



*Análisis de representatividad de ciclos de conducción construidos a partir de potencia específica vehicular y consumo de energía basado en micro viajes*

*Analysis of representativeness of driving cycles constructed from vehicle specific power and energy consumption based on micro trips*

*Análise da representatividade dos ciclos de direção construídos a partir da potência específica do veículo e do consumo de energia com base em micro viagens*

Paúl Montúfar-Paz <sup>I</sup>

[paul.montufar@esepoch.edu.ec](mailto:paul.montufar@esepoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-9062-8704>

Daniela C. Vásconez-Núñez <sup>II</sup>

[daniela.vasconez@esepoch.edu.ec](mailto:daniela.vasconez@esepoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-1898-9529>

Fernando M. Tello-Oquendo <sup>III</sup>

[fernando.tello@esepoch.edu.ec](mailto:fernando.tello@esepoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-2551-9648>

**Correspondencia:** [paul.montufar@esepoch.edu.ec](mailto:paul.montufar@esepoch.edu.ec)

Ciencias técnicas y aplicadas  
Artículo de investigación

\***Recibido:** 22 de mayo de 2021 \***Aceptado:** 20 de junio de 2021 \* **Publicado:** 05 de julio de 2021

- I. Facultad de Mecánica, Escuela Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Doctora Dentro del Programa de Doctorado en Ingeniería y Producción Industrial, Master Universitario en Tecnologías, Energética para el Desarrollo Sostenible en la Especialidad Eficiencia Energética, Ingeniera Mecánica, Grupo de Investigación y Desarrollo en Nanotecnología, Materiales y Manufactura (GIDENM), Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Doctor Dentro del Programa de Doctorado en Ingeniería y Producción Industrial, Master Universitario en Tecnología Energética para el Desarrollo Sostenible Especialidad: Eficiencia Energética, Ingeniero Mecánico, Grupo de Investigación y Desarrollo en Nanotecnología, Materiales y Manufactura (GIDENM), Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.



## Resumen

El interés por seleccionar un ciclo de conducción que logre representar el patrón de conducción vehicular en una región motiva a realizar este estudio para obtener un modelo matemático que valide el proceso de construcción del ciclo que mejor reproduzca el consumo energético y las emisiones generadas por los vehículos livianos a gasolina, emitidas por el tubo de escape. El ciclo de conducción es un perfil de velocidad temporal, que debe ser representativo y, además, logística y económicamente reproducible. Este artículo presenta un modelo que analiza la representatividad entre dos métodos de construcción de ciclos de conducción, el primero nombrado Micro Viajes basado en Energía y el segundo basado en la Potencia Específica Vehicular; la representatividad de estos métodos es evaluada a partir de la diferencia relativa promedio de 16 parámetros característicos, entre los ciclos obtenidos y la población del total de datos obtenidos. Durante 16 meses fueron instrumentados 20 vehículos livianos durante su operación en una franja altimétrica entre los 0 y 4000 msnm, logrando otorgar representatividad del parque automotor latino, que opera con motores de encendido provocado. Se instrumentaron los vehículos para obtener los siguientes parámetros de funcionamiento: velocidad, aceleración, consumo, carga y emisiones de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, HC, O<sub>2</sub>. Considerando esta amplia muestra de vehículos evaluados y su similitud de características operativas, es posible inferir que el ciclo resultante logra evaluar el consumo y las emisiones dentro de un intervalo adecuado de confianza. La calidad de los datos obtenidos, la rigurosidad en la obtención de datos, el filtrado de la información, el proceso metódico y minucioso de las técnicas de construcción del ciclo y, por último, el amplio volumen de información recolectada aporta el requerimiento necesario para lograr la representatividad, objetivo del presente estudio. Para el efecto se desarrolló una plataforma on-line que opera bajo lenguaje Python, la misma que permitió automatizar el proceso de recolección, filtrado, análisis y visualización de la información respecto a los parámetros de operación del automóvil.

**Palabras clave:** Ciclos de conducción; potencia; consumo; emisiones; modelo.

## Abstract

The interest in selecting a driving cycle that manages to represent the vehicle driving pattern in a region motivates us to carry out this study to obtain a mathematical model that validates the cycle construction process that best reproduces the energy consumption and emissions generated by

vehicles light gasoline, emitted from the exhaust pipe. The driving cycle is a temporary speed profile, which must be representative and logistically and economically reproducible. This paper presents a model that analyzes the representativeness between two driving cycle construction methods, the first named Micro Trips based on Energy and the second based on Specific Vehicle Power; the representativeness of these methods is evaluated from the average relative difference of 16 characteristic parameters, between the cycles obtained and the population of the total data obtained. For 16 months, 20 light vehicles were instrumented during their operation in an altimetric range between 0 and 4000 meters above sea level, achieving representativeness of the Latin automobile fleet, which operates with provoked ignition engines. The vehicles were instrumented to obtain the following operating parameters: speed, acceleration, consumption, load and CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, HC, O<sub>2</sub> emissions. Considering this large sample of evaluated vehicles and their similarity in operating characteristics, it is possible to infer that the resulting cycle manages to evaluate consumption and emissions within an adequate confidence interval. The quality of the data obtained, the rigorous data collection, the filtering of the information, the methodical and meticulous process of the cycle construction techniques and, finally, the large volume of information collected provides the necessary requirement to achieve representativeness, the objective of this study. For this purpose, an on-line platform was developed that operates under Python language, which allowed automating the process of collecting, filtering, analyzing, and displaying information regarding the car's operating parameters.

**Keywords:** Driving cycles; power; consumption; emissions; model.

## Resumo

O interesse em selecionar um ciclo de condução que consiga representar o padrão de condução do veículo em uma região nos motiva a realizar este estudo para obter um modelo matemático que valide o processo de construção do ciclo que melhor reproduza o consumo de energia e as emissões geradas pela gasolina leve de veículos, emitido pelo tubo de escape. O ciclo de direção é um perfil de velocidade temporário, que deve ser representativo e, além disso, logística e economicamente reproduzível. Este artigo apresenta um modelo que analisa a representatividade entre dois métodos de construção de ciclos de direção, o primeiro denominado Micro Trips com base na Energia e o segundo com base na Potência Específica do Veículo; A representatividade destes métodos é avaliada a partir da diferença relativa média de 16 parâmetros característicos, entre os ciclos obtidos e a

população do total de dados obtidos. Durante 16 meses, 20 veículos leves foram instrumentados durante sua operação na faixa altimétrica entre 0 e 4000 metros acima do nível do mar, alcançando representatividade da frota automobilística latina, que opera com motores de ignição provocada. Os veículos foram instrumentados para obter os seguintes parâmetros operacionais: velocidade, aceleração, consumo, carga e emissões de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, HC, O<sub>2</sub>. Considerando essa grande amostra de veículos avaliados e sua similaridade nas características operacionais, é possível inferir que o ciclo resultante consegue avaliar o consumo e as emissões dentro de um intervalo de confiança adequado. A qualidade dos dados obtidos, o rigor na obtenção dos dados, a filtragem da informação, o processo meticuloso e meticuloso das técnicas de construção do ciclo e, por fim, o grande volume de informação recolhida fornece o requisito necessário para atingir a representatividade, o objetivo deste estudo. Para tanto, foi desenvolvida uma plataforma on-line que opera em linguagem Python, que permitiu automatizar o processo de coleta, filtragem, análise e exibição de informações sobre os parâmetros operacionais do carro.

**Palavras-chave:** Ciclos de condução; potência; consumo; emissões; modelo.

## Introducción

Un ciclo de conducción es una serie temporal de velocidades que busca representar de la manera más fiel posible el modo en el que se conduce en una región determinada por un sector del transporte terrestre. Encontrar un método que evalúe y compare la representatividad es una tarea relevante que permitirá seleccionar el ciclo más adecuado para medir y comparar el consumo de energía de los vehículos y las emisiones del tubo de escape (Montúfar Paz, Abad Padilla, Quinga, & Razo Cifuentes, 2019). La reproducción y evaluación de un ciclo de conducción representativo permite cuantificar el consumo y las emisiones generadas en una localidad, de tal manera que se establece el primer peldaño dentro de la elaboración del inventario de emisiones en una región determinada (Zhang, Zhao, & Shen, 2011). Un ciclo de conducción, además, permite obtener el consumo y emisiones semejantes al de un vehículo similar que recorra la región establecida como objetivo, es por esto que se tiende a trabajar sobre ciclos reales de conducción que sean más representativos con lo que sucede en el mundo real (André, 2004).

El impacto generado por los vehículos requiere de un ciclo de conducción para poder evaluar su comportamiento. Estos ciclos se los puede evaluar sobre un dinamómetro o también remotamente

con dispositivos de detección remota, RSD. Un modelo basado en el consumo de combustible para el cálculo de emisiones es COPERT, que fue desarrollado por la agencia europea del medio ambiente, AEMA en 1985. Los modelos basados en emisiones vinculan estos datos con la información de viaje de una región de tal manera que sea posible generar inventarios de emisiones en base a ciertas estimaciones (Zhang et al., 2011; Montúfar & Palmay, 2020).

Las métricas de evaluación plasmadas en los parámetros característicos logran describir, de un modo aproximado, el patrón de conducción vehicular y con ello el ciclo de conducción. La representatividad y calidad del ciclo es posible evaluarla en función de qué tanto disten estos parámetros del ciclo, respecto al volumen total de datos obtenidos (Giraldo & Huertas, 2019). Estas brechas existentes entre el ciclo de conducción y la población general de datos pueden ser cuantificadas a partir de los parámetros característicos que proporciona la métrica de evaluación de representatividad de un ciclo y el proceso de obtención de éste (Kancharla & Ramadurai, 2018).

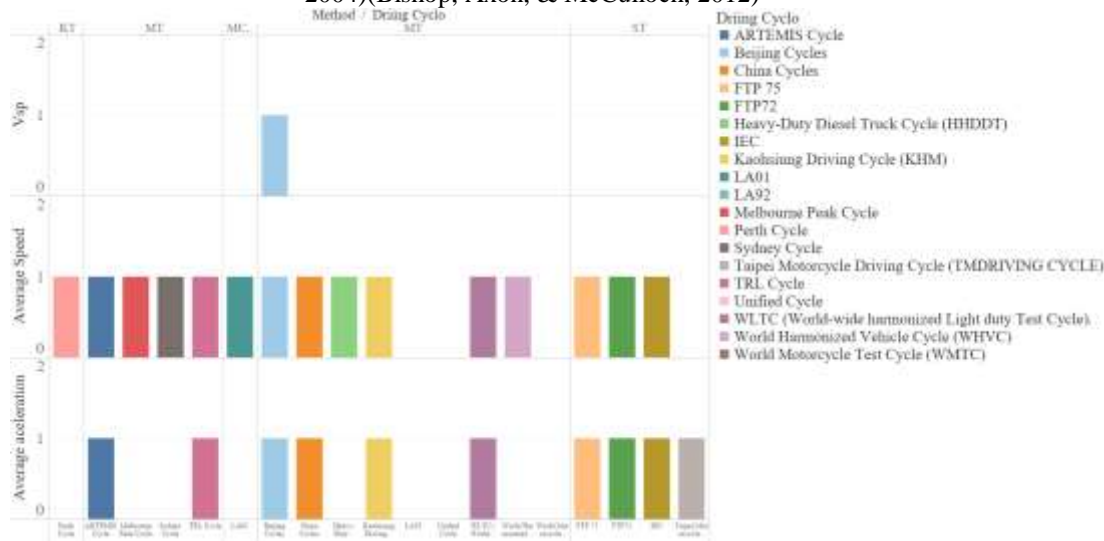
Un ciclo de conducción de homologación permite evaluar el cumplimiento de la normativa referente a consumo y emisiones, sin embargo, si este ciclo no responde a las particularidades de conducción de una localidad determinada, los datos desprendidos de estas pruebas carecen de validez práctica que sustenten los resultados obtenidos (Brady & O'Mahony, 2016). En diferentes partes del mundo se utilizan una amplia variedad de ciclos de conducción los mismos que han sido obtenidos por diferentes métodos. Uno de los principales métodos es el conocido por micro viajes, particularmente por su naturaleza estocástica de tal modo que podrán generar resultados diferentes con la misma base de datos como entrada (Zhang et al., 2011).

El método de construcción del ciclo varía según el investigador que lo desarrolle, así mismo, los parámetros característicos sobre los que se realiza la evaluación de representatividad pueden variar, de tal manera que estos parámetros característicos, constituyen el elemento que diferencia un ciclo de otro; en consecuencia, el consumo y las emisiones generadas dependerán de las características y sus cambios en cada instante de tiempo. En la Figura 1 se muestran algunos de los principales ciclos de conducción y los parámetros sobre los que se apoyó el proceso de construcción de los mismos (Wang, Huo, He, Yao, & Zhang, 2008).

Los ciclos de conducción usualmente son utilizados para determinar si un vehículo cumple con las condiciones operativas para ingresar a una jurisdicción, dependiendo del consumo y de las emisiones generadas durante la ejecución del ciclo, pero si este no responde a la realidad local tampoco los valores desprendidos del mismo serán un referente confiable del impacto generado (Giraldo &

Huertas, 2019). El método de construcción de los ciclos no es un asunto internacionalmente normalizado, sin embargo, existen parámetros como la velocidad, la aceleración y tiempos en ralentí que son masivamente utilizados por su capacidad de sintetizar las particularidades de los modos de conducción. (Huang et al., 2019). Uno de los métodos de construcción del ciclo utiliza el consumo como un parámetro característico, esto a partir de que gracias a la instrumentación del proceso de combustión del motor de combustión interna y de las variables operativas del motor fue más viable la obtención de esta información.(José I. Huertas, Giraldo, Quirama, & Díaz, 2018)

**Figura 1:** Ciclos de conducción, metodologías de construcción y parámetros característicos utilizados, MT: Micro Trips, ST: select trip, KT: Knight tour, MCMC: Markov chain Monte Carlo, VSP: Vehicle Specific Powerful (André, 2004)(Bishop, Axon, & McCulloch, 2012)

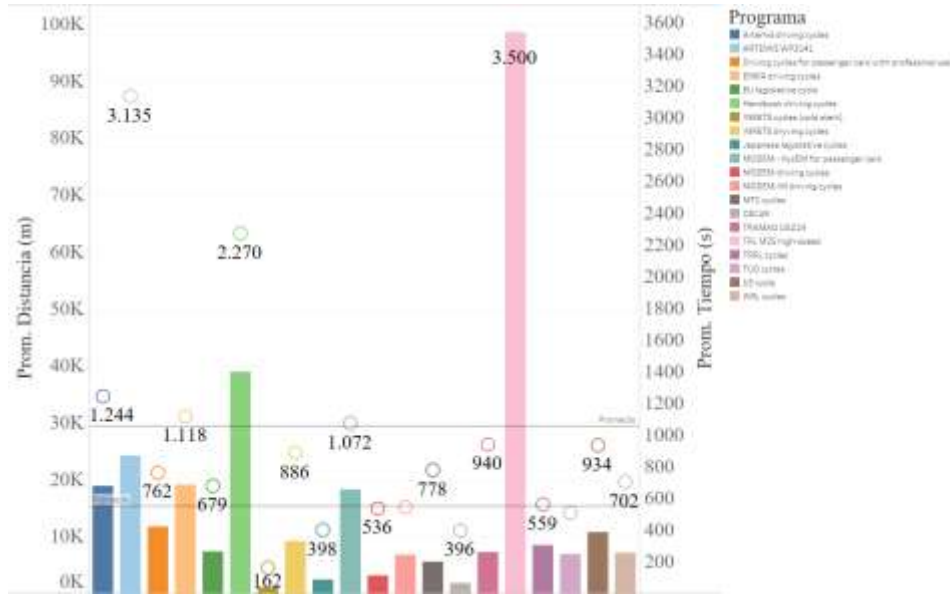


Uno de los aspectos mayormente evaluados es la duración que debería tener el ciclo, de tal manera que puedan ser reproducidos en un dinamómetro de rodillos de un modo viable, sin lapsos de tiempo excesivo que puedan decantar en costos exagerados o, por el contrario, ciclos muy cortos que no representen el pulso de conducción de la localidad, de tal manera que uno de los parámetros a ingresar por el investigador será el tiempo de duración, basado en la experiencia particular. La Figura 2 muestra los tiempos y distancias que en promedio son considerados para realizar los distintos ciclos de conducción (José Ignacio Huertas, Quirama, Giraldo, & Díaz, 2019). Otro parámetro externo al ciclo que proporciona mayor repetitividad y reproducibilidad es el número de interacciones que



desarrolla internamente el ordenador para calcular el ciclo, entre mayor sea este número, el resultado tendrá mejores características.

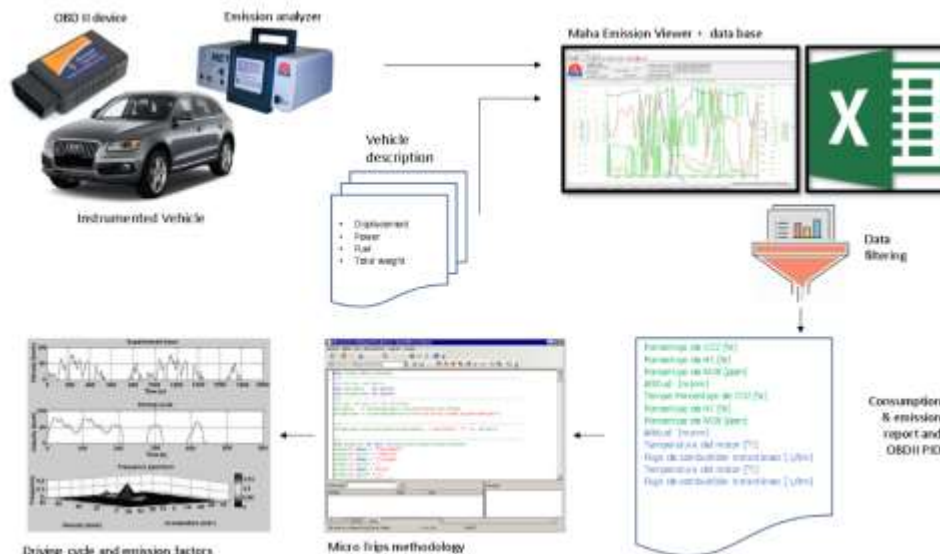
**Figura 2:** Tiempos y distancias de los ciclos de conducción





- Análisis estadístico de representatividad.

**Figura 3:** Arquitectura del proceso de validación de representatividad de los ciclos de conducción (Montufar, Huertas, & Cuisano, 2020)

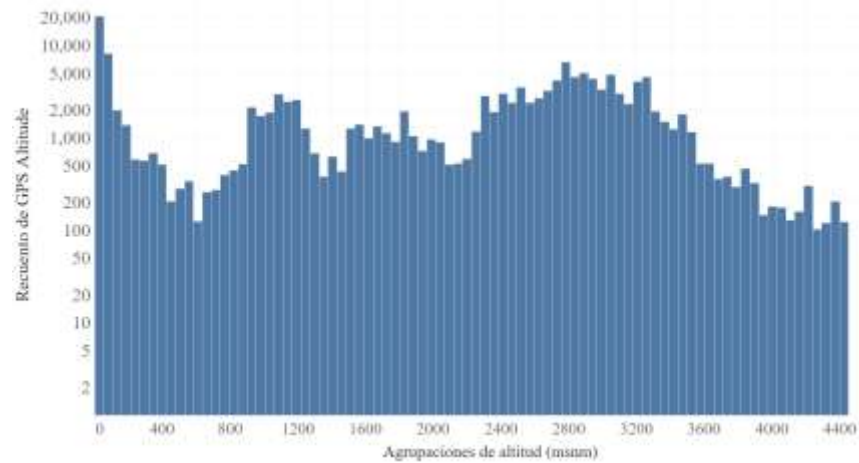


### Selección de ruta

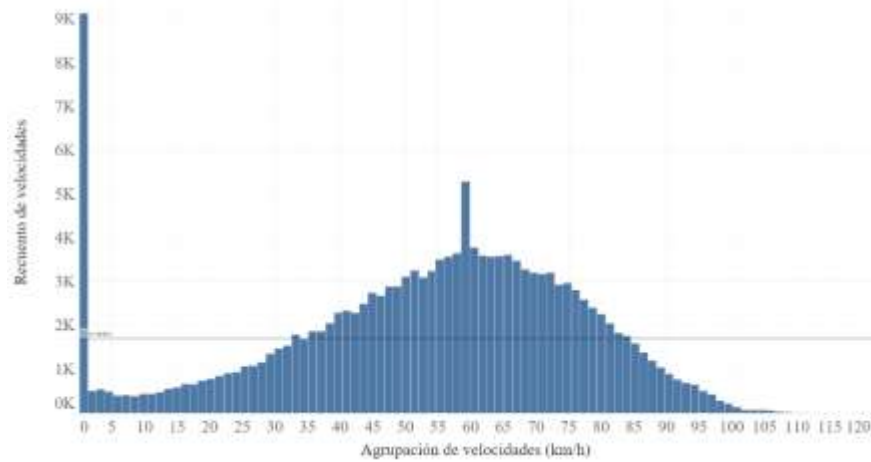
La ruta sobre la cual fueron obtenidos los datos operativos y de emisiones generadas por el escape del automóvil fueron seleccionadas aleatoriamente, buscando recorrer zonas urbanas de mayor circulación a partir de reportes de tráfico satelitales como Google Maps. También se seleccionaron carreteras de alta velocidad de conexión obligada entre centros urbanos. Todos estos tramos de recorrido se encuentran distribuidos en una franja altimétrica entre 0 y 4500 msnm a lo largo de la geografía ecuatoriana.

Las vías seleccionadas tienen diferentes niveles de tráfico. Este parámetro de intensidad de flujo vehicular se encuentra definida por la Academia Nacional de Ciencia desde el 2010 y determina bajo una medida cualitativa el tráfico presente en una localidad. Para determinar esta medida utiliza datos de: velocidad, aceleración, tiempo en tráfico y libertad de maniobra entre otras. La distribución altimétrica se la puede observar en la Figura 4. Respecto al análisis dinámico del volumen de datos obtenidos se aprecia la amplia franja de datos recolectada en lo concerniente a velocidades y aceleraciones que se muestra en las Figuras 5 y 6.

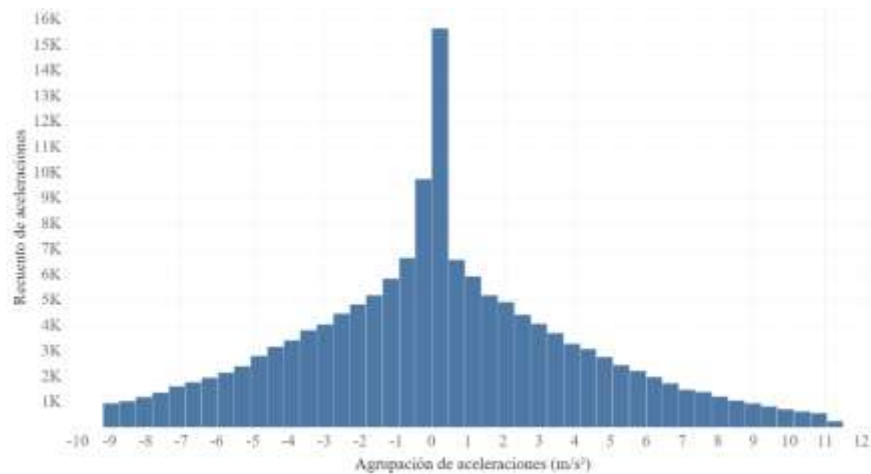
**Figura 4:** Gráfica logarítmica de recuento de datos obtenidos a diversas altitudes sobre el nivel del mar



**Figura 5:** Recuento de velocidades obtenidas del conjunto de muestras recolectadas



**Figura 6:** Recuento de aceleraciones obtenidas del conjunto de muestras recolectadas



## Recolección de datos

Los automóviles fueron instrumentados con un dispositivo OBD II, el mismo que fue programado y diseñado para la recolección de datos en tiempo real a una frecuencia de 1Hz con la autonomía necesaria para automatizar el proceso de recolección, filtrado y construcción del ciclo. Es importante mencionar que la estrategia de obtención de consumo de combustible obtenido fue validada por métodos gravimétricos y cuantitativos donde fueron medidas las lecturas de consumo a partir de la instrumentación del riel de presión, con sensores de flujo y presión para posteriormente comparar este valor con el del dispositivo OBD II, obteniéndose un valor de  $R^2$  superior a 0.9.

**Figura 7:** Arquitectura del sistema de adquisición y visualización de datos



La Figura 7 muestra la arquitectura del sistema de adquisición y visualización de datos. El equipo de adquisición de datos es una Raspberry Pi 3, con el módulo de GPS, adaptador de bluetooth y adaptador de red que, conjuntamente con el analizador de emisiones, permitieron recolectar los datos mostrados en la Tabla 1 y, además, registrar la fecha, hora de adquisición de datos, posición geográfica, etc. Mientras que el modem Huawei que funciona con tecnología 3G, compatible con la tarjeta de desarrollo, permitieron subir los datos a la nube. Utilizando el sistema de diagnóstico a bordo es posible monitorear los componentes que afectan a las emisiones del automóvil, además, es posible medir los parámetros de funcionamiento en tiempo real a partir de una trama del mensaje.

**Tabla 1:** Parámetros instrumentados en los vehículos de medición, referentes a operación del automóvil y a emisiones generadas por el escape durante el proceso de la combustión, (Montufar et al., 2020).

Lecturas del analizador emisiones	Fórmula química	Lectura de sensores del automóvil por el OBD II	PID de referencia (hex)
Dióxido de carbono	$CO_2$	Ajuste de combustible a corto y largo plazo	06 / 07 / 08 / 09
Monóxido de carbono	$CO$	Velocidad del automóvil	0D
Total, de hidrocarburos	$THC$	Carga del motor	04
Dióxido de nitrógeno	$NO_2$	Consumo instantáneo de combustible	5E
Monóxido de hidrógeno	$NO$	Posición de mariposa de aceleración	11
Oxígeno	$O_2$	Velocidad del motor	0C
		Temperatura del refrigerante	05

Los datos obtenidos son almacenados en un servidor de Amazon y gestionados por el sistema MySQL que están basados en un código abierto y permiten trabajar a bajos costos manteniendo en compatibilidad con otros eslabones del proceso. La visualización de la información fue colocada en un servidor de código abierto, HTTP Apache, utilizando una página web con lenguaje PHP, Java. El tamaño reducido de cada paquete de datos obtenido cada segundo y su capacidad de compactación permite que el consumo de espacio en la plataforma sea considerablemente reducido y permita almacenarse por un lapso superior a 6 meses, sin recurrir a plataformas de tarifa. Además, se recolectaron los datos de emisiones generadas por el escape de los automóviles, a la misma frecuencia del dispositivo OBD II, mediante el uso del analizador de emisiones, con registro y visualización en tiempo real Maha Met 6.3 para obtener las concentraciones volumétricas de los gases liberados por el escape después del proceso de la combustión. Las especificaciones son mostradas en las Tablas 2 y 3. De esta manera es posible cotejar la información y analizarla en conjunto con los datos operativos del automóvil, lo cual facilita el mapeado referente a zonas de funcionamiento donde el consumo y emisiones llegan a valores más altos (Bishop et al., 2012), también se abre la posibilidad de diagramar las franjas óptimas de operación vehicular. La información obtenida durante el proceso es mostrada en la Tabla 1. Uno de los puntos señalados en el protocolo de recolección de datos es el de puesta a punto del analizador, de tal manera que cada medición los valores puedan ser verificados en integridad y rangos de medición, otorgando confianza a los procesos subsiguientes.

**Tabla 2:** Especificaciones del analizador de emisiones utilizado para obtener las lecturas de concentración volumétrica de gases a la frecuencia de 1 Hz, (Montufar et al., 2020)

Software de registro de datos	Maha Emission Viewer
Combustibles compatibles de medición	Diesel, gasolina, GNC, GLP
Lectura de revoluciones	Sensor piezo eléctrico
Índice de flujo	3.5 l/min
Altitud de medición	3500 msnm

**Tabla 3:** Método de obtención de emisiones y especificaciones de rango y precisión del analizador

Gas	Símbolo	Rango	Unidad	Precisión	Método de medición
Dióxido de carbono	$CO_2$	0 – 20	Porcentaje	0.01	Espectrometría de infrarrojo
Monóxido de carbono,	$CO$	0 – 15	Porcentaje	0.01	Espectrometría de infrarrojo
Total, de Hidrocarburos,	$THC$	0 – 10 000	Partes por millón	0.01	Espectrometría de infrarrojo
Óxidos de Nitrógeno,	$NOx:NO_2 + NO$	0 – 5 000	Partes por millón	20	Detección electroquímica
Oxígeno	$O_2$	0-25	Porcentaje	0.01	Detección electroquímica
Lambda	$\lambda$	0.5-10	Adimensional	0.01	Calculada

Durante un periodo de 2 años fueron obtenidos los datos de 20 vehículos livianos que funcionan con gasolina y con una tecnología similar y representativa del parque automotor regional. La Tabla 4 muestra las características generales de los automóviles. Las lecturas de los datos operativos del motor se adquirieron con un dispositivo OBD II construido y diseñado para la adquirir y subir la información a la nube.

Los conductores seleccionados para el proceso de adquisición de datos fueron seleccionados aleatoria e indistintamente para las diferentes rutas de medición y se agregó un peso lastre equivalente a dos ocupantes para lograr replicar las condiciones de operación conforme a condiciones normales de trabajo.

**Tabla 4:** Características de los modelos de los automóviles utilizados para la recolección de datos, pudiendo haber más de uno por modelo, (Montufar et al., 2020)

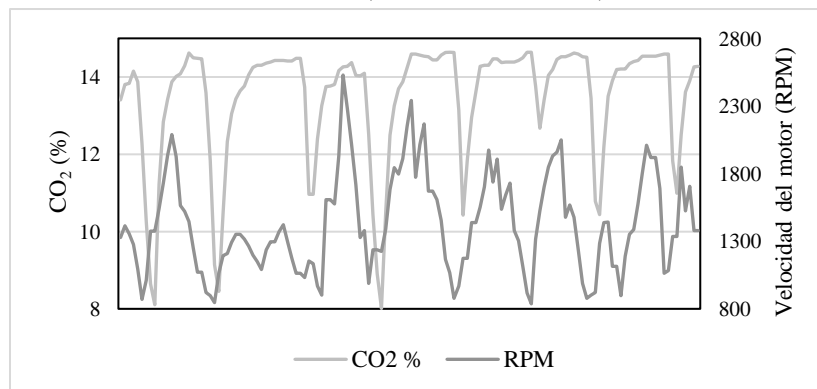
Vehículo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tipo	Furgoneta	Sedan	Hatchback	Sedan	Sedan	Sedan	Sedan	Sedan	Suv	Truck
Estándar de emisiones	EURO III	EURO IV	EURO V	EURO V	EURO IV	EURO IV	EURO IV	EURO IV	EURO V	EURO IV
Cilindrada CC.	1173	1399	1397	1397	1498	1498	1598	1799	1984	2237
Relación de compresión	10:1	10:1	10.5:1	10.5:1	9.5:1	9.5:1	10.5:1	9.8:1	9.6:1	10:1

Tipo de admisión	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Turbo cargado	NA
Tipo de inyección	MPFI	MPI CVVT	MPI CVVT	MPI CVVT	MPFI	MPFI	MPI	MPI	TFSI	MPFI
Torque máximo Nm-RPM	106 @ 3500 - 4500	136 @ 5000	137 @ 5000	138 @ 5000	128 @ 3000	128 @ 3000	153 @ 3800	165 @ 4000	350 @ 1500 - 4500	190 @ 2.800
Potencia máxima KW-PRM	59 @ 6000	79 @ 6300	67 @ 6200	68 @ 6200	62 @ 5600	62 @ 5600	77 @ 5600	89,55 @ 5800	171.5 @ 4700 - 6200	79 @ 4600
Peso en vacío Kg.	1230	1133	1263	1074	1040	1040	5	1211	1830	1740

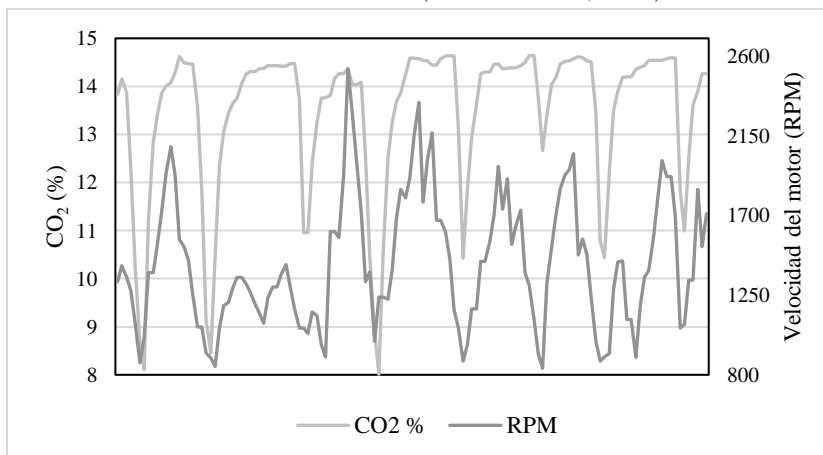
### Construcción de los ciclos de conducción

Los datos obtenidos durante el proceso fueron filtrados y validados de manera que se excluyan lapsos de mediciones incompletas o con datos que salen del rango comprendido para ciertas dimensiones como consumos de combustible desproporcionados o como concentraciones de oxígeno superiores al 10%, (Montufar et al., 2020). Como parte del proceso de procesamiento de datos fue necesario sincronizar los datos obtenidos por el dispositivo OBD y por el analizador de emisiones, en vista de que la velocidad de adquisición y registro de datos fue distinta; el analizador para su registro toma un tiempo adicional respecto a los datos operativos del automóvil, que son recolectados instantáneamente. Para llevar a cabo esta sincronización fue necesario valerse del método de correlación de Pearson para analizar el comportamiento de las emisiones de dióxido de carbono frente a las revoluciones del motor, de esta manera se desfazan las dos bases de datos hasta encontrar el valor más alto de correlación, que dependiendo de la muestra se hallaba entre 5 y 9 segundos la una respecto a la otra (Tong & Hung, 2010). En las Figuras 8 y 9 se visualiza el comportamiento de estas dos variables antes y después de la sincronización de bases de datos, respectivamente.

**Figura 8:** Comportamiento del dióxido de carbono frente a la velocidad del motor antes del proceso de sincronización, (Montufar et al., 2020)



**Figura 9:** Comportamiento del dióxido de carbono frente a la velocidad del motor después del proceso de sincronización (Montufar et al., 2020)



Estos datos permitieron analizar la conducción total en contexto y por micro viajes para obtener los parámetros característicos descriptivos mostrados en la Tabla 5.

**Tabla 5:** Parámetros característicos obtenidos de los viajes realizados.

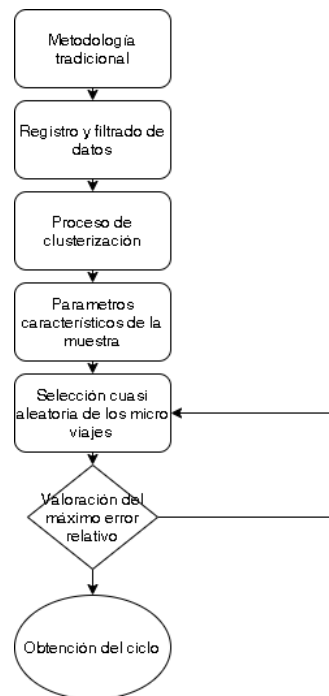
Grupo	Parámetro	Unidades
Relacionado con el tiempo	% de tiempo crucero	%
	% de tiempo acelerando	%
	% de tiempo de desaceleración	%
	% de tiempo ralentí	%
Relacionado con la velocidad	Velocidad media	m/s
	Desviación estándar de velocidad	m/s
	Velocidad máxima	m/s
Relacionado con el consumo	Consumo de combustible	L/km
Relacionado con la aceleración	Aceleración media	m/s <sup>2</sup>
	Aceleración positiva media	m/s <sup>2</sup>
	Aceleración negativa media	m/s <sup>2</sup>
	Desviación estándar de aceleración	m/s <sup>2</sup>
	Aceleración máxima	m/s <sup>2</sup>
	Desaceleración máxima	m/s <sup>2</sup>
	Número de aceleraciones por km	/km

A partir de la metodología de construcción de ciclos de conducción basada en consumo y potencia específica vehicular, se obtienen los ciclos partiendo de un método común mostrado en la Figura 10, con la variante de que en el primer modelo se consideran como variantes de selección a los siguientes parámetros característicos, (Yuhui, Yuan, & Huibao, 2019):



- Velocidad promedio.
- Aceleración promedio.
- Porcentaje de tiempo en ralentí.
- Consumo de combustible.

**Figura 10:** Metodología convencional para la construcción del ciclo de conducción



La potencia específica vehicular es una razón entre la potencia de un automóvil y su masa, esta adecuación de datos permite realizar un cálculo remoto para la obtención de consumo, emisiones y como en este caso para la construcción de un ciclo de conducción, liberando de la adecuación de compleja instrumentación, requerida en otros métodos (Mashadi, Amiri-Rad, Afkar, & Mahmoodi-Kaleybar, 2014).

Mientras que el segundo modelo, construcción basada en la potencia específica vehicular (PSV), se consideran los primeros 3 parámetros más la potencia específica del automóvil, calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$PSV = \frac{\Sigma(F.a+F.r+F.w+F.i)}{m} * v \quad (1)$$

Donde F.a = Fuerza aerodinámica; F.r = Fuerza de rodadura; F.w = Fuerza ejercida por el peso del automóvil; F.i = Fuerza interna del automóvil; v = Velocidad y m = masa del automóvil.

Los datos obtenidos en la fase de instrumentación, filtrados, procesados y ordenados permitieron construir 6 ciclos de conducción por cada metodología y posteriormente describir estos ciclos a partir de los parámetros característicos mostrados en la Tabla 5 y por factores de emisión expresados en g/km para cada uno de los gases monitoreados ( $CO_2$ ,  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $HC$ ,  $O_2$ ) segundo a segundo.

El total de datos obtenidos es separado en tramos, considerando como punto de inicio y de fin de cada uno de ellos el momento en que el motor se encuentra en velocidad de ralentí, incluyendo en cada micro viaje el inicio de ralentí inicial de cada segmento en que fue dividido el conjunto de datos; luego se generan clústers de datos mediante el criterio de k-means a partir de 2 variables (velocidad promedio y aceleración promedio positiva) y estos clústers de datos son seleccionados aleatoriamente ponderando positivamente su tamaño, una segunda división aleatoria se genera en cada clúster para obtener los micro viajes que serán agrupados uno a continuación del otro hasta conseguir el tiempo destinado para el ciclo de conducción. Los ciclos de conducción obtenidos a partir de una secuencia de interacciones realizadas por el ordenador en una plataforma de lenguaje Python deben cumplir con un error relativo inferior al 5% para los parámetros característicos seleccionados y como condición adicional se seleccionarán los que muestren la menor diferencia respecto al global de datos obtenidos.

### **Análisis estadístico de representatividad**

Con los ciclos de conducción obtenidos bajo las dos metodologías, se comparan sus errores relativos respecto a la muestra total de datos, de tal manera que los promedios de las diferencias relativas y los rangos inter-cuartiles se constituyen en los elementos que otorgan la valoración de la representatividad de los ciclos. Construidos los ciclos en base a una serie de interacciones computacionales se generan 10 ciclos por modelo y se obtienen errores porcentuales entre los parámetros característicos de la muestra y de cada uno de los ciclos.

## **Resultados y discusión**

### **Resultados del método de consumo de combustible basado en micro viajes (EBMT)**

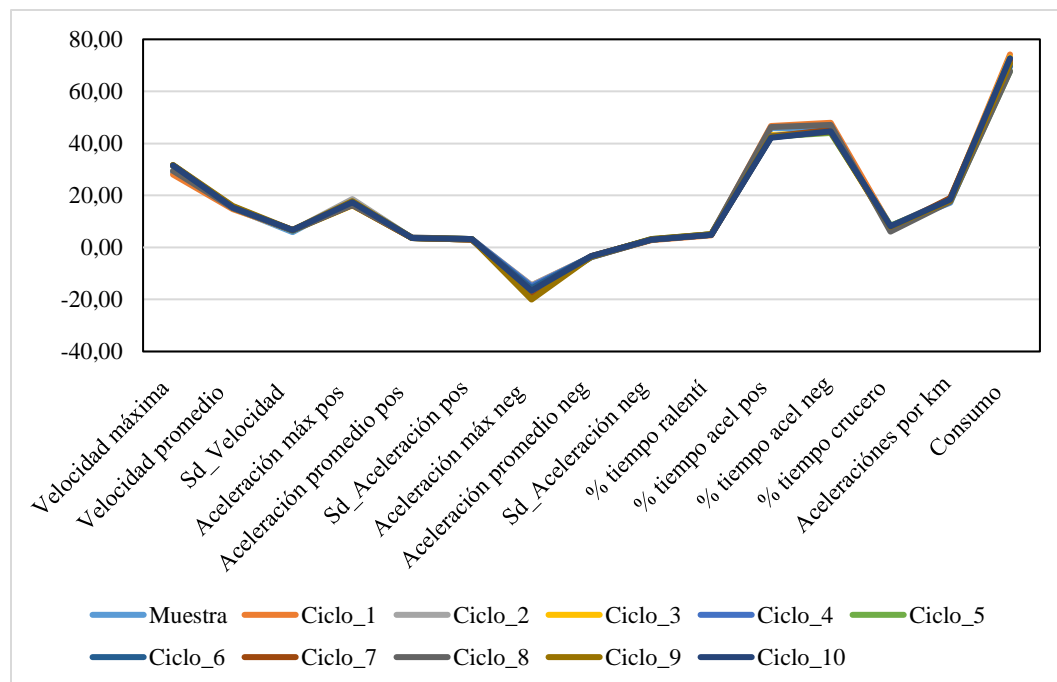
Utilizando el programa desarrollado en lenguaje Python para la obtención de los ciclos de conducción y los parámetros característicos, se llegan a los mostrados en la tabla 6 y en la Figura 11, donde se verifican sus valores por el método de micro viajes basado en consumo específico, estos parámetros

son el promedio de 10 micro viajes obtenidos después de las 1000 interacciones realizadas por el software desarrollado.

**Tabla 6:** Promedio de parámetros característicos obtenidos por el método de micro viajes por consumo de combustible

Valores	Promedio parámetros
V. Máx (m/s)	30.99
V. Promedio (m/s)	15.27
Std. Velocidad (m/s)	6.62
A. Máx + (m/s <sup>2</sup> )	17.05
A. Promedio + (m/s <sup>2</sup> )	3.66
Std. A + (m/s <sup>2</sup> )	3.13
A. Máx - (m/s <sup>2</sup> )	-16.60
A. Promedio - (m/s <sup>2</sup> )	-3.52
Std. A. + (m/s <sup>2</sup> )	3.06
% tiempo ralenti	4.93
% tiempo a. +	43.35
% tiempo a. -	45.22
% tiempo crucero	7.67
A. Por km	18.29
Consumo (gal/h)	71.15

**Figura 11:** Gráfica de los 10 ciclos obtenidos por el método EBMT



Con estos valores obtenidos y comparándolos con los parámetros del total de datos se determinan los errores relativos, los cuáles se muestran en la Tabla 7. Los errores calculados a partir de la

comparación de los datos totales y los ciclos obtenidos son los que permiten valorar la representatividad del ciclo.

**Tabla 7:** Promedio de errores obtenidos por parámetro entre la muestra y cada uno de los ciclos

<b>Errores</b>	<b>Promedio parámetros</b>
V. Máx (m/s)	0.08
V. Promedio (m/s)	0.02
Std. Velocidad (m/s)	0.11
A. Máx + (m/s <sup>2</sup> )	0.07
A. Promedio + (m/s <sup>2</sup> )	0.02
Std. A + (m/s <sup>2</sup> )	0.03
A. Máx - (m/s <sup>2</sup> )	0.10
A. Promedio - (m/s <sup>2</sup> )	0.06
Std. A. + (m/s <sup>2</sup> )	0.02
% tiempo ralenti	0.01
% tiempo a. +	0.06
% tiempo a. -	0.03
% tiempo crucero	0.07
A. Por km	0.07
Consumo (gal/h)	0.03

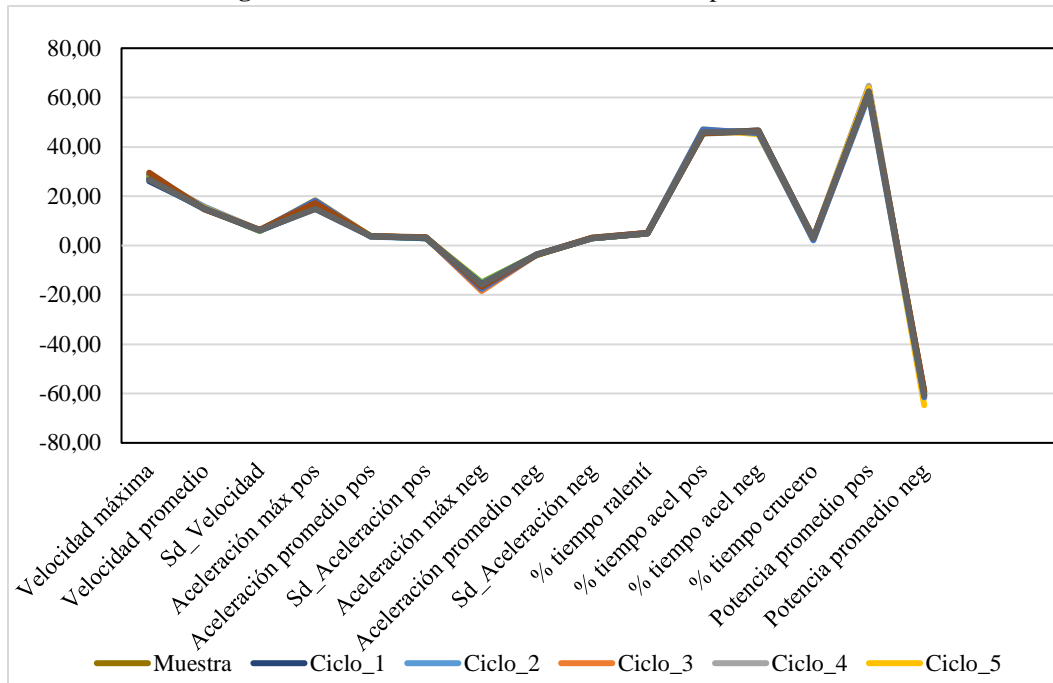
### Resultados del método de potencia específica vehicular (PSV)

Utilizando el método de criterio determinante a la potencia específica vehicular se llega obtener 10 ciclos de conducción de las 1000 interacciones realizadas por el computador para esta metodología alterna de construcción, promediando los parámetros característicos se llega a los resultados mostrados en la Tabla 8 y en la Figura 12.

**Tabla 8:** Promedio de parámetros característicos obtenidos por el método de micro viajes por PSV

<b>Valores</b>	<b>Promedio parámetros</b>
V. Máx (m/s)	27.58
V. Promedio (m/s)	15.05
Std. Velocidad (m/s)	6.17
A. Máx + (m/s <sup>2</sup> )	16.47
A. Promedio + (m/s <sup>2</sup> )	3.78
Std. A + (m/s <sup>2</sup> )	3.08
A. Máx - (m/s <sup>2</sup> )	-16.13
A. Promedio - (m/s <sup>2</sup> )	-3.76
Std. A. + (m/s <sup>2</sup> )	3.02
% tiempo ralenti	5.00
% tiempo a. +	45.96
% tiempo a. -	46.26
% tiempo crucero	2.78
Potencia promedio + (kW)	62.80
Potencia promedio - (kW)	-60.72

**Figura 12:** Gráfica de los 10 ciclos obtenidos por el método PSV.



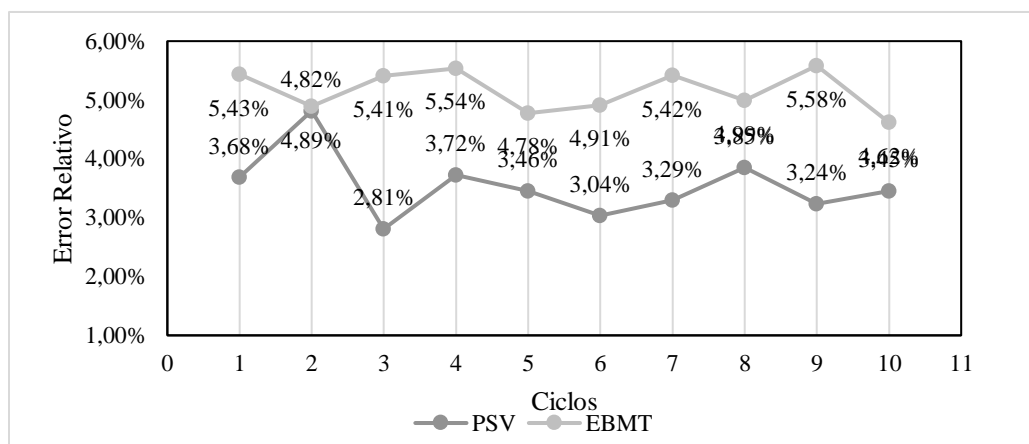
Realizado este cálculo se obtienen los errores relativos entre el total de datos y los promedios de la Tabla 8 para demostrar la representatividad de esta metodología de construcción de ciclos. Los errores se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 9:** Promedio de errores obtenidos por parámetro entre la muestra y cada uno de los ciclos por el método de PSV

Errores	Promedio parámetros
V. Máx (m/s)	0.05
V. Promedio (m/s)	0.02
Std. Velocidad (m/s)	0.03
A. Máx + (m/s <sup>2</sup> )	0.10
A. Promedio + (m/s <sup>2</sup> )	0.03
Std. A + (m/s <sup>2</sup> )	0.03
A. Máx - (m/s <sup>2</sup> )	0.09
A. Promedio - (m/s <sup>2</sup> )	0.02
Std. A. + (m/s <sup>2</sup> )	0.03
% tiempo ralenti	0.02
% tiempo a. +	0.01
% tiempo a. -	0.01
% tiempo crucero	0.07
Potencia promedio +	0.02
Potencia promedio -	0.02

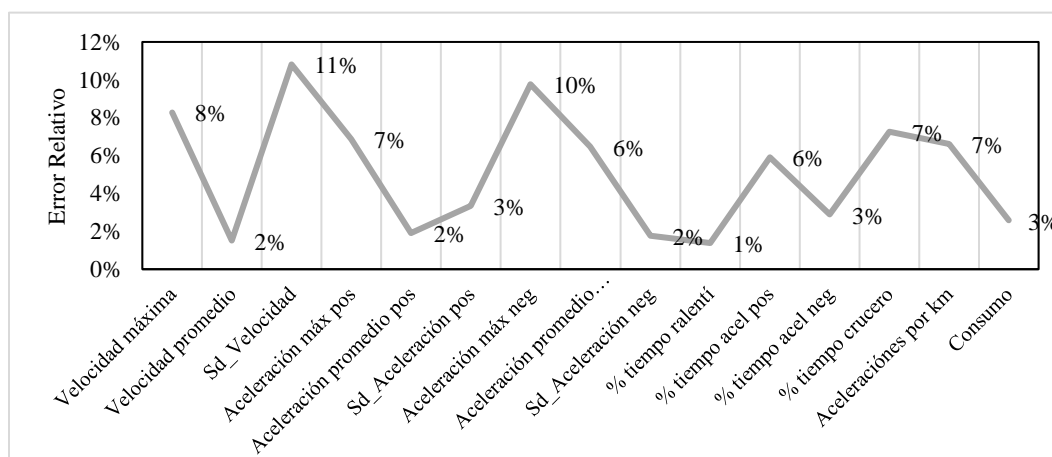
A partir de los resultados obtenidos se concluye que los promedios de errores relativos encontrados por cada método son cercanos, sin embargo, la construcción realizada por el método de potencia específica vehicular (PSV) refleja un menor error porcentual para cada uno de los 10 ciclos obtenidos en comparación de la estrategia de micro viajes por consumo de combustible (EBMT) como se observa en la Figura 13. Los errores promedio no superan el 6% en ambos casos.

**Figura 13:** Promedio de los errores relativos para cada uno de los diez ciclos generados por los dos métodos estudiados, EBMT Y PSV

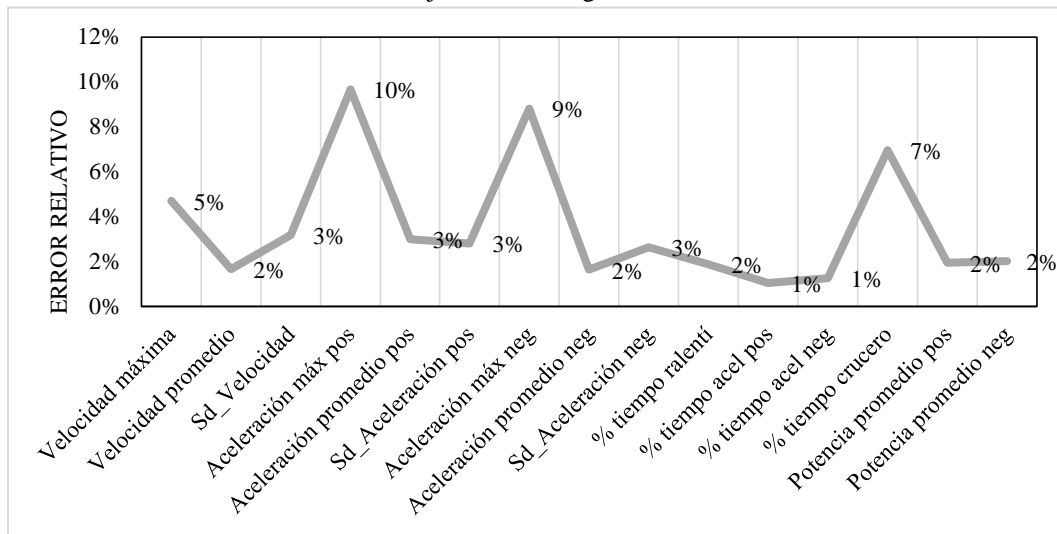


Las Figuras 14 y 15 muestran el promedio de los errores relativos obtenidos en los 10 ciclos para cada uno de los parámetros característicos bajo la metodología EBMT y PSV, respectivamente. En ambos casos los errores relativos no superan el 11%.

**Figura 14:** Promedio de los errores relativos obtenidos en los 10 ciclos para cada uno de los parámetros característicos bajo la metodología EBMT

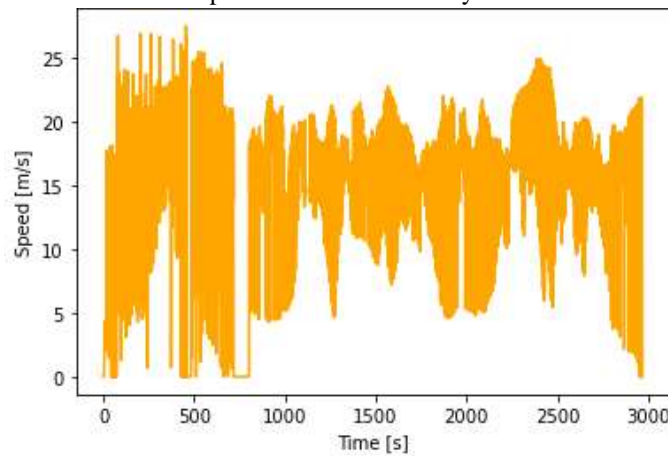


**Figura 15:** Promedio de los errores relativos obtenidos en los 10 ciclos para cada uno de los parámetros característicos bajo la metodología PSV



La Figura 16 muestra el ciclo de conducción construido por el método de micro viajes respecto a potencia específica que reporta un menor promedio en los errores relativos de todos los parámetros característicos utilizados.

**Figura 16:** Ciclo de conducción obtenido por el método de micro viajes utilizando a la potencia específica vehicular como parámetro de selección y rechazo.



## Conclusiones

El presente trabajo analiza la representatividad de ciclos de conducción construidos a partir de potencia específica vehicular y consumo de energía basado en micro viajes, del cual se obtienen las siguientes conclusiones:



- El análisis de representatividad de los dos modelos de construcción de ciclos de conducción analizados, micro viajes por consumo específico de combustible y micro viajes por potencia específica vehicular son claramente válidos y eficaces al momento de obtener un ciclo de conducción representativo, en vista de que los errores relativos son, en promedio, inferiores al 6%, respecto al volumen masivo de datos obtenidos.
- En promedio, los errores relativos de cada parámetro característico demuestran que el método de micro viajes por potencia específica vehicular es una estrategia que proporciona una mayor eficacia que el método de micro viajes por consumo específico, un 2% de margen es la brecha porcentual en promedio entre los dos métodos de construcción de ciclos.
- El número de interacciones con que el programa calcula los ciclos de análisis puede modificar levemente la brecha existente entre las metodologías de construcción de ciclos respecto a los errores relativos de los parámetros característicos.
- El tiempo de 3000 segundos para los ciclos de conducción obtenidos corresponde un análisis de costo vs. beneficio donde se obtenga una alta representatividad sin incurrir en un exceso de gastos logísticos para la reproducibilidad de la prueba y que, además, es coherente con ciclos de conducción previos obtenidos por otros investigadores.

## Referencias

1. André, M. (2004). The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions. *Science of the Total Environment*, 334–335, 73–84. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.04.070>
2. Bishop, J. D. K., Axon, C. J., & McCulloch, M. D. (2012). A robust, data-driven methodology for real-world driving cycle development. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(5), 389–397. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2012.03.003>
3. Brady, J., & O'Mahony, M. (2016). Development of a driving cycle to evaluate the energy economy of electric vehicles in urban areas. *Applied Energy*, 177, 165–178. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.05.094>
4. Giraldo, M., & Huertas, J. I. (2019). Real emissions, driving patterns and fuel consumption of in-use diesel buses operating at high altitude. *Transportation Research*

- Part D: Transport and Environment, 77, 21–36.  
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.10.004>
5. Huang, Y., Surawski, N. C., Organ, B., Zhou, J. L., Tang, O. H. H., & Chan, E. F. C. (2019). Fuel consumption and emissions performance under real driving: Comparison between hybrid and conventional vehicles. *Science of the Total Environment*, 659, 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.349>
  6. Huertas, José I., Giraldo, M., Quirama, L. F., & Díaz, J. (2018). Driving cycles based on fuel consumption. *Energies*, 11(11), 1–13. <https://doi.org/10.3390/en11113064>
  7. Huertas, José Ignacio, Quirama, L. F., Giraldo, M., & Díaz, J. (2019). Comparison of three methods for constructing real driving cycles. *Energies*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/en12040665>
  8. Kancharla, S. R., & Ramadurai, G. (2018). Incorporating driving cycle based fuel consumption estimation in green vehicle routing problems. *Sustainable Cities and Society*, 40, 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.04.016>
  9. Mashadi, B., Amiri-Rad, Y., Afkar, A., & Mahmoodi-Kaleybar, M. (2014). Simulation of automobile fuel consumption and emissions for various driver's manual shifting habits. *Journal of Central South University*, 21(3), 1058–1066. <https://doi.org/10.1007/s11771-014-2037-x>
  10. Montufar, P., Huertas, J. I., & Cuisano, J. (2020). Driving cycle and emission factors in high-altitude cities: Riobamba case. 2020 Ieee Andescon, Andescon 2020. <https://doi.org/10.1109/ANDESCON50619.2020.9272059>
  11. Montúfar, P., & Palmay, P. (2020). Paúl Alejandro Montúfar-Paz. Caracterización de Los Óxidos de Nitrógeno Emitido Por Motores de Combustión Interna En Condiciones Reales de Trabajo, 5(04), 254–270. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i4.1377>
  12. Montúfar Paz, P., Abad Padilla, C., Quinga, M. I., & Razo Cifuentes, A. V. (2019). Análisis de los factores de emisión dinámicos para el vehículo Toyota Hi Lux con motor de Ciclo Otto S.I para altitudes superiores a los 2500 metros. *Ciencia Digital*, 3(2), 602–619. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.469>
  13. Tong, H. Y., & Hung, W. T. (2010). A framework for developing driving cycles with on-road driving data. *Transport Reviews*, 30(5), 589–615. <https://doi.org/10.1080/01441640903286134>

14. Wang, Q., Huo, H., He, K., Yao, Z., & Zhang, Q. (2008). Characterization of vehicle driving patterns and development of driving cycles in Chinese cities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 13(5), 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.03.003>
15. Yuhui, P., Yuan, Z., & Huibao, Y. (2019). Development of a representative driving cycle for urban buses based on the K-means cluster method. *Cluster Computing*, 22(3), 6871–6880. <https://doi.org/10.1007/s10586-017-1673-y>
16. Zhang, X., Zhao, D. J., & Shen, J. M. (2011). A synthesis of methodologies and practices for developing driving cycles. *Energy Procedia*, 16(PART C), 1868–1873. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.01.286>

© 2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-  
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)  
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)