



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería en Mecánica Automotriz

**EVALUACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA ENTRE VEHÍCULOS
A COMBUSTIÓN INTERNA Y VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA CIUDAD
DE CUENCA.**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de:

Ingeniero en Mecánica Automotriz

Autores:

Johan Daniel Macías Criollo

Leonardo David Velepucha Mora

Director:

Ing. Gustavo Alvarez Coello. Mgtr.

Cuenca – Ecuador

2022

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a mis padres John y Gloria, a mis hermanos John, Gloria y Jamileth, por su cariño y apoyo incondicional durante todo este proceso de alcanzar mis metas.

Johan

A mis padres, por el apoyo brindado a lo largo de mi carrera universitaria, a mi abuelita materna y a mi hermana Andrea, quienes, con sus sabios consejos, se han convertido en un pilar fundamental para cumplir mi objetivo de desarrollarme como profesional.

Leonardo

Agradecimiento

A Dios por ser el guía de mi camino, a los catedráticos de la Universidad del Azuay por compartir conmigo los conocimientos a lo largo de la carrera y a mis amigos que han estado junto a mí en el transcurso de alcanzar las metas.

Johan

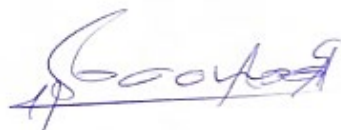
A la Universidad del Azuay, por los años de valiosas enseñanzas a cargo de sus docentes, en especial, a los ingenieros del proyecto, Ing. Daniel Cordero. PhD., Ing. Francisco Torres. Mgtr., y a nuestro director de tesis, Ing. Gustavo Alvarez. Mgtr., por su entrega, conocimientos, apoyo y confianza hacia nosotros, mismas que fueron piezas claves en la culminación de este proyecto.

Leonardo

Resumen

Según las condiciones del lugar de estudio, se definen ciclos de conducción para que la demanda energética en rueda se asemeje a la realidad. Siguiendo el método directo se construyó los ciclos de conducción, donde se utilizaron 12 vehículos; un vehículo eléctrico (VE) y 11 vehículos con motor de combustión interna (VMCI). Se instrumentó el VE con GPS, obteniendo datos de velocidad, tiempo, distancia, y posición de seis rutas de la ciudad de Cuenca – Ecuador. Con los datos del VE conjuntamente con los del VMCI del trabajo antecedente de Alvarez en 2016, se caracterizan las rutas; mediante estadística se analiza la dinámica vehicular y análisis energético. Finalmente, con mínimas diferencias ponderadas se desarrolla los ciclos de conducción. Con los resultados obtenidos, se realizó un análisis donde el error de la demanda energética en rueda oscila entre el 9% y 25%, considerando el peso vs. sin considerar el peso.

Palabras Clave: ciclos de conducción, vehículo eléctrico, mínimas diferencias ponderadas, demanda energética



Ing. Robert Rockwood
Coordinador de escuela.



Ing. Gustavo Alvarez
Director de trabajo de titulación.



Daniel Macías
Autor.



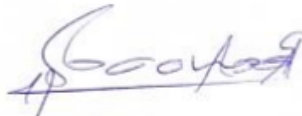
David Velepucha
Autor.

**EVALUATION OF THE ENERGY DEMAND BETWEEN INTERNAL COMBUSTION
VEHICLES AND ELECTRIC VEHICLES IN THE CITY OF CUENCA.**

Abstract

According to the conditions of the study site, driving cycles are defined so that the energy demand in wheel resembles the reality. Following the direct method, driving cycles were constructed, where 12 vehicles were used: one electric vehicle (EV) and 11 vehicles with an internal combustion engine (ICEV). The EV was instrumented with GPS, obtaining data on speed, time, distance, and position of six routes in the city of Cuenca - Ecuador. With the VE data together with the VMCI data from the previous work by Alvarez in 2016. The routes are characterized by employing statistics. The vehicle dynamics and energy analysis were analyzed. Finally, with minimum weighted differences, the driving cycles were developed. With the results obtained, an analysis was performed, where the error of the energy demand in the wheel ranges between 9% and 25%, considering weight vs. without weight.

Keywords: driving cycles, electric vehicle, minimum weighted differences, energy demand.



Ing. Robert Rockwood
School Coordinator.



Ing. Gustavo Alvarez
Thesis Director.



Daniel Macías
Author.



David Velepucha
Author.

Translated by



David Velepucha and Daniel Macías

Índices

Índice de contenido

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	iv
Abstract.....	iv
Índices.....	v
Índice de contenido.....	vi
Índice de figuras.....	ix
Índice de tablas.....	xi
Índice de anexos.....	xiii
 EVALUACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA ENTRE VEHÍCULOS A COMBUSTIÓN INTERNA Y VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA CIUDAD DE CUENCA.....	 1
Capítulo 1 Energía en el sector automotriz.....	2
Introducción.....	3
Transporte y energía.....	3
Vehículos en el Ecuador.....	5
Movilidad en Cuenca.....	9
Ciclos de conducción.....	10
Dinámica vehicular.....	14
Capítulo 2 Importancia de los ciclos de conducción en la localidad.....	19
Problemática.....	20
Pregunta de investigación.....	20

Objetivos	20
Objetivo general.....	20
Objetivos específicos.	21
Alcances y contribuciones	21
Planteamiento de la metodología.....	21
Procesos del trabajo	21
Método de obtención del ciclo de conducción.....	22
Selección de rutas y determinación del VE	22
Instrumentación.....	24
Obtención de datos.....	25
Procesamiento y análisis de datos.....	26
Mínimas diferencias ponderadas.....	29
Capítulo 3 Diseño metodológico	31
Adquisición de datos.....	32
Tratamiento de datos.....	32
Capítulo 4 Aplicación de la metodología.....	40
Parámetros resumen	41
Determinación de pesos de parámetros resumen	43
Aplicación de mínimas diferencias ponderadas.....	46
Análisis energético.....	49
Presentación de resultados	50
Conclusiones.....	61

Recomendaciones	64
Referencias bibliográficas.....	65
Anexos	69

Índice de figuras

Figura 1	<i>Consumo de energía por tipo de transporte (%) (2020)</i>	4
Figura 2	<i>Consumo de energía por fuente (%) (2020)</i>	5
Figura 3	<i>Facturación histórica del sector automotor en Ecuador (2001 - 2021)</i>	6
Figura 4	<i>Ventas anuales de vehículos nuevos (2000 - 2021)</i>	7
Figura 5	<i>Ventas de vehículos livianos (2000 - 2021)</i>	7
Figura 6	<i>Ventas anuales de VE y VMCI en las principales provincias (2018 - 2021)</i>	8
Figura 7	<i>Ventas de VE en las principales provincias (2018 - 2021)</i>	9
Figura 8	<i>Número de vehículos en la ciudad de Cuenca (2013 - 2021)</i>	10
Figura 9	<i>Ejemplo de ciclo modal, Ciclo NEDC</i>	12
Figura 10	<i>Ejemplo de ciclo Transitorio, Ciclo FTP-75</i>	13
Figura 11	<i>Diagrama de cuerpo libre de un vehículo, segunda ley de Newton</i>	15
Figura 12	<i>Vehículo eléctrico Dayang Chock G2</i>	23
Figura 13	<i>Mapa de las rutas establecidas para el trabajo</i>	24
Figura 14	<i>GPS Vbox Sport</i>	25
Figura 15	<i>Esquema de los procesos previos a la aplicabilidad de mínimas diferencias ponderadas</i>	27
Figura 16	<i>Conversión de datos de posición</i>	33
Figura 17	<i>Obtención de datos con GPS Visualizer</i>	34
Figura 18	<i>Matriz de la curva experimental</i>	42
Figura 19	<i>Número de ciclos por vehículo</i>	44
Figura 20	<i>Ejemplo de las matrices de promedios ponderados</i>	44
Figura 21	<i>Matriz de mínimas diferencias ponderadas</i>	47

Figura 22	<i>Ejemplo de ruta seleccionada.</i>	47
Figura 23	<i>Distribución de los datos.</i>	50
Figura 24	<i>Ciclo de conducción del VE (UDA – Colegio Pasos – UDA).</i>	51
Figura 25	<i>Comparativa de perfiles de altitud de la ruta UDA – Colegio Pasos – UDA.</i>	52
Figura 26	<i>Ciclo de conducción de los VMCI (UDA – UCACUE).</i>	52
Figura 27	<i>Comparativa de perfiles de altitud de la ruta UDA – UCACUE.</i>	53
Figura 28	<i>Ciclo de conducción del VE (Colegio Pasos – UDA).</i>	54
Figura 29	<i>Comparativa de perfiles de altitud de la ruta Colegio Pasos – UDA.</i>	55
Figura 30	<i>Ciclo de conducción del VE (UDA – UCACUE).</i>	55
Figura 31	<i>Comparativa de perfiles de altitud de la ruta UDA – UCACUE.</i>	56
Figura 32	<i>Ciclo de conducción del VE (Graiman – UDA).</i>	57
Figura 33	<i>Comparativa de perfiles de altitud de la ruta Graiman – UDA.</i>	58

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Modos de conducción para el desarrollo de un ciclo representativo según Tong.</i> . 17
Tabla 2	<i>Características Dayang Chock G2.</i> 23
Tabla 3	<i>Detalle de las rutas.</i> 24
Tabla 4	<i>Ventajas y desventajas de los métodos de recolección de datos.</i> 26
Tabla 5	<i>Parámetros resumen.</i> 43
Tabla 6	<i>Pesos relativos de los parámetros resumen de VE.</i> 45
Tabla 7	<i>Pesos relativos de los parámetros resumen de las rutas de ida de los VMCI.</i> 45
Tabla 8	<i>Pesos relativos de los parámetros resumen de las rutas de retorno de los VMCI.</i> . 45
Tabla 9	<i>Pesos relativos de los parámetros resumen de ida con todos los vehículos.</i> 45
Tabla 10	<i>Pesos relativos de los parámetros resumen de retorno con todos los vehículos.</i> 46
Tabla 11	<i>Análisis de la curva experimental Ruta_2_Prueba_1 del VE (UDA – Colegio Pasos – UDA).</i> 48
Tabla 12	<i>Análisis de la curva experimental Ruta_4_Prueba_1_ ida del VMCI (UDA – UCACUE).</i> 48
Tabla 13	<i>Análisis de la curva experimental Ruta_2_Prueba_3_retorno del VMCI (Colegio Pasos – UDA).</i> 48
Tabla 14	<i>Análisis de la curva experimental Ruta_4_Prueba_2_ ida (VE + VMCI) (UDA – UCACUE).</i> 49
Tabla 15	<i>Análisis de la curva experimental Ruta_5_Prueba_2_retorno (VE + VMCI) (Graiman – UDA).</i> 49
Tabla 16	<i>Parámetros para calcular intervalos de confianza.</i> 50

Tabla 17	<i>Parámetros característicos del ciclo de conducción del VE (UDA – Colegio Pasos – UDA).</i>	51
Tabla 18	<i>Parámetros característicos del ciclo de conducción del VMCI (UDA – UCACUE).</i>	53
Tabla 19	<i>Parámetros característicos del ciclo de conducción del VMCI (Colegio Pasos – UDA).</i>	54
Tabla 20	<i>Parámetros característicos del ciclo de conducción general (UDA – UCACUE).</i> ..	56
Tabla 21	<i>Parámetros característicos del ciclo de conducción general (Graiman – UDA).</i> ..	57
Tabla 22	<i>Intervalos de confianza.</i>	58
Tabla 23	<i>Diferencia porcentual para el Caso 2.</i>	59
Tabla 24	<i>Análisis estadístico entre VE y VMCI por ruta.</i>	59
Tabla 25	<i>Intervalos de confianza de la demanda energética considerando el peso [km/kWh·T].</i>	60
Tabla 26	<i>Intervalos de confianza de la demanda energética considerando el peso [km/kWh].</i>	60

Índice de anexos

Anexo 1	<i>Esquema de procesos</i>	69
Anexo 2	<i>Método directo para el desarrollo del ciclo de conducción</i>	70
Anexo 3	<i>Características y rendimiento de GPS Vbox Sport®</i>	71

Macías Criollo, Johan Daniel

Velepucha Mora, Leonardo David

Trabajo de titulación

Mgtr. Gustavo Alvarez Coello

2022

**EVALUACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA ENTRE VEHÍCULOS
A COMBUSTIÓN INTERNA Y VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA CIUDAD
DE CUENCA.**

Capítulo 1

Energía en el sector automotriz

Introducción

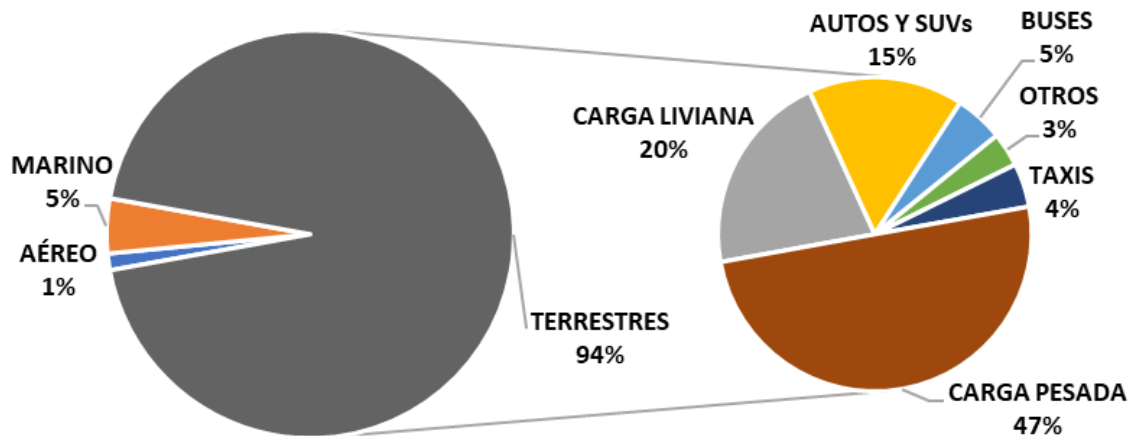
La energía es fundamental en la realización de prácticamente todas las actividades humanas, en distintos campos de acción y en beneficio de muchas industrias y sectores productivos. La oferta y consumo de energía en el Ecuador se mantienen en continua variación, incluyendo cambios en el tipo de energía requerida, cómo se la usa y cuál es su origen. Estos cambios ocurren debido a la necesidad de implementar nuevas tecnologías, crecimiento de la economía, cambios en su estructura, y progresión en la conciencia ciudadana sobre los impactos económicos y ambientales del uso de la energía (Instituto de Investigación Geológico y Energético - IIGE, 2021).

Transporte y energía

La relación entre el número de vehículos y la energía consumida es una relación directa, pero puede tener diferentes coeficientes dependiendo del modo de transporte (Figura 1). La demanda energética en el país se incrementó aproximadamente un 14% durante el período de análisis, pasando de 73 millones Barriles Equivalentes de Petróleo (BEP) en el año 2010 a 83 millones BEP en 2020. Acorde con la tendencia histórica, el sector transporte es el mayor demandante de energía, con un promedio porcentual del 81% en los últimos 10 años (Instituto de Investigación Geológico y Energético - IIGE, 2021).

Figura 1

Consumo de energía por tipo de transporte (%) (2020).

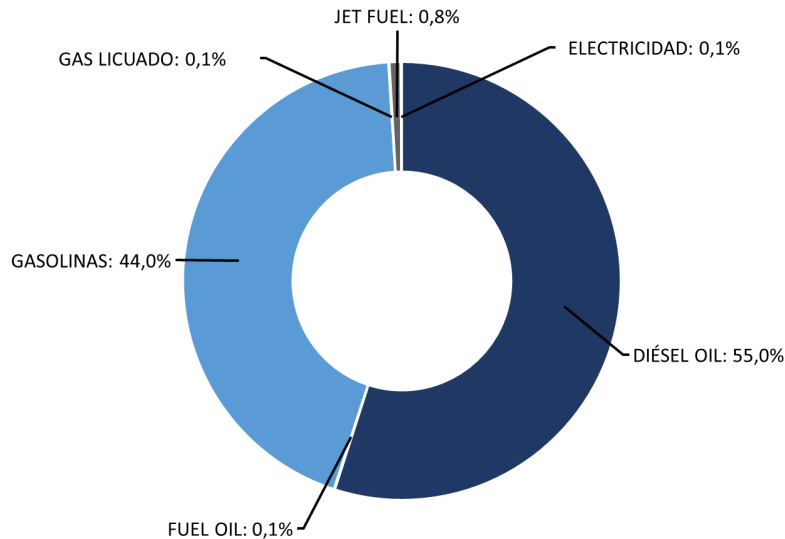


Nota. El transporte terrestre representa el 94% del total de la energía consumida en Ecuador, siendo el segmento de mayor participación el transporte de carga pesada con 49%. Fuente: Instituto de Investigación Geológica y Energético - IIGE, 2021.

En la Figura 2 se presenta el consumo de energía por fuente en 2020. Se observa que, el 99% de la energía consumida por el sector transporte fue proporcionada por diésel y gasolinas, mismas que poseen una variación promedio anual entre 2011 y 2021 de 3.9% y 3.8% respectivamente.

Figura 2

Consumo de energía por fuente (%) (2020).



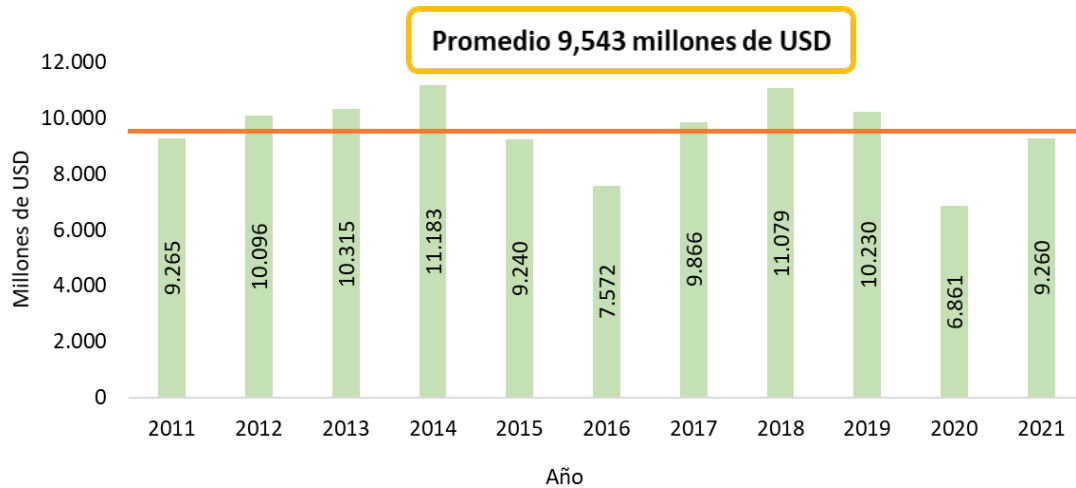
Nota. Se incluye el diésel utilizado para la pesca artesanal dentro del 55%. Fuente: Instituto de Investigación Geológico y Energético - IIGE, 2021.

Vehículos en el Ecuador

En el 2021, las empresas del sector automotor pagaron USD 1 432 millones en impuestos y aranceles a la importación de vehículos, autopartes y demás actividades relacionadas, esta cifra, superó en 19% a lo recaudado en 2020, año de la pandemia Covid-19. Según el Servicio de Rentas Internas del Ecuador (SRI), en el año 2021, el sector facturó 9 260 millones USD, lo que significó un 35% más de lo facturado en 2020 (Figura 3), año en el que la pandemia afectó gravemente a todos los sectores de la economía ecuatoriana. A pesar de la recuperación en el año 2021, esta cifra todavía es 9% menor a los 10 230 millones USD facturados en el 2019 (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2021).

Figura 3

Facturación histórica del sector automotor en Ecuador (2001 - 2021).

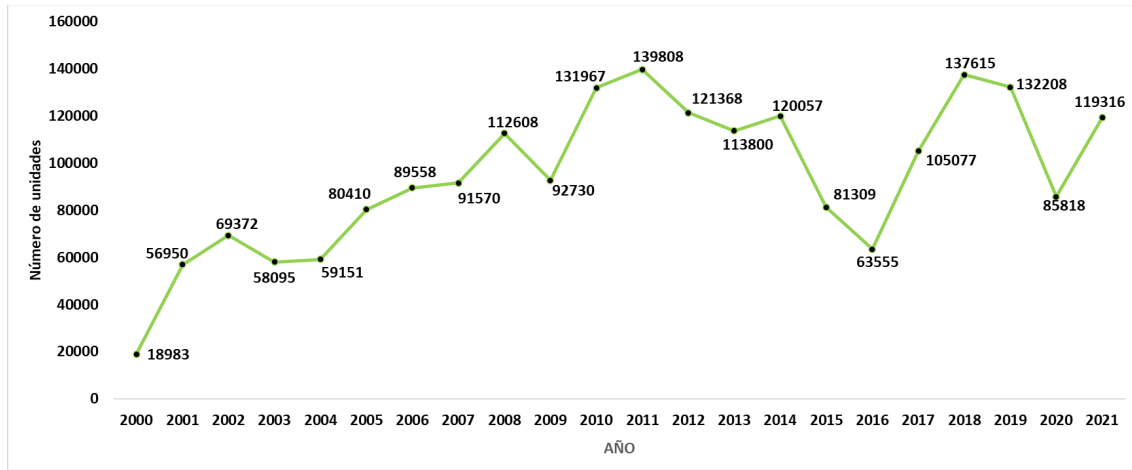


Nota. El sector automotor en Ecuador factura en promedio 10 millones de dólares al año. Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2021.

En 2001 se comercializaron 57 000 vehículos nuevos, mientras que dicha cifra se incrementó a 112 000 en 2008. Posteriormente, las políticas gubernamentales limitaron la demanda y hubo una reducción en el mercado entre 2011 y 2016, cuando las ventas se redujeron de 139 000 vehículos nuevos a 63 000 unidades (Figura 4), siendo los vehículos livianos la mayor representación de estas hasta la fecha (Figura 5). Si se considera los valores de VE y VMCI vendidos entre 2018 (137 747 unidades) y 2021 (119 664 unidades) existe un claro decrecimiento de aproximadamente 13% debido a varios factores como la emergencia sanitaria Covid-19 (Figura 6) (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2021).

Figura 4

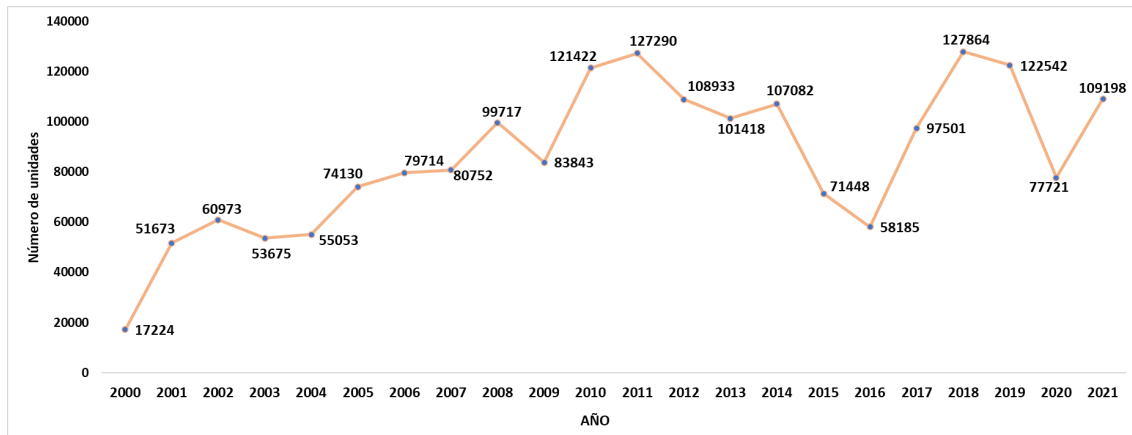
Ventas anuales de vehículos nuevos (2000 - 2021).



Nota. Para 2021 se vendieron aproximadamente 120 000 vehículos nuevos. Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2021.

Figura 5

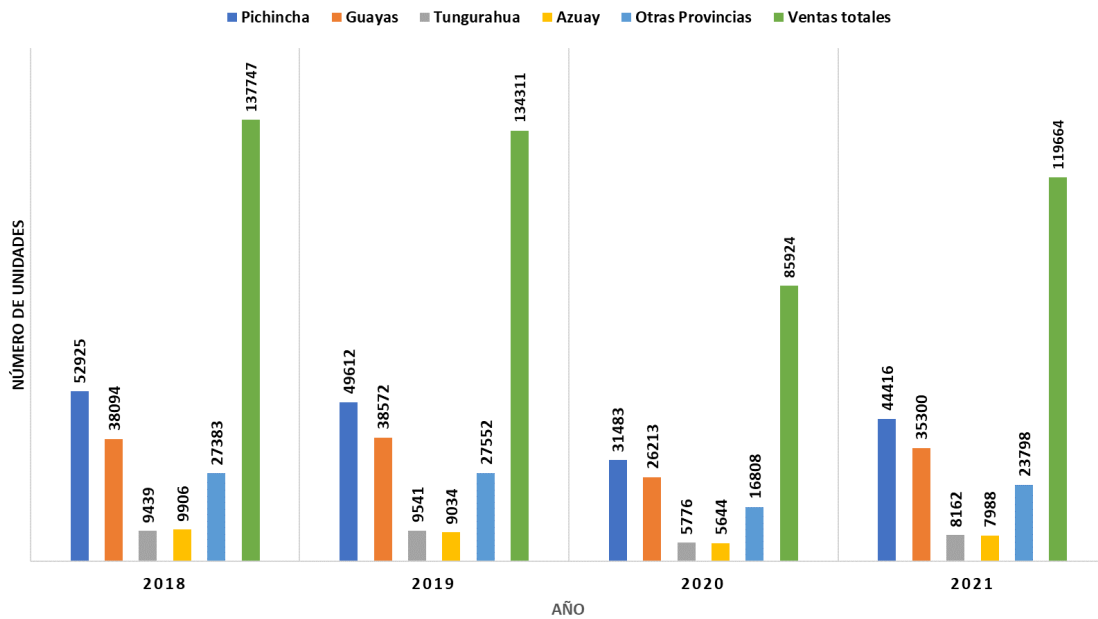
Ventas de vehículos livianos (2000 - 2021).



Nota. Los vehículos livianos en 2021 en Ecuador representan el 92% de todos los vehículos vendidos. Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2021.

Figura 6

Ventas anuales de VE y VMCI en las principales provincias (2018 - 2021).

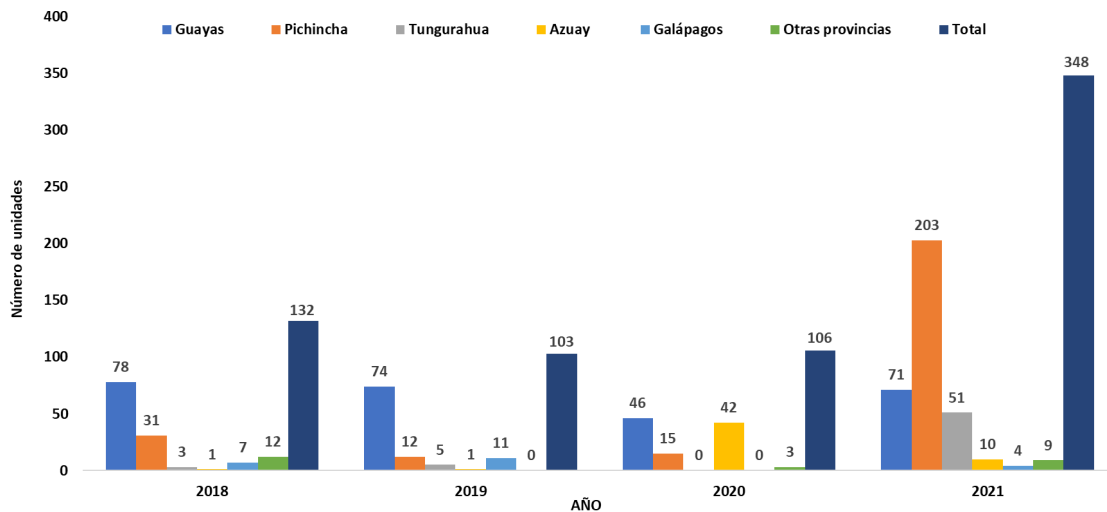


Nota. Entre 2018 y 2021 existe un decrecimiento del 13% en las ventas de VE y VMCI. Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2021.

En el año 2021 se comercializaron un total de 348 vehículos eléctricos (Figura 7). Los múltiples proyectos de apoyo a la movilidad sostenible han ayudado a incrementar la demanda de VE en 228% durante el 2021, al igual que la oferta de modelos eléctricos, que aumentó en 46% (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2021).

Figura 7

Ventas de VE en las principales provincias (2018 - 2021).



Nota. Los vehículos eléctricos han demostrado un crecimiento importante para el 2021. Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2021.

Movilidad en Cuenca

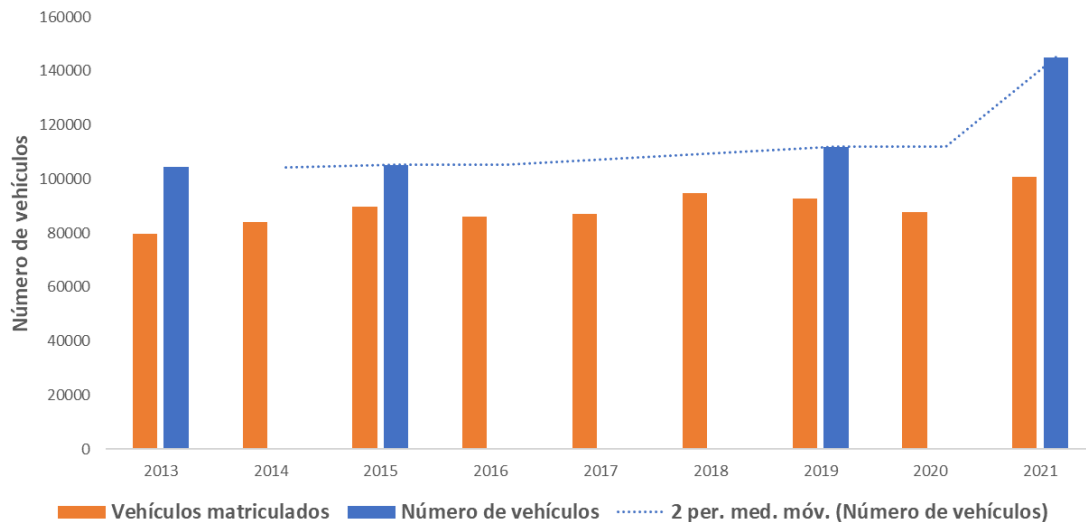
Santa Ana de los Ríos de Cuenca está ubicada en un valle interandino de la Sierra Austral ecuatoriana. Cuenta con un sistema hidrográfico conformado por cuatro ríos principales: Tomebamba, Yanuncay, Machángara y Tarqui, así como también, determinado por sistemas montañosos. Esta ciudad es la capital de la provincia del Azuay. Se encuentra a una altura promedio de 2 550 m.s.n.m., tiene una población aproximada de 580 000 habitantes y la temperatura durante el año oscila entre los 14 °C a 20 °C (Fundación Turismo Cuenca, 2022).

De acuerdo con los datos de lo que fue la Dirección Municipal de Tránsito (DMT), en 2006 la ciudad de Cuenca contaba con 52 674 automotores y para 2015 creció a 105 178 unidades. Actualmente, se estima que hay unos 145 000 vehículos (Mercurio, 2021). Según la Empresa de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca (EMOV) (2021), en 2013 se matricularon 79 567 vehículos, sin embargo, para 2021 las cifras se elevaron a 100 820 vehículos. Debido a factores

como Covid-19, nuevas instalaciones de matriculación en los cantones de la provincia del Azuay, entre otras, los valores de matriculación en 2019 y 2020 muestran una disminución respecto a 2021 del 8.2% (92 601) y 13.1% (87 581) respectivamente.

Figura 8

Número de vehículos en la ciudad de Cuenca (2013 - 2021).



Nota. El crecimiento del campo automotor se vio afectado debido a condiciones como la emergencia sanitaria Covid-19 en el año 2020. Fuente: Empresa de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca (EMOV) 2021.

Ciclos de conducción

Un ciclo de conducción es una serie temporal de velocidades de un medio de transporte específico, que representan ciertos patrones de manejo en un determinado sector, pudiendo ser urbano, rural o en carretera, mismos datos que están relacionados de manera directa con la tecnología del vehículo, tráfico, características de las carreteras, datos tanto geográficos como climáticos e incluso datos del conductor y/u ocupantes del vehículo (Barlow et al., 2009).

Existen dos categorías principales de ciclo de conducción, que incluyen la legislativa y no legislativa. De acuerdo con los ciclos de conducción legislativos, los límites de las emisiones de escape son impuestas por los gobiernos para la homologación de vehículos (Fotouhi y Montazeri-

Gh, 2013). El Procedimiento de Prueba Federal (FTP-75, por sus siglas en inglés) utilizado en Estados Unidos, el Nuevo Ciclo de Conducción Europeo (NEDC, por sus siglas en inglés) utilizado en Europa y el J 10-15 utilizado en Japón, son muestras de ciclos de conducción legislativos. Cabe recalcar que, el Procedimiento De Ensayo De Vehículos Ligeros Armonizado A Escala Mundial (WLTP, por sus siglas en inglés) sustituye al procedimiento europeo basado en NEDC para las pruebas de homologación de tipo de vehículos ligeros. El WLTP también se introduce para la certificación de vehículos en Japón (DieselNet, 2019). Por otra parte, los ciclos de conducción no legislativos se aplican para estudios de emisiones de gases contaminantes y el consumo de combustible. El ciclo de Sídney (Kent et al., 1977), el ciclo europeo mejorado (Kühler y Karstens, 1978), el ciclo de conducción de Hong Kong (Tong et al., 1999), y cualquier otro ciclo desarrollado localmente son algunos de los ejemplos de ciclos no legislativos.

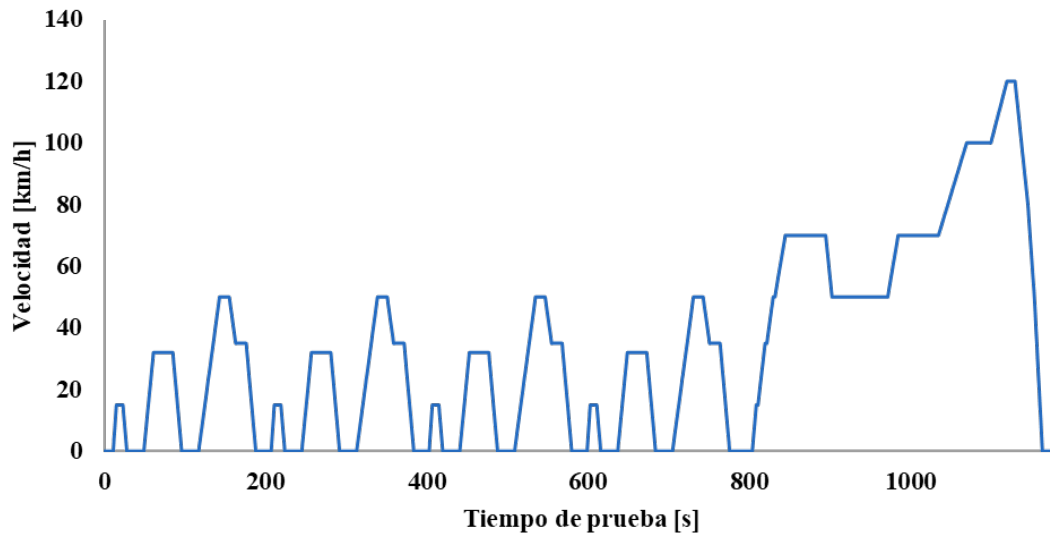
Aplicaciones. Los ciclos de aplicaciones son de gran importancia para diversos estudios. Entre algunas se menciona las pruebas de emisiones para la homologación de vehículos, estimación de la potencia y energía requerida en el movimiento del vehículo y la determinación del consumo energético, entre otras (Ligterink et al., 2012).

Tipo de ciclos de conducción. Para abarcar un gran número de patrones de conducción se dividen a los ciclos de conducción en dos tipos principalmente: modales y transitorios (Sanabria Sandí, 2012).

Ciclos de conducción modales. También denominados ciclos de conducción estacionarios, tienen como característica en su elaboración que los parámetros de velocidad y aceleraciones son constantes en la totalidad de su perfil de velocidad vs. tiempo (Figura 9). Este tipo de ciclo se compone de secuencias poligonales teóricas como el ciclo europeo NEDC o el ciclo japonés 10-15 (Jiménez, 2019).

Figura 9

Ejemplo de ciclo modal, Ciclo NEDC.

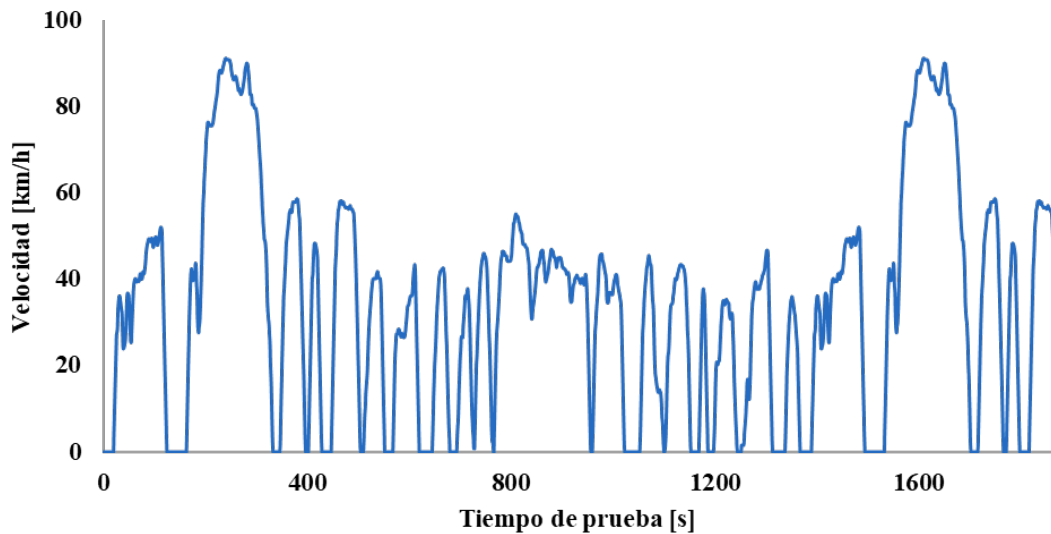


Nota. La figura muestra uno de los ciclos de conducción utilizados en pruebas de laboratorio. Fuente: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, (2021).

Ciclos de conducción transitorios o ciclos reales. Se caracterizan por tener variaciones de velocidad en cada instante de tiempo. Son mediciones reales de manejo, en las cuales existen aceleraciones y velocidades variables a lo largo del ciclo. Algunos ejemplos de estos ciclos son, el ciclo FTP-75 o el Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTC) (Jiménez, 2019).

Figura 10

Ejemplo de ciclo Transitorio, Ciclo FTP-75.



Nota. Ciclo de conducción utilizado para la certificación de emisiones y pruebas de economía de combustible de vehículos ligeros en los Estados Unidos. Fuente: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, (2021).

Métodos de elaboración de ciclos de conducción. Existen varias metodologías para la obtención de ciclos de conducción que se podrían asociar en dos grupos.

Métodos directos. Consiste en recoger directamente datos sobre los movimientos de los vehículos, instrumentados con GPS, para la obtención de curvas de velocidad vs. tiempo en una ruta determinada, finalmente, se selecciona la curva que mayor representación tenga mediante análisis estadístico. Es decir, directamente de las mediciones reales se deriva un ciclo que representa el tráfico real de la localidad de estudio (Gómez de las Heras, 2011).

Métodos indirectos. Consiste en recopilar datos de diversas fuentes, como registro de uso del vehículo, datos GPS, etc. Luego se procesan los datos para la construcción de un ciclo de conducción. A estos datos procesados se les aplica análisis estadísticos. Una vez obtenido los grupos que representan los patrones de conducción, se procede a establecer el ciclo. (Gómez de las Heras, 2011).

En la siguiente sección se explicará el procedimiento previo al análisis de ponderación. La dinámica vehicular se tomará como base para el cálculo de las energías demandadas en las rutas. Estas energías serán las variables características a las cuales se les aplicará una ponderación y con esto, determinar el ciclo de conducción.

Dinámica vehicular

Durante el desplazamiento de un vehículo existen cuatro resistencias que se oponen al movimiento. Estas fuerzas pueden o no actuar al mismo tiempo dependiendo de la situación en la que se encuentra el vehículo. Estas fuerzas son: resistencia al aire o fuerza de arrastre, resistencia a la rodadura, resistencia a la inercia y resistencia a la pendiente (Cascajosa, 2007). Ver Figura 11.

Fuerza de arrastre (F_d). El arrastre es una fuerza mecánica que se opone al movimiento y es generada por la diferencia de velocidad entre el objeto sólido y el fluido. Para que exista fuerza de arrastre, se deben cumplir dos condiciones. El cuerpo sólido debe estar en contacto con el fluido y debe haber movimiento entre el objeto y el fluido (Hall, 2021).

Resistencia a la rodadura (R_x). La resistencia a la rodadura se define como la energía consumida por unidad de distancia de recorrido cuando un neumático rueda bajo carga (D. E. Hall y Moreland, 2001).

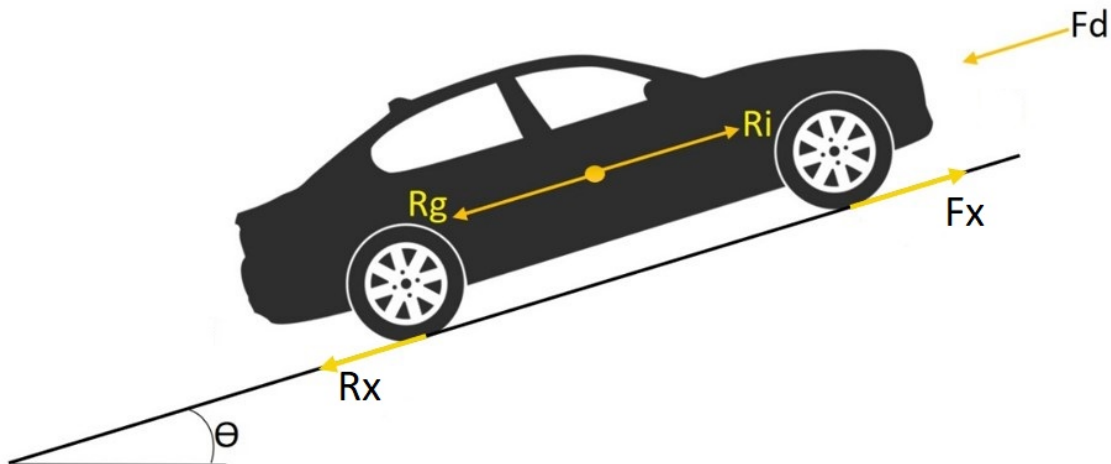
Resistencia a la inercia (R_i). La inercia es una propiedad que tiene un cuerpo (vehículo) de permanecer en su estado, ya sea de reposo o movimiento. La resistencia a la inercia se produce cuando hay un cambio en la velocidad del vehículo. Generada por una fuerza que se opone al aumento o disminución de velocidad del vehículo. Ocurre tanto en aceleraciones como en deceleraciones (Soriano y Ruiz, 2018).

Resistencia a la pendiente (Rg). La resistencia debida a la pendiente dificulta la ascensión del vehículo por un plano inclinado a causa de la oposición de una componente de su peso. Esta fuerza de resistencia se aplica en el centro de gravedad del vehículo (Soriano y Ruiz, 2018).

Las fuerzas son parte del cálculo energético y de potencia del vehículo. Es posible realizar un análisis de demanda energética para saber qué energía intervino con mayor presencia en los ciclos y asignar una ponderación calculada para refinar los resultados (Dávalos, 2017).

Figura 11

Diagrama de cuerpo libre de un vehículo, segunda ley de Newton.



Nota. La imagen muestra las cuatro resistencias que se oponen al movimiento. Fuente: Galindo et al., (2017).

Existen varios métodos para caracterizar una ruta y con esto llegar a desarrollar un ciclo de conducción que represente la conducción típica de una localidad sin importar la metodología aplicada.

En el trabajo de Huertas et al., (2017) se aplica el método de MWD - CP parámetros de caracterización de mínimas diferencias ponderadas basándose únicamente en datos GPS. Para obtener los datos se aplica la técnica de “Vehículo de persecución”, misma que consiste en seleccionar un vehículo al azar y seguirlo con un vehículo instrumentado. Se tomaron muestras

de 1 100 ciclos en ocho meses. Cada ciclo se describe mediante un conjunto de parámetros característicos. Se compara cada parámetro característico con respecto al promedio del mismo parámetro para todos los ciclos muestreados y luego se suman las diferencias obtenidas para cada uno. Finalmente, se selecciona como ciclo representativo de las muestras a la que tenga la suma más pequeña de diferencias ponderadas.

Para Cordero-Moreno et al., (2017) se trabaja con datos obtenidos mediante GPS instalado en un taxi de la ciudad de Cuenca, en Ecuador. Teniendo en cuenta como viajes válidos únicamente los viajes en los que el taxi estaba con pasajeros y recorría desde el punto A hasta un punto B dentro de la ciudad. Comparando datos del taxímetro y los datos GPS se obtuvo un total de 512 viajes considerados válidos y se recopiló información como: posición (altitud, longitud, latitud), velocidad (m/s) y tiempo de recorrido (s). Todo esto con una frecuencia de adquisición de datos de 1 Hz de manera continua. Finalmente, se utilizan mínimas diferencias ponderadas para la determinación de ciclos de conducción partiendo desde los parámetros de caracterización de cada ruta. Se trabajó una propuesta para determinar los parámetros característicos y sus pesos en función de la demanda de energía.

Según Tong (1999), debido al limitado equipo disponible, se adopta el método utilizado por Kühler y Karstens (1978), donde compara 10 parámetros del ciclo propuesto contra los ciclos existentes. Estos fueron la velocidad, aceleración, desaceleración y duración media de un período de conducción de la ruta, media de aceleraciones, cambios de desaceleración dentro de un período de conducción y proporciones de los cuatro modos de funcionamiento, ralentí, aceleración, velocidad crucero y desaceleración (Tabla 1). El nuevo ciclo de conducción se desarrolló modificando los ciclos obligatorios que tenían las estadísticas más cercanas de los 10 parámetros en comparación con los datos de prueba.

De esta manera, Tong (1999) indica que “existen nueve criterios de evaluación en el análisis”. Estos criterios son: velocidad media del ciclo de conducción, velocidad promedio de marcha, aceleración media de las fases de aceleración, desaceleración promedio de las fases de desaceleración, duración media de un período de conducción, tiempo de los modos de conducción, (ralentí, aceleración, cruce y desaceleración). Cambios de aceleración y desaceleración en un período de conducción, aceleración, aceleración cuadrática media y energía cinética de aceleración positiva.

Al desarrollar el ciclo de conducción estándar para Hong Kong, los nueve parámetros se calculan a partir de los datos de la encuesta y se seleccionan del conjunto de datos 20 períodos de conducción cortos, cada uno limitado por tiempos de inactividad, para que los valores de estos parámetros se ajusten mejor a los de toda la muestra de datos (Tong et al., 1999, p. 2325).

Tabla 1

Modos de conducción para el desarrollo de un ciclo representativo según Tong.

Modo	Parámetro
Ralentí	Velocidad = $0 \frac{m}{s}$
Aceleración	Incremento de aceleración $> 0.1 \frac{m}{s^2}$
Velocidad cruce	Incremento de aceleración $\leq 0.1 \frac{m}{s^2}$
Desaceleración	Incremento de aceleración $< - 0.1 \frac{m}{s^2}$
Periodo de conducción	No incluye ralentí

Nota. Datos basados en el trabajo de Tong (1999).

Para el estudio que se anuncia a continuación, aunque no se establece el análisis de ponderación, se considera el análisis de dinámica vehicular para la caracterización de la ruta, así como también la evaluación energética.

Alvarez et al., (2018) considera los siguientes parámetros para la determinación de las rutas, la distancia media recorrida por los ciudadanos, el Plan de Movilidad y Espacios Públicos de la ciudad de Cuenca de 2015 y la información del proyecto del tranvía “Cuatro Ríos”, que para ese entonces estaba en proceso de construcción. Con la ayuda de 50 personas aproximadamente durante un periodo de tiempo de seis meses, se cubrieron alrededor de 1 500 km con la bicicleta eléctrica en este estudio. Sin embargo, el experimento se realizó con bicicleta eléctrica y vehículos de prueba, cubriendo cada una de las seis rutas 16 veces, es decir, ocho veces en la dirección Universidad del Azuay - final de cada ruta, y ocho veces en dirección de regreso. Se procede a recopilar los datos de tiempo y posición mediante GPS segundo a segundo, datos que sirvieron como punto de partida para calcular la distancia recorrida (m), velocidad (m/s), aceleración (m/s^2) y pendiente (rad). En cuanto a la energía consumida en cada viaje se utilizó la teoría de dinámica vehicular, una vez encontradas las resistencias al movimiento.

García (2022), utilizó un bus eléctrico BYD-K9 en la ciudad de Cuenca, que recorrió durante un mes una de las rutas con mayor demanda de pasajeros, la línea 100 (Ricaurte-Baños) y una de las rutas con mayor pendiente, la línea 27 (Sinincay-Baños). La metodología usada fue parámetros resumen donde se instrumentó al autobús con un GPS que recolectó coordenadas, velocidad, tiempo y altura, la información fue descargada, filtrada y procesada utilizando Matlab. Además, se realizó un estudio sobre la energía demandada por el vehículo. Finalmente, y al igual que Huertas y Cordero Moreno, se utilizó el método de mínimas diferencias ponderadas para escoger el ciclo típico de conducción en las rutas.

Capítulo 2

Importancia de los ciclos de conducción en la localidad

Problemática

La diferencia de autonomía entre VE y VMCI es considerable. Por ejemplo, Hearst Autos, Inc., (2021) presenta la diferencia entre el Chevrolet Spark eléctrico del año 2016 y con motor a combustión del mismo año. Utilizando el ciclo de conducción Urbano EPA, el VE recorre 132 km con la carga completa, por otra parte, el VMCI recorre 458 km con el tanque de combustible lleno.

Actualmente, la necesidad de ciclos de conducción que represente una localidad es inminente, ya que los ciclos de conducción de homologación existentes no describen de manera asertiva la conducción diaria de una región, lo que conlleva a diferencias significativas entre algunos parámetros, por ejemplo, debido a la ubicación topográfica y geográfica de la ciudad de Cuenca, existen variaciones del consumo energético, el consumo de combustible, etc., entre lo indicado por el fabricante y la realidad. (Tietge, 2017).

Pregunta de investigación

- ¿Cuál es la diferencia en la demanda energética en rueda, entre los vehículos (VMCI y VE) utilizados en el proyecto?

Objetivos

Objetivo general.

- Determinar la demanda energética en cada una de las rutas con los diferentes modos de transporte.

Objetivos específicos.

- Obtener los datos del vehículo eléctrico mediante GPS en las rutas establecidas.
- Procesar los datos de cada uno de los modos de transporte.
- Aplicar la metodología de mínimas diferencias ponderadas para la obtención de los ciclos de conducción típicos.
- Determinar los ciclos de conducción de las rutas establecidas introduciendo la variación de la pendiente.

Alcances y contribuciones

A través de esta investigación se pretende comparar la demanda energética (en rueda) mediante el desarrollo de ciclos de conducción representativos establecidos tanto para VE como para VMCI y un ciclo representativo para las dos tecnologías antes mencionadas como indicadores de la conducción normal diaria entre seis rutas establecidas de la ciudad de Cuenca, con el fin de impulsar al desarrollo de estudios sobre movilidad sostenible en dicha ciudad y posteriormente en otras ciudades del país con el objetivo de evaluar la posibilidad de implementar nuevas tecnologías para condiciones reales que demanda la localidad.

Planteamiento de la metodología

Procesos del trabajo

Los procesos a realizar con un determinado orden, deben claramente explicar la metodología para alcanzar los objetivos de la comparación de la demanda energética en rueda entre VMCI y VE que, a su vez, sirvió para la determinación de los ciclos de conducción. Estos procesos son: definición del método para la obtención de los ciclos, selección de las rutas, determinación e instrumentación del VE, levantamiento de la información y anexión de información del VE con los de VMCI, finalmente, se procesó y analizó la información recolectada (Anexo 1).

Método de obtención del ciclo de conducción

Con el objetivo de ilustrar la aplicabilidad de la metodología de mínimas diferencias ponderadas, se aplicó al estudio un conjunto de vehículos de la misma tecnología (VMCI). Sin embargo, para la comparación entre tecnologías en cuanto a la demanda energética que se requiere por cada ruta, se implementó un VE.

Debido al requerimiento del estudio, no se contempló la utilización de un método indirecto para la determinación de ciclos de conducción, debido a que no es tan preciso como el método directo, ya que se basa en el análisis estadístico en lugar de mediciones reales de los movimientos de los vehículos. Los ciclos de conducción fueron una herramienta para la estimación de la demanda energética en rueda de vehículos con motor de combustión, como de propulsión eléctrica. Por esta razón, el estudio se basó en la obtención de ciclos de conducción mediante el método directo, siguiendo el diagrama como se muestra en el Anexo 2. La teoría de mínimas diferencias ponderadas se basó en la energía requerida por cada fuerza de la dinámica vehicular, tomando a las energías como parámetros característicos.

Selección de rutas y determinación del VE

El limitante con respecto a los VE en el medio, es la razón por la cual únicamente se trabajó con el vehículo eléctrico de marca Dayang, modelo Chok G2 (Figura 12), características que se muestran en la Tabla 2, otorgado por la Universidad del Azuay. En cuanto a las rutas, factores como la altimetría, pendientes, tráfico, entre otros, conllevó a que la selección de rutas se realizara con base en estudios como el Plan de Movilidad de 2015 con el fin de que las rutas puedan representar la conducción típica. Las seis rutas seleccionadas cubren distancias entre los ocho y 15 km aproximadamente (Tabla 3). Las rutas establecidas siempre tuvieron como punto de partida la Universidad del Azuay y el final de la ruta fueron: R1: Colegio Borja, R2: Pasos, R3: Supermaxi

(Av. de las Américas), R4: Universidad Católica, R5: Graiman, R6: Redondel de las Cholas (Figura 13).

Figura 12

Vehículo eléctrico Dayang Chock G2.



Nota. Vehículo utilizado para la obtención de datos en el estudio. Fuente: Autores (2022).

Tabla 2

Características Dayang Chock G2.

Descripción	
Marca	Dayang
Modelo	Chock G2
Años de fabricación	2020
Transmisión	Un cambio fijo
Motor	Eléctrico (6000 W)
Energía	Eléctrico 110 V – 220 V
Neumáticos	165/70 R15
Velocidad máxima	50 km/h
Autonomía	180 km por carga

Nota. Datos obtenidos de Intercar.com (2022).

Figura 13

Mapa de las rutas establecidas para el trabajo.



Nota. La imagen muestra las seis rutas seleccionadas para el desarrollo de esta tesis. Fuente: Autores (2022).

Tabla 3

Detalle de las rutas.

Ruta	Distancia	Pendiente máxima Positiva - Negativa	Pendiente media Positiva - Negativa
1	13 kilómetros	15.8 %, -16.8%	4.6%, -4.5%
2	9 kilómetros	12.6%, -9.1%	2.7%, -2.7%
3	11 kilómetros	9.8%, -10.3%	2.3%, -2.2%
4	13 kilómetros	10.0%, -9.8%	2.7%, -2.9%
5	15 kilómetros	11.2%, -11.3%	2.1%, -2.1%
6	14 kilómetros	9.8%, -10.3%	2.6%, -2.5%

Nota. Datos obtenidos mediante Google Earth (2021).

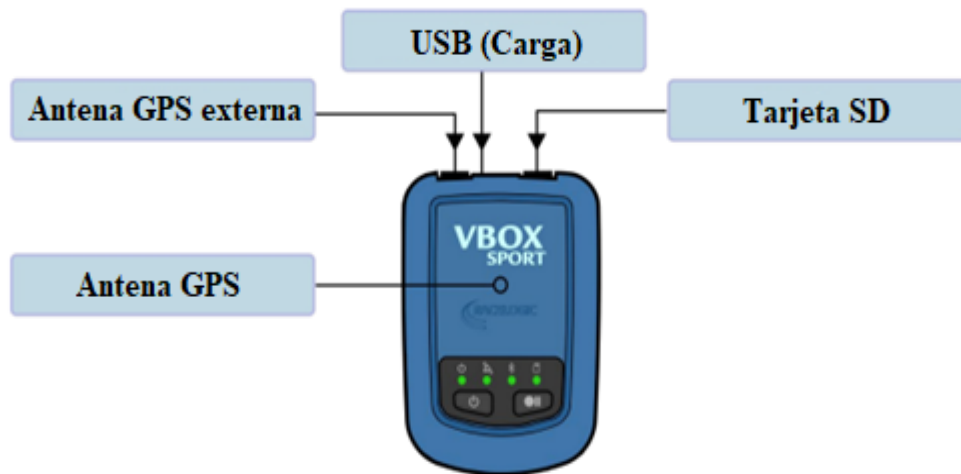
Instrumentación

El VE se equipó con dispositivo GPS para la recolección de datos de posición (longitud - latitud), altitud, velocidad y tiempo con una frecuencia de 1 Hz. El dispositivo GPS de la marca

Vbox y modelo Sport (Figura 14), tiene una precisión de velocidad de $\pm 0.1 \frac{km}{h}$, y precisión de posición y altura de ± 5 m, representando un 95% de CEP, las especificaciones principales se encuentran en el Anexo 3. Los datos de los VMCI se obtuvieron en el trabajo de “Evaluation of the electric bicycle as an alternative mobility in the city of Cuenca, Ecuador”.

Figura 14

GPS Vbox Sport.



Nota. La imagen muestra el GPS a utilizar para la recolección de datos con sus partes más relevantes. Fuente: Vbox Automotive (2022).

Obtención de datos

Cedillo Sánchez (2013) expresa tres métodos para obtener los datos, los cuales son: automóvil de seguimiento, conductor experto y conductor cotidiano. Las ventajas y desventajas se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4*Ventajas y desventajas de los métodos de recolección de datos.*

Técnica	Ventaja	Desventajas
Automóvil de seguimiento	Se implementa un solo vehículo para el estudio. El costo de instrumentación es bajo. Se toma un solo recorrido para el muestreo.	Los límites de velocidad son rigurosos. Alto margen de error debido a la recolección indirecta.
Conductor experto	El muestreo tiene una repetibilidad, lo que disminuye el error entre cada recorrido.	El margen de error es directamente proporcional a la experticia del conductor.
Conductor cotidiano	Mejor opción para localidades con comportamientos de conducción irregulares. La recolección de datos es directa.	El tiempo de recolección de datos es extenso. Mayor número de variables durante la toma de datos

Nota. Información extraída de Cedillo Sánchez (2013).***Procesamiento y análisis de datos***

Dentro del procesamiento y análisis de datos, las mínimas diferencias ponderadas siguen un procedimiento previo para su aplicabilidad, como se muestra en la Figura 15. Posteriormente establecido el análisis de ponderación, se procedió a la construcción del ciclo de conducción para concluir con el análisis energético.

Figura 15

Esquema de los procesos previos a la aplicabilidad de mínimas diferencias ponderadas.



Nota. El esquema muestra el proceso de la metodología a seguir previo al análisis energético. Fuente: Autores, (2022).

Para el análisis de la dinámica vehicular se aplicó el procedimiento mostrado a continuación:

$$F_x = F_d + R_x + R_g + R_i \quad (1)$$

La fuerza en rueda que demanda un vehículo está definida por la siguiente ecuación.

Donde:

F_x = Fuerza en rueda [N]

F_d = Fuerza de arrastre o resistencia al aire [N]

R_x = Resistencia a la rodadura [N]

R_g = Resistencia a la pendiente [N]

R_i = Resistencia a la inercia [N]

Seguendo la secuencia anterior, las componentes de cada fuerza se presentan en las siguientes ecuaciones.

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho \cdot V^2 \quad (2)$$

Donde:

C_d = Coeficiente de arrastre [-]

A = Área frontal [m²]

ρ = Densidad del aire [kg/m³]

V = Velocidad del vehículo [m/s]

$$R_x = M \cdot g \cdot f_r \cdot \cos \theta \quad (3)$$

Donde:

M = Masa del vehículo [kg]

g = Gravedad [m/s²]

f_r = Coeficiente de resistencia a la rodadura [-]

θ = Gradiente de carretera (pendiente) [rad]

$$R_g = M \cdot g \cdot \sin \theta \quad (4)$$

$$R_i = M \cdot a \quad (5)$$

Donde:

a = Aceleración [m/s²]

La demanda de potencia en rueda (P_x) se calcula mediante la Ecuación 6 y la demanda de energía (E_x^+) se calcula mediante la Ecuación 7. Debido a no poseer un sistema regenerativo de energía, toda energía negativa se despreció y se consideró únicamente la energía positiva.

$$P_x = F_x \cdot V \quad (6)$$

$$E_x^+ = \int_{t_1}^{t_2} P_x \cdot dt \quad (7)$$

Con cada fuerza presentada en la Ecuación 1 fue posible calcular la potencia y la energía. Eso significa que hay una demanda de potencia y energía debido al arrastre, a la resistencia a la rodadura, a la pendiente del camino y a la inercia. La Ecuación 8 y Ecuación 9 presentan las fórmulas para calcular la demanda de potencia y energía debida a cada fuerza que debe vencer un vehículo.

$$P_i = F_i \cdot V \quad (8)$$

$$E_i = \int_{t_1}^{t_2} P_i \cdot dt \quad (9)$$

Donde i equivale a: fuerza de arrastre (F_d), resistencia a la rodadura (R_x), pendiente del camino (R_g) e inercia (R_i).

Mínimas diferencias ponderadas.

Estudios de ciclos de conducción en diferentes países como Colombia, Estados Unidos, México, entre otros, han sido determinados mediante el criterio de ponderación, en la cual dentro de un grupo de datos se elige el de mayor representación (Pérez, Quito, 2018).

Según Astudillo (2016), el método de mínimas diferencias ponderadas, es un análisis que consiste en la recolección de datos de muestras, para su posterior clasificación y representación mediante los parámetros resumen; es decir, variables características para el análisis de las muestras descritas por la Ecuación 7.

El siguiente paso fue asignar un peso de ponderación de cada fuerza (W_i). El peso de ponderación está definido por:

$$W_i = \frac{E_i}{E_x} \quad (10)$$

Finalmente, se calculó el promedio ponderado (PP) mediante la siguiente ecuación:

$$PP = \frac{\sum(E_i \cdot W_i)}{\sum(W_i)} \quad (11)$$

Con esto, los parámetros fueron comparados contra el promedio de los parámetros de la muestra. De esta manera se escogió el recorrido que más se aproximó a la media de los recorridos o muestras en sus parámetros resumen. La mínima diferencia de promedios ponderados sirve para dar una valoración de las muestras y para seleccionar el que corresponda al valor mínimo de la desviación de los parámetros resumen en el análisis con respecto a su media (Astudillo, 2016).

Capítulo 3

Diseño metodológico

Adquisición de datos.

El VE Dayang Chok G2, fue el medio a través del cual se recopilaron los datos entre recorridos de cada ruta en el que, el GPS, tomó en un intervalo de tiempo de .05 segundos (20 Hz). Los archivos obtenidos del GPS fueron convertidos a archivos .csv (valores separados por comas) para su posterior análisis y procesamiento. Se tomaron muestras de 18 recorridos y se adjuntaron a los recorridos ya obtenidos en “Evaluation of the electric bicycle as an alternative mobility in the city of Cuenca, Ecuador” desarrollado por Alvarez, G., et al., (2018).

Tratamiento de datos.

Debido a que los datos del archivo original (.csv) se encontraron con una frecuencia de 20 Hz (.05 segundos), se aplicó un filtro para obtener los datos en una frecuencia de 1 Hz. Una vez filtrada la información, se procedió a convertir los datos de posición (latitud y longitud), ya que estas vienen en el sistema de ubicación decimal en minutos. Para esto, se dividió para 60 y -60 respectivamente.

Mediante GPS Visualizer se obtuvieron datos de altitud (m), pendiente (%), distancia (km) e intervalo de distancia (m) (Figura 16). Para obtener los datos anteriormente mencionados, se utilizó la página web de GPS Visualizer (www.gpsvisualizer.com) donde se ingresaron datos de latitud y longitud (Figura 17). Se obtuvo un archivo de texto (.txt), el mismo que se exportó a Microsoft® Excel. Finalmente, se procedió al suavizado de los datos obtenidos. Para la velocidad

se realizó el suavizado mediante Cubic Spline, por otra parte, para la altitud, la suavización se realizó con base en el REGLAMENTO (UE) 2016/646 DE LA COMISIÓN de 20 de abril de 2016, métodos que proporcionaron mejores resultados al aplicar mínimas diferencias ponderadas para establecer el ciclo de conducción, y a partir de estos últimos el análisis comparativo de energía.

Figura 16

Conversión de datos de posición.

Tiempo	Datos filtrados				Datos obtenidos			
	Original Vbox		Conversión		GPS VISUALIZER			
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Elevación (%)	Distancia (km)	Intervalo de distancia (m)
0	-175,20463	4740,09237	-2,920077167	-79,0015395	2529,1	0	0	0
1	-175,20476	4740,0923	-2,920079333	-79,00153833	2529,1	7,3	0	0,27
2	-175,20499	4740,09232	-2,920083167	-79,00153867	2529,1	12	0,001	0,43
3	-175,20509	4740,09257	-2,920084833	-79,00154283	2529,2	9,2	0,001	0,5
4	-175,20505	4740,09285	-2,920084167	-79,0015475	2529,2	3,6	0,002	0,52
5	-175,20511	4740,09293	-2,920085167	-79,00154883	2529,2	11,4	0,002	0,18
6	-175,20541	4740,09281	-2,920090167	-79,00154683	2529,3	8,6	0,003	0,6
7	-175,20584	4740,09252	-2,920097333	-79,001542	2529,3	6,4	0,003	0,96
8	-175,20639	4740,09225	-2,9201065	-79,0015375	2529,4	8	0,005	1,13
9	-175,20702	4740,09205	-2,920117	-79,00153417	2529,5	9,4	0,006	1,22
10	-175,20759	4740,09183	-2,9201265	-79,0015305	2529,6	9	0,007	1,13
11	-175,20811	4740,09166	-2,920135167	-79,00152767	2529,7	9,5	0,008	1,01
12	-175,20863	4740,09155	-2,920143833	-79,00152583	2529,8	10,3	0,009	0,98
13	-175,20917	4740,09138	-2,920152833	-79,001523	2529,9	9,7	0,01	1,04
14	-175,20955	4740,09117	-2,920159167	-79,0015195	2530	8,1	0,011	0,8
15	-175,20972	4740,09102	-2,920162	-79,001517	2530	5,7	0,011	0,42

Nota. La figura muestra un extracto de la conversión de unidades de datos de posición utilizando Microsoft® Excel, así como la obtención de datos mediante GPS Visualizer. Fuente: Autores, (2022).

Figura 17

Obtención de datos con GPS Visualizer.

The screenshot shows the GPS Visualizer web interface. The 'Output format' is set to 'Plain text'. Under 'Upload your files here', there are three file selection boxes, all showing 'No se ha seleccionado ningún archivo'. A 'Convert' button is visible. The 'Or paste your data here' section contains a text area with the following data:

latitude	longitude
-2,920077167	-79,0015395
-2,920079333	-79,00153833
-2,920083167	-79,00153867
-2,920084833	-79,00154283
-2,920084167	-79,0015475

Below the text area, 'Force text data to be this type' is set to 'default'. There are also options for 'Plain text delimiter' (set to 'tab') and 'Plain text output units' (set to 'Metric'). The 'Add estimated fields' section has checkboxes for 'speed', 'heading', 'slope (%)', 'distance', 'VMG', and 'pace', with 'speed', 'heading', 'slope (%)', and 'distance' checked. The 'Add DEM elevation data' is set to 'best available source'. At the bottom, there are links for 'Save these settings' and 'Load from saved', and a button for '[+] show advanced options'.

Nota. La figura muestra la interfaz para la obtención de datos mediante GPS Visualizer. Fuente: Autores, (2022).

Cubic Spline. Es una función que está formada por varios polinomios, cada uno definido sobre un sub intervalo que se unen entre sí, obedeciendo a ciertas condiciones de continuidad. El spline cúbico ($k=3$) es el más empleado, debido a que proporciona un excelente ajuste a los puntos tabulados y su cálculo no es excesivamente complejo (Díaz, 1998). En este trabajo la suavización mediante Cubic Spline se realizó en un programa desarrollado en Microsoft® Excel tomando un intervalo de tiempo de cinco segundos. Este intervalo de tiempo presenta el mejor resultado en cuanto al suavizado, ya que en este punto se obtiene un mejor acercamiento entre la aceleración y la potencia teórica y real del vehículo.

El polinomio cúbico para el i -ésimo intervalo, el cual cae entre los puntos (x_i, y_i) y (x_{i+1}, y_{i+1}) en la forma:

$$y = a_i(x - x_i)^3 + b_i(x - x_i)^2 + c_i(x - x_i) + d_i \quad (12)$$

Puesto que esta se ajusta en los dos puntos extremos del intervalo:

$$y = a_i(x_i - x_i)^3 + b_i(x_i - x_i)^2 + c_i(x_i - x_i) + d_i = d_i \quad (13)$$

$$\begin{aligned} y &= a_i(x_{i+1} - x_i)^3 + b_i(x_{i+1} - x_i)^2 + c_i(x_{i+1} - x_i) + d_i = \\ &= a_i h_i^3 + b_i h_i^2 + c_i h_i + d_i \end{aligned} \quad (14)$$

En donde h_i es el Δx en el i -ésimo intervalo. Se necesitan las primeras y segundas derivadas para relacionar las pendientes y curvaturas de los polinomios que se unen, de manera que se deriva la ecuación 12:

$$y' = 3a_i(x - x_i)^2 + 2b_i(x - x_i) + c_i \quad (15)$$

$$y'' = 6a_i(x - x_i) + 2b_i \quad (16)$$

Una vez obtenido las segundas derivadas, esta se la representa mediante S_i y S_{i+1} según el intervalo tomado. Así mismo, se despeja las constantes a_i , b_i y d_i y se procede a reemplazar en la ecuación 16. Obteniendo así el valor de la constante C_i .

Es necesario definir la condición de que los dos polinomios se unen en un punto. Para este caso $x = x_i$ y se procede a calcular para el i -ésimo intervalo y el extremo derecho. Igualando estas dos ecuaciones, sustituyendo a_i , b_i , c_i y d_i y simplificando, obtenemos la ecuación:

$$h_{i-1}S_{i-1} + (2h_{i-1} + 2h_i)S_i + h_iS_{i+1} = 6 \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{h_i} - \frac{y_i - y_{i-1}}{h_{i-1}} \right) \quad (17)$$

Esta ecuación se aplica a cada punto interno, de $i = 2$ hasta $i = n - 1$, siendo ss el número total de puntos. Resultado de esto, obtenemos un total de $n - 2$ ecuaciones. Finalmente, se procede a realizar mediante el método Gaussiano la resolución del sistema de ecuaciones, teniendo así la suavización de cada uno de los intervalos del total de datos.

REGLAMENTO (UE) 2016/646. Este método empieza con un pretratamiento de datos, consiste en la comprobación de calidad de los datos. Se recomienda corregir los datos interpolados si se da la siguiente condición.

$$|h_{gps}(t) - h_{map}(t - 1)| > 40 \text{ m} \quad (18)$$

La corrección de la altitud se aplicará de forma que:

$$h(t) = h_{map}(t) \quad (19)$$

donde:

$h(t)$: altitud del vehículo tras el examen y la verificación fundamental de la calidad de los datos en el punto de datos t [m sobre el nivel del mar],

$h_{gps}(t)$: altitud del vehículo medida con GPS en el punto de datos t [m sobre el nivel del mar],

$h_{map}(t)$: altitud del vehículo según el mapa topográfico en el punto de datos t [m sobre el nivel del mar].

Para la corrección de los datos de altitud instantánea del vehículo, la altitud $h(0)$ al comienzo de un trayecto en $d(0)$ se obtendrá con GPS, y a continuación se verificará que es correcta con la información proporcionada por un mapa topográfico. La desviación no deberá ser superior a 40 m. Los datos de altitud instantánea $h(t)$ deberán corregirse si se da la siguiente condición:

$$|h(t) - h(t - 1)| > \left(\frac{v(t)}{3.6} \cdot \text{seno } 45^\circ \right) \quad (20)$$

En caso de no cumplir con la condición, se procede a la corrección de la altitud.

$$h_{corr}(t) = h_{corr}(t - 1) \quad (21)$$

donde:

$h(t)$: altitud del vehículo tras el examen y la verificación fundamental de la calidad de los datos en el punto de datos t [m sobre el nivel del mar],

$h(t - 1)$: altitud del vehículo tras el examen y la verificación fundamental de la calidad de los datos en el punto de datos $t - 1$ [m sobre el nivel del mar],

$v(t)$: velocidad del vehículo en el punto de datos t [km/h],

$h_{corr}(t)$: altitud instantánea corregida del vehículo en el punto de datos t [m sobre el nivel del mar],

$h_{corr}(t - 1)$: altitud instantánea corregida del vehículo en el punto de datos $t - 1$ [m sobre el nivel del mar].

La distancia total $h_{tot}(m)$ cubierta por un trayecto se determinará sumando las distancias instantáneas d_i . La distancia instantánea d_i se determinará como:

$$d_i = \frac{v_i}{3.6} \quad (22)$$

donde:

d_i : distancia instantánea [m],

v_i : velocidad instantánea del vehículo [km/h],

Se procede a calcular la ganancia de la altitud de cada punto discreto interpolando la distancia instantánea $h_{corr}(t)$:

$$h_{int}(d) = h_{corr}(0) + \frac{h_{corr}(1) - h_{corr}(0)}{d_i - d_0} \cdot (d - d_0) \quad (23)$$

donde:

$h_{int}(d)$: altitud interpolada en el punto de ruta discreto considerado d [m sobre el nivel del mar],

$h_{corr}(0)$: altitud corregida inmediatamente antes del respectivo punto de ruta d [m sobre el nivel del mar],

$h_{corr}(1)$: altitud corregida inmediatamente después del respectivo punto de ruta d [m sobre el nivel del mar],

d : distancia acumulativa recorrida hasta el punto de ruta discreto considerado d [m],

d_0 : distancia acumulativa recorrida hasta la medición inmediatamente antes del respectivo punto de ruta d [m],

d_1 : distancia acumulativa recorrida hasta la medición inmediatamente después del respectivo punto de ruta d [m].

Finalmente, se realizan dos rondas de suavizado. La primera ronda viene dada mediante las siguientes ecuaciones:

$$road_{grade,1}(d) = \frac{h_{int}(d + 200 m) - h_{int}(d_a)}{(d + 200 m)} \text{ para } d \leq 200 m \quad (24)$$

$$road_{grade,1}(d) = \frac{h_{int}(d + 200 m) - h_{int}(d - 200 m)}{(d + 200 m) - (d - 200 m)} \text{ para } 200 m < d < (d_e - 200 m) \quad (25)$$

$$road_{grade,1}(d) = \frac{h_{int}(d_e) - h_{int}(d - 200 m)}{d_e - (d - 200 m)} \text{ para } d \geq (d_e - 200 m) \quad (26)$$

$$h_{int,sm,1}(d) = h_{int,sm,1}(d - 1m) + road_{grade,1}(d), d = d_a + 1ad_e \quad (27)$$

$$h_{int,sm,1}(d_a) = h_{int}(d_a) + road_{grade,1}(d_a) \quad (28)$$

donde:

$road_{grade,1}(d)$: pendiente de la carretera suavizada en el punto de ruta discreto considerado tras la primera ronda de suavizado [m/m],

$h_{int}(d)$: altitud interpolada en el punto de ruta discreto considerado dd [m sobre el nivel del mar],

$h_{int,sm,1}(d)$: altitud interpolada suavizada, tras la primera ronda de suavizado en el punto de ruta discreto considerado dd [m sobre el nivel del mar],

d : distancia acumulativa recorrida en el punto de ruta discreto considerado [m],

d_a : punto de ruta de referencia a una distancia de 0 metros [m],

d_b : distancia acumulativa recorrida hasta el último punto de ruta discreto [m].

La segunda ronda de suavizado se realizará como se muestra:

$$\begin{aligned} road_{grade,2}(d) &= \frac{h_{int,sm,1}(d + 200 m) - h_{int,sm,1}(d_a)}{(d + 200 m)} \text{ para } d \\ &\leq 200 m \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} road_{grade,2}(d) &= \frac{h_{int,sm,1}(d + 200 m) - h_{int,sm,1}(d - 200 m)}{(d + 200 m) - (d - 200 m)} \text{ para } 200 m < d \\ &< (d_e - 200 m) \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} road_{grade,2}(d) &= \frac{h_{int,sm,1}(d_e) - h_{int,sm,1}(d - 200 m)}{d_e - (d - 200 m)} \text{ para } d \\ &\geq (d_e - 200 m) \end{aligned} \quad (31)$$

donde:

$road_{grade,2}(d)$: pendiente de la carretera suavizada en el punto de ruta discreto considerado tras la segunda ronda de suavizado [m/m],

$h_{int,sm,1}(d)$: altitud interpolada suavizada, tras la primera ronda de suavizado en el punto de ruta discreto considerado dd [m sobre el nivel del mar],

d : distancia acumulativa recorrida en el punto de ruta discreto considerado [m],

d_a : punto de ruta de referencia a una distancia de 0 metros [m],

d_b : distancia acumulativa recorrida hasta el último punto de ruta discreto [m].

Capítulo 4

Aplicación de la metodología

Parámetros resumen

Los ciclos de conducción para este estudio requieren de parámetros resumen; estos parámetros son elementos que permiten calificar y evaluar las rutas. En mínimas diferencias ponderadas se asigna un peso de ponderación a los parámetros resumen, identificando la importancia que tienen.

Determinación de variables. Mediante una hoja de cálculo se crearon las curvas experimentales, mismas que están conformadas por cuatro parámetros principales que forman una matriz (Figura 18). La primera columna contiene el tiempo de recorrido a una frecuencia de 1 Hz; la segunda, corresponde a la velocidad en kilómetros por hora; la tercera columna contiene los valores de altitud que registró el GPS Vbox y, por último, la cuarta columna contiene los valores de altitud obtenidos mediante GPS Visualizer.

Figura 18

Matriz de la curva experimental.

Tiempo [s]	Velocidad [km/h]	Altitud GPS Vbox [msnm]	Altitud GPS Visualizer [msnm]
0	0,12	2538,21	2529,10
1	0,14	2537,89	2529,10
2	0,19	2537,68	2529,10
3	0,30	2537,42	2529,20
4	0,51	2536,77	2529,20
5	0,84	2536,29	2529,20
6	1,31	2536,22	2529,30
7	1,87	2536,57	2529,30
8	2,45	2536,70	2529,40
9	2,98	2536,83	2529,50
10	3,39	2537,26	2529,60

Nota. La figura muestra un extracto de datos de la curva experimental. Fuente: Autores, (2022).

A partir de los parámetros principales, se generaron nuevos datos calculados mediante las fórmulas de la dinámica vehicular y el análisis potencial y energético (Ver sección Procesamiento y análisis de datos). Estos datos calculados fueron utilizados como parámetros resumen del ciclo de conducción.

Tabla 5*Parámetros resumen.*

Tiempo [s]	Posición de las variables descriptoras	1	Datos de ingreso
Velocidad [km/h]		2	
Altitud GPS Vbox [msnm]		3	
Altitud GPS Visualizer [msnm]		4	
Pendiente [%]		5	Variables calculadas
Distancia [m]		6	
Aceleración [m/s ²]		7	
Resistencia al aire [F _d]		8	
Resistencia a la rodadura [R _x]		9	
Resistencia la pendiente [R _g]		10	
Resistencia a la inercia [R _i]		11	
Fuerza en rueda [F _x]		12	
Energía de Resistencia al aire [F _d]		13	
Energía de Resistencia a la rodadura [R _x]		14	
Energía de Resistencia la pendiente [R _g]		15	
Energía de Resistencia a la inercia [R _i]		16	

Nota. Variables calculadas se obtuvieron partiendo de la dinámica vehicular.

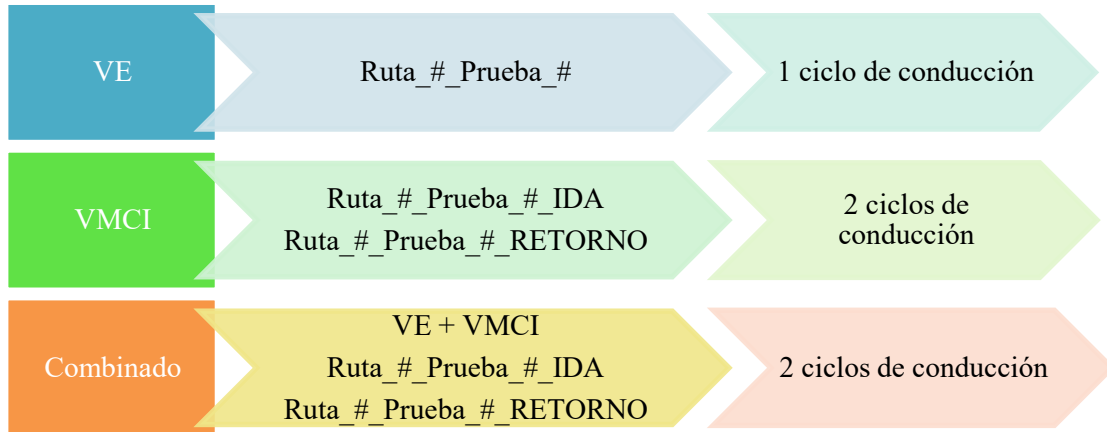
Determinación de pesos de parámetros resumen

El cálculo de los pesos relativos de cada uno de los parámetros resumen se realizó en Microsoft® Excel. Para esto se separó los archivos de VE y VMCI, sin embargo, para un ciclo representativo de todos los vehículos el cálculo se lo realizó en conjunto, obteniendo un total de cinco ciclos de conducción (Figura 19). Organizados los archivos, se calculó el promedio energético de las resistencias o fuerzas de oposición al movimiento de los vehículos. Mediante la

Ecuación 10, se obtuvo los promedios ponderados, creando una nueva matriz de ponderaciones (Figura 20).

Figura 19

Número de ciclos por vehículo.



Nota. La figura muestra la forma de trabajo para obtener las matrices. Fuente: Autores, (2022).

Figura 20

Ejemplo de las matrices de promedios ponderados.

Archivo	Energía total	Unidad	Energía por cada fuerza [kwh]				Promedios ponderados				Total
			Fd	Rx	Rg	Ri	Fd[%]	Rx[%]	Rg[%]	Ri[%]	
Ruta_1_Prueba_1_ida	0,578497096	[kWh]	0,050649426	0,161764464	0,190005403	0,176077803	8,76%	27,96%	32,84%	30,44%	100%
Ruta_1_Prueba_2_ida	0,664343979	[kWh]	0,05751704	0,164950698	0,172649111	0,269227129	8,66%	24,83%	25,99%	40,53%	100%
Ruta_1_Prueba_3_ida	0,597983285	[kWh]	0,065471518	0,177802831	0,14329022	0,211418715	10,95%	29,73%	23,96%	35,36%	100%
Ruta_1_Prueba_4_ida	0,60583469	[kWh]	0,060649512	0,171685349	0,1172897	0,256210129	10,01%	28,34%	19,36%	42,29%	100%
Ruta_1_Prueba_1_ida	0,48487134	[kWh]	0,047817544	0,018795369	0,139293248	0,278965179	9,86%	3,88%	28,73%	57,53%	100%
Ruta_1_Prueba_2_ida	0,472872507	[kWh]	0,051590565	0,018203104	0,167039887	0,236038951	10,91%	3,85%	35,32%	49,92%	100%
Ruta_1_Prueba_3_ida	0,515335565	[kWh]	0,035342188	0,015264828	0,171611655	0,293116895	6,86%	2,96%	33,30%	56,88%	100%
Ruta_1_Prueba_1_ida	1,125886091	[kWh]	0,074898478	0,600452497	0,239631762	0,210903354	6,65%	53,33%	21,28%	18,73%	100%
Ruta_1_Prueba_2_ida	1,130953631	[kWh]	0,077436765	0,55403591	0,20605356	0,293427397	6,85%	48,99%	18,22%	25,95%	100%
Ruta_1_Prueba_3_ida	1,073835892	[kWh]	0,07466141	0,557954023	0,201221876	0,239998583	6,95%	51,96%	18,74%	22,35%	100%
Promedio energético			0,059603445	0,244090907	0,174808642	0,246538414	8,65%	27,58%	25,78%	38,00%	100%

Nota. La figura muestra un extracto de las matrices obtenidas con los pesos de ponderación. Fuente: Autores, (2022).

A continuación, se muestra los resultados de los pesos de ponderación obtenidos para cada caso descrito contra la variable dependiente “energía en rueda” (Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9, Tabla 10).

Tabla 6*Pesos relativos de los parámetros resumen de VE.*

Parámetros de energía	Porcentajes [%]
Resistencia a la inercia [R _i]	43.89 ± 0.99
Resistencia la pendiente [R _g]	19.62 ± 0.63
Resistencia a la rodadura [R _x]	28.91 ± 0.46
Resistencia al aire [F _d]	7.58 ± 0.43
Total	100

Nota. Se toman únicamente los recorridos realizados con el VE.**Tabla 7***Pesos relativos de los parámetros resumen de las rutas de ida de los VMCI.*

Parámetros de energía	Porcentajes [%]
Resistencia a la inercia [R _i]	58.22 ± 1.18
Resistencia la pendiente [R _g]	23.37 ± 0.68
Resistencia a la rodadura [R _x]	10.35 ± 1.44
Resistencia al aire [F _d]	8.16 ± 0.24
Total	100

Nota. Se toman únicamente los recorridos de ida realizados con los VMCI.**Tabla 8***Pesos relativos de los parámetros resumen de las rutas de retorno de los VMCI.*

Parámetros de energía	Porcentajes [%]
Resistencia a la inercia [R _i]	6.99 ± 1.31
Resistencia la pendiente [R _g]	9.89 ± 0.78
Resistencia a la rodadura [R _x]	15.56 ± 1.18
Resistencia al aire [F _d]	67.56 ± 0.25
Total	100

Nota. Se toman únicamente los recorridos de retorno realizados con los VMCI.**Tabla 9***Pesos relativos de los parámetros resumen de ida con todos los vehículos.*

Parámetros de energía	Porcentajes [%]
Resistencia a la inercia [R _i]	7.80
Resistencia la pendiente [R _g]	14.91
Resistencia a la rodadura [R _x]	22.23
Resistencia al aire [F _d]	55.06
Total	100

Nota. Se toman únicamente los recorridos de ida realizados.

Tabla 10

Pesos relativos de los parámetros resumen de retorno con todos los vehículos.

Parámetros de energía	Porcentajes [%]
Resistencia a la inercia [R_i]	7.30
Resistencia la pendiente [R_g]	11.27
Resistencia a la rodadura [R_x]	15.96
Resistencia al aire [F_d]	65.47
Total	100

Nota. Se toman únicamente los recorridos de retorno realizados.

Aplicación de mínimas diferencias ponderadas

Determinados los pesos relativos de los parámetros resumen, se los consideraron como las ponderaciones que se necesitan para la determinación de los ciclos de conducción. Se creó una matriz de promedios ponderados en la cual, los valores se obtienen al aplicar la Ecuación 11. Se estableció una nueva columna en la que se suman todos los valores de los promedios ponderados denominada “Total”, es decir, la sumatoria de las energías F_d , R_x , R_g y R_i de la Ruta_#_Prueba_# Figura 21. Mediante la fórmula “MIN” de Microsoft® Excel, se buscó el valor mínimo entre toda la columna “Total”.

Para encontrar el archivo con mayor facilidad, se estableció mediante la fórmula de Microsoft® Excel denominada “Filtrar”, el nombre del archivo de la ruta que contenga el valor mínimo, así como también los parámetros resumen Figura 22.

Figura 21

Matriz de mínimas diferencias ponderadas.

Fd	Rx	Rg	Ri	Total	Valor mínimo
0,000966697	0,016716598	0,00420538	0,047060181	0,068948856	0,016346956
0,001835266	0,014835233	0,012876553	0,02002051	0,049567561	
0,000662186	0,016710591	0,027867162	0,005103513	0,050343453	
0,001789593	0,003101729	0,018926303	0,071359324	0,095176949	
0,000685708	0,003140217	0,015233929	0,026404099	0,045463953	
6,51849E-05	0,003095018	0,00893511	0,004251643	0,016346956	
0,002525347	0,003694404	0,00179667	0,097491428	0,10550785	
0,001979391	0,004136749	0,018140313	0,066915621	0,091172075	
0,00417722	0,003827846	0,002204351	0,108129053	0,11833847	
0,001019301	0,004670662	0,005258745	0,043874167	0,054822876	
0,000475157	0,004560624	0,004553816	0,03492439	0,044513987	
0,000521248	0,00455955	9,87846E-06	0,040868371	0,045959048	
0,000105619	0,004464288	0,003008898	0,014766625	0,02234543	
0,000979683	0,004387004	0,00211461	0,069928069	0,077409367	
0,001509708	0,004624331	0,003357388	0,057669841	0,067161268	

Nota. La figura muestra un ejemplo de la matriz de las mínimas diferencias ponderadas con el valor subrayado perteneciente a cualquier ruta. Fuente: Autores, (2022).

Figura 22

Ejemplo de ruta seleccionada.

Resultado													
Archivos	Parámetro	Valor	Unidad	Fd	Rx	Rg	Ri	Fd[%]	Rx[%]	Rg[%]	Ri[%]	Σ	Vehículo
Ruta_2_Prueba_3_ida	ΣE^+	0,73	[kWh]	0,06	0,04	0,23	0,41	8,21%	4,89%	31,04%	55,86%	100%	C

Nota. La figura muestra un ejemplo de la ruta seleccionada con la energía más cercana al promedio de las energías de los recorridos. Fuente: Autores, (2022).

A continuación, se muestra los resultados de las rutas que obtuvieron los valores más cercanos al promedio en cada uno de los casos descritos (Tabla 11, Tabla 12, Tabla 13, Tabla 14, Tabla 15).

Donde:

y = Valor de la sumatoria de parámetros ponderados

P_{ij} = Valor del parámetro para la curva experimental

\bar{P} = Media del parámetro de todas las curvas experimentales registradas

W = Peso de la ponderación

Tabla 11

Análisis de la curva experimental Ruta_2_Prueba_1 del VE (UDA – Colegio Pasos – UDA).

Parámetros de energía	W [%]	P_{ij} [kWh]	\bar{P} [kWh]	$\frac{W}{\sum W} \cdot \frac{ P_{ij} - \bar{P} }{\bar{P}}$
Resistencia a la inercia [R_i]	7.58	0,072512227	0,07112086	0,000105477
Resistencia la pendiente [R_g]	28.91	0,26490918	0,291051003	0,007557444
Resistencia a la rodadura [R_x]	19.62	0,17854035	0,192451651	0,002729942
Resistencia al aire [F_d]	43.89	0,502284347	0,459660754	0,01870573
$\sum W$	100	Y		0,029098593

Nota. Curva experimental con el valor más cercano al promedio entre rutas con VE.

Tabla 12

Análisis de la curva experimental Ruta_4_Prueba_1_ida del VMCI (UDA – UCACUE).

Parámetros de energía	W [%]	P_{ij} [kWh]	\bar{P} [kWh]	$\frac{W}{\sum W} \cdot \frac{ P_{ij} - \bar{P} }{\bar{P}}$
Resistencia a la inercia [R_i]	8.16	0,04179445	0,059027273	0,001406298
Resistencia la pendiente [R_g]	10.35	0,014441617	0,093702143	0,008205777
Resistencia a la rodadura [R_x]	23.37	0,157177479	0,165497193	0,001935867
Resistencia al aire [F_d]	58.22	0,433737944	0,424228994	0,005535927
$\sum W$	100	Y		0,01708387

Nota. Curva experimental con el valor más cercano al promedio entre rutas de ida con VMCI.

Tabla 13

Análisis de la curva experimental Ruta_2_Prueba_3_retorno del VMCI (Colegio Pasos – UDA).

Parámetros de energía	W [%]	P_{ij} [kWh]	\bar{P} [kWh]	$\frac{W}{\sum W} \cdot \frac{ P_{ij} - \bar{P} }{\bar{P}}$
Resistencia a la inercia [R_i]	6.99	0,029298797	0,045464242	0,001129658
Resistencia la pendiente [R_g]	9.89	0,019285684	0,079947241	0,005998335
Resistencia a la rodadura [R_x]	15.56	0,064198585	0,099400454	0,005478183
Resistencia al aire [F_d]	67.56	0,410810096	0,407517974	0,002224207
$\sum W$	100	Y		0,014830383

Nota. Curva experimental con el valor más cercano al promedio entre rutas de retorno con VMCI.

Tabla 14

Análisis de la curva experimental Ruta_4_Prueba_2_ida (VE + VMCI) (UDA – UCACUE).

Parámetros de energía	W [%]	P_{ij} [kWh]	\bar{P} [kWh]	$\frac{W}{\sum W} \cdot \frac{ P_{ij} - \bar{P} }{\bar{P}}$
Resistencia a la inercia [R_i]	7.80	0,056236958	0,062020225	0,000451021
Resistencia la pendiente [R_g]	14.91	0,182738126	0,148563671	0,005095498
Resistencia a la rodadura [R_x]	22.23	0,185224427	0,17526313	0,002214738
Resistencia al aire [F_d]	55.06	0,44441162	0,445686542	0,000701941
$\sum W$	100		Y	0,008463198

Nota. Curva experimental con el valor más cercano al promedio entre todos los recorridos de ida.

Tabla 15

Análisis de la curva experimental Ruta_5_Prueba_2_retorno (VE + VMCI) (Graiman – UDA).

Parámetros de energía	W [%]	P_{ij} [kWh]	\bar{P} [kWh]	$\frac{W}{\sum W} \cdot \frac{ P_{ij} - \bar{P} }{\bar{P}}$
Resistencia a la inercia [R_i]	7.30	0,051263738	0,0471794	0,00029797
Resistencia la pendiente [R_g]	11.27	0,019917741	0,087206471	0,007584844
Resistencia a la rodadura [R_x]	15.96	0,071023007	0,101619263	0,004883457
Resistencia al aire [F_d]	65.47	0,395094627	0,39516972	4,91644E-05
$\sum W$	100		Y	0,012815436

Nota. Curva experimental con el valor más cercano al promedio entre todos los recorridos de retorno.

Análisis energético

Para la realización de una comparativa entre los dos tipos de vehículos (VE y VMCI) se consideró dos puntos. En el primer caso, no se consideró el peso total (peso del vehículo + peso de los ocupantes) quedando únicamente los kilómetros de autonomía en función de la energía (km/kWh). El segundo caso, consideró el peso total en toneladas. Es decir, los kilómetros que puede recorrer el vehículo por cada kilovatio hora de energía y por tonelada de peso (km/kWh·T).

Por otra parte, se realizó el análisis comparativo por dos métodos; tomando en cuenta la ruta específica y por tipo de vehículo, así también, separando únicamente por tipo de vehículo sin importar el número de ruta (Figura 23). Mediante Microsoft® Excel se calculó los parámetros estadísticos mostrados en la Tabla 18. Debido a que el número de elementos por ruta no supera los

30 datos, se realizó el cálculo de los intervalos de confianza mediante la distribución “t” de student.

Al final se comparó la demanda energética en rueda de los VMCI con respecto al VE.

Figura 23

Distribución de los datos.

Considerando la ruta								Sin considerar la ruta			
Consumo [km/kwh·T]				Consumo [km/kwh]				Consumo [km/kwh·T]		Consumo [km/kwh]	
E	C	E	E	E	C	C	E	C	E	C	E
Ruta_1	Ruta_1	Ruta_2	Ruta_n	Ruta_1	Ruta_1	Ruta_2	Ruta_n				
8,441164043	8,859460539	7,311639849	###	10,02810288	11,73878521	10,92044718	###	8,859460539	8,441164043	11,73878521	10,02810288
11,31931808	13,35462775	8,48350203	###	13,44734988	17,69488177	13,41797205	###	13,35462775	11,31931808	17,69488177	13,44734988
7,263599026	9,023380926	9,352362888	###	8,629155643	11,95597973	9,190005584	###	9,023380926	7,263599026	11,95597973	8,629155643
11,19294326	12,11838992		###	13,2972166	16,05686665	13,52226898	###	12,11838992	11,19294326	16,05686665	13,2972166
								7,414093624	8,140143215	9,823674051	9,67049014

Nota. La figura muestra un ejemplo de la de la agrupación de datos para el análisis energético. Fuente: Autores, (2022).

Tabla 16

Parámetros para calcular intervalos de confianza.

Parámetro	VMCI	VE	Unidad
Media (M)	8.81	8.67	[km/kWh·T]
Desv. Estándar (S)	5.16	1.07	
Nivel de confianza	95	95	[%]
Tam. Muestra (n)	118	24	
z	1.96	1.96	
Alfa	0.05	0.05	[%]
Intervalos	0.93	0.43	
Mínimo	7.88	8.24	[km/kWh·T]
Máxima	9.75	9.10	[km/kWh·T]

Nota. Los datos se trabajaron con un nivel de confianza del 95%.

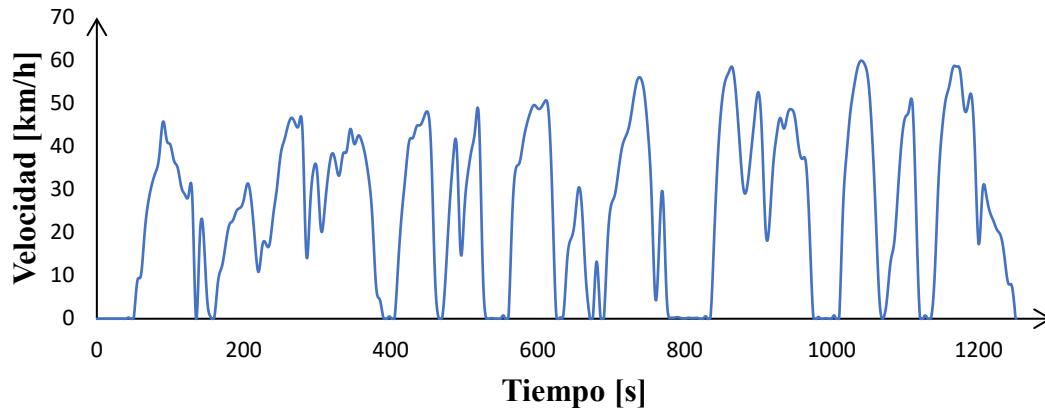
Presentación de resultados

Los ciclos de conducción que se obtuvieron mediante los procesos anteriormente explicados se muestran a continuación.

Para el VE: entre las 6 rutas, la prueba N.º de la ruta 1 (UDA – Colegio Pasos – UDA) fue el ciclo de conducción representativo del trayecto (Figura 24), los parámetros característicos (Tabla 17) y el perfil topográfico (Figura 25) se presentan a continuación.

Figura 24

Ciclo de conducción del VE (UDA – Colegio Pasos – UDA).



Nota. La figura muestra el ciclo de conducción representativo de la ruta UDA – Colegio Pasos – UDA mediante VE.

Fuente: Autores, (2022).

Tabla 17

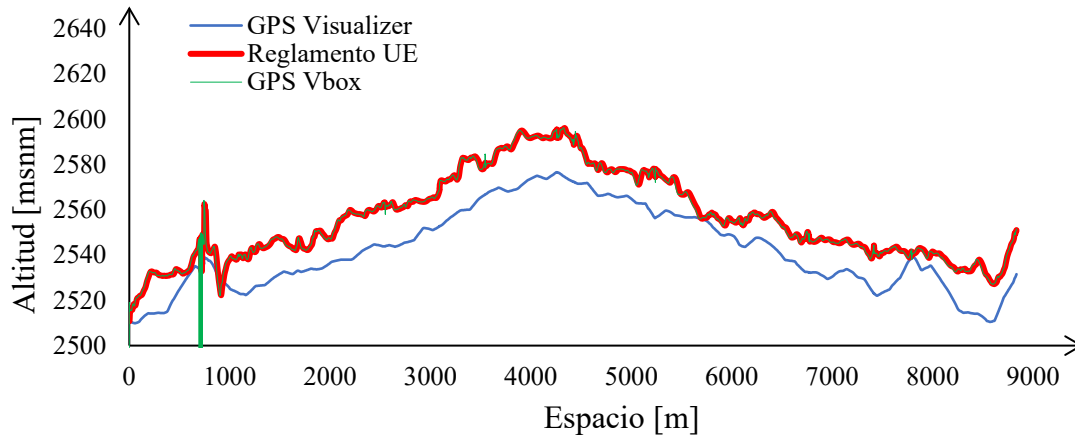
Parámetros característicos del ciclo de conducción del VE (UDA – Colegio Pasos – UDA).

Parámetros	
Curva experimental	1
Velocidad promedio [km/h]	23.59
Velocidad máxima [km/h]	59.91
Tiempo de recorrido [s]	1251
Distancia recorrida [km]	8.84
Aceleración positiva máxima [m/s^2]	1.53
Aceleración negativa máxima [m/s^2]	-2.13
Pendiente máxima [%]	10.32
Pendiente mínima [%]	-7.02

Nota. Debido a que el recorrido fue continuo, se representa ida y vuelta para este caso.

Figura 25

Comparativa de perfiles de altitud de la ruta UDA – Colegio Pasos – UDA.

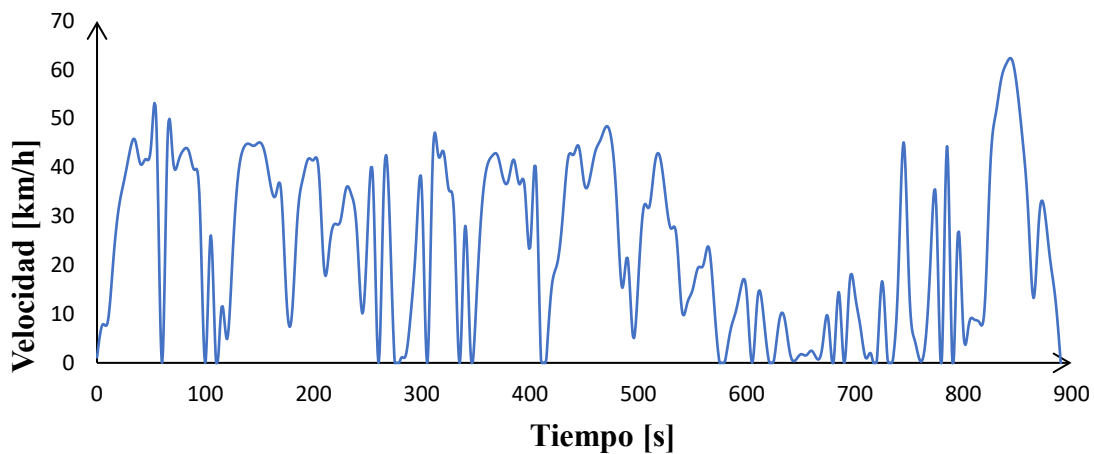


Nota. La gráfica presenta una variación máxima del 0.5% entre el perfil de GPS Visualizer vs. los datos almacenados con GPS Vbox. Fuente: Autores, (2022).

Para el VMCI: entre las pruebas de ida de las 6 rutas, la prueba N.º1 de la ruta 4 (UDA – UCACUE) fue el ciclo de conducción representativo del trayecto (Figura 26), los parámetros característicos (Tabla 18) y el perfil topográfico (Figura 27) se presentan a continuación.

Figura 26

Ciclo de conducción de los VMCI (UDA – UCACUE).



Nota. La figura muestra el ciclo de conducción representativo de la ruta UDA – UCACUE mediante VMCI. Fuente: Autores, (2022).

Tabla 18

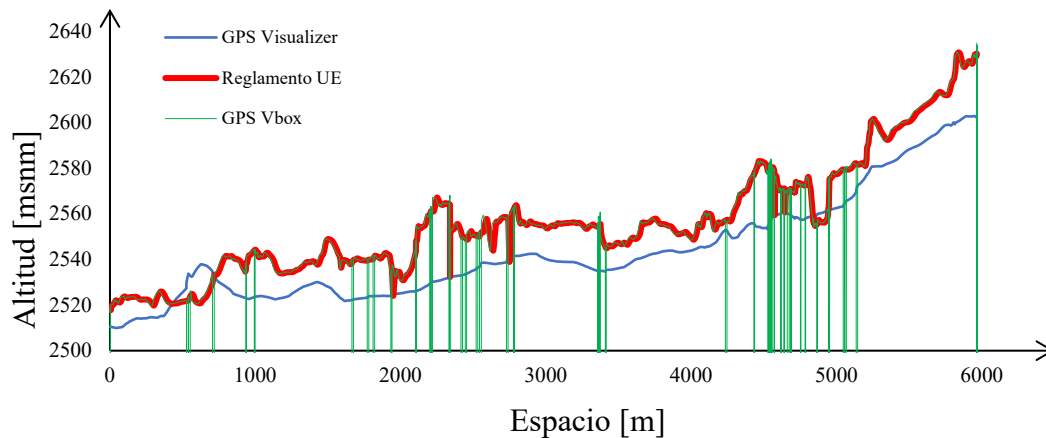
Parámetros característicos del ciclo de conducción del VMCI (UDA – UCACUE).

Parámetros	
Curva experimental	1
Velocidad promedio [km/h]	23.63
Velocidad máxima [km/h]	62.36
Tiempo de recorrido [s]	890
Distancia recorrida [km]	5.85
Aceleración positiva máxima [m/s^2]	3.43
Aceleración negativa máxima [m/s^2]	-3.42
Pendiente máxima [%]	8.47
Pendiente mínima [%]	-4.58

Nota. Únicamente se tomó los recorridos de ida realizados con los VMCI.

Figura 27

Comparativa de perfiles de altitud de la ruta UDA – UCACUE.



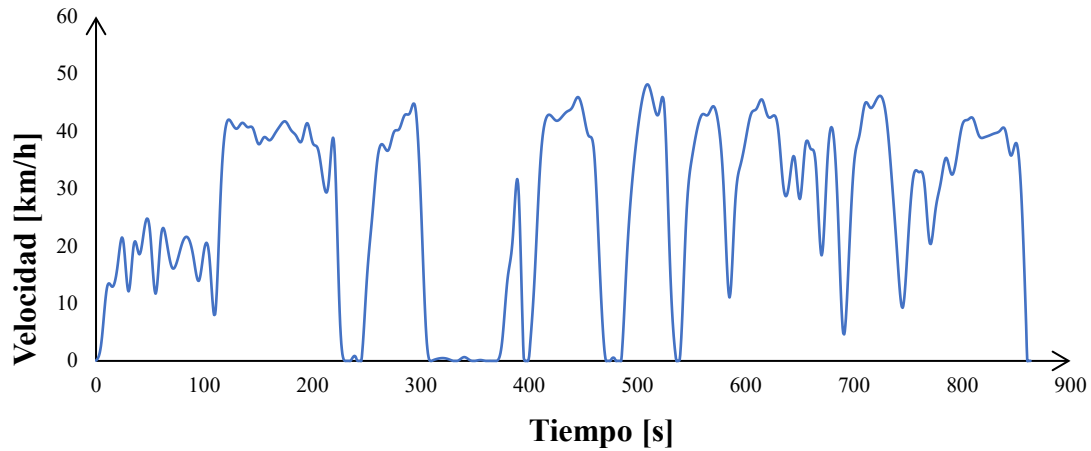
Nota. La gráfica presenta el suavizado mediante el Reglamento Europeo al perfil adquirido mediante GPS Vbox.

Fuente: Autores, (2022).

Para el VMCI: entre las pruebas de retorno de las 6 rutas, la prueba N.º3 de la ruta 2 (Colegio Pasos – UDA) fue el ciclo de conducción representativo del trayecto (Figura 28), los parámetros característicos (Tabla 19) y el perfil topográfico (Figura 29) se presentan a continuación.

Figura 28

Ciclo de conducción del VMCI (Colegio Pasos – UDA).



Nota. La figura muestra el ciclo de conducción representativo de la ruta Colegio Pasos – UDA mediante VMCI.

Fuente: Autores, (2022).

Tabla 19

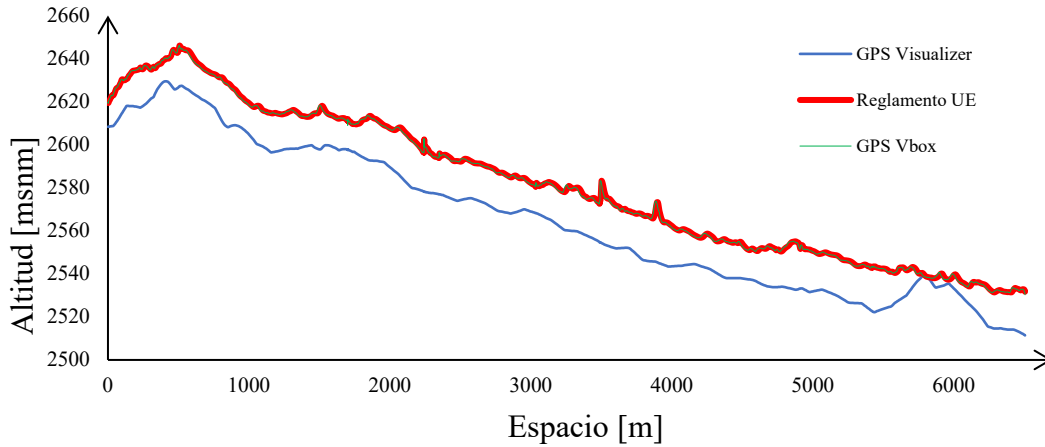
Parámetros característicos del ciclo de conducción del VMCI (Colegio Pasos – UDA).

Parámetros	
Curva experimental	2
Velocidad promedio [km/h]	27.05
Velocidad máxima [km/h]	48.14
Tiempo de recorrido [s]	863
Distancia recorrida [km]	6.49
Aceleración positiva máxima [m/s^2]	1.41
Aceleración negativa máxima [m/s^2]	-1.98
Pendiente máxima [%]	7.41
Pendiente mínima [%]	-3.53

Nota. Únicamente se tomó los recorridos de retorno realizados con los VMCI.

Figura 29

Comparativa de perfiles de altitud de la ruta Colegio Pasos – UDA.



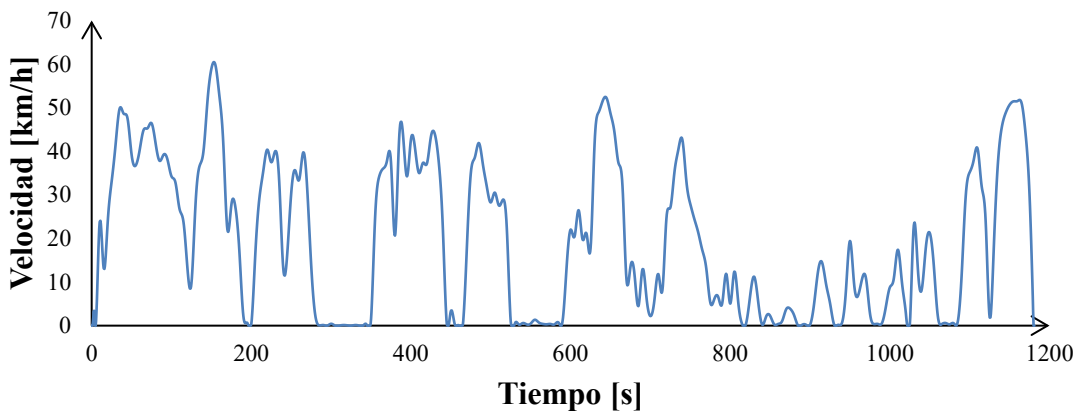
Nota. La gráfica presenta una diferencia aproximada de 11 metros entre el perfil de GPS Vbox y GPS Visualizer.

Fuente: Autores, (2022).

Para todos los vehículos del estudio: entre las pruebas de ida de las 6 rutas, la prueba N.º2 de la ruta 4 (UDA – UCACUE) fue el ciclo de conducción representativo del trayecto (Figura 30), los parámetros característicos (Tabla 20) y el perfil topográfico (Figura 31) se presentan a continuación.

Figura 30

Ciclo de conducción de los VMCI y VE (UDA – UCACUE).



Nota. La figura muestra el ciclo de conducción representativo de ida de la ruta UDA – UCACUE para VE y VMCI.

Fuente: Autores, (2022).

Tabla 20

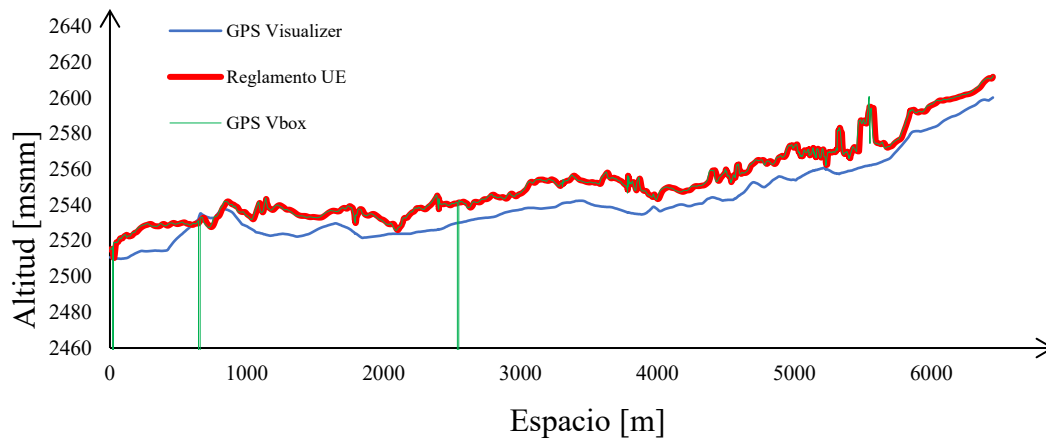
Parámetros característicos del ciclo de conducción general (UDA – UCACUE).

Parámetros	
Curva experimental	2
Velocidad promedio [km/h]	19.77
Velocidad máxima [km/h]	60.45
Tiempo de recorrido [s]	1181
Distancia recorrida [km]	6.48
Aceleración positiva máxima [m/s^2]	1.72
Aceleración negativa máxima [m/s^2]	-2.12
Pendiente máxima [%]	6.44
Pendiente mínima [%]	-4.83

Nota. Se consideró los recorridos de ida realizados con los VE y VMCI.

Figura 31

Comparativa de perfiles de altitud de la ruta UDA – UCACUE.

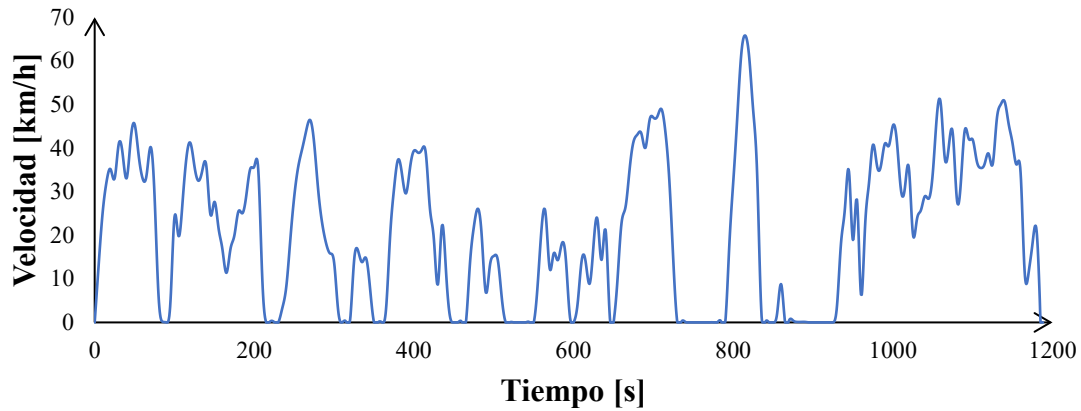


Nota. La gráfica presenta una mejor coincidencia entre los perfiles de altitud de GPS Vbox y GPS Visualizer. Fuente: Autores, (2022).

Para todos los vehículos del estudio: entre las pruebas de ida de las 6 rutas, la prueba N.º2 de la ruta 5 (UDA – UCACUE) fue el ciclo de conducción representativo del trayecto (Figura 32), los parámetros característicos (Tabla 21) y el perfil topográfico (Figura 33) se presentan a continuación.

Figura 32

Ciclo de conducción de los VMCI y VE (Graiman – UDA).



Nota. La figura muestra el ciclo de conducción representativo de retorno de la ruta Graiman – UDA para VE y VMCI.

Fuente: Autores, (2022).

Tabla 21

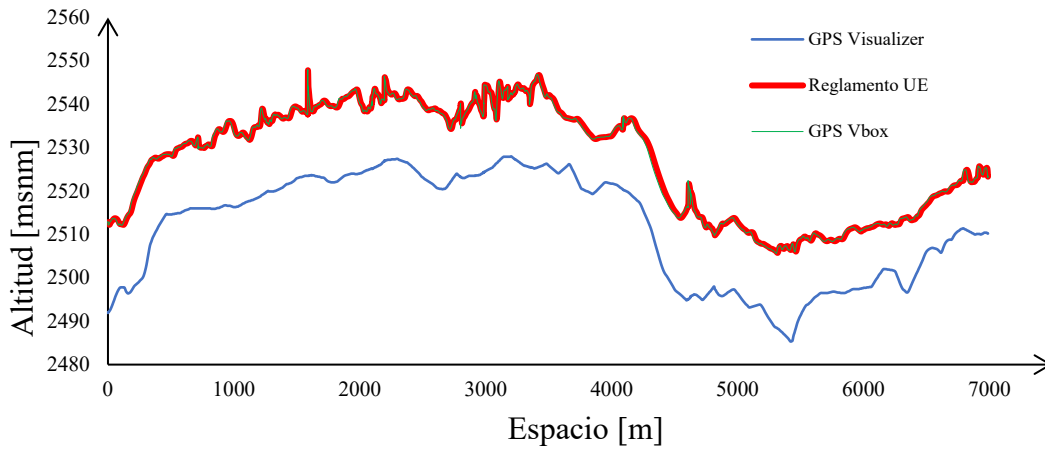
Parámetros característicos del ciclo de conducción general (Graiman – UDA).

Parámetros	
Curva experimental	2
Velocidad promedio [km/h]	21.15
Velocidad máxima [km/h]	65.80
Tiempo de recorrido [s]	1188
Distancia recorrida [km]	6.99
Aceleración positiva máxima [m/s^2]	1.26
Aceleración negativa máxima [m/s^2]	-1.89
Pendiente máxima [%]	4.07
Pendiente mínima [%]	-3.91

Nota. Se consideró los recorridos de retorno realizados con los VE y VMCI.

Figura 33

Comparativa de perfiles de altitud de la ruta Graiman – UDA.



Nota. La gráfica presenta una diferencia aproximada de 21 msnm entre los perfiles de altitud de GPS Vbox y GPS Visualizer. Fuente: Autores, (2022).

La comparación de la demanda energética en rueda para los dos casos mencionados en “análisis energético” se presentan a continuación.

Los intervalos de confianza para el caso uno, mostrados en la Tabla 22, consideran las rutas de manera conjunta, dependiendo únicamente del vehículo de estudio (VE, VMCI). Los resultados de rendimiento están establecidos con respecto al consumo considerando el peso ([km/kWh·T]). Resultante de esto, tenemos que la diferencia de consumos para VMCI fue del 23% y para VE del 19%.

Tabla 22

Intervalos de confianza.

Nivel de confianza	Demanda energética en rueda			
	[km/kwh·T]		[km/kwh]	
95%	VMCI	VE	VMCI	VE
Intervalos de confianza	8,81 ± 0,93	8,67 ± 0,43	10,87 ± 0,79	10,3 ± 0,51

Nota. [km/kWh·T] representa la demanda energética considerando el peso en toneladas; [km/kWh] no considera el peso.

Para el caso 2, se realizó un análisis entre los dos tipos de vehículos para cada ruta. Así mismo, los resultados fueron calculados respecto al consumo en el que se considera el peso Tabla 22 y Tabla 23.

Tabla 23

Diferencia porcentual para el Caso 2.

	Parámetro	Vehículo	[km/kWh·T]	[km/kWh]	Diferencia
Ruta 1		E	8,98	10,67	18,82%
		C	5,50	7,98	45,09%
Ruta 2		E	8,33	9,89	18,73%
		C	8,57	11,23	31,04%
Ruta 3		E	8,04	9,55	18,78%
		C	8,65	10,34	19,54%
Ruta 4		E	8,29	9,85	18,82%
		C	12,44	12,84	3,22%
Ruta 5		E	8,67	10,30	18,80%
		C	8,93	12,08	35,27%
Ruta 6		E	9,42	11,19	18,79%

Nota. Las diferencias porcentuales están calculadas entre la demanda energética considerando y sin considerar el peso.

Tabla 24

Análisis estadístico entre VE y VMCI por ruta.

	Parámetro	Media	Error absoluto	Error relativo	Error porcentual	Forma científica
[km/kWh·T]	Ruta 1	7,24	1,74	0,24	24,03%	7,24 ± 1,74
	Ruta 2	8,45	0,12	0,01	1,42%	8,45 ± 0,12
	Ruta 3	8,35	0,31	0,04	3,65%	8,35 ± 0,31
	Ruta 4	10,37	2,08	0,20	20,02%	10,37 ± 2,08
	Ruta 5	8,80	0,13	0,01	1,48%	8,8 ± 0,13
[km/kWh]	Ruta 1	9,33	1,35	0,14	14,42%	9,33 ± 1,35
	Ruta 2	10,56	0,67	0,06	6,34%	10,56 ± 0,67
	Ruta 3	9,95	0,40	0,04	3,97%	9,95 ± 0,40
	Ruta 4	11,35	1,50	0,13	13,18%	11,35 ± 1,50
	Ruta 5	11,19	0,89	0,08	7,95%	11,19 ± 0,89

Nota. La ruta 1 muestra la mayor variación en cuanto a demanda energética refiere.

Finalmente, para la demanda energética considerando el peso y la demanda energética sin considerar el peso, se promedió las energías por ruta y por vehículo utilizando un nivel de confianza del 95% Tabla 24 y Tabla 25.

Tabla 25

Intervalos de confianza de la demanda energética considerando el peso [km/kWh·T].

Parámetro	Vehículo	Intervalo de confianza
Ruta 1	E	8,98 ± 1,33
	C	5,5 ± 1,43
Ruta 2	E	8,33 ± 2,25
	C	8,57 ± 1,46
Ruta 3	E	8,04 ± 0,63
	C	8,65 ± 1,76
Ruta 4	E	8,29 ± 1,05
	C	12,44 ± 2,98
Ruta 5	E	8,67 ± 1,27
	C	8,93 ± 2,06
Ruta 6	E	9,42 ± 1,56

Nota. La ruta 4 muestra un mayor rendimiento energético entre las 6 rutas.

Tabla 26

Intervalos de confianza de la demanda energética considerando el peso [km/kWh].

Parámetro	Vehículo	Intervalo de confianza
Ruta 1	E	10,67 ± 1,58
	C	7,98 ± 1,65
Ruta 2	E	9,89 ± 2,68
	C	11,23 ± 1,24
Ruta 3	E	9,55 ± 0,75
	C	10,34 ± 2,1
Ruta 4	E	9,85 ± 1,24
	C	12,84 ± 1,94
Ruta 5	E	10,3 ± 1,51
	C	12,08 ± 1,73
Ruta 6	E	11,19 ± 1,86

Nota. La ruta 4 muestra un mayor rendimiento energético entre las 6 rutas.

Conclusiones

Determinación metodológica:

En este proyecto se estableció una comparativa de la demanda energética partiendo de ciclos de conducción establecidos mediante VE y VMCI en la ciudad de Cuenca. Para la metodología a seguir, se revisaron diferentes trabajos referentes a ciclos de conducción y análisis energético. Los trabajos: Obtención de ciclos de conducción para la flota de buses urbanos del cantón Cuenca desarrollado por Astudillo Rómulo, (2016), Determinación de ciclos típicos de conducción. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey por Cedillo Sánchez, (2013), *Proposed criteria to determine typical vehicular driving cycles using minimum weighted differences*, desarrollado por Cordero-Moreno, D., Dávalos, D., Coello, M., y Rockwood, R., (2017), Obtención de un ciclo típico de conducción para los vehículos de la unión de taxistas del Azuay por Dávalos, (2017); aportaron conceptos sobre la determinación de ciclos de conducción mediante método directo e indirecto. Por otra parte, trabajos como: *Evaluation of the electric bicycle as an alternative mobility in the city of Cuenca, Ecuador*, desarrollado por Alvarez, G., Coello, M., López, A., y Ordóñez, S., (2018), fueron la base para los conceptos de rendimiento energético.

Aplicación metodológica:

El método utilizado para la obtención de ciclos de conducción es el método directo partiendo de mínimas diferencias ponderadas de los parámetros característicos, basada en los datos obtenidos por GPS. “La metodología consta de tres fases: selección de la ruta, muestreo de los ciclos de conducción y selección del ciclo representativo” (Cordero et al., 2018, p. 3).

Se seleccionaron 6 rutas que recorren la ciudad de Cuenca analizadas en *Evaluation of the electric bicycle as an alternative mobility in the city of Cuenca – Ecuador* para la elaboración de

la base de datos. Mediante GPS Vbox, se levantó la información en cada ruta con el VE obteniendo parámetros de: tiempo, velocidad, posición y altitud con una frecuencia de 20 Hz. Entre los datos obtenidos con VE y los proporcionados del trabajo antecedente de los VMCI, se registró un total de 142 viajes.

A cada viaje se lo consideró como una curva experimental, las cuales fueron representadas por cuatro parámetros denominados “parámetros resumen” que tienen la información suficiente para representar a cada viaje de análisis. Siguiendo la información de Cedillo Sánchez, (2013), los parámetros resumen son: resistencia a la rodadura, resistencia a la pendiente, resistencia a la inercia y resistencia al aire.

Para los pesos de ponderación se consideró como variable dependiente a la energía en rueda misma que es una variable calculada y no una variable medida como el consumo de combustible utilizado en el trabajo de Cedillo Sánchez, (2013). Esto debido a la diferencia de energía utilizada entre los dos tipos de movilidad (VE y VMCI).

En cuanto al análisis de la pendiente del terreno, en este trabajo se involucró dicho análisis a diferencia de algunos estudios base para este trabajo como: Desarrollo y validación de un ciclo de conducción para la ciudad de San José de Costa Rica. Universidad de Costa Rica, cuál autor es Sandí, S., (2012). Por otra parte, este estudio no realiza la segmentación de “microtrips” como se lo realizó en el trabajo de Cedillo Sánchez, K. (2013).

Para la comparativa de la demanda energética en rueda entre los dos tipos de movilidad se realizó mediante estadística calculando la diferencia absoluta entre la demanda energética en rueda considerando el peso del vehículo con los ocupantes y sin considerar el peso, así mismo, se comparó de dos maneras, la primera es separando los tipos de movilidad por ruta, y la segunda es separando los tipos de movilidad tomando todas las rutas. Partiendo de la teoría de la dinámica

vehicular con base en el trabajo de Alvarez, G., et al., (2018), titulado *Evaluation of the electric bicycle as an alternative mobility in the city of Cuenca, Ecuador*.

Ciclos de conducción obtenidos:

De las 6 rutas se establecieron 5 ciclos de conducción, uno para el VE en los cuales se consideró las rutas recorridas con este vehículo, dos ciclos de conducción para los VMCI, uno describe la movilidad en rutas consideradas como “ida” que parten de la Universidad del Azuay hacia el destino, otro ciclo considerando las rutas de “retorno” que el punto de llegada es Universidad del Azuay. A pesar de que se calcularon distintas ponderaciones considerando los registros de altitud tanto del GPS Vbox como de GPS Visualizer, se evidencia la coincidencia de dos de los cinco ciclos de conducción determinados.

Demanda energética:

La comparación entre la demanda energética en rueda considerando el peso y sin considerarlo muestra que, al no considerar el peso, la demanda energética en rueda es menor. Sin embargo, la diferencia entre estas dos demandas energéticas oscila entre el 21% y 22% dando como resultado que el peso de los vehículos afecta en dichos porcentajes para este estudio. Tomando como referencia siempre la demanda energética en rueda considerando el peso y al analizar de manera independiente cada ruta únicamente valorando los vehículos en cuestión, se establece que, la ruta 4 (Universidad del Azuay – Universidad Católica de Cuenca) presenta la menor diferencia entre demandas energéticas. Es decir, la diferencia de la demanda energética en rueda sin considerar el peso con respecto a la demanda energética en rueda considerando el peso es de 9%. Por otra parte, las demás rutas presentan una diferencia promedio del 25%.

Recomendaciones

Para investigaciones a futuro:

Realizar más recorridos en las seis rutas utilizando una mayor cantidad de vehículos eléctricos de características diferentes, así como también, vehículos con motor a combustión interna con el fin de ampliar la base de datos y con esto poder establecer una comparativa que pueda representar de mejor manera la movilidad diaria en la ciudad de Cuenca.

Utilizar o involucrar una variable independiente que sea medida y no calculada, esto para la determinación de los pesos de ponderación de los parámetros resumen que se hayan establecido en los futuros estudios de investigación.

Considerar los ciclos de conducción de este estudio para futuros trabajos de investigación con el fin de determinar estimaciones, ya sea, consumo de combustible para nuevos vehículos tanto eléctricos como de motor a combustión, rendimiento energético, consumo energético, entre otros.

Referencias bibliográficas

- Alvarez, G., Coello, M., López, A., y Ordóñez, S. (2018). Evaluation of the electric bicycle as an alternative mobility in the city of Cuenca, Ecuador. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 1(1). <http://www.ieomsociety.org/paris2018/papers/99.pdf>.
- AEADE. (2021). Anuario 2021. Obtenido de Asociación de Empresas Automotrices Del Ecuador, 140. <https://www.aeade.net/anuario/>
- Astudillo, R. (2016). Obtención de ciclos de conducción para la flota de buses urbanos del cantón Cuenca [PDF]. Universidad del Azuay.
- Barlow, T. J., Latham, S., McCrae, i S., y Boulter, P. G. (2009). A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emission. Department for Transport, Cleaner Fuels y Vehicle 4 Chris Parkin, 3(2).
- Bullock, K. J. (1982). Second conference on traffic, energy and emissions: Program and papers: 19 and 20 may, 1982 at the National Science Centre, Melbourne, 21 may, 1982 at the Australian Road Research Board (1st ed., Vol. 18, pp. 12–18). The National Academies of Sciences Engineering Medicine. <https://catalogue.nla.gov.au/Record/412445> (Original work published 1982)
- Cascajosa, M. (2007). Ingeniería de vehículos: Sistemas y cálculos. Editorial Tébar.
- Cedillo Sánchez, K. (2013). Determinación de ciclos típicos de conducción. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- Cordero-Moreno, D., Dávalos, D., Coello, M., y Rockwood, R. (2017, September 5). PROPOSED CRITERIA TO DETERMINE TYPICAL VEHICULAR DRIVING CYCLES USING MINIMUM WEIGHTED DIFFERENCES. WIT Transactions on The Built Environment.

<http://dx.doi.org/10.2495/ut170281>

Dávalos, D. (2017). OBTENCIÓN DE UN CICLO TÍPICO DE CONDUCCIÓN PARA LOS VEHÍCULOS DE LA UNIÓN DE TAXISTAS DEL AZUAY.

Díaz, W. (1998, November 5). 7.3 Spline cúbicos. Métodos Numéricos. <https://www.uv.es/~Díaz/mn/node40.html>

DieselNet FAQ. (2019, January). Emission test cycles: WLTC. DieselNet. <https://dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php>

Empresa de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca (EMOV). (2021). Más de 75.000 vehículos fueron matriculados en Cuenca durante el 2021 – EMOV EP. EMOV-EP. <https://www.emov.gob.ec/2021/10/05/mas-de-75-000-vehiculos-fueron-matriculados-en-cuenca-durante-el-2021/>

Fotouhi, A., y Montazeri-Gh, M. (2013). Tehran driving cycle development using the k-means clustering method. *Scientia Iranica*, 20(2), 286–293. <https://doi.org/10.1016/j.scient.2013.04.001>

Fundación Municipal Turismo Para Cuenca. (2021). Turismo Cuenca Ecuador. Fundación Turismo Cuenca. <http://cuencaecuador.com.ec/>

García Pacheco, B. A. (2022). Determinación del ciclo típico de conducción para las rutas cien y veinte y siete de un bus eléctrico en la ciudad de Cuenca.

Gómez de las Heras, B. (2011). Desarrollo de una metodología para generación de ciclos de conducción representativos del tráfico real urbano. Aplicación para medida de emisiones en banco de rodillos.

Hall, D. E., y Moreland, J. C. (2001). Fundamentals of rolling resistance. *Rubber Chemistry and Technology*, 74(3), 525–539. <https://doi.org/10.5254/1.3547650>

- Hall, N. (2021, May 13). What is Drag? National Aeronautics and Space Administration.
<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/drag1.html>
- Hearst Autos, Inc. (2021, December 3). 2022 Chevrolet spark reviews. Car and Driver.
<https://www.caranddriver.com/chevrolet/spark>
- Huertas, Díaz, Cordero, y Cedillo. (2017). A new methodology to determine typical driving cycles for the design of vehicles power trains. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 12(1), 319–326. <https://doi.org/10.1007/s12008-017-0379-y>
- Jiménez, C. M. de L. (2019). Estimación del consumo de combustible mediante la determinación de ciclos de conducción representativos en Bucaramanga, Santander.
https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/7051/2019_Tesis_Carlos_Mario_De_Le%C3%B3n_Jim%C3%A9nez_Neira.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Kuhler, M., y Karstens, D. (1978, February 1). Improved driving cycle for testing automotive exhaust emissions. <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/780650/>
- Ligterink, N., Eijk, A., y Kraan, T. C. (2012). Dependence on technology, drivers, roads, and congestion of real-world vehicle fuel consumption. *ScienceDirect*.
- Mercurio, R. E. (2021, September 23). Cada vez circulan más vehículos en Cuenca. *Diario El Mercurio*. <https://elmercurio.com.ec/2021/09/23/cada-vez-circulan-mas-vehiculos-en-cuenca/>
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2021). Balance Energético Nacional 2020. <https://www.rekursyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2021/09/01-CAPÍTULO-01BEN-2020-Web-17-46.pdf>
- Pérez Llanos, P. S., y Quito Sinchi, C. O. (2018). Determinación de los ciclos de conducción de un vehículo categoría M1 para la ciudad de Cuenca.

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15032/1/UPS-CT007421.pdf>

Sandí, S. (2012). Desarrollo y validación de un ciclo de conducción para la ciudad de San José de Costa Rica. Universidad de Costa Rica.

Schneider, A. (2002, October). GPS Visualizer. GPS Visualizer. <https://www.gpsvisualizer.com/>

Soriano, E. J. D., y Ruiz, J. F. (2018). Sistemas de transmisión y frenado (2018). Editex.

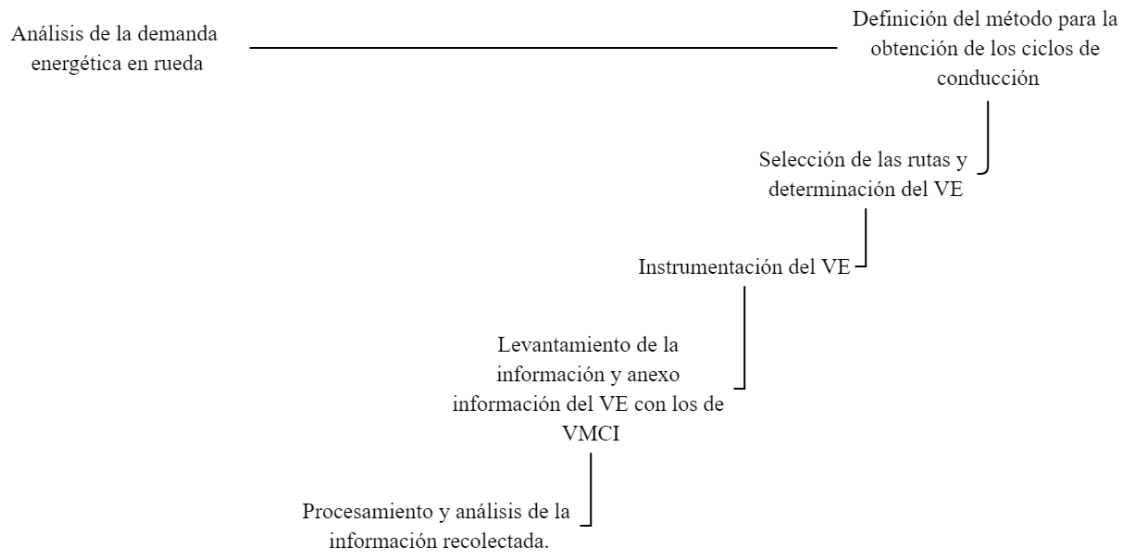
Tietge, U., Mock, P., Franco, V., y Zacharof, N. (2017). From laboratory to road: Modelling the divergence between official and real-world fuel consumption and CO2 emission values in the German passenger car market for the years 2001–2014. *Energy Policy*, 103, 212–222. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2017.01.021>

Tong, H. Y., Hung, W. T., y Cheung, C. S. (1999). Development of a driving cycle for Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 33(15), 2323–2335. [https://doi.org/10.1016/s1352-2310\(99\)00074-6](https://doi.org/10.1016/s1352-2310(99)00074-6)

Anexos

Anexo 1

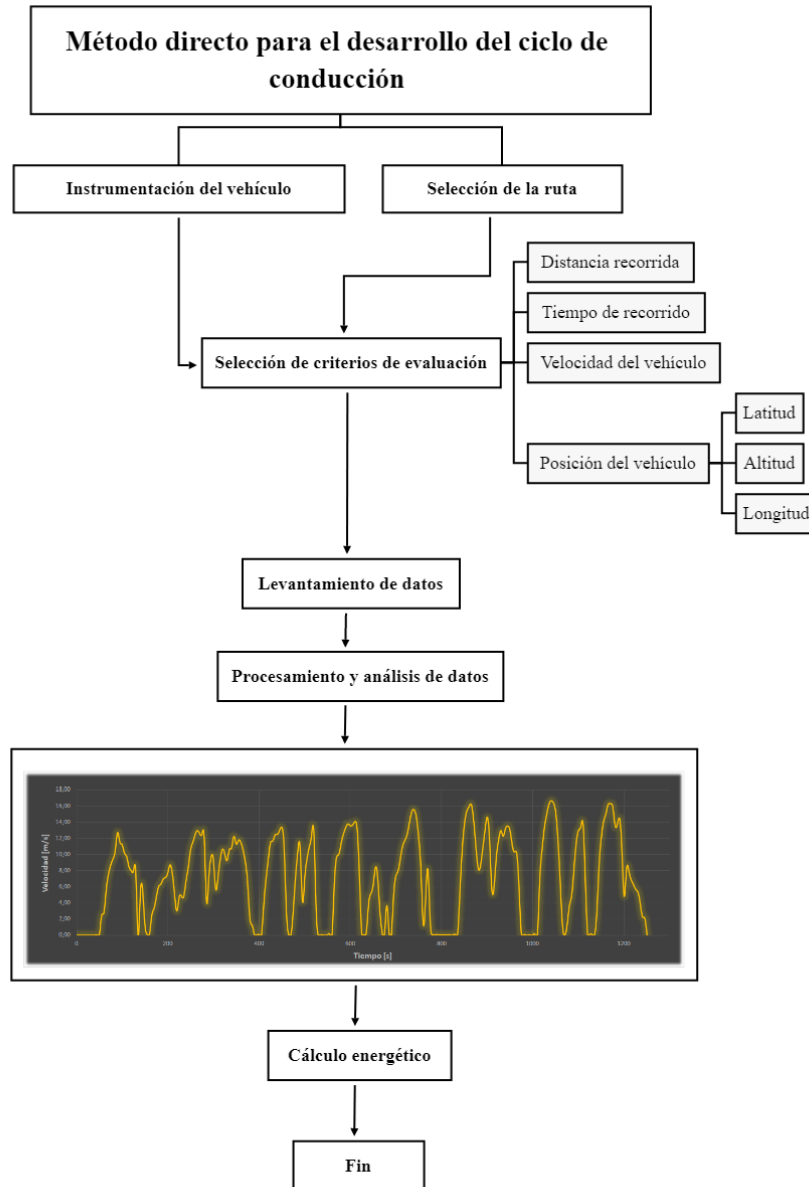
Esquema de procesos.



Nota. La imagen indica los procesos previos a la aplicación de la metodología. Fuente: Autores (2017).

Anexo 2

Método directo para el desarrollo del ciclo de conducción.



Nota. Diagrama basado en “Desarrollo de ciclos de conducción en ciudad, carretera y combinado para evaluar el rendimiento real del combustible de un vehículo con motor de ciclo Otto en el Distrito Metropolitano De Quito”.

Fuente: Autores, (2022).

Anexo 3*Características y rendimiento de GPS Vbox Sport®.*

Características técnicas y de rendimiento del GPS Vbox Sport	
Dimensiones (Alto x Ancho x Profundidad)	104.5 x 72.8 x 25.1 mm
Peso	130 g
Batería	2.5 W a 5 V
Frecuencia de tomas de datos	20 Hz
Memoria	8 GB Tarjeta SD
Velocidad	
Precisión	0.1 km/h
Unidades	Km/h o mph
Velocidad (Máx. - mín.)	1 800 km/h – 0.1 km/h
Resolución	0.01 km/h
Posición	
Posición 2D	5 m (95% CEP)*
Altura	± 5 m
Aceleración	
Precisión	0.5 %
Máximo	4 g
Resolución	g
Recorrido	
Resolución	0.01°
Precisión	± 0.2°

Nota. CEP (Círculo de error probable). Información tomada de Vbox Automotive (2022).