

Obtención del ciclo de conducción urbano para la ciudad de Riobamba en horas pico y no pico mediante la recolección de datos de los factores de operación y consumo energético obtenido por un dispositivo OBD

Obtaining the urban driving cycle for the city of Riobamba in peak and non-peak hours by collecting data on the operation factors and energy consumption obtained by an OBD device.

Paúl Montúfar¹, Roberto Calva¹, Andrés Flores¹

¹ Escuela Politécnica de Chimborazo/Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador

Correspondencia Autores: roberto.calva@esPOCH.edu.ec, andres.flores@esPOCH.edu.ec;

Recibido: 10 de noviembre 2024, Publicado: 18 de diciembre de 2024

Resumen— *El objetivo de la presente investigación fue realizar el ciclo de conducción ideal para la ciudad Riobamba mediante la obtención de factores de operación de motores de combustión interna para reproducir el consumo de combustible segundo a segundo de vehículos livianos e identificar el perfil de conducción en la ciudad. Se realizaron pruebas en ruta, un total de 146 en 10 vehículos. En la obtención de datos en rutas, se eligió diferentes parámetros a monitorizar mediante el software de teléfonos, “Torque Pro”. Mediante el método de microciclos, se obtuvo un número de 806 microciclos, a partir del número total de rutas, considerando la velocidad inicial y final igual a cero, tomando en cuenta los tiempos de ralentí. Se clasificó el número de vehículos por su cilindrada. Se procedió a realizar una filtración por la herramienta conglomerados de Minitab. Para la elección final de microciclos, se realizó una filtración aleatoria de microciclos que se acerquen al rango de la velocidad promedio con una tolerancia de $\pm 5\%$ en los microciclos en estudio hasta alcanzar la longitud de 800 ± 60 segundos. Se obtuvieron 4 ciclos de conducción para automóviles de diferente cilindrada. Con un rango de 9 a 17,5 L/100km instantáneos. Se expresó mediante los ciclos de conducción urbanos, que la ciudad de Riobamba presenta una conducción lenta pero agresiva, con una tasa elevada de consumo de combustible por sus tiempos en velocidades menores a 20 km/h. Se sugiere hacer más estudios referentes al consumo de combustible con respecto al tráfico de la ciudad, y tomar en cuenta estas interpretaciones para tener nuevas alternativas que controlen el gasto energético de los automóviles que transitan en la ciudad.*

Palabras clave— *Ciclo de conducción, Vehículos livianos, Método de microciclos, Factores de operación, Consumo de combustible*

Abstract— The objective of the present investigation was to carry out the ideal driving cycle for the city Riobamba by obtaining internal combustion engine operation factors to reproduce the second to second fuel consumption of light vehicles and identify the driving profile in the city. Road tests were conducted, a total of 146 in 10 vehicles. In obtaining route data, different parameters were chosen to be monitored using

the telephone software, “Torque Pro”. Using the microcycle method, a number of 806 microcycles was obtained, from the total number of routes, considering the initial and final speed equal to zero, taking into account the idle times. The number of vehicles was classified by their displacement. Filtration was carried out by the Minitab chipboard tool. For the final choice of microcycles, a random filtration of microcycles approaching the average speed range was performed with a tolerance of $\pm 5\%$ in the microcycles under study to reach the length of 800 ± 60 seconds. Four driving cycles were obtained for cars of different displacement. With a range of 9 to 17.5 L / 100km instantaneous. It was expressed through urban driving cycles, that the city of Riobamba has a slow but aggressive driving, with a high rate of fuel consumption for its times at speeds below 20 km / h. It is suggested to do more studies regarding fuel consumption with respect to city traffic, and to take into account these interpretations to have new alternatives that control the energy expenditure of cars traveling in the city.

Keywords— *Driving cycle, Light vehicles, Macrocycle method, Operating factors, Fuel consumption*

I INTRODUCCIÓN

La evolución del campo automotor tiene un crecimiento progresivo a través del tiempo. Lo cual incide en que se desarrollen tecnologías automotrices capaces de abastecer la demanda con altos estándares de calidad y amigables con el medio ambiente. Por lo tanto, entidades estatales en países desarrollados establecen políticas y reglamentos basados en el uso racional de los recursos disponibles y que regulan la libre circulación de automotores en beneficio del ecosistema.

Hoy en día, los países de América Latina y el Caribe, en vías de desarrollo económico tienden a apostar a alcanzar mayores niveles de eficiencia energética para alcanzar la sostenibilidad.

Ecuador, dentro de su plan de desarrollo para un buen vivir apunta a una sociedad donde la eficiencia energética juega un rol imprescindible para el desarrollo de la comunidad ecuatoriana. Si más bien, el país aún depende

de recursos de combustibles fósiles, es necesario encontrar lineamientos que favorezcan su óptima utilización en el sector automotriz. Es por eso que, la ley de Eficiencia Energética, tiene focalizado incentivar a las empresas a formular sistemas más limpios para el transporte.

Particularmente, en la ciudad de Riobamba, no se dispone de la información pertinente al ciclo de conducción urbano. Siendo, el transporte terrestre una actividad económica estratégica de la ciudad, se propone en la presente investigación experimental obtener el ciclo de conducción de la zona urbana en vehículos livianos a través de la tecnología OBD II. Por lo tanto, con la información obtenida se pretende sentar las bases de investigación para alcanzar una mejor eficiencia energética que a futuro sea útil para establecer una mejor estructura y organización al sistema vehicular urbano riobambeño.

II MÉTODOS Y MATERIALES

Motor de Combustión Interna

Es un tipo de máquina que a partir de la energía química de un combustible obtiene energía mecánica, tal como se aprecia en la figura 1

El proceso de combustión se produce dentro de la máquina [7].



Fig. 1 Motor de combustión interna

Se clasifica en ciclo Otto y diésel acorde a su funcionamiento. El motor ciclo Otto puede clasificarse en:

- Gasolina
- GLP (Gas licuado de petróleo)
- GNC (Gas natural comprimido)
- Etanol

El mecanismo de funcionamiento se basa en la interacción de los elementos que se aprecian en la figura 2. Donde el cilindro aloja un pistón que se ajusta a sus paredes mediante unos anillos que evitan que los gases se introduzcan en la parte inferior del motor y contribuyan a

la lubricación del motor. El pistón se halla unido a una biela, la cual transmite la fuerza de explosión al codo de un cigüeñal. Con esta interacción el movimiento alternativo del pistón se convierte en un movimiento de rotación mediante el eje del cigüeñal. La parte superior del cilindro se cierra mediante la culata o cabezote, donde se alojan las válvulas que son accionadas por un eje de levas que permiten el ingreso o salida de los gases del cilindro. El eje de levas recibe el movimiento del cigüeñal a través de una cadena o banda dentada y gira con la mitad de revoluciones que el cigüeñal.

El cuerpo encargado de alojar el mecanismo cilindro-pistón es el bloque cuya parte inferior se sella con el cárter, donde se encuentra el aceite, que tiene la función de lubricar y contiene ductos de refrigeración [7].

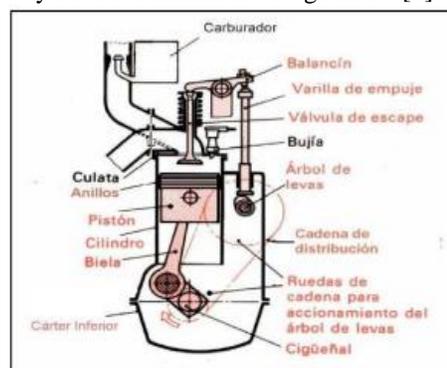


Fig. 2. Esquema básico del MCI

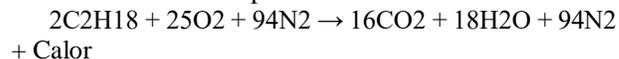
El objeto de investigación está enfocado al estudio en vehículos a gasolina.

Termodinámica de la combustión

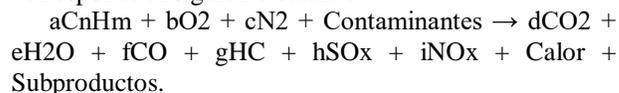
El aire está compuesto por nitrógeno molecular (N₂), oxígeno molecular (O₂), vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂) y argón (Ar) [21]. La cantidad de cada uno de estos componentes varía dependiendo de la situación geográfica y condiciones meteorológicas.

Los procesos de combustión interna son:

• **Combustión completa:** se genera cuando existe una oxidación total de cada uno de los elementos que conforman el combustible. El balance estequiométrico ideal del octano corresponde a:



• **Combustión incompleta:** no se oxida totalmente el combustible y los productos de la combustión varían en función de la cantidad de oxígeno existente. Por ende, se forman sustancias como el monóxido de carbono y corresponde al siguiente balance:



- Combustión teórica: está relacionada con el cálculo de las relaciones cuantitativas entre reactivos y productos del balance.
- Combustión pobre: es la reacción que se produce cuando existe una menor cantidad de combustible en contraste con la cantidad de aire necesaria para la combustión.
- Combustión rica: se obtiene al reaccionar una mínima cantidad necesaria y existe una mayor presencia de combustible en relación al aire requerido para la combustión.

Ciclo Termodinámico del motor Otto

Las cuatro operaciones que priman el funcionamiento del motor Otto son: admisión, compresión, expansión y escape; cada operación se efectúa cada 180° y el proceso completo termina en 720°; la carrera lineal del pistón va desde el punto muerto superior (PMS) hasta el punto muerto inferior (PMI). En la figura 3 se puede visualizar la representación del diagrama presión – volumen del ciclo en mención.

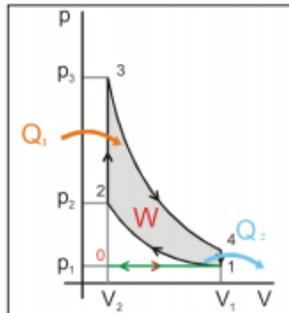


Fig 3. Ciclo Otto

Los procesos termodinámicos para el ciclo Otto comprenden [23]:

- Adiabático o isentrópico (1-2): sin transferencia de calor con el exterior, compresión del fluido de trabajo.
- A volumen constante (2-3): introducción instantánea del calor.
- Adiabático (3-4): expansión
- A volumen constante (4-1): extracción instantánea del calor.

Emisiones contaminantes

El motor de combustión ciclo Otto produce una combustión incompleta, la cual provoca gases contaminantes que afectan a la salud humana [13]. Los gases generados en la reacción se clasifican en:

- Tóxicos: Los gases de escape comprenden: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx), ozono (O3) y óxido de azufre (SO).

- Inofensivos: Oxígeno molecular (O2), Nitrógeno molecular (N2), dióxido de carbono (CO2) a niveles de 2000 ppm y Agua (H2O).

En el año 2016, el Ecuador ha matriculado un total de 2 056 213 vehículos, en el cual, la provincia de Chimborazo (Riobamba como cabecera cantonal) registra 32 960 vehículos matriculados [11], ver figura 4

Existe una emisión de 289,3 kilotoneladas (kt) de CO2 en el año 2014 por parte de la combustión de combustible en los vehículos en el Ecuador [10], ver figura 5-2.

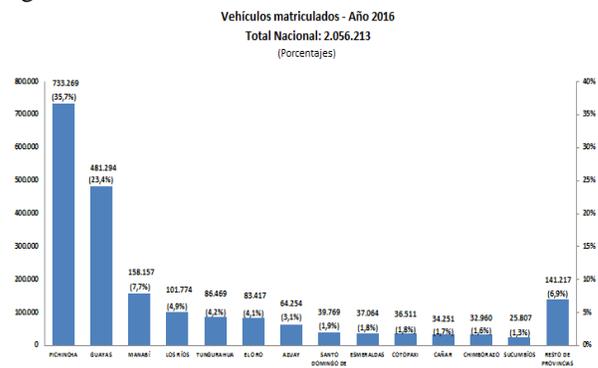


Fig 4 Vehículos matriculados en Ecuador.

Control de emisiones contaminantes

Los sistemas de control de emisiones de escape se han creado con el propósito de minimizar los elementos contaminantes producidos por el automotor en el ciclo de combustión [23] y son:

- Ignición electrónica: consiste en un sistema electrónico que interrumpe la corriente del primario de la bobina para generar por autoinducción la alta tensión que requiere la bobina.
- Control de combustión (sensor de oxígeno): consiste en un sensor alojado a la salida del escape del motor que censa los gases de combustión y retroalimenta constantemente a la unidad de control del motor que adecua la mezcla aire-combustible acorde al estado de funcionamiento del vehículo.
- Unidad electrónica de control: está conformada por una unidad de control asociada a sensor MAP, sensor de posición del acelerador, sensor de temperatura y oxígeno y otros, que monitoriza y determina las cantidades adecuadas de cantidad de combustible, punto de ignición y demás parámetros.
- Sistema de inyección adicional de aire en el escape: se encarga de inyectar aire fresco dentro del múltiple de escape del motor reduciendo los productos incompletos de la combustión.
- Sistema de ventilación positiva del cárter (PCV): está compuesto por una válvula PVC, que extrae los gases del

cárter. La válvula se ubica en la tapa de las válvulas y se comunica directamente con el múltiple de admisión y trabaja en función de la carga del múltiple. Es así como una cantidad de los gases que fluyen hacia el múltiple de admisión son parte de los gases del cárter del motor, los mismos que son empleados para la combustión y reducen las emisiones nocivas de los gases.

- Sistema de emisiones evaporativas (EVAP): este sistema se encarga de recolectar los gases que se forman cuando el combustible está almacenado en el tanque. Los gases son llevados por medio de un conjunto de válvulas hacia el canister de carbono para su almacenamiento hasta ser purgados hacia el motor para su combustión.
- Sistema de recirculación de gases de escape (EGR): su finalidad es reducir las emisiones de óxido de nitrógeno, introduciendo los gases del escape dentro de la cámara de combustión a través de una válvula de recirculación de los gases entre el escape y el múltiple de admisión. Por lo tanto, disminuyen los picos de temperatura en la combustión.
- Convertidor catalítico: este dispositivo funciona idealmente entre 400° y 700°, se encarga de transformar los gases contaminantes por medio de la técnica de la catálisis en gases inertes y reducir los elementos nocivos.

Eficiencia energética del motor de combustión interna

Un MCI alimentado por gasolina, no logra alcanzar el 100% de la eficiencia térmica [7]. El 30% de la energía calórica que contienen se transforma en movimiento y el restante se disipa hacia la atmósfera. El diagrama Sankey de la figura 6 permite apreciar el balance de la energía de ingreso y de salida.

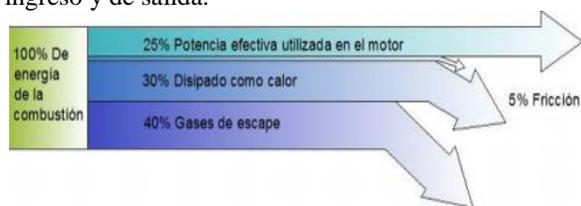


Fig . 6 Eficiencia del MCI

Ciclos de conducción.

El ciclo de conducción del vehículo es una serie de puntos de datos que representan la velocidad de un vehículo frente al tiempo. Este ciclo refleja la condición de trabajo real de un automotor en condiciones de tráfico específicas, se trata de una evaluación razonable desde la perspectiva económica y de emisiones del vehículo [13].

Los ciclos de conducción son una herramienta estadística que genera un perfil de velocidad contra tiempo, siendo información estratégica para la industria automotriz y las entidades que se encargan de crear políticas a favor de mitigar las emisiones hacia el ambiente.

En China continental y la India, la densidad de los vehículos en la carretera suele ser mayor y los sistemas de gestión de tráfico son menos avanzados que en otros países, por lo cual, sus aceleraciones promedio son elevadas [1], como se lo expresa en la tabla 1.

Zona Geográfica del CC	Velocidad media (Km/h)	Aceleración Promedio Positiva (m/s ²)
Asia	27,8	0,727
Estados Unidos	36,2	0,507
Australia	35,4	0,630
Europa	41,7	0,464

Tabla 1. Características de conducción en el mundo

Una comparación de ciclos de conducción entre los continentes de Asia y Europa, determinó que el continente asiático presenta la conducción más lenta pero más agresiva, mientras el europeo es más rápido, pero más suave [2].

Ciclo de conducción para Estados Unidos

Los ciclos de este país son denominados Federal Test Procedure (FTP), son de índole gubernamental y fueron creados para darle una regulación a los inventarios de emisiones y consumo de combustible de los vehículos livianos [9]. Estos ciclos fueron originados en los Ángeles en un viaje de rutina de casa al trabajo por la mañana a mediados del año 1960 en un vehículo Chevrolet 1964, siendo los parámetros medidos: velocidad del vehículo, presión en el múltiple de admisión y giro de motor. Fue una ruta de 12 millas y se nombró “LA4”. Así también sobresalen los ciclos:

- FTP 72: se lo conoce también como “Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS)”. Simula un trayecto urbano de 12.07km con paradas frecuentes, la velocidad máxima y promedio corresponde a: 91.26km/h y 31.6km/h, respectivamente. Posee dos fases en el tiempo de: 505s (arranca desde un estado frío, avanza 5.78km a 31.6km/h promedialmente) en 867s. Este ciclo se conoce en Australia como ADR 27 (Australian Design Rules) y en Suecia como CVS (Constant Volume Sampler), ver figura 7.
- FTP 75: se deriva del FTP 72, ver figura 8, categorizando las siguientes fases:

- Fase de arranque en frío de 0 a 505s.
- Fase estabilizada. 506s – 1372s.
- En caliente (mínimo 540s, máximo 660s).
- Fase de arranque en caliente de 0-505s.

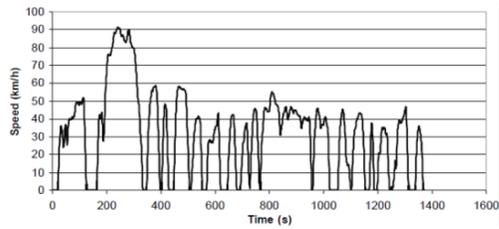


Figura 7. Ciclo de ensayo FTP 72

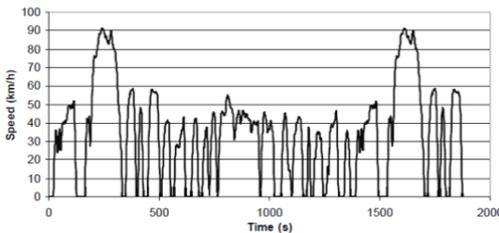


Figura 8. Ciclo de ensayo FTP 75

• Prueba americana IM-240: esta prueba se realiza sobre dinamómetros en 240s. Este ciclo es de tipo transitorio y sirve para la medición y registro de emisiones en vehículos livianos en movimiento, sin velocidad constante, en un ciclo de 3.2km de recorrido donde experimenta aceleraciones y desaceleraciones, ver figura 9-2 [21].

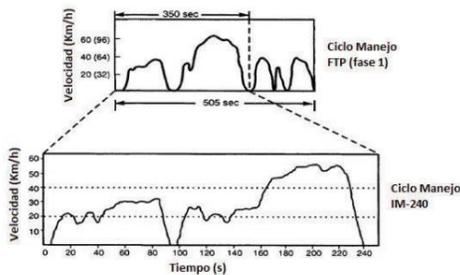


Figura 9. Ciclo de prueba IM-240

Ciclo de conducción para Europa

Investigadores europeos de Volkswagen evaluaron la adaptación del ciclo FTP 75 a las condiciones de tráfico de Europa [20]. Se llevó a cabo el análisis de parámetros como son frecuencia de paros, duración y longitud del trayecto, llegando a la conclusión de que este ciclo americano no se acopla al europeo. Al contrario, el FTP 72 tiene similitud del tráfico promedio con las condiciones europeas. A continuación, se indica los ciclos representativos:

• Ciclo de conducción New European Driving Cycle (NEDC): se aplica como referencia para homologar vehículos hasta norma Euro 6 y otros países. Este

ciclo no representa las condiciones reales de conducción, ya que presenta aceleraciones suaves, eventos de inactividad y cruceros de velocidad constante. Es por ello, que las autoridades europeas buscan reemplazar este ciclo y que satisfagan las características de distancia de 11.023km, duración 1180s y velocidad promedio de 33.6km, ver figura 10.

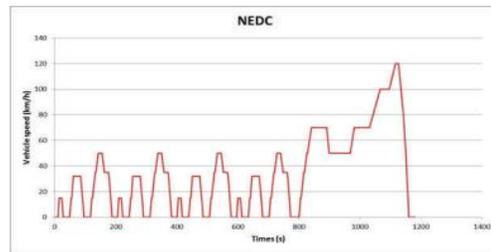


Figura 10. Ciclo de conducción NEDC

• Ciclo ARTEMIS: está elaborado bajo tres configuraciones diferentes basado en estudios estadísticos. Estos ciclos son empleados por los fabricantes de vehículos para interpretar de mejor manera las condiciones reales de conducción. Tal como se representa en las figuras: 11 y Figura12

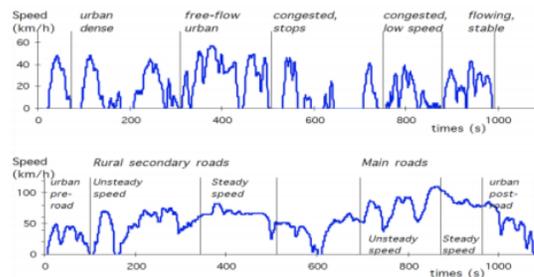


Figura 11 Ciclo de ensayo ARTEMIS en vía urbana (superior) y rural (inferior)

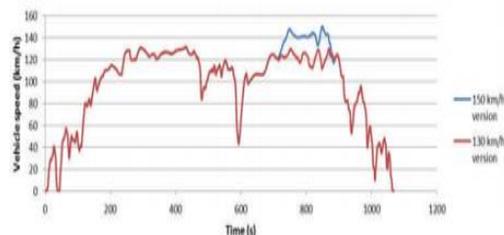


Figura 12 Ciclo de ensayo ARTEMIS en vía urbana (superior) y rural (inferior)

Ciclo de conducción JC08

Es un ciclo desarrollado en Japón en un dinamómetro de chasis. Tiene una duración de 1204s,

velocidad máxima de 81.6km/h y 8.171km de distancia, ver figura 13 [8].

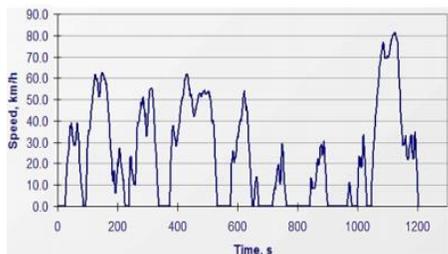


Figura 13. Ciclo de conducción JC08

Ciclo de conducción en el Distrito Metropolitano de Quito

Se realizaron tres ciclos aplicados a: ciudad (sentido sur-norte), carretera (sentido norte-sur) y combinado (sentido este-oeste). Fueron realizados bajo condiciones reales de manejo en las rutas de mayor tráfico con una trayectoria de 1325.84km en 59 horas de conducción, ver figura 14, figura 15 y figura 16 [17].



Figura 14. Ciclo para el DMQ en la ciudad



Figura 15. Ciclo para el DMQ para carretera

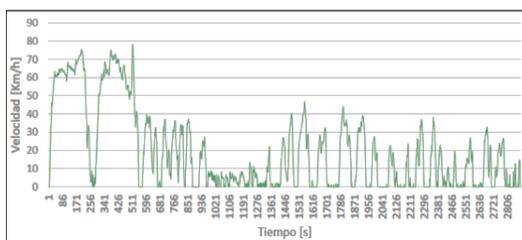


Figura 16. Ciclo combinado para el DMQ

En el Ecuador, la Normativa INEN 2204 y 2207 se fundamentan en los ciclos americanos FTP 75 y ciclos europeos [21].

Metodología para desarrollar ciclos de conducción

Existen los siguientes métodos:

- Directos: hace referencia a la adquisición de valores de velocidad con respecto al tiempo de forma repetitiva sobre una ruta preestablecida generando así curvas experimentales por cada viaje para posteriormente hacer el análisis estadístico y obtener el ciclo representativo de la trayectoria definida, ver figura 17 [20].
- Indirectos: se fundamenta en el procesamiento inicial de datos para construir un ciclo de conducción representativo. Así también, se vale de la recolección de curvas experimentales para hacer un análisis sobre conglomerados y determinar el patrón de conducción que predomina el ciclo de conducción repetitivo, ver figura 18 [20].

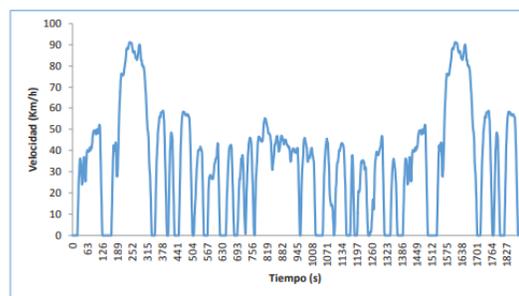


Figura 17. Ciclo de ensayo FTP 75

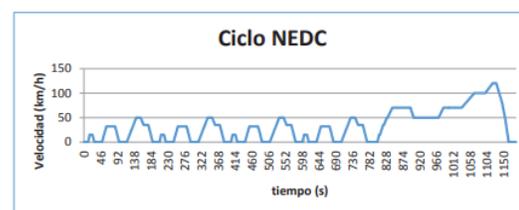


Fig 18. Ciclo de conducción NEDC

Para este trabajo de investigación se propone aplicar el método directo en base a una estimación de microciclos. Ya que al ser un ciclo de conducción para una ciudad donde no hay precedentes de estudio sobre curvas que definen el patrón de conducción de un automotor. Por lo tanto, es conveniente desarrollar curvas experimentales que involucren los parámetros que caracterizan el ciclo, ver figura 19.

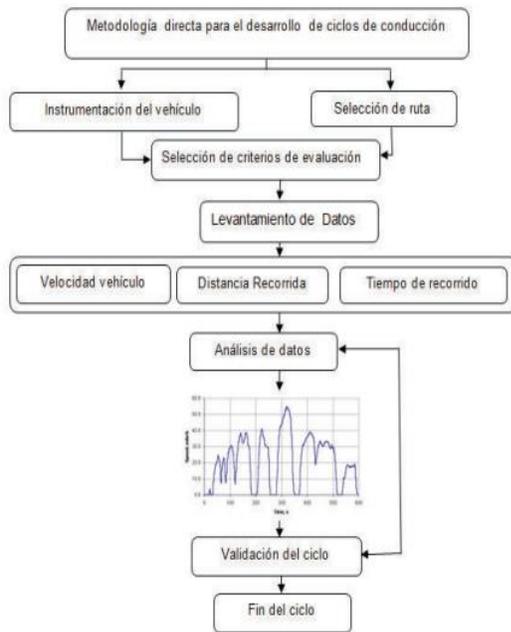


Fig 19. Metodología directa para desarrollo de ciclos de conducción.

Técnicas de instrumentación y parámetros para el desarrollo de los ciclos

Para representar el ciclo de conducción por el método directo, se debe recolectar la información experimental y puede ser llevada a cabo mediante: Técnica On Board: a través de la instrumentación adecuada se obtienen datos reales de conducción en una ruta específica [23].

Técnica de persecución del vehículo: consiste en ir tras el vehículo de estudio haciendo uso de otro automotor dentro de la misma trayectoria [23]. La técnica On-Board es la más viable para este proyecto porque permite obtener información real de los parámetros de funcionamiento del automotor. Para aplicar esta técnica se requiere equiparar por medio de instrumentos como Datalogger, GPS, scanner vehiculares, sensores, la quinta rueda y otros. Con estos dispositivos se logra obtener información sobre: velocidad, aceleración, tiempo de parada, distancia recorrida, entre otros afines [20].

Para este caso se emplea el dispositivo ELM327 Wifi. Este elemento es un escáner de interfaz que funciona a través de redes Wifi se puede enlazar con dispositivos Android o Apple. Con esta interfaz se consigue monitorear las revoluciones del motor, presión del múltiple de admisión, avance de tiempo, rango del flujo de aire, lectura del voltaje del sensor

de oxígeno, flujo y presión de combustible, temperatura en la toma de aire, carga, velocidad y otros parámetros.

III. PRUEBAS Y RESULTADOS

Esquema investigativo

La presente investigación tiene enfoque experimental, método el cual el investigador tiene el control de las variables de estudio. Es decir que se lleva a cabo en condiciones controladas de las variables dependientes e independientes [16]. Para este caso de estudio se determinó lo siguiente: Variable independiente: 10 Vehículos y ruta de la zona urbana.

Variable dependiente: Velocidad y tiempo. El procedimiento medular establecido describe las etapas siguientes [12]:

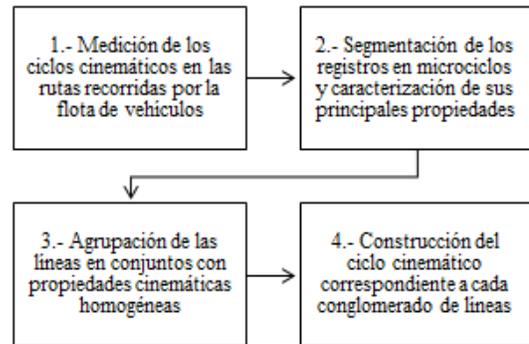


Figura 20. Procedimiento de la investigación

Enfoque de la investigación

El estudio tiene un enfoque cuantitativo. Puesto que, se realizará una serie sistemática de cálculos experimentales y operaciones estadísticas para la obtención del ciclo de conducción.

Tipo de investigación

El estudio empleó la investigación deductiva, experimental y de campo.

La recolección de información por parte de los investigadores se realiza de manera directa con los vehículos. Los datos almacenados son filtrados con la finalidad de mantener un orden específico y realizar un análisis estadístico para la obtención del ciclo de conducción.

Desarrollo

Información preliminar

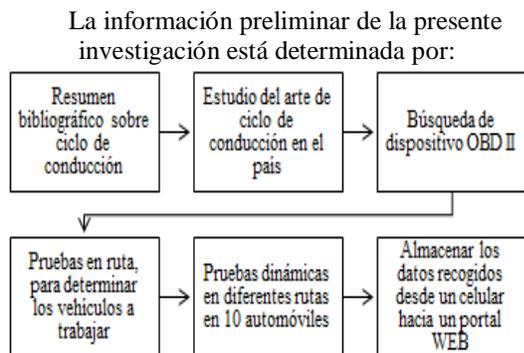


Figura 21. Información preliminar

La metodología a utilizar es de carácter experimental en base a microciclos. Los microciclos empleados se definen desde un punto inició con una velocidad inicial igual a cero seguido por períodos de aceleraciones, hasta una velocidad final igual a cero o reposo, incluyendo lapsos de ralenti, hasta acelerar nuevamente.

Determinación de rutas

El presente estudio se ha desarrollado en la zona urbana de la ciudad de Riobamba con una altitud mayor a 2000 msnm. Las rutas empleadas son definidas por el investigador a simple juicio por viajes casa-trabajo, mayor densidad poblacional y tipo de carreteras [21]. Se consideran tres puntos de principales para el análisis de la ruta y son: Escuela Superior Politécnica del Chimborazo • Paseo Shopping, • Parque Maldonado

Vehículos de prueba

Los registros se obtendrán de vehículos de las siguientes marcas y modelos:

Vehículo	Año	Cilindrada (L.)	Número de viajes	Tiempo de Lectura (s)	Recorrido (Km)	Protocolo de comunicación
Chevrolet Spark GT	2016	1.2	12	7538	21,25	ISO 9141-2
Toyota Yaris	2007	1.3	14	4461	19,26	CAN
Kia Ceed	2010	1.4	12	4103	17,21	ISO 9141-2
Chevrolet Aveo Family	2011	1.5	43	35627	136,31	ISO 9141-2
Haval M4	2017	1.5	13	3051	15,26	VAN
Kia Rio Xcite	2011	1.6	10	7182	19,06	ISO 15765-4
VW Polo	2006	1.6	11	2918	10,96	CAN
Chevrolet Sail	2014	1.6	10	7046	33,13	ISO 9141-2
VW Amarok	2013	2.0	11	2990	10,66	CAN BUS
Audi Q5	2012	2.0	10	2601	11,14	NEW GENIUS
TOTAL						
10	-	-	146	77517	294.24	-

Figura 22 Vehículos de prueba

La serie de vehículos expuesta en la figura 22, plantea una serie de vehículos y protocolos de comunicación que son compatibles con el dispositivo

OBD II “ELM327” que es la herramienta con la cual se realizó el estudio.

Obtención de ciclo de conducción por microciclos

Para la obtención del ciclo de conducción por el método de microciclos se debe emplear una serie de pasos, los cuales se plantean en la figura 23. La secuencia de pasos expuestos por el investigador es trabajada en software como Excel y Minitab. El programa estadístico Microsoft Excel permite distribuir de manera ordenada los parámetros característicos de las rutas, elaboración de microciclos. El programa Minitab realiza la filtración de microciclos (microciclos extensos de otros, se eliminan), obtención de clústers (conjunto de microciclos), verificar la desviación estándar de los datos de las variables que representan el ciclo de conducción (velocidad y aceleración).

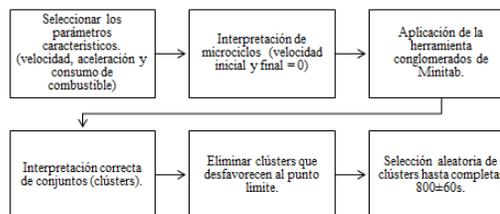


Figura 23. Obtención del ciclo de conducción por microciclos

Parámetros característicos

Los parámetros a considerarse para la obtención de un ciclo de conducción son:

- Distancia (km) [22].
- Velocidad promedio (km/h) [22].
- Tiempo recorrido (s) [22].
- Aceleración promedio positiva (m/s²) [22].

Los parámetros característicos (CP) son interpretaciones de medidas principales como lo son: distancia, tiempo, velocidad, aceleración y energía cinética.

Técnica de obtención de datos

La técnica de instrumentación empleada en la investigación es, On board proveniente de un método directo, la cual facilita al instrumentador la recolección de datos de los vehículos de prueba, por el motivo de precisión y confiabilidad de la técnica.

Esta técnica presenta las siguientes características:

- Recolección directa
- Los datos se obtienen directamente del vehículo
- Alta precisión / Alta confiabilidad
- Requiere de una muestra grande para asegurar la representatividad
- Demanda de mucho tiempo para el levantamiento de datos

Técnicas de microviajes

El ciclo operativo se clasifica en zonas de movimiento y de parada, teniendo en cuenta como microciclo a la evolución de la velocidad entre dos paradas continuas. Como finalidad, se postula generar ciclos de velocidad poligonales, los registros consecutivos se dividen en microciclos constituidos por secciones de aceleración, velocidad (incluido ralentí del motor) y desaceleración, ver figura 5-3 [12]. Lo cual permite:

- Comparar las curvas v–t divididas en ciclos en los que los vehículos parten de una $V_0 = 0$ seguido por períodos de aceleraciones hasta llegar nuevamente al reposo ($V_f = 0$), esto incluye los lapsos de ralentí hasta acelerar nuevamente.
- Aplicar la herramienta conglomerados de Minitab, la cual permite eliminar los microciclos que estén extensos a los límites de la cadena de microciclos, a su vez de formar clústers que son conjuntos de microciclos.
- Para la obtención del ciclo de conducción, con la ayuda de clústers, realizar la filtración de clústers y microviajes aleatoriamente. Se deben emplear los microviajes que son próximos a la velocidad promedio total ($\pm 5\%$ de rango), previo la filtración.
- El ciclo de conducción total engloba diferentes microciclos con un margen de $800 \pm 60s$.

ELM327

El interfaz ELM327 es un dispositivo que permite la conexión a la computadora o teléfono móvil al vehículo, para el diagnóstico de vehículos equipados con sistemas OBD II [18]. En este estudio se emplea

el dispositivo OBD II tipo Wifi, ELM327. El dispositivo ELM327 permite obtener datos de la unidad de control del automóvil y enviar esta información a un software que permita la interpretación de datos de la ECU.

Torque Pro

Esta aplicación propia de Android, emplea la tecnología bluetooth y Wifi para conectarse con la computadora del vehículo, a través de un dispositivo OBD II, y envía información útil acerca del estado del automotor a través de PIDs que solicita el investigador.



Figura 24. Interfaz Torque Pro

La figura 24 muestra la interfaz Torque Pro, que con la ayuda del dispositivo ELM327, obtiene un registro de datos PID del automóvil (información de sensores y actuadores), registro posicional del automóvil (GPS) e información del consumo de combustible segundo a segundo del automóvil. Los dispositivos OBD II, a través de la aplicación Torque Pro, al igual que varias aplicaciones para celular, calculan el flujo de combustible de tres maneras, [14] y son:

- Relación propia de protocolos del automóvil
- Basado por MAF
- Basado por MAP

En caso de MAF

$$fuel\ flow\ rate\ \left(\frac{l}{s}\right) = \frac{MAF\ \left(\frac{g}{s}\right)}{AFR\ (:1) * \delta_{fuel} * 1000}$$

En caso de MAP

$$fuel\ flow\ rate\ \left(\frac{l}{s}\right) = \frac{RPM * VE * MAP * ED * M_{aire}}{120 * R * (IAT + 273.12) * AFR * \delta_{fuel} * 10000}$$

donde:

- AFR = Relación aire/combustible

- VE = Eficiencia volumétrica
- R = Constante de gases
- ED = Carga del motor

En el gráfico 1-3, se puede apreciar la comparativa entre los cálculos que realiza la aplicación Torque Pro a través del dispositivo OBD II, con respecto a cálculos expresados por el investigador de las fórmulas de flujo de combustible, implicando que estas fórmulas están relacionadas en los programas de dispositivos OBD II.

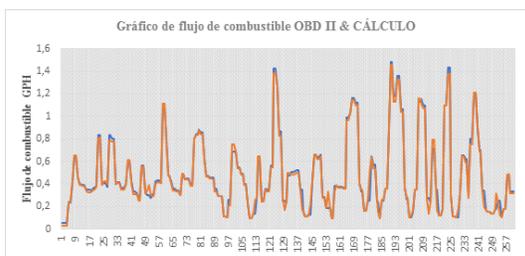


Figura 25 Flujo de combustible OBD II & Cálculo

Análisis e interpretación

Los ciclos de conducción experimentales se generaron a partir de patrones y parámetros característicos de conducción, alcanzando una longitud de 800±60s. La longitud del ciclo de conducción se estima por cercanía a otros ciclos de conducción en el mundo, y por fundamentar bases para nuevos estudios y pruebas dinámicas referentes a los ciclos de conducción obtenidos. Los ciclos de conducción se describen a continuación:

Ciclo de conducción para todos los vehículos de prueba

En la figura 26, indica que el primer ciclo de conducción realizado es para todos los vehículos de prueba. Se manipularon 808 datos provenientes de 7 microciclos, que fueron elegidos aleatoriamente y filtrados desde sus clústers de análisis y su número de microciclos internos.

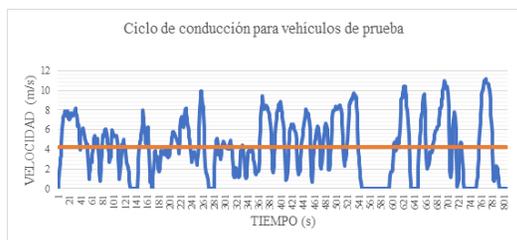


Figura 26 Ciclo para vehículos de prueba

Además, en la figura 27, se reflejan los patrones y parámetros característicos del ciclo de conducción para todos los vehículos de prueba.

Definición de parámetros característicos del ciclo de conducción			
Relación	Tipo de relación	Valor	Unidad
Distancia	Distancia total	3431,879522	m
	Tiempo Total	807	s
Tiempo	Tiempo en conducción	686	s
	Tiempo crucero	0	s
	Tiempo acelerando	359	s
	Tiempo desacelerando	327	s
	Tiempo en reposo	121	s
	% de tiempo en conducción	85,01%	s
	% tiempo crucero	0,00%	s
	% tiempo acelerando	44,49%	s
Velocidad	% tiempo desacelerando	40,52%	s
	% tiempo en reposo	14,99%	s
	Velocidad media de ruta	4,252638813	m/s
	Velocidad media de conducción	5,002739829	m/s
	Desviación estándar de la velocidad	2,994580698	m/s
Aceleración	Velocidad máxima	11,14134259	m/s
	Velocidad mínima	0	m/s
	Aceleración media	1,65E-18	m/s ²
	Aceleración media positiva	0,526854791	m/s ²
	Aceleración media negativa	-0,578412446	m/s ²
Paradas	Desviación estándar de la aceleración	0,692499825	m/s ²
	Aceleración máxima	2,311813303	m/s ²
	Aceleración mínima	-2,883528869	m/s ²
	Número de paradas	7	
Dinámica	Paradas por Km	2,039698642	
	Aceleración positiva relativa	0,277173221	m/s ²
	Energía cinética positiva	0,50335094	m/s

Figura 27. Parámetros característicos del ciclo de conducción para vehículos de prueba

Por lo tanto, se destaca que la velocidad promedio del presente ciclo en ruta es de 15,3 km/h con una aceleración media positiva de 0,526 m/s², representando un manejo de conducción lento pero agresivo.

Con respecto a los vehículos de prueba, se realizó una clasificación por cilindrada, 1200-1300 cc, 1400-1600cc y 2000cc.

Ciclo de conducción en vehículos 1200-1300cc

La figura 28 refleja el ciclo de conducción de los vehículos con cilindrada de 1200 a 1300 cc, cuya tabla 2-4, interpreta una velocidad promedio de 14,4

km/h con una aceleración promedio positiva de 0,524 m/s², en un intervalo de 824s con un número de paradas igual a 5, por ende, es una apreciación de 824 datos y 5 microciclos.

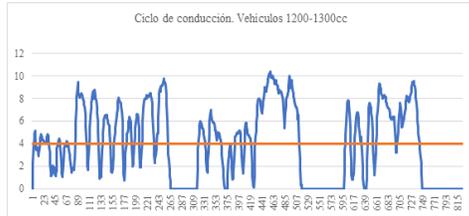


Figura 28 . Ciclo para vehículos 1200-1300cc

En la figura 29, se reflejan los patrones y parámetros característicos del ciclo de conducción en vehículos de 1200 y 1300 cc.

Definición de parámetros característicos del ciclo de conducción			
Relación	Tipo de relación	Valor	Unidad
Distancia	Distancia total	3292,46458	m
Tiempo	Tiempo Total	824	s
	Tiempo en conducción	607	s
	Tiempo crucero	0	s
	Tiempo acelerando	293	s
	Tiempo desacelerando	314	s
	Tiempo en reposo	217	s
	% de tiempo en conducción	73,67%	s
	% tiempo crucero	0,00%	s
	% tiempo acelerando	35,56%	s
	% tiempo desacelerando	38,11%	s
% tiempo en reposo	26,33%	s	
Velocidad	Velocidad media de ruta	3,99570944	m/s
	Velocidad media de conducción	5,42415911	m/s
	Desviación estándar de la velocidad	3,25644584	m/s
	Velocidad máxima	10,4090288	m/s
	Velocidad mínima	0	m/s

Figura 29. Parámetros característicos del ciclo de conducción para vehículos de 1200-1300cc

Ciclo de conducción en vehículos 1400-1600cc

Los vehículos de 1400 a 1600 cc poseen una velocidad promedio de 16 km/h con una aceleración promedio positiva de 0,552 m/s² en un lapso de 800s con un número de 5 paradas.

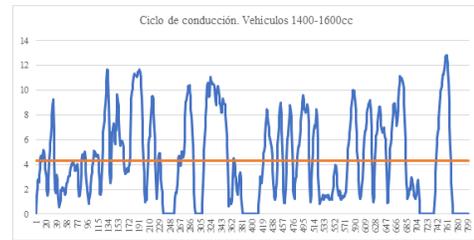


Figura 30. Ciclo para vehículos 1400-1600cc

La figura 30, informa de los patrones y parámetros de conducción del ciclo de conducción de los vehículos de 1400-1600cc.

Definición de parámetros característicos del ciclo de conducción			
Relación	Tipo de relación	Valor	Unidad
Distancia	Distancia total	3563,59568	m
Tiempo	Tiempo Total	800	s
	Tiempo en conducción	683	s
	Tiempo crucero	3	s
	Tiempo acelerando	367	s
	Tiempo desacelerando	313	s
	Tiempo en reposo	117	s
	% de tiempo en conducción	85,38%	s
	% tiempo crucero	0,38%	s
	% tiempo acelerando	45,88%	s
	% tiempo desacelerando	39,13%	s
% tiempo en reposo	14,63%	s	
Velocidad	Velocidad media de ruta	4,4544946	m/s
	Velocidad media de conducción	5,21756322	m/s
	Desviación estándar de la velocidad	3,50324274	m/s
	Velocidad máxima	12,8446653	m/s
	Velocidad mínima	0	m/s
	Aceleración media	0,00E+00	m/s ²
	Aceleración media positiva	0,55203471	m/s ²
	Aceleración media negativa	-0,64727393	m/s ²
Aceleración	Desviación estándar de la aceleración	0,73180992	m/s ²
	Aceleración máxima	2,65769217	m/s ²
	Aceleración mínima	-3,03992324	m/s ²
Paradas	Número de paradas	5	
	Paradas por Km	1,40307724	
Dinámica	Aceleración positiva relativa	0,31661956	m/s ²
	Energía cinética positiva	0,58211302	m/s

Fig 31. Parámetros característicos del ciclo de conducción para vehículos de 1400-1600cc

Ciclo de conducción en vehículos 2000cc

Los vehículos 2000cc, el ciclo de conducción experimenta una velocidad promedio de 12,28km/h en un lapso de 744s con una aceleración media positiva de 0,418 m/s² en cual, se hicieron 5 paradas o momentos de ralentí.

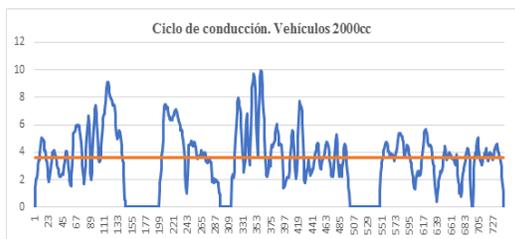


Figura 32 Ciclo para vehículos 2000cc

La figura 32 informa de los patrones y parámetros de conducción del ciclo de conducción de los vehículos de 2000cc.

Definición de parámetros característicos del ciclo de conducción			
Relación	Tipo de relación	Valor	Unidad
Distancia	Distancia total	2539,94216	m
	Tiempo Total	744	s
Tiempo	Tiempo en conducción	627	s
	Tiempo crucero	2	s
	Tiempo acelerando	306	s
	Tiempo desacelerando	319	s
	Tiempo en reposo	117	s
	% de tiempo en conducción	84,27%	s
	% tiempo crucero	0,27%	s
	% tiempo acelerando	41,13%	s
	% tiempo desacelerando	42,88%	s
	% tiempo en reposo	15,73%	s
Velocidad	Velocidad media de ruta	3,41390075	m/s
	Velocidad media de conducción	4,05094443	m/s
	Desviación estándar de la velocidad	2,23078076	m/s
	Velocidad máxima	9,90741094	m/s
	Velocidad mínima	0	m/s
Aceleración	Aceleración media	0,00E+00	m/s ²
	Aceleración media positiva	0,41851767	m/s ²
	Aceleración media negativa	-0,40146209	m/s ²
	Desviación estándar de la aceleración	0,51743302	m/s ²
	Aceleración máxima	2,18335549	m/s ³
	Aceleración mínima	-2,25146983	m/s ⁴
Paradas	Número de paradas	5	
	Paradas por Km	1,96854876	

Fig 32. Parámetros característicos del ciclo de conducción para vehículos de 1400-1600cc

Datos específicos de los ciclos de conducción

Los diferentes ciclos de conducción reflejan la forma de conducción del pueblo riobambeño, implicando una conducción agresiva (elevada tasa de aceleración con respecto a su velocidad promedio) La figura 34, especifica los parámetros característicos de los ciclos de conducción en la ciudad de Riobamba.

Ciclo de conducción	Distancia (km)	Velocidad Promedio (km/h)	Velocidad Máxima (km/h)	Tiempo recorrido (s)	Aceleración promedio positiva(m/s ²)	Tiempo con aceleración positiva (s)
Todos	3,43	15,3	40,1	807	0,526	359
1200cc-1300cc	3,29	14,38	37,47	824	0,524	293
1400cc-1600cc	3,56	16,04	46,24	800	0,552	367
2000cc	2,53	12,29	35,66	744	0,418	306

Figura 34. Datos específicos de los ciclos de conducción

Los parámetros característicos de los ciclos de conducción en la ciudad de Riobamba con una altitud >2000 msnm, dan a conocer la forma de conducir de la ciudad.

La interpretación de estos datos define a la ciudad como una conducción urbana lenta pero agresiva, con respecto a los factores de tráfico, forma de conducción y espacio geográfico.

Consumo de combustible en el ciclo de conducción segundo a segundo

El consumo de combustible en el Ecuador no cuenta con una base de datos oficial, por lo cual se remiten a datos de fabricantes de automóviles, que no presentan las condiciones geográficas del país [3] El consumo de combustible de los ciclos de conducción de la ciudad de Riobamba está expresado en litros por cada 100km, unidades las cuales son interpretación del consumo de combustible a nivel mundial. Por la clasificación realizada anteriormente de los vehículos de prueba, el consumo de combustible también tiene una representación similar con automóviles clasificados por cilindrada.

En la figura 35 se registra el consumo de combustible en todos los vehículos de prueba, obteniendo un consumo de combustible promedio de 12,06 l/100km instantáneos, con una temperatura promedio de 89,23°C.

Consumo de combustible			
Motor	Media de consumo de viaje	13,27724782	l/pl
	Media de consumo instantáneo	19,43732181	l/pl
	Litros por cada 100 km instantáneos	12,06181062	l/100km
	Litros por cada 100 km (corrección a largo plazo)	7,928837376	l/100km
Temperatura del motor			
	Promedio de temperatura de motor	89,23566085	°C

Figura 35. Consumo de combustible en el ciclo de conducción, en todos los vehículos

La figura 36, consumo de combustible/velocidad en todos los vehículos, interpreta los puntos de dispersión del consumo de combustible en diferentes velocidades, dando como resultado que el mayor consumo de combustible se mantiene en velocidades de 0-10 km/h, considerando que el 0 km/h son los momentos en ralentí. El mayor consumo se mantiene hasta los 20 km/h considerando el gráfico y la tabla 7-4, con el número de datos.

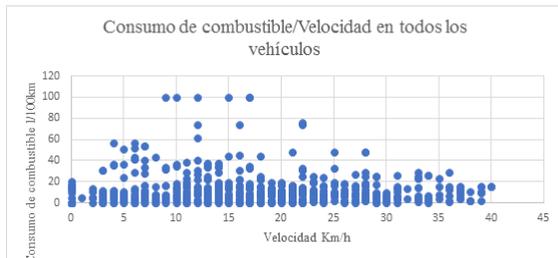


Figura 36 Dispersión de datos: Consumo de combustible vs Velocidad. En todos los vehículos

Velocidad (km/h)	Número de datos
0 - 10	276
11 - 20	269
21 - 30	194
31 - 40	68
TOTAL	807

Fig 37. Datos en diferentes rangos de velocidad. Muestra: Todos los vehículos

En la figura 37 se registra el consumo de combustible en vehículos 1200 y 1300 cc, obteniendo un consumo de combustible promedio de 9,98 l/100km instantáneos, con una temperatura promedio de 90,7°C en el ciclo de conducción.

IV. CONCLUSIONES

- Se logró fundamentar los principios de consumo de combustible, ciclo de conducción mediante una labor investigativa para conceptualizar correctamente los parámetros característicos y mantener el orden correcto de la obtención del ciclo de conducción de la ciudad de Riobamba.
- Se utilizó el dispositivo OBD II ELM327 con la aplicación de teléfono celular “Torque Pro”, para obtener los datos de presión de entrada del aire en la admisión mediante datos del sensor MAP, temperatura del motor mediante datos del sensor ECT, cantidad de consumo de combustible mediante cálculos realizados por el software, y lectura de GPS mediante la unificación de Google Maps en “Torque Pro”.

- Se construyó cuatro ciclos de conducción de 800±60s a partir de 146 rutas, para diferentes tipos de automóviles; clasificados por cilindrada, los cuáles recorrieron el centro de la ciudad de Riobamba implicando tres lugares con mayor frecuencia como lo son el Paseo Shopping, Parque Maldonado y ESPOCH. Se recalca que las rutas tomadas fueron elegidas por los investigadores mediante viajes casa-trabajo, influencia del tráfico en la ciudad y tipos de vía.
- Se determinó los niveles de consumo de combustible que se está generando en los motores de los vehículos que transitan la ciudad de Riobamba mediante el dispositivo OBD II ELM327 y el software para teléfonos celulares “Torque Pro” emitiendo un consumo de 9,9 l/100km instantáneos en el ciclo de conducción para automóviles de 1200-1300cc, hasta un consumo de combustible de 17,5 l/100km en vehículos de 1400-1600cc.
- Se evidenció el mayor consumo de combustible en vehículos de: 2000 cc de cilindrada cuando están en velocidades mínimas de 0-20 km/h, considerando 0 km/h los momentos de ralentí del automotor.
- El perfil de conducción urbano de la ciudad de Riobamba es agresivo por el registro de aceleraciones positivas de 0,552 m/s², con velocidad promedio de 16,04 km/h que implica una conducción lenta.

REFERENCIAS.

- [1] TONG, H. A framework for developing driving Cycles with On-Road Driving Data. Routledge, 2010
- [2] BARLOW, T J. A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions. s.l. : TRL Limited, 2009.
- [3] CANDO & TOBAR. Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET, en dinamómetro de chasis. Cuenca: s.n., 2017.
- [4] CONUEE. Normas de eficiencia energética en vehículos automotores. México: Dirección de movilidad y transporte, 2018.
- [5] CÚBITO, C, & otros. Impact of Different Driving Cycles and Operating Conditions on CO2 Emissions and Energy Management Strategies of a Euro-6 Hybrid Electric Vehicle. Italia: MDPI Energies, 2017. págs. 1-3.
- [6] ECURED. Motor de combustión interna. MCI. [En línea] 28 de 11 de 2019. https://www.ecured.cu/Motor_de_combusti%C3%B3n_interna
- [7] FREIRE, D & LOZA, J. Comportamiento de un motor a gasolina utilizando alcohol anhidro como combustible de aporte. Quito: EPN, 2013.

- [8] GÁLVEZ, E & OYOLA, L. Análisis de consumo de combustible de los vehículos de categoría M1 que circulan en el centro histórico de la ciudad de Cuenca en horas de máxima demanda en función de ciclos de conducción. Cuenca: Universidad de Cuenca, 2016.
- [9] HURTADO, A. Desarrollo de ciclos de conducción para el área metropolitana centro occidente-AMCO. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2014.
- [10] IEA. Explore energy data by category, indicator, country or region. [En línea] 2020. <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=ECUADOR&fuel=CO2%20emission&indicator=CO2%20emissions%20by%20energy%20source>.
- [11] INEC. Índice Anuario de Transporte 2016. [En línea] 2016. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>.
- [12] JIMÉNEZ, F, ROMÁN , A & LÓPEZ, J. Determinación de ciclos de conducción en rutas urbanas fijas. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2006.
- [13] LINCANGO, D & VEGA, K. Evaluación de los factores de emisiones durante el ciclo europeo NEDC en un MCIA de encendido por compresión utilizando mezclas de combustibles diésel premium y biodiesel, producido por transesterificación básica y en condiciones supercríticas. Quito: EPN, 2019.
- [14] MOGRO, A. s.f. Vehicle operational parameters monitoring under Real World Conditions - On Board Diagnostics (OBD). Monterrey, México: Tecnológico de Monterrey, s.f., 2010
- [15] MONTÚFAR, P, & otros. Análisis de los factores de emisión dinámicos para el vehículo Toyota Hilux con motor de Ciclo Otto S.I para altitudes superiores a los 2500 metros. Riobamba: Ciencia Digital, 2019.
- [16] MURILLO, J. Métodos de investigación de enfoque experimental. Métodos de investigación de enfoque experimental. [En línea] 30 de 11 de 2019. <http://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/10.pdf>.
- [17] PÉREZ, P & QUITO, C. Determinación de los ciclos de conducción de un vehículo categoría M1 para la ciudad de Cuenca. Cuenca: UPS, 2018.
- [18] QINGDAO SAINT.BO MECHANICAL-ELECTRONIC. Braque Pads . [En línea] 2019. <http://www.brakepads.cn/es/1-2-low-copper-ceramic-brake-pads.html>.
- [19] QUIN, S, & otros. The study of a new method of driving cycles construction. Hefei China: ELSEVIER, 2011.
- [20] QUINCHIMBILA, F & SOLÍS, J. Desarrollo de ciclos de conducción en ciudad, carretera del combustible de un vehículo con motor de ciclo Otto en el Distrito Metropolitano de Quito. Quito: EPN, 2017.
- [21] RECALDE, M & REVELÓ, R. Análisis de emisiones en vehículos a gasolina utilizando pruebas estacionaria dinámica mediante ciclo IM. Quito: EPN, 2015.
- [22] RESTREPO, V, CARRANZA, Y & TIBÁQUIRA, J. Diseño y aplicación de una metodología para determinar ciclos de conducción vehicular en la ciudad de Pereira. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2007.
- [23] URBINA, A. Comparación de factores de emisión vehicular al utilizar ciclos de conducción IM240 y On Board en la ciudad de Quito. Quito: EPN, 2016.