para realizar las pruebas de consumo de combustible con ciclos de conducción.

Tabla 7. Coeficientes de fuerza de carretera sobre rueda finales

	Hyundai Santa Fe	Chevrolet Aveo
	[-]	[-]
A	272,85	130,49
B	-10,62	-1,15
C	0,18	0,07

### C. Consumo de combustible

Luego de obtener el promedio del consumo de combustible de las diferentes pruebas para cada vehículo se obtuvieron los siguientes resultados de consumo y rendimiento:

Tabla 8. Consumo y rendimiento de combustible promedio

Vehículo	Consumo EPA FTP75	Rendimiento EPA FTP75	Consumo EPA HWFET	Rendimiento EPA HWFET
	[L/100km]	[MPG]	[L/100km]	[MPG]
Chevrolet Aveo	6,42 ± 0,10	36,66 ± 0,58	5,99 ± 0,08	39,24 ± 0,55
Hyundai Santa Fe	8,81 ± 0,37	29,41 ± 1,29	8,32 ± 0,25	28,3 ± 0,83

Adicionalmente, y considerando la ecuación (3) se estimó el consumo promedio combinado (tabla 9), este factor de acuerdo a la EPA es el que mejor se asemeja al consumo y rendimiento de combustible que tendría un vehículo, bajo condiciones de operación estándar.

$$C_{comb} = 0.55 * (\text{Consumo FTP75}) + 0.45 * (\text{Consumo HWFET}) \quad (3)$$

Tabla 9. Consumo y rendimiento combinado

Vehículo	Consumo combinado	Rendimiento combinado
	[L/100km]	[MPG]
Chevrolet Aveo	6,23	37,82
Hyundai Santa Fe	8,59	28,91

Al finalizar se estimó el coeficiente de variación del consumo y rendimiento de combustible; los resultados se muestran en la tabla 10:

Tabla 10. Variación de consumo y rendimiento de combustible

Vehículo	Variación de consumo EPA FTP75	Variación de rendimiento EPA FTP75	Variación de consumo EPA HWFET	Variación de rendimiento EPA HWFET
	[%]	[%]	[%]	[%]
Chevrolet Aveo	1,59	1,59	1,40	1,39
Hyundai Santa Fe	4,56	4,37	2,99	2,93

## IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La norma ISO 10521 propone una metodología sistemática que permite la realización estandarizada de las pruebas de consumo de combustible en vehículos automóviles, utilizando un dinamómetro de chasis. Los resultados obtenidos en este ensayo se respaldan en el cumplimiento de las consideraciones de esta norma, así como en el correcto reglaje y calibración de los equipos utilizados; sin embargo al analizar los coeficientes de variación obtenidos se aprecian errores inducidos por las características de la muestra de datos obtenidos durante la experimentación; los mismos que pueden atribuirse a diferentes factores, los cuáles quedan fuera del alcance de este proyecto, a saber: condiciones de la carretera y del tráfico, condiciones ambientales (temperatura, humedad, densidad del aire, etc.) condiciones mecánicas de los vehículos, variabilidad intrínseca entre las diferentes pruebas en el dinamómetro de chasis al seguir el ciclo de conducción, entre otras. Se desconoce la significancia y la influencia de este particular sobre los resultados de consumo y rendimiento obtenidos, para conocerla es necesario varias repeticiones del experimento, y una muestra que, entre otros factores intercambie vehículos semejantes.

No obstante, los resultados obtenidos de consumo y rendimiento de combustible (Hyundai Santa Fe: 8,59 L/100km y 28,91 MPG, respectivamente; Chevrolet Aveo: 6,23 L/100km y 37,82 MPG), aportan con información valiosa para el propósito de este proyecto y permiten valorar el desempeño de estos vehículos en las condiciones del experimento. Así también, a partir de la comparación de los resultados con los obtenidos por la EPA (Figuras 5 y 8), es posible que el consumo de combustible de los vehículos llegue a ser menor en ciudades de altura, como se ha observado en otras publicaciones [5]. No obstante, hay que entender que este fenómeno no solo se ve afectado por la diferencia de masa de aire dentro del motor en cada escenario, sino también por la influencia de la configuración de los motores y la tecnología equipada en ellos; por ello es necesario llevar a cabo experimentos enfocados a este propósito para evaluar el efecto de la altura de las ciudades donde operan los vehículos.

La figura 5, muestra el rendimiento de combustible estimado por la EPA para el vehículo Hyundai Santa Fe, utilizando ciclos de conducción similares:



Fig. 5 Valores de rendimiento de combustible Santa Fe, EPA

En cuanto al Chevrolet Aveo, además de la comparación realizada con los valores de la EPA, se comparó con los resultados obtenidos de la interfaz OBDII.



Fig. 8 Valores de rendimiento de combustible Aveo, EPA

Como referencia del análisis llevado a cabo, se ha comparado el consumo y rendimiento de combustible estimado con el presentado por la EPA en ciudad (figura 6):

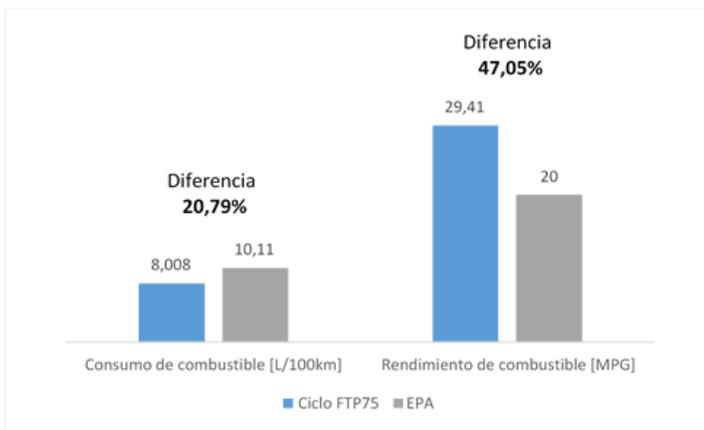


Fig. 6 Ciclo FTP 75

En la figura 9 se puede observar la comparación de consumo y rendimiento de combustible en ciudad:

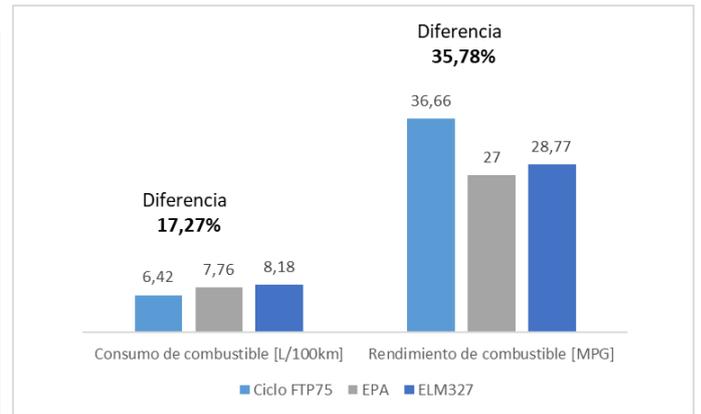


Fig. 9 Ciclo FTP75

La figura 7 muestra los datos de consumo y rendimiento de combustible en autopista:

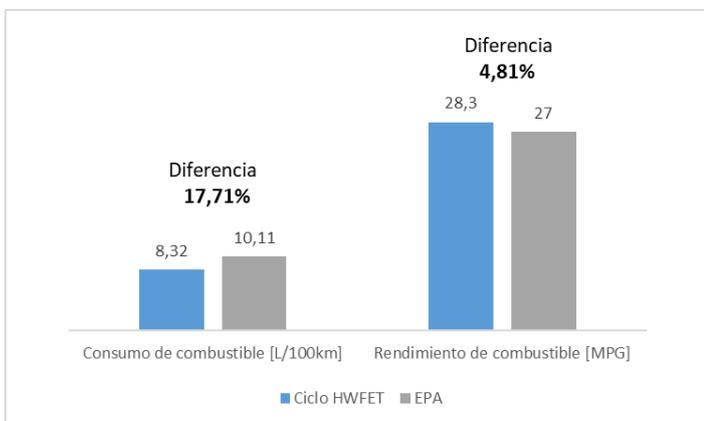


Fig.7 Ciclo HWFET

Finalmente, en la figura 10 se muestra la comparación de consumo y rendimiento de combustible en autopista:

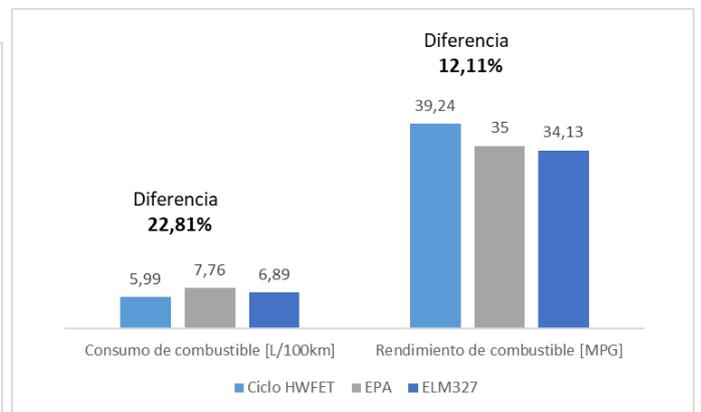


Fig. 10 Ciclo HWFET

## V. REFERENCIAS

- [1] J. W. a. A. S. Piotr Bielaczyc, «A Comparison of Carbon Dioxide Exhaust Emissions and,» *SAE International*, p. 11, 2015.
- [2] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, «INEC,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec>. [Último acceso: 14 Julio 2018].
- [3] Diario El Comercio, «El Comercio,» 4 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.elcomercio.com/>. [Último acceso: 23 Julio 2018].
- [4] Ministerio de Economía y Finanzas, «Ministerio de Economía y Finanzas,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.finanzas.gob.ec/>. [Último acceso: 23 Agosto 2018].
- [5] Department of Environmental Engineering, «Impact of altitude on the fuel consumption of a gasoline passenger car,» de *FUEL*, Tracia, Elsevier, 2011, pp. 2340-2342.
- [6] ALVARO H. RESTREPO V. YAMID A. CARRANZA SJUAN E. TIBAQUIRA G. , DISEÑO Y APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA DETERMINAR CICLOS DE CONDUCCIÓN VEHICULAR EN LA CIUDAD DE PEREIRA, Pereira: Scientia at Technica, 2007.
- [7] Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, «AEADE,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.aeade.net/anuario/>. [Último acceso: 12 Mayo 2018].
- [8] INTERNATIONAL STANDARD, «ISO 10521,» 2006.

