

DESARROLLO DE UN CICLO DE CONDUCCIÓN BAJO CONDICIONES
REALES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

SILVIA JULIANA NAVARRO QUINTERO
RICARDO ANDRÉS GARCÍA JAIMES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BUCARAMANGA
2021

DESARROLLO DE UN CICLO DE CONDUCCIÓN BAJO CONDICIONES
REALES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

SILVIA JULIANA NAVARRO QUINTERO
RICARDO ANDRÉS GARCÍA JAIMES

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
INGENIERO MECATRÓNICO

DIRECTORA: MEng. MSc. JESSICA GISSELLA MARADEY LAZARO.
CODIRECTOR: PhD. JOSÉ IGNACIO HUERTAS CARDOZO.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BUCARAMANGA
2021

Trabajo de grado titulado “Desarrollo de un ciclo de conducción bajo condiciones reales en el área metropolitana de Bucaramanga”, presentado por Silvia Juliana Navarro Quintero y Ricardo Andrés García Jaimes para optar el título de Ingeniero Mecatrónico.

Msc. Jessica Gissella Maradey Lazaro. (Directora)

MSc.Sergio Andrés Ardila Gómez.
(Evaluador)

PhD. Jeison Marín Alfonso
(Evaluador)

Bucaramanga, 13 de julio de 2021

AGRADECIMIENTOS

Nuestra gratitud a Ricardo García Mariño, Brandon Alberto Delgado, Reinaldo Andrés Beleño, Manuela Alejandra Morales, Andrés Felipe Quintero, Andrés Fernando Díaz, Lizeth Alejandra Hernández, Liseth Daniela Prada, Mateo Moreno Larrota, y Juan Carlos Ortiz por colaborarnos amablemente con el monitoreo de los vehículos, gracias por su tiempo y disposición para contribuir en la toma de datos realizada.

Muchas gracias a nuestra directora Msc. Jessica Gissella Maradey por el acompañamiento, dedicación y apoyo proporcionado durante la realización del proyecto.

Agradecimientos a nuestro codirector PhD. José Ignacio Huertas por guiarnos durante el proceso, por su ayuda y por compartir sus conocimientos con nosotros. Gracias a la Red Latinoamericana de Investigación en Energía y Vehículos (RELIEVE) por su vinculación y cooperación a nuestro proyecto.

Gracias a Ing. Carlos Mario de León por aclararnos dudas durante el desarrollo del proyecto y compartir con nosotros su experiencia adquirida al trabajar en su tesis de pregrado sobre un tema afín.

Gracias a PhD. Luis Felipe Quirama por su orientación en la construcción del ciclo de conducción mediante el programa de Matlab.

Gracias a PhD. Daniel Guillermo Cordero por su explicación para el cálculo de la pendiente mediante la herramienta GPS Visualizer.

Gracias a Msc. Oscar Sebastián Serrano por su colaboración en la creación de gráficas de distribución de probabilidad velocidad-aceleración (SAPD) y potencia específica del vehículo (VSP).

Gracias a nuestros familiares y amigos por el apoyo brindado.

-Silvia Juliana y Ricardo Andrés.

Gratitud especial a mi maestra de vida, María Fernanda Yepes, por formar parte de mi crecimiento personal en este proceso, por su apoyo, ánimo y motivación

-Silvia Juliana

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	9
2. ESTADO DEL ARTE	12
3. MARCO TEÓRICO.....	18
3.1. CICLO DE CONDUCCIÓN	18
3.2. PATRÓN DE CONDUCCIÓN.....	19
3.3. TIPOS DE CICLOS DE CONDUCCIÓN	19
3.4. TÉCNICAS PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS	20
3.5. METODOLOGÍAS PARA EL DESARROLLO DE CICLOS DE CONDUCCIÓN 20	
4. OBJETIVOS	24
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
5. METODOLOGÍA Y DESARROLLO	25
5.1. VEHÍCULOS	25
5.2. REGIÓN DE ESTUDIO	26
5.3. INSTRUMENTACIÓN	27
5.4. TOMA DE DATOS	28
5.5. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS	31
5.6. BASE DE DATOS	39
5.7. CONSTRUCCIÓN DEL CICLO.....	46
6. RESULTADOS OBTENIDOS	51
6.1. CICLO DE CONDUCCIÓN	51
6.2. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS – DIFERENCIAS RELATIVAS.	52
6.3. GRÁFICAS SAPD Y VSP	55
6.3.1. SAPD	55
6.3.2. VSP.....	58
6.4. COMPARACIÓN	60
6.4.1. COMPARACIÓN DE PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS.....	60
6.4.2. COMPARACIÓN SAPD/SAFD	62
6.5. INTERFAZ PARA VISUALIZAR RESULTADOS.....	63
7. CONCLUSIONES.....	70
8. RECOMENDACIONES	71
9. TRABAJO FUTURO.....	72
10. REFERENCIAS.....	72
11. ANEXOS.....	79
ANEXO 1. CÓDIGO MATLAB.....	79
9.2. BASE DE DATOS	94
9.3. ARTÍCULO CIENTÍFICO	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Documentos por año. [Scopus]	11
Figura 2. Documentos filtrados por año. [Scopus]	12
Figura 3. Documentos filtrados por autor. [Scopus]	12
Figura 4. Metodología de Tong para desarrollar un ciclo de conducción. [21]	21
Figura 5. Ilustración del método estocástico micro viajes para la construcción de ciclos de conducción. [14]	22
Figura 6. Metodología para el desarrollo del proyecto. [Autores]	25
Figura 7. Mapa del área metropolitana de Bucaramanga	26
Figura 8. OBDII CMallMarket	A)
Scanner Automotriz Elm327 Obd2 Advanced Wifi.	B)
Elm327 Escaner Automotriz Obd2 Bluetooth Android	C)
Elm327 Bluetooth.....	27
Figura 9. Localizaciones puerto OBD-II.	28
Figura 10. A) Aplicación Torque Pro. B) OBD instalado [Autores]	28
Figura 11. Registros de datos y carga. [Autores]	30
Figura 12. Configuración conexión adaptador. [Autores]	30
Figura 13. Envío de datos. [Autores].....	31
Figura 14. Diagrama de cuerpo libre de un vehículo. [56].....	35
Figura 15. A. Foto vehículo. B. Croquis del vehículo. [Autores]	37
Figura 16. Dimensiones del vehículo. [Autores].....	38
Figura 17. Área y perímetro del vehículo. [Autores]	39
Figura 18. Datos .csv. [Autores].....	39
Figura 19. Datos ordenados en columnas. [Autores]	40
Figura 20. Hallar pendiente en GPS Visualizer.	41
Figura 21. Mapa creado en GPS visualizer.....	42
Figura 22. Acercamiento - Vista híbrida Mapa creado en GPS visualizer.	42
Figura 23. Variables de la base de datos. [Autores].....	43
Figura 24. Datos del vehículo. [Autores]	44
Figura 25. Configuración del agrupamiento realizado en Minitab. [Autores]	47
Figura 26. Base de datos con micro trips y clusters. [Autores].....	48
Figura 27. Diagrama del algoritmo [Autores].....	49
Figura 28. Ciclo de conducción. [Autores].....	51
Figura 29. Diagrama de cajas y bigotes de las diferencias relativas luego de realizar 1000 iteraciones. [Autores]	52
Figura 30. Mediana y ARD del número de aceleraciones por kilómetro. [Autores]	53

Figura 31. Diagrama de cajas y bigotes de las diferencias relativas luego de realizar 10 iteraciones. [Autores]	53
Figura 32. Distribución de probabilidad velocidad-aceleración (SAPD) del patrón de conducción. [Autores]	55
Figura 33. Distribución de probabilidad velocidad-aceleración (SAPD) del ciclo de conducción. [Autores]	55
Figura 34. Distribución de probabilidad velocidad-aceleración (SAPD) del patrón de conducción. Acercamiento, rango de 0-0.5 de probabilidad. [Autores]	56
Figura 35. Distribución de probabilidad velocidad-aceleración (SAPD) del ciclo de conducción. Acercamiento, rango de 0-0.5 de probabilidad. [Autores]	56
Figura 36. Vista superior de la distribución de probabilidad velocidad-aceleración (SAPD) del patrón de conducción. [Autores].....	57
Figura 37. Vista superior de la distribución de probabilidad velocidad-aceleración (SAPD) del ciclo de conducción. [Autores].....	57
Figura 38. Potencia específica del vehículo (VSP) del patrón de conducción. Gráfica de superficie. [Autores]	58
Figura 39. Potencia específica del vehículo (VSP) del ciclo de conducción. Gráfica de superficie. [Autores]	59
Figura 40. Potencia específica del vehículo (VSP) del patrón de conducción. Gráfica de barras. [Autores].....	59
Figura 41. Potencia específica del vehículo (VSP) del ciclo de conducción. Gráfica de barras. [Autores].....	60
Figura 42. SAPD de viajes urbanos en general- Hong Kong. [57]	62
Figura 43. SAFD - Gráfico de distribución de frecuencia de velocidad-aceleración en Mashhad. [9]	63
Figura 44. Librería de componentes comunes app designer. [Matlab].....	63
Figura 45. Vistas para la creación de la interfaz. [Matlab].....	64
Figura 46. Botones interfaz. [Autores].....	65
Figura 47. Guardar imagen ciclo de conducción. [Autores].....	65
Figura 48. Aplicación del ciclo de conducción. [Autores].....	66
Figura 49. Interfaz. [Autores].....	66
Figura 50. Ficha técnica vehículos. [Autores].....	67
Figura 51. Comparación parámetros característicos vehículos. [Autores]	68
Figura 52. Gráfica parámetros característicos. [Autores]	68
Figura 53. Ciclo de conducción área metropolitana de Bucaramanga. [Autores]....	69
Figura 54. Gráficas SAPD. [Autores].....	70

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parque automotor del área metropolitana de Bucaramanga	9
Tabla 2. Población del área metropolitana de Bucaramanga	10
Tabla 3. Reporte de calidad de aire en marzo y abril del Área metropolitana de Bucaramanga.....	10
Tabla 4. Resumen de los documentos revisados sobre ciclos de conducción	18
Tabla 5. Datos de los vehículos monitoreados. [Autores]	26
Tabla 6. Parámetros característicos. [Autores]	32
Tabla 7. Ecuaciones de los parámetros característicos. [Autores con base en [52].]	34
Tabla 8. Escala del vehículo.[Autores]	38
Tabla 9. Parámetros característicos del patrón de conducción. [Autores].....	45
Tabla 10. Comparación de los parámetros característicos del patrón de conducción y el ciclo de conducción. [Autores].....	54
Tabla 11. Comparación de parámetros característicos. [Autores].....	61

1. INTRODUCCIÓN

El incremento del parque automotor genera contaminantes que afectan la calidad del aire. Se puede afirmar que tanto el parque automotor como el sector industrial, son las principales fuentes de emisiones de material particulado en Bucaramanga, considerado como el contaminante atmosférico más relevante según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y causante de enfermedades cardiovasculares y respiratorias en la población poniendo en riesgo la salud de grupos sensibles (Organización Panamericana de la Salud y OMS, 2019).

En diciembre del 2018, de acuerdo con las cifras de la dirección de tránsito de Bucaramanga, el parque automotor sumaba 703.075 vehículos en Bucaramanga y su área metropolitana. El parque automotor aumentó en un 95% entre los años 2010-2018. En el año 2010 se registraban 359.760 vehículos, comparados con los 703.075 vehículos registrados en el año 2018, lo que ocasiona un impacto considerable en la ciudad en términos de movilidad y de contaminación del aire.

Área metropolitana	Parque automotor				Aumento porcentual
	2018	2017	2016	2015	2015-2018
Girón	300.836	269.147	258.943	236.043	27%
Piedecuesta	14.120	12.814	11.949	10.442	35%
Floridablanca	167.126	164.780	163.357	159.543	5%
Bucaramanga	220.993	200.123	197.855	189.345	17%
TOTAL	703.075	646.864	632.104	595.373	18%
Parque automotor en 2010: 359.760					2010-2018
					95%

Tabla 1. Parque automotor del área metropolitana de Bucaramanga.

[Adaptado de: dirección de tránsito de Bucaramanga:

<https://www.transitobucaramanga.gov.co/parque-automotor.php>]

El crecimiento poblacional va relacionado directamente al incremento en el parque automotor, según los dos censos más recientes realizados por el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) se muestra un aumento significativo como se puede observar en la tabla 2. Piedecuesta es el municipio que presentó mayor crecimiento poblacional (45%) en el período 2005-2018 e igualmente presentó el mayor crecimiento en el parque automotor (35%) del 2015 al 2018.

ÁREA METROPOLITANA	Población	Crecimiento poblacional
	2018	2005-2018
Girón	150.610	18%
Piedecuesta	157.425	45%
Floridablanca	275.109	15%
Bucaramanga	528.855	13%
Población total	1.111.999	

Tabla 2. Población del área metropolitana de Bucaramanga.

[Adaptando de: DANE <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018/cuantos-somos>]

Por otra parte, en el mes de marzo de 2020 las 5 estaciones de la Red Metropolitana de Calidad del Aire registraron ICA (índices de calidad de aire) naranja y rojo, los cuales según la Resolución 2254 de 2017 son considerados dañinos para la salud de las personas. El informe más reciente muestra que estos índices han disminuido, pero aún varias estaciones registran ICA naranjas, esta mejora se debe al aislamiento obligatorio por la pandemia del covid 19.

Estación	# días en verde		# días en amarillo		# días en naranja		# días en rojo	
	M	A	M	A	M	A	M	A
1. San Francisco	0	0	3	25	10	5	18	0
2. Lagos del cacique	0	0	2	24	8	6	21	0
3. Ciudadela	0		4		18		9	
4. Lagos I (F/blanca)	0	2	4	25	9	3	18	0
5. Santa Cruz (Girón)	0	0	4	30	17	0	10	0

Tabla 3. Reporte de calidad de aire en marzo y abril del Área metropolitana de Bucaramanga.

[Adaptado de: Reporte mensual ICA 2020 AMB <https://www.amb.gov.co/calidad-del-aire/>]

El Plan de Desarrollo Municipal 2020-2023 de Bucaramanga, “Ciudad de Oportunidades” busca adelantar acciones para crear una ciudad vivible, sostenible y vibrante. Una ciudad inteligente que cuente con datos precisos, georreferenciados y recogidos en tiempo real. Con la aplicación de las TICs (Tecnologías de la Información y la Comunicación) se busca convertir a “Bucaramanga en una ciudad

inteligente y segura”. Uno de los principales enfoques de una ciudad inteligente es la movilidad como un servicio (Mobility as a Service -Maas), es una movilidad inteligente centrada en el usuario sistema de gestión y distribución, en el que un integrador aporta en conjunto, ofertas de múltiples proveedores de servicios de movilidad. Las campañas de “conducción sostenible” permiten que el conducto tenga mejores comportamientos y así se logra ahorro en consumo de combustible y las emisiones.

En la figura 1 se puede observar el crecimiento en cuanto a publicaciones y documentos sobre el tema, en su mayoría artículos de investigación mostrando el interés a nivel mundial en este tipo de temáticas. Desde 1973 hasta el presente año hay 895 documentos pertinentes, a partir del 2018 se superaron los cien documentos y en lo que va de este año ya se han hecho 55 publicaciones. En el contexto internacional se evidencia que en los últimos 10 años ha aumentado el interés mundial sobre la investigación, desarrollo e implementación de ciclos de conducción, buscando reproducir las condiciones reales de operación.

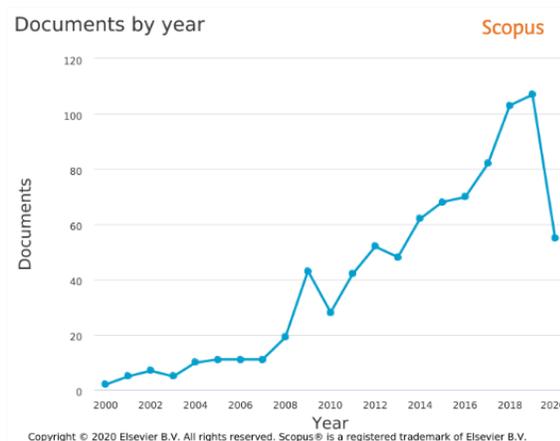


Figura 1. Documentos por año. [Scopus]

Este proyecto se propone con el fin de poder determinar y representar de forma adecuada un ciclo de conducción en situaciones reales en el área metropolitana de Bucaramanga.

Los ciclos de conducción se pueden clasificar de acuerdo con el propósito, ya sea de homologación o de investigación. La mayoría de los ciclos de conducción desarrollados en el mundo representan el patrón de manejo de una región de interés determinada, en una ruta definida, las diferencias en los valores de los ciclos legislativos y no legislativos son del 8-60% con respecto a las emisiones y al consumo de combustible. [34]

2. ESTADO DEL ARTE

Para la revisión de la literatura se realizó una búsqueda en una base de datos (Scopus) la cual arrojó 895 documentos pertinentes sobre el tema, posteriormente se filtraron los documentos encontrados teniendo en cuenta los más relevantes, más recientes y con mayor relación con el proyecto y se obtuvo un total de 130 documentos.

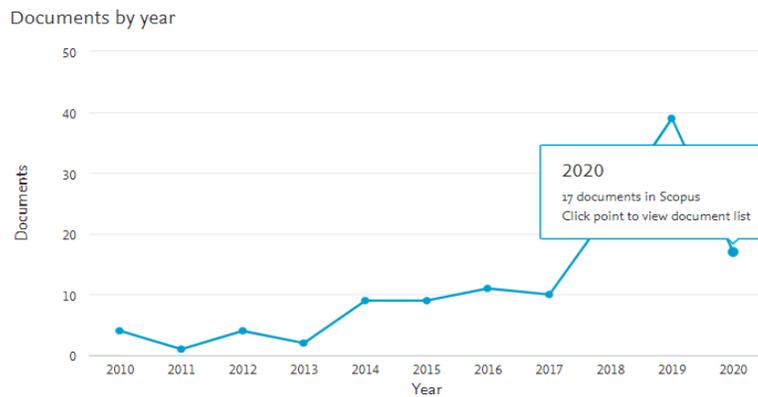


Figura 2. Documentos filtrados por año. [Scopus]

En la figura 2 se pueden observar los documentos por año donde 17 de 130 son del presente año, en la figura 3 se puede observar que uno de los autores más citados es Huertas, codirector de este proyecto.

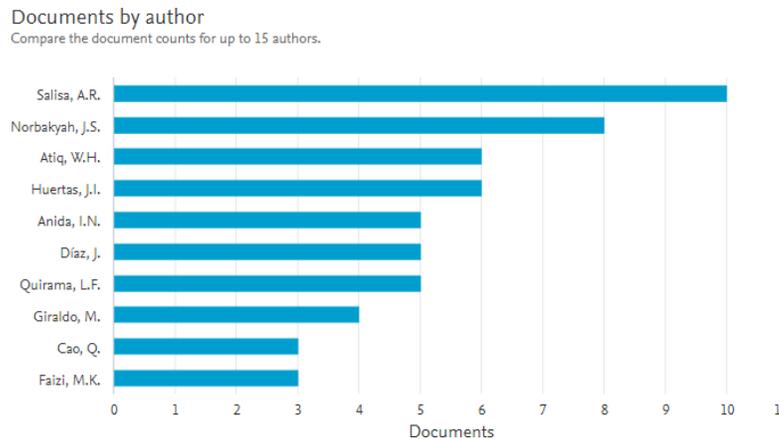


Figura 3. Documentos filtrados por autor. [Scopus]

Un marco de referencia para desarrollar ciclos de conducción con datos de conducción en carretera basado en 101 ciclos de conducción transitorios fue

propuesto por Tong y Hung. En esa comparación se obtuvo información acerca del significado de ciclo de conducción (DC) y patrones de manejo (DP). Adicionalmente incluyó información de los elementos principales para el desarrollo de un ciclo de conducción, selección de rutas, recolección de datos y métodos de construcción del ciclo. Para la recolección de datos se pueden usar las técnicas de persecución del vehículo y medición a bordo. También destacó que la conducción asiática es más lenta pero agresiva y en Europa es más rápida y suave. [21]

En 2017, Arun caracterizó y desarrolló un ciclo de conducción para una ruta en Kuala Terengganu, teniendo en cuenta que los ciclos de conducción no son lo mismo para diferentes países o ciudades, se recopilaron varios datos de ciclos de conducción para la ciudad en horas pico que luego se dividieron en micro-viajes. Se utilizó un algoritmo genético como procedimiento para seleccionar el micro-viaje optimizado en el desarrollo del DC en Kuara Terengganu. [20]

Huertas propuso una nueva metodología para determinar los ciclos de conducción típicos para el diseño de trenes de potencia de vehículos. En el año 2017 desarrolló una metodología basada en datos simultáneos de velocidad, altitud, consumo de combustible y emisiones del tubo de escape que consta de los siguientes pasos: ruta de selección; obtener una muestra representativa de ciclos reales a partir de vehículos que circulan en la región de interés; identificación del ciclo de conducción típico como el de los ciclos reales muestreados. Siguiendo este método, un vehículo que reproduce el ciclo resultante exhibe un consumo de combustible y emisiones de escape similares al promedio de estas variables mostradas por el conjunto de vehículos con la misma tecnología que son conducidos en la región. Este método fue aplicado a una flota de 15 autobuses de la misma tecnología que cubren las mismas rutas durante 8 meses, en una zona de gran altitud con llano y terreno montañoso. [17]

Yuhui desarrolló un ciclo de conducción representativo para autobuses basado en un método de agrupación K-means combinado con análisis principal de componentes (PCA) en la ciudad de Fuzhou en el mismo año. Se obtuvieron datos de conducción del mundo real de 18 rutas de autobuses por medio de microtrips (MT) o micro viajes que son el tiempo entre un periodo de velocidad inactivo hasta el siguiente periodo de velocidad inactivo, y basados en 15 parámetros característicos (CP), los micro viajes se clasificaron en diferentes agrupaciones mediante K-means para reducir el número de CP. El dispositivo de recolección de datos fue conectado con el sistema de diagnóstico a bordo (OBD) del vehículo para recopilar valores de velocidad del vehículo, velocidad del motor y combustible instantáneo [3]

A finales de 2018, Huertas desarrolló un ciclo de conducción basado en el consumo de combustible. Para la adquisición de datos se realizó en cuatro regiones (montaña, general y 2 de tipo urbano) por medio de un dispositivo de medición a bordo OBD y sistemas de posicionamiento global (GPS) para determinar la posición: latitud, longitud y altitud, velocidad, tiempo y consumo de combustible instantáneo. [16]

Zhao propuso una metodología científica y sistemática de desarrollo de un ciclo de conducción urbana representativo de un vehículo eléctrico en Xi'an a finales de 2018. La metodología incluye principalmente tres tareas: selección de ruta y recopilación de datos, procesamiento de datos y construcción del ciclo de conducción. Se diseña una ruta de prueba de acuerdo con la estructura topológica general de las carreteras urbanas y los resultados de la encuesta de flujo de tráfico. Los datos del patrón de conducción se recopilan utilizando un método híbrido de método de medición a bordo y método de persecución o caza del vehículo objetivo.

[1]

Wang desarrolló un ciclo de conducción para vehículos eléctricos en Beijing durante el año 2019, los datos de conducción del mundo real se obtuvieron de 40 taxis eléctricos durante 6 meses en el área de Beijing, algunos de los datos obtenidos son el tiempo, velocidad, corriente y voltaje de celda y vehículo, temperatura, longitud, latitud, datos de falla, etc. Algunos no se usan para el análisis de este estudio. Igualmente, debido a errores en la adquisición y transmisión de datos, puede contener algunos datos en blanco y datos de excepción, lo que aumenta la carga computacional y debe tenerse en cuenta para eliminarse. Los datos de tipo de carreteras mejoran la representatividad del ciclo construido utilizando el método de Markov chain (MC) o cadena de Markov para datos de conducción del mundo real, del cual se extraen 12 parámetros característicos (CP) que describen las características del DC construido con datos de conducción del mundo real. [5]

En el año 2019, Geetha desarrolló un ciclo de conducción real en el área de Tamilnadu, India. Se seleccionó una ruta principal de 7 km de distancia como ruta para este estudio, ya que posee un tráfico diario anual moderado. La ruta se seleccionó en función de la densidad del tráfico que puede dar como resultado características de conducción transitorias de un vehículo. Se adopta el método de medición a bordo, es decir, se instala un dispositivo en el vehículo de prueba y se registran detalles segundo a segundo de la velocidad del vehículo cuando se conduce en la ruta seleccionada. Los datos se recopilan de un vehículo eléctrico por un período de 30 días con el método de micro-viajes. Los datos son procesados y analizados más a fondo para la generación del ciclo de conducción del mundo real.

[18]

Zhang realizó la construcción de un ciclo de conducción de vehículos ligeros basado en vía urbana en el 2019. A continuación, se presentan los 5 vehículos ligeros a gasolina utilizados: Benz B200, Shanghai Volkswagen Polo, Beijing automobile E-150, Shanghai Gm Epica y Toyota Corolla. Se recogieron los datos bajo condiciones reales durante 10 meses en la ciudad de Hohhot por medio de dispositivos de medición a bordo instalados en los vehículos ligeros. [33]

Mongkonlerdmanee desarrolló un ciclo de conducción en Tailandia en el 2019. La metodología que se utilizó para analizar el ciclo de conducción realista de los autobuses en Tailandia fue determinar la ruta 323 en la provincia de Kanchanaburi, y recopilar los datos de conducción sobre los perfiles de velocidad-tiempo. El segundo paso fue dividir los datos en micro-viajes y definir los parámetros de

conducción. Luego, la frecuencia de rangos de velocidad de las características de conducción se agrupó. Después, se utilizó el análisis estadístico para seleccionar los tipos de velocidad e intervalo de tiempo en micro-viajes. Para la recolección de los datos de conducción, el método de medición a bordo que utiliza en la adquisición de datos fue el EDX-200A, se utilizó a lo largo de la ruta seleccionada durante el horario pico de la mañana dentro de la duración del viaje de 1.100 segundos y una distancia total de 11.481 kilómetros. [11]

A finales de 2019, Shi presentó un enfoque de generación de ciclo de conducción basado en algoritmos genéticos de colonias de hormigas para probar el rango de conducción de un vehículo eléctrico a batería. Para el experimento se escogieron conductores conservadores, con baja frecuencia y pequeños accionamientos sobre el acelerador y el pedal de freno. Hefei es una ciudad con características distintivas de tráfico mixto y baja densidad de red vial. La congestión del tráfico es un serio problema. La selección de la ruta experimental apropiada en Hefei está directamente relacionada con la validez del ciclo de conducción. Teniendo en cuenta el nivel de la carretera, la densidad del tráfico y factores de tiempo, este artículo toma los datos de la ruta establecida en Hefei. Se usa un dispositivo de medición a bordo, el dispositivo puede registrar los datos de velocidad y estado de carga (SOC) en la red de área del controlador (CAN) en tiempo real, y los mensajes se guardan en la computadora a tiempo, con la frecuencia de 1 Hz. El experimento determinó el tiempo de muestreo a las 7:00 a.m.–11:00 a.m. todas las mañanas, 3:00 p.m. a 7:00 p.m. cada tarde, incluidas las horas pico y las horas no pico. El tiempo de experimento es abril, y el aire acondicionado está apagado para eliminar la influencia. [29]

En 2020, Chauhan construyó un ciclo de conducción candidato para la estimación de emisiones en Vadodara, Gujarat. La ruta de estudio tiene un punto de origen en Akshar chowk, desde el cual se conduce el vehículo de prueba para recopilar datos del mundo real. El punto final de la ruta es Genda ubicado a 4,3 km de distancia del origen. El vehículo de prueba es el Rickshaw, los datos se obtienen durante el periodo de hora pico. El tiempo de viaje para este corredor varía de 590 a 800 segundos para una dirección de tráfico. Un total de 53 micro viajes se generan a partir de base de datos y se utilizan para generar ciclos de conducción candidatos. V-box (Velocity box) es el dispositivo de medición de velocidad utilizado para la recopilación de datos del ciclo de conducción [32]

El mismo año, Quirama presentó un nuevo método para construir ciclos de conducción que representen patrones de conducción local, el consumo real de energía y emisiones de escape de vehículos en una región determinada. Se obtuvieron los datos de 15 buses en condiciones de tráfico diferentes en Ciudad de México y Toluca, durante ocho meses, en diferentes estaciones del año para incluir los efectos de las condiciones ambientales. Los conductores regulares de la compañía conducían los buses durante los días de la semana y los fines de semana en condiciones normales de uso, en diferentes horas del día para obtener datos de manejo representativos. En cuanto a la medición del tubo de escape, los vehículos

fueron cargados con 2100 Kg de tanques de agua para simular el peso y la inercia de los pasajeros, los datos de emisiones se recopilaron durante dos meses siguiendo las mismas rutas y en condiciones similares. [8]

Finalmente, para el desarrollo del ciclo de conducción propuesto en el área metropolitana de Bucaramanga se deben tener en cuenta aspectos importantes mencionados por diferentes autores, en el caso descrito no se realiza selección de ruta debido a que se pretende desarrollar el DC en condiciones reales de manejo de vehículos ligeros a gasolina que circulan libremente por la ciudad. La adquisición de datos se realizará por medio de un sistema de medición a bordo y sistema de posicionamiento global (GPS), teniendo en cuenta que la ciudad presenta pendientes en las que pueden perderse datos, el monitoreo se realiza a diferentes horas del día y diferentes días de la semana durante cuatro meses. Se evidencia que micro viajes es el método más usado en la construcción de ciclos de conducción.

A continuación, se presenta una tabla comparativa de diferentes autores donde se observa el país donde realizaron el estudio de los ciclos de conducción reales y factores importantes para la construcción de ciclos de conducción.

Autor	Año	País	Tipo de vehículo	Selección de ruta	Adquisición de datos	Parametros característicos	Comentarios
Chauhan et al.	2020	India	Bicitaxi	Sí	OBD	10	Microviajes y K-means
Quirama et al.	2020	Mexico	Autobús	Sí	OBD	23	Microviajes
Zhao et al.	2020	China	Vehículo eléctrico	Sí	OBD y persecución vehículo	12	Cadena de Markov Monte Carlo, RMSE, SAPD
Anida et al.	2019	Malasia	Autobús híbrido	Sí	OBD	9	Microviajes, K-means
Geetha y Subramani	2019	India	Vehículo eléctrico	Sí	OBD y persecución vehículo	3	Micro-trips y rastreo
Huertas et al.	2019	Mexico	Autobús	No	OBD	16	Microviajes, Cadena de markov, MWD-CP y FB
Kaymaz et al.	2019	Turquia	Autobús	Sí	OBD	14	Microviajes, Método de muestreo estratificado proporcional (PSS)
Mongkonlerdmanee y Koetnyom	2019	Tailandia	Autobús	Sí	OBD	23	Microviajes, PCA y K-means
Peng et al.	2019	China	Vehículo de gasolina	No	OBD	15	Microviajes, K-means, Cadena de markov
Shi et al.	2019	China	Vehículo eléctrico	Sí	OBD	12	PCA, Algoritmo genético de la colonia de hormigas (ACA)
Wang et al.	2019	China	Taxis eléctricos	No	OBD	12	Cadena de Markov y Monte Carlo

Yang et al.	2019	China	Vehículo de gasolina	Sí	OBD	18	Microviajes, PCA
Zhang et al.	2019	China	Taxis eléctricos	No	OBD	22	Microviajes, PCA, Cadena de Markov Monte Carlo
Anida et al.	2018	Malasia	Vehículo híbrido	Sí	OBD	9	Microviajes, K-means
Huertas et al.	2018	Mexico	Autobús	Sí	OBD	18	Distribución de frecuencia de aceleración de velocidad (SAFD), SAPD
Mahayadin et al.	2018	Malasia	Vehículo de gasolina	Sí	OBD	8	Microviajes, SAFD
Mayakuntla y Verma	2018	India	Autobús	Sí	OBD	6	Microviajes
Nguyen et al.	2018	Vietnam	Autobús	Sí	OBD	33	Cadena de markov,SAFD,Matriz de probabilidad de transición(TPM)
Shen et al.	2018	China	Autobús híbrido	Sí	OBD	12	K-means, Microviajes, PCA
Tharvin et al.	2018	Malasia	Vehículo de gasolina	Sí	OBD y persecución vehículo	10	Microviajes
Yang et al.	2018	China	Vehículo eléctrico	Sí	OBD	12	Cadena de Markov Monte Carlo
Zhao et al.	2018	China	Vehículo eléctrico	Sí	OBD	17	PCA, C-Means (FCM)
Zhao et al.	2018	China	Vehículo eléctrico	Sí	OBD y persecución vehículo	8	K-means, soporte de máquinas de vectores (SVM), PCA
Anida et al.	2017	Malasia	Vehículo de gasolina	Sí	OBD	23	Microviajes, Algoritmos genéticos (GA)
Arun et al.	2017	India	Vehículo de gasolina	Sí	OBD	10	Microviajes, SAFD
Huertas et al.	2017	Mexico	Autobús	Sí	OBD	8	MWD-CP
Poueresmaeili et al.	2017	Irán	Autobús	Sí	OBD	14	Microviajes, Emisiones internacionales de vehículos. (IVE), VSP
Yuhui et al.	2017	China	Autobús	Sí	OBD	15	Microviajes, PCA, K-means
Berzi et al.	2016	Italia	Vehículo eléctrico	No	OBD	14	Microviajes, K-means
Brady y O'Mahony	2016	Irlanda	Vehículo eléctrico	Sí	OBD	28	Microviajes, K-means, Cadena de markov
Seers et al.	2015	Canada	Vehículo de gasolina	Sí	OBD	9	Microviajes
Wu y Hu.	2015	China	Autobús híbrido	Sí	OBD	11	Microviajes, PCA, Fuzzy C
Ho et al.	2014	Singapur	Vehículo de gasolina	Sí	OBD y persecución vehículo	20	Microviajes, Modo de emisión modal integrall (CMEM)
Yu y Hwa.	2014	China	Vehículo de gasolina	No	OBD y persecución vehículo	10	Rastreo, Desviación cuadrada media de raíz total (TRMSD)

Tzirakis y Zannikos	2014	Grecia	Vehículo de gasolina	Sí	OBD	8	Microviajes
Lai et al.	2013	China	Autobús	Sí	OBD	10	Potencia específica del vehículo (VSP), Microviajes RMSE
Tong et al.	2011	Vietnam	Vehículo de gasolina	Sí	OBD	12	Microviajes, Error promedio de porcentaje absoluto (AAPE), SAPD

Tabla 4. Resumen de los documentos revisados sobre ciclos de conducción.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. CICLO DE CONDUCCIÓN

El ciclo de conducción es un perfil de velocidad-tiempo para un vehículo que se conduce en una condición específica, generalmente seleccionada para representar una parte de la situación de la vida real. Se sabe que los ciclos de conducción proporcionan una amplia gama de aplicaciones para los fabricantes de vehículos, ingenieros de tráfico y ambientalistas. Las trazas de velocidad-tiempo derivadas de los ciclos de conducción pueden usarse para estimar el consumo de combustible para un área en particular. [21]

Los ciclos de conducción:

- Representan las características de conducción en un área determinada. [5] [14] [18] [30] [34] [45]
- Se derivan de una serie de puntos de datos que indican la velocidad de los vehículos en función del tiempo. Es la trama del patrón de conducción de un vehículo para una ruta en particular y se caracteriza principalmente por los parámetros de conducción asociados con la velocidad de los vehículos. Los ciclos de conducción son la plataforma entre las condiciones de conducción y las características de un vehículo discreto, así como sus respectivas emisiones. El desarrollo del ciclo de conducción imparte un método para interpretar la precisión de la medición de emisiones desde un nivel microscópico hasta un nivel macroscópico. [32]
- Representan los datos de la actividad de conducción. [35]
- Representan las diversas condiciones de funcionamiento que se clasifican en cualquier ciclo de conducción: el modo inactivo, el modo de aceleración, el modo de crucero y el modo de desaceleración. [18]
- Un ciclo de conducción de vehículos ligeros es la base para determinar el consumo de energía del vehículo, el método de prueba de emisiones y la especificación estándar, que es un punto de referencia importante para la optimización y calibración de los índices de rendimiento del vehículo. [33]

- Los ciclos de conducción para vehículos eléctricos son igual que los ciclos de conducción para vehículos a gasolina o diésel. [14]

Un ciclo de conducción sirve para:

- El ciclo de conducción es construido con el propósito de prueba y estimación de emisiones [4] [5] [8] [14] [18] [30] [32] [45]
- El ciclo de conducción es fundamental para la optimización y evaluación de la gestión energética en los vehículos eléctricos. [5] [30] [51]
- Proporciona las condiciones operativas prácticas de un área determinada y permite concluir si un vehículo es apropiado para una región o no. [5] [18] [29] [45]
- Da información sobre el consumo de combustible requerido para un automóvil y los contaminantes emitidos. [4] [5] [8] [18] [21] [30]
- Se realiza para calcular la potencia requerida de un vehículo. [51]
- Fines de ingeniería de tráfico. [45]
- Se utilizan para el diseño de componentes, diseño de máquinas. [14] [29]

Los parámetros más usados en los ciclos de conducción son: velocidad promedio, velocidad máxima, tiempo ralenti, número de paradas, tiempo total de recorrido, distancia recorrida, relación de tiempos, aceleración promedio positiva, aceleración positiva máxima, aceleración media, tiempo con aceleración positiva y desviación estándar de la aceleración.

3.2. PATRÓN DE CONDUCCIÓN

- Un patrón de conducción describe como conducen los conductores en una región determinada.
- Es un perfil de velocidad que incluye factores como: Comportamiento de conducción y modos de operación.

3.3. TIPOS DE CICLOS DE CONDUCCIÓN

Los ciclos de conducción se han clasificado comúnmente en dos tipos amplios: ciclos de conducción transitorios, que se desarrollan a partir de datos de conducción en carretera, y los ciclos de conducción "modal" o "poligonal", que se componen de una secuencia de modos de estado estacionario.

De acuerdo con su creación y en donde se encuentra, existen dos tipos de ciclos de conducción.

- Los ciclos legislativos: son de carácter estatal, por lo cual controlan las emisiones contaminantes que provienen de los motores a combustión. Los ciclos US 75, ECE y Japón 10–15 son ejemplos de ciclos legislativos que se utilizan para controlar las emisiones de vehículos no solo en su respectiva región [21]

- Los ciclos no legislativos: aplicado para el análisis de consumo de combustible y emisiones contaminantes del motor, dentro de laboratorios. El ciclo de Sydney, ciclo europeo (IEC), el ciclo de Melbourne y el ciclo de Perth son algunos ejemplos.

3.4. TÉCNICAS PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS

- El método Chase Car se usa ampliamente para recopilar datos de tiempo de velocidad de ciclos de conducción del mundo real. Dicho método implica seguir aleatoriamente un vehículo objetivo e imitar su patrón de conducción en la corriente de tráfico. Cuando el vehículo objetivo anterior se detiene o se pierde, se selecciona otro objetivo de seguimiento.
- El método de medición a bordo utiliza diagnósticos a bordo (OBD) instalados en un vehículo de prueba para recopilar información sobre la actividad del viaje.
- Híbrido: utiliza la técnica de persecución de vehículo (chase car) y la medición a bordo (OBD). [1]

3.5. METODOLOGÍAS PARA EL DESARROLLO DE CICLOS DE CONDUCCIÓN

El propósito de la metodología propuesta por Ho et al. para el desarrollo de un ciclo de conducción se compone de:

- Adquisición de datos: realizar la elección del método de recopilación de datos (chase-car, OBD o el híbrido)
- Selección de ruta: Las selecciones de ruta son más relevantes para los autos de persecución e instrumentados (junto con la conducción en circulación).
- Estratificación (tipo de camino y período de tiempo): determinar el tipo de vehículos que más use la población y principales vías transitadas.
- Construcción del ciclo y análisis de datos
- Modelado de consumo de combustible y emisiones.

Tong y Hung recomiendan seguir una serie de pasos para el desarrollo de ciclos de conducción cuyo propósito es describir las etapas importantes y la colección asociada de enfoques y consideraciones importantes en el desarrollo de un ciclo de conducción. Como se observa en la figura 4 esta metodología consta de las siguientes etapas principales: **1.** Definición de parámetros del ciclo de conducción, **2.** Selección de ruta, **3.** Recopilación de datos, **4.** Selección de los criterios de evaluación, **5.** Análisis de datos. **6.** Construcción del ciclo de conducción.

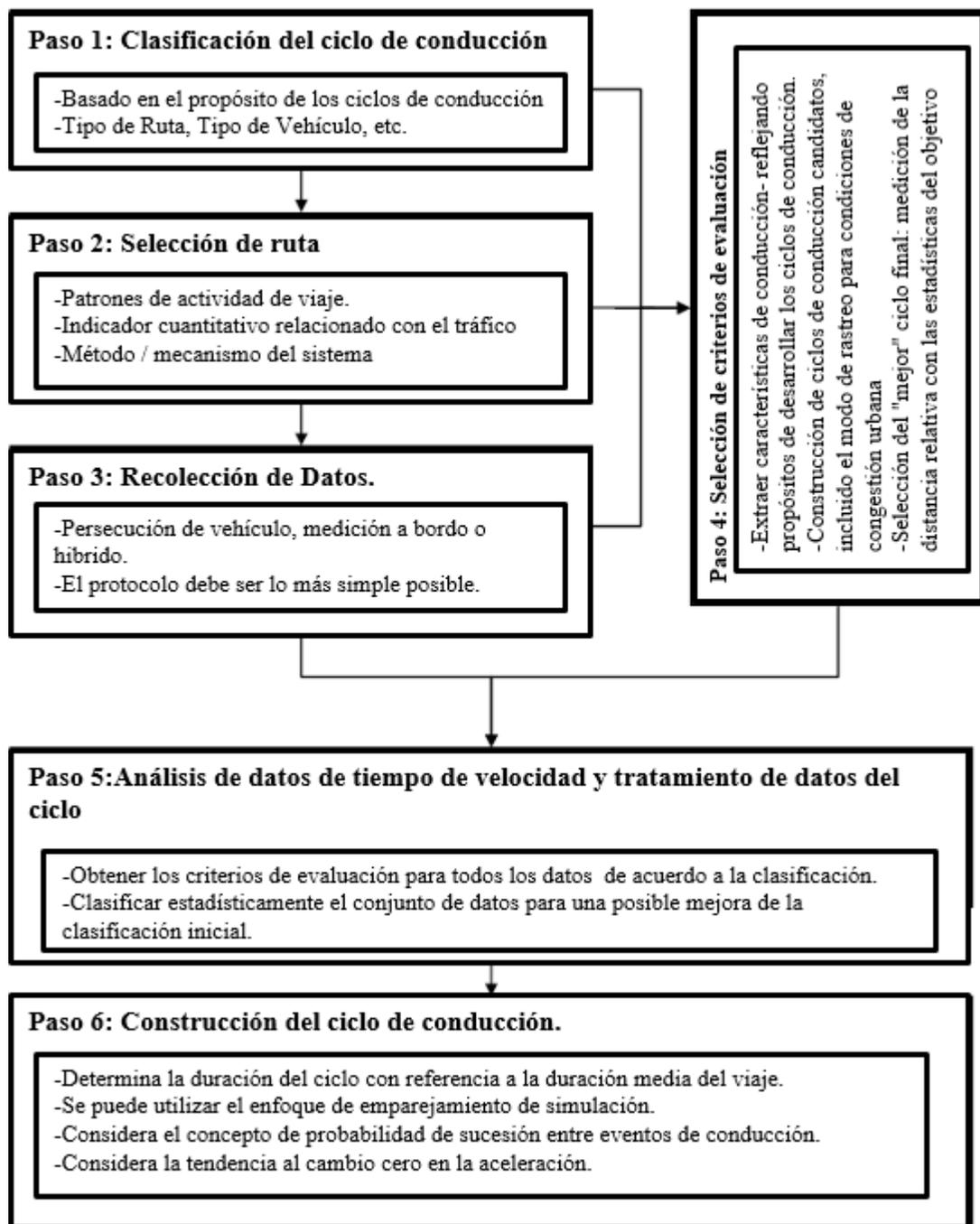


Figura 4. Metodología de Tong para desarrollar un ciclo de conducción. [21]

Huertas et al. proponen la metodología de micro viajes que se observa en la figura 5.

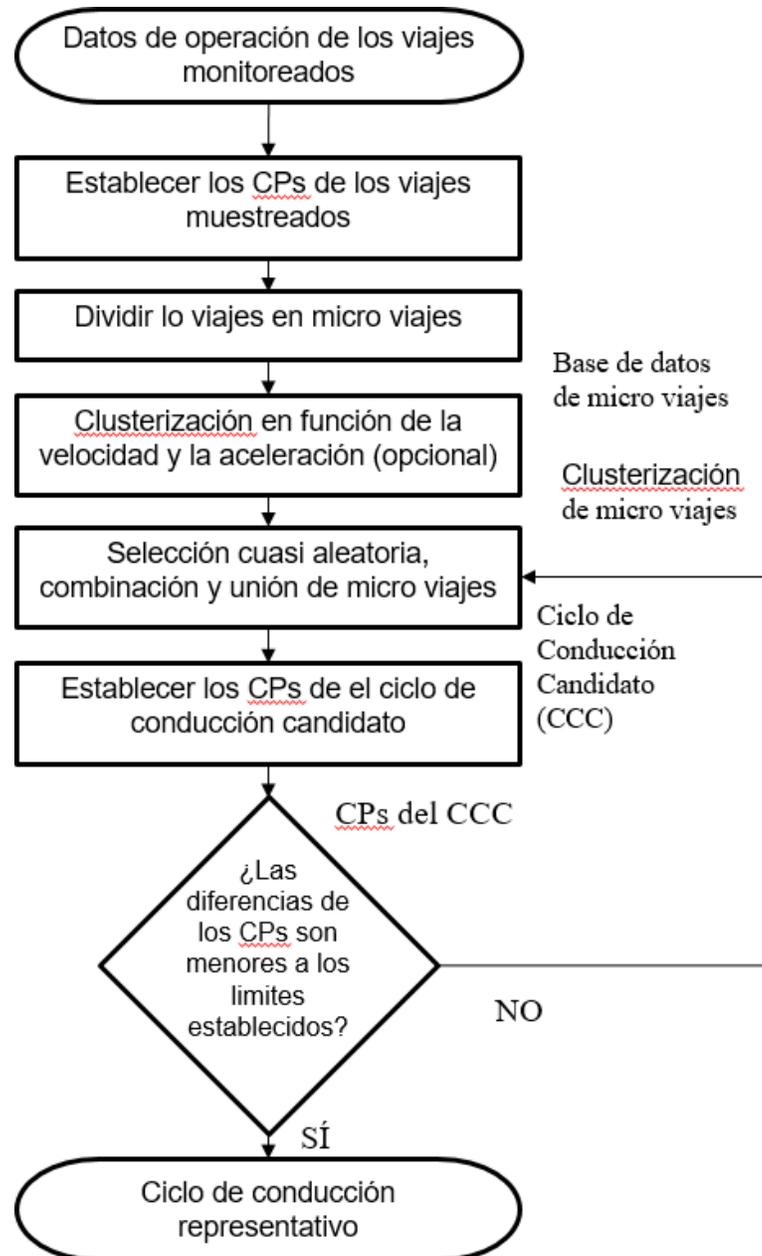


Figura 5. Ilustración del método estocástico micro viajes para la construcción de ciclos de conducción. [14]

Se han utilizado dos enfoques principales para construir ciclos de conducción. El primero es el enfoque basado en micro viajes (micro-trips) en el que una gran

muestra de series de tiempo de velocidades (viajes) se divide en microsegmentos (conocidos como micro viajes) que son secciones de velocidad vs. tiempo con velocidades iniciales y finales iguales a cero. Luego, se selecciona un conjunto de micro viajes "casi al azar" y se empalman para formar ciclo de conducción candidato representativo.

Ocasionalmente se aplica un paso de agrupamiento para recopilar micro viajes con valores de velocidad-aceleración similares. El ciclo de conducción candidato seleccionado es el que tiene valores de CPs similares a los respectivos valores promedio de CPs de los viajes realizados. Singapur, Hong Kong y Bangkok se obtuvieron con este enfoque de micro viajes [16,39,57,59].

El segundo enfoque para construir ciclos de conducción se basa en la teoría de Markov y utiliza la técnica de Monte Carlo. Algunos ejemplos se encuentran en [39,62,63]. En este segundo enfoque, los rangos de velocidad y aceleración se discretizan en n y m secciones, respectivamente.

Configuran una matriz de $n \times m$ estados. Los valores medidos de velocidad y aceleración de todos los viajes muestreados se agrupan en esos estados, formando la distribución de frecuencia de velocidad-aceleración (SAFD) o la distribución de probabilidad velocidad-aceleración (SAPD) cuando el SAFD está normalizado. Luego, se utiliza la técnica de simulación de Monte Carlo para producir un ciclo candidato. El proceso consiste en usar un número aleatorio para seleccionar el siguiente estado de manera que las transiciones con las probabilidades más altas sean las más probables de ser elegidas.

El proceso se repite hasta que se cubre una distancia determinada o se completa un tiempo de viaje determinado. Finalmente, al igual que en el método de los micro viajes, se evalúa la representatividad del ciclo candidato simulado de Monte Carlo con respecto a un conjunto de CPs cuyos valores medios se obtienen de todo el conjunto de viajes muestreados. Por lo general, se establece un umbral arbitrariamente de $\sim 15\%$, el cual define el grado de similitud o las diferencias máximas permitidas [60-61].

Huertas et al. [16] recopilaron datos experimentales de consumo de combustible y emisiones de cola de una flota de vehículos y propusieron el método basado en el combustible para construir ciclos de conducción. En el método basado en combustible, el ciclo de conducción representativo es el viaje con el consumo de combustible medido más cercano al consumo de combustible promedio de todos los viajes muestreados.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Desarrollar un ciclo de conducción para el área metropolitana de Bucaramanga mediante el monitoreo segundo a segundo, vía diagnóstico a bordo, de una muestra de vehículos que circulan libremente en la ciudad.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Monitorear las variables de operación: posición, velocidad, RPM, carga de motor, consumo de combustible y relación aire combustible de una muestra de vehículos (>10) mediante dispositivos OBD (On Board Diagnostics) para la construcción de una base de datos de la ciudad.
- Definir los parámetros característicos que describen el patrón de manejo del área metropolitana.
- Construir el ciclo de conducción del área metropolitana de Bucaramanga.
- Validar el ciclo por medio de la comparación de resultados obtenidos en ciudades similares.

5. METODOLOGÍA Y DESARROLLO.

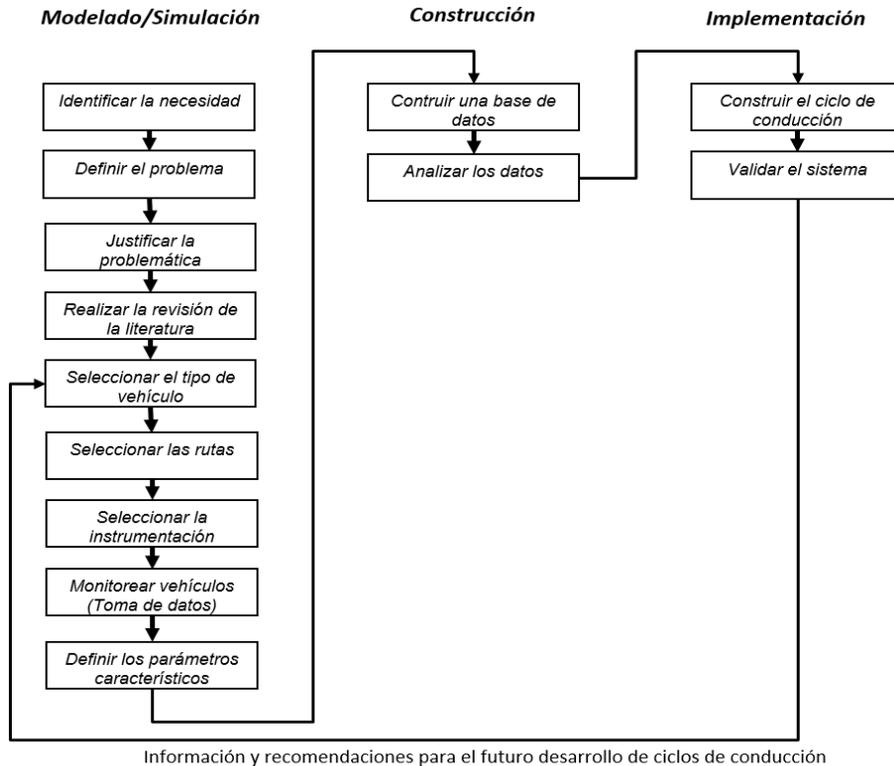


Figura 6. Metodología para el desarrollo del proyecto. [Autores]

El objetivo principal del proyecto es obtener el ciclo de conducción bajo condiciones reales en el área metropolitana de Bucaramanga, para lograr esto es necesario el desarrollo de una serie de actividades que permita el cumplimiento de los objetivos específicos y finalmente el objetivo general. Para el diseño de la metodología se siguió el modelo desarrollado por Devdas Shetty para procesos de diseño de sistemas mecatrónicos. Cada uno de los pasos se describen a detalle a continuación.

5.1. VEHÍCULOS

Los vehículos escogidos como muestra para el estudio fueron vehículos livianos conducidos por amigos y familiares que colaboraron amablemente con el proyecto.

En la tabla 5 se muestra información más detallada, la primera columna hace referencia al número del vehículo monitoreado, la cuarta columna corresponde al año de fabricación, seguida de esta se encuentra la columna de cilindrada, luego están los valores correspondientes al área frontal, para el cálculo de este parámetro fue necesario el uso del software CAD SolidWorks.

#	Marca	Modelo	Año	[L]	Área F [m ²]	Peso Bruto [kg]	Tipo de transmisión	Género del conductor	Edad del Conductor
1	Chevrolet	Onix turbo	2021	1	2.14	1497	Automático	Masculino	52
2	Renault	Sandero	2010	1.6	1.9	1515	Mecánico	Masculino	49
3	Renault	Logan	2014	1.5	2.38	1521	Mecánico	Masculino	22
4	Chevrolet	Spark GT	2017	1.2	2.17	1368	Mecánico	Masculino	18
5	Kia	Rio Spice	2012	1.4	2.07	1063	Automático	Femenino	21
6	Ssangyong	Korando	2015	2	2.25	2040	Automático	Masculino	23
7	Chevrolet	Spark GT	2011	1.2	1.9	1153	Mecánico	Femenino	29
8	Mazda	Mazda 3	2009	2	2.01	2268	Mecánico	Masculino	25
9	Chevrolet	Spark GT	2016	1.2	1.9	1153	Mecánico	Femenino	24
10	Renault	Sandero	2012	1.6	2.2	1515	Mecánico	Masculino	27

Tabla 5. Datos de los vehículos monitoreados. [Autores].

5.2. REGIÓN DE ESTUDIO

El Área metropolitana de Bucaramanga ubicada en el departamento de Santander, Colombia. Está conformada por los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. Su población es de 1'341.694 habitantes.

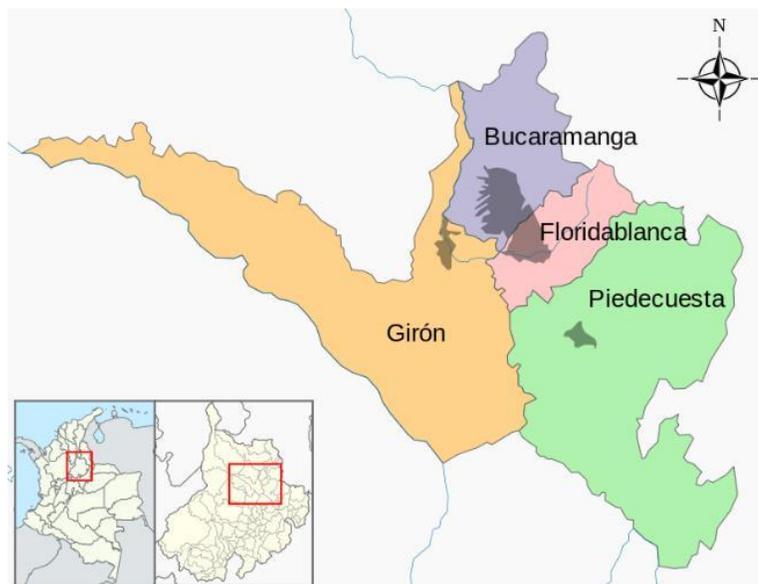


Figura 7. Mapa del área metropolitana de Bucaramanga.

[Obtenida de: <https://www.amb.gov.co/>]

5.3. INSTRUMENTACIÓN

La técnica para la adquisición de datos elegida fue diagnóstico a bordo, se usaron dispositivos ELM327 OBDII de la marca CMallMarket para el monitoreo, los cuales son compatibles con la aplicación TorquePro disponible para dispositivos móviles Android, cuentan con una frecuencia de muestreo de 1hz.

El tipo de conexión del dispositivo OBDII se ajustó a las necesidades del conductor, por ejemplo, si se requería el uso de datos móviles en el celular se requería un dispositivo OBDII bluetooth, por otro lado, si el conductor prefiere conectar su celular al vehículo para recibir llamadas o escuchar música se requería un OBDII WiFi.

Los dispositivos usados no están diseñados para vehículos pesados, su cobertura está limitada a vehículos livianos, esto no es problema en nuestro caso de estudio ya que la muestra se restringe a vehículos livianos. Son compatibles con sistemas operativos iOS, android y Windows, y con aplicaciones como TDashcommand, y obd auto doctor. Soportan los protocolos SAE J1850-PWM, SAE J1850-VPW, ISO 9142-2, ISO 14230-4 (Slow), ISO 14230-4 (fast), ISO 15765-4 (CAN).

Son productos genéricos y el precio de cada uno oscila alrededor de los \$50.000 pesos colombianos. Debido a la cantidad de vehículos monitoreados se optó por esta opción de bajo costo, ya que un dispositivo no genérico puede costar hasta 200 dólares (\$750.000COP aprox).

En la figura 8 se pueden observar los dispositivos empleados para el monitoreo de los 10 vehículos.



Figura 8. OBDII CMallMarket

- A) Scanner Automotriz Elm327 Obd2 Advanced Wifi.
- B) Elm327 Escaner Automotriz Obd2 Bluetooth Android
- C) Elm327 Bluetooth

[Obtenidas de: <https://www.cmallmarket.com/8-scanner-elm327-bt.html>]

El conector del dispositivo OBDII suele encontrarse en la zona de los pies del conductor, en la guantera o en la zona centrar, en la figura 9 se muestran las posibles ubicaciones del conector OBDII. Desde 1996 todos los vehículos fabricados a nivel mundial cuentan con el puerto OBDII.

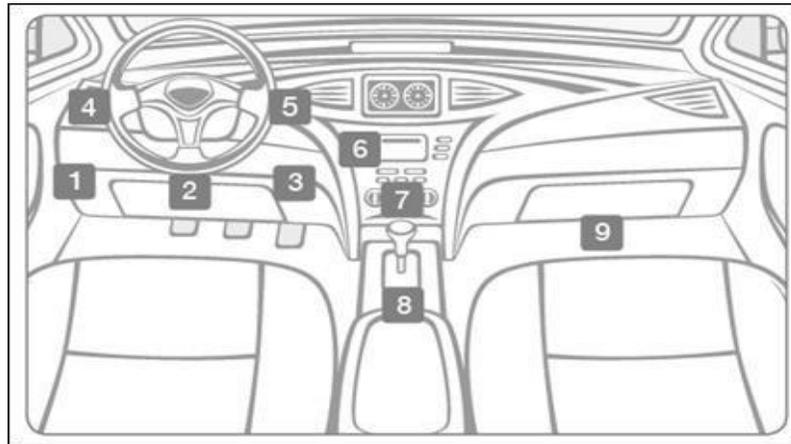


Figura 9. Localizaciones puerto OBD-II.

[Obtenida de: <https://www.verizon.com/support/knowledge-base-210135/>]

5.4. TOMA DE DATOS

La toma de datos se inició en octubre del 2020 y finalizó en abril del 2021. Se monitorearon 10 vehículos livianos por medio de dispositivos de medición a bordo OBDII y sistemas de posicionamiento global (GPS) para determinar la posición.



A



B

Figura 10. A) Aplicación Torque Pro.

B) OBD instalado [Autores]

A los conductores se les permitió transitar libremente por el área metropolitana de Bucaramanga, no se establecieron rutas ni horarios fijos para el monitoreo, algunos conductores seguían su ruta personal diaria como su camino para ir al trabajo, de igual forma se monitorearon vehículos que prestan el servicio de transporte y sus rutas variaban constantemente. Es importante tener en cuenta que no todos los conductores salían a diario debido a la pandemia, disminuyó el tráfico vehicular en la ciudad, se establecieron varias restricciones como el pico y cédula, los toques de queda y aislamientos sociales preventivos obligatorios. Sumado a esto, se incorporó el trabajo remoto y las clases virtuales, lo cual redujo las necesidades de traslado diario de los ciudadanos.

Fue necesario capacitar a los conductores sobre el uso de la aplicación torque pro y del dispositivo OBDII, para esto se desarrolló un protocolo de pruebas donde se explica la configuración de la aplicación torque pro, el proceso de vinculación con el OBDII y el vehículo y finalmente el envío de datos a través del correo electrónico.

Se elaboró un protocolo de pruebas para monitoreo vía OBD II mediante la aplicación Torque pro. Para la correcta adquisición de los datos, se debe explicar a los conductores el uso de la aplicación Torque pro en los dispositivos Android y la forma de vincularlo con el OBD II.

1. Instalar la aplicación torque pro: se instaló la aplicación mediante una carpeta creada en google drive que contenía el apk, teniendo en cuenta que el aplicativo de la play store cobraba por la descarga.
2. Configurar la aplicación: en este aspecto se eligen las variables a monitorear, se definen unidades y las opciones del adaptador OBD II.
3. Conectar el OBD II: en este aspecto una vez ubicado el puerto OBD II del vehículo, se conecta el dispositivo y se observa que enciende unos leds. En la figura 11 se observa un dispositivo OBD II conectado de forma correcta.

En la figura 11 se observan las opciones activas para que empiece el registro de datos, ocurre cuando torque se inicia y se encuentre conectado el OBD II a la ECU del vehículo, con el fin de evitar enviar registros en blanco o algunas filas vacías debido a que no se encuentre el dispositivo OBD II conectado.

4. Vincular el OBD II con el dispositivo móvil y el vehículo: para la conexión se debe agregar desde la sección de bluetooth o desde wifi dependiendo el tipo de dispositivo, el nombre que aparece en el dispositivo móvil es OBD II y la clave generalmente es 0000, se verifica que la conexión se encuentre activa entre el dispositivo y el Smartphone y entre el vehículo y el dispositivo OBD II.



Figura 11. Registros de datos y carga. [Autores]

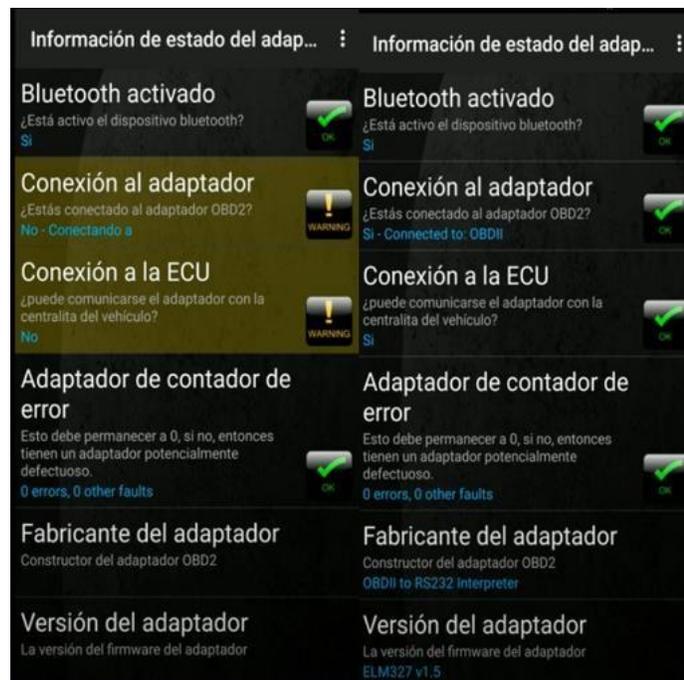


Figura 12. Configuración conexión adaptador. [Autores]

5. Comprobar la información: en tiempo real se puede verificar la información del vehículo, una forma sencilla es observar las variaciones en las RPM del vehículo.
6. Enviar datos por correo electrónico: una vez finalizado el recorrido se ingresa en la rueda inferior izquierda que se observa en la figura 13, registros por correo electrónico, CSV (valores separados por coma) y se elige el trayecto realizado, en la aplicación se guardan por día y hora del registro. Al oprimir en un registro automáticamente se ingresa al correo y se envía.

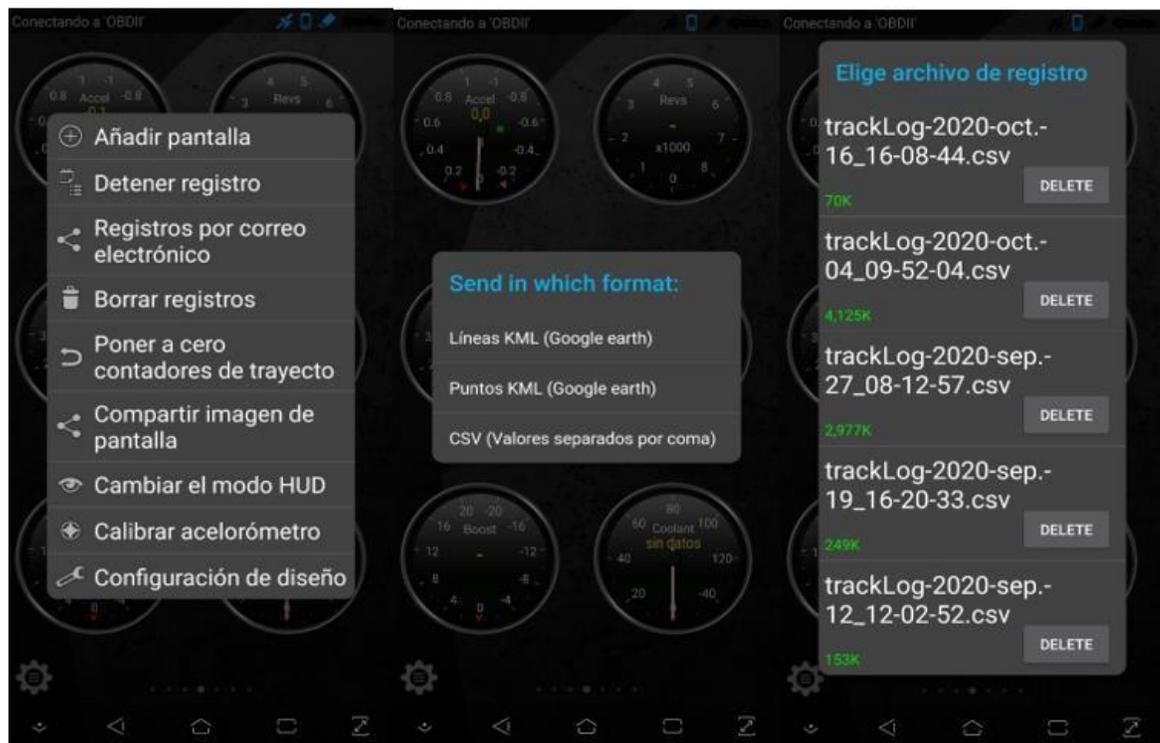


Figura 13. Envío de datos. [Autores]

5.5. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS

Tanto los patrones de conducción como los ciclos de conducción pueden describirse mediante parámetros característicos [21,34] que son métricas basadas en la velocidad y el tiempo, como la velocidad promedio, la aceleración promedio. Para este estudio se definieron 18 parámetros característicos que describen variables de velocidad, aceleración, modos de operación, dinámicas y consumo de combustible.

Parámetro Característicos (CP)		Símbolo	Unidades
Velocidad	Velocidad promedio	Ave S	m/s
	Velocidad máxima	Max S	m/s
	D. E. velocidad	SD S	m/s
Aceleración	Aceleración máxima	Max a+	m/s ²
	Desaceleración máxima	Max a-	m/s ²
	Aceleración promedio	Ave a+	m/s ²
	Desaceleración promedio	Ave a-	m/s ²
	D. E. aceleración	SD a+	m/s ²
	D. E. desaceleración	SD a-	m/s ²
Modos de operación	Porcentaje en ralentí	% idl	%
	Porcentaje acelerando	% a+	%
	Porcentaje desacelerando	% a-	%
	Porcentaje en cruce	% cru	%
Dinámicas	Número de aceleraciones por kilometro	AKM	km ⁻¹
	Raíz media cuadrática	RMS	m/s ²
	Energía cinética positiva	PKE	m/s ²
	Intensidad cinética	KI	[km ⁻¹]
Consumo de combustible	Consumo específico de combustible	SFC	L/km

Tabla 6. Parámetros característicos. [Autores].

En la tabla 6 se pueden observar los 18 CPs escogidos, en la literatura no hay un número exacto de los parámetros característicos (CP) que se deben usar, según la tabla 4 diferentes autores han usado comprenden un rango desde 3 hasta 33 CPs y el valor con mayor frecuencia en una de las distribuciones de datos de la cantidad de CPs usado fue 12 parámetros característicos.

Para hallar los valores de los CPs definidos se hacen uso de las ecuaciones que se presentan en la tabla 7, las cuales fueron tomadas de De Haan, P., & Keller, M. (2004). [52]

Para la descripción de las características cinemáticas de los patrones de conducción, los valores de aceleración (en ms⁻¹) para un perfil de velocidad que consta de n filas de datos de tiempo en segundos, t_i (1 ≤ i ≤ n), y la velocidad en km/h, v_i (1 ≤ i ≤ n), se calculan como se muestra a continuación:

SD S	$SD_s = \sigma_v = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n v_i^2}$ (1)
	Donde $v = \frac{Speed(OBD) \left(\frac{km}{h}\right)}{3.6}$ (2)
Ave a+	$Ave_{a+} = \left(\sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (a_i > 0) \\ 0 & (else) \end{cases} \right)^{-1} \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (a_i > 0) \\ 0 & (else) \end{cases}$ (3)
Ave a-	$Ave_{a-} = \left(\sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (a_i < 0) \\ 0 & (else) \end{cases} \right)^{-1} \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (a_i < 0) \\ 0 & (else) \end{cases}$ (4)
SD a+	$SD_{a+} = \sigma_{a+} = \sqrt{\frac{1}{n_{a+}-1} \sum_{i=1}^n a_i^2 (a_i > 0)}$, donde $n_{a+} = \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (a_i > 0) \\ 0 & (else) \end{cases}$ (5)
SD a-	$SD_{a-} = \sigma_{a-} = \sqrt{\frac{1}{n_{a-}-1} \sum_{i=1}^n a_i^2 (a_i < 0)}$, donde $n_{a-} = \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (a_i < 0) \\ 0 & (else) \end{cases}$ (6)
% idl	$\%_{idl} = \frac{T_{det}}{T_{total}} \times 100$ (7) Donde $T_{det} = \begin{cases} t_2 - t_1 (v_1 = 0 \wedge a_1 = 0) \\ 0 & (else) \end{cases} + \sum_{i=2}^n \begin{cases} t_i - t_{i-1} (v_1 = 0 \wedge a_1 = 0) \\ 0 & (else) \end{cases}$ (8)
	$T_{total} = t_2 - t_1 + \sum_{i=2}^n (t_i - t_{i-1})$ (9)
% a+	$\%_{a+} = \frac{T_{acc}}{T_{total}} \times 100$ (10) Donde $T_{acc} = \begin{cases} t_2 - t_1 (a_1 > acc_límite) \\ 0 & (else) \end{cases} + \sum_{i=2}^n \begin{cases} t_i - t_{i-1} (a_1 > acc_límite) \\ 0 & (else) \end{cases}$ (11)
% a-	$\%_{a-} = \frac{T_{des}}{T_{total}} \times 100$ (12) Donde $T_{des} = \begin{cases} t_2 - t_1 (a_1 < -acc_límite) \\ 0 & (else) \end{cases} + \sum_{i=2}^n \begin{cases} t_i - t_{i-1} (a_1 < -acc_límite) \\ 0 & (else) \end{cases}$ (13)
% cru	$\%_{cru} = 100 - T_{acc} - T_{des} - T_{det}$ (14)
AKM	$AKM = 1000 \times \frac{acc_{nr}}{dist}$ (15)
RMS	$RMS_a = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i ^2}$ (16)

PKE	$PKE = \frac{1}{dist} \sum_{i=2}^n \begin{matrix} v_i^2 - v_{i-1}^2 & (v_i > v_{i-1}) \\ 0 & (else) \end{matrix} \quad (17)$
KI	$KI = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \{ \begin{matrix} 0,5 \cdot (v_i^2 - v_{i-1}^2) & (0,5 \cdot (v_i^2 - v_{i-1}^2) > 0) \\ 0 & else \end{matrix} \}}{1000} \right) \cdot \left(\frac{\sum_{i=2}^n (v_i^3 + (v_i^2 \cdot v_{i-1}) + (v_i \cdot v_{i-1}^2) + v_{i-1}^3)}{4} \right) \quad (18)$
SFC	$SFC = \frac{\sum_i IFC_i}{dist} \quad (19)$

Tabla 7. Ecuaciones de los parámetros característicos. [Autores con base en [52].]

Además de los parámetros característicos, los ciclos de Hong Kong y Zhuhai [57] utilizaron la distribución de frecuencia de velocidad-aceleración (SAFD speed-acceleration frequency distribution) y la distribución de probabilidad de velocidad-aceleración (SAPD-speed acceleration probability distribution) para determinar el mejor ciclo de conducción, mientras que los ciclos de Beijing introdujeron la potencia específica del vehículo (VSP) para seleccionar el ciclo más representativo de un grupo de ciclo candidato [53].

SAPD es una herramienta útil para representar comportamientos de conducción. Es la probabilidad de que los datos de conducción se produzcan en cada clase de velocidad y aceleración. SAPD generalmente se muestra en términos de frecuencia o gráfico de probabilidad, que proporciona información visual de los patrones de conducción para cada viaje individual o grupo de viajes. [57]

En 1998, Sawyer demostró que existe una estrecha relación entre los factores de emisión y la potencia de salida de un vehículo [54]. Luego, Jiménez-Palacios introdujo el concepto VSP en 1999 para describir y cuantificar la condición de emisión durante la operación del vehículo [55].

La potencia específica del vehículo (VSP- vehicle specific power) se define como la potencia instantánea por unidad de masa del vehículo. Las unidades de potencia específica son las de potencia por unidad de masa. La unidad fundamental métrica (SI) son los vatios por kilogramo, que es lo mismo que los kilovatios por tonelada métrica (kW / t). La potencia instantánea generada por el motor se utiliza para superar la resistencia a la rodadura y la resistencia aerodinámica y para aumentar las energías cinética y potencial del vehículo. [53].

La potencia instantánea generada por el motor se utiliza para superar la resistencia a la rodadura y la resistencia aerodinámica y para aumentar las energías cinética y

potencial del vehículo. Es igual al producto de la velocidad y una aceleración equivalente, que incluye los efectos de la pendiente de la carretera y la resistencia a la rodadura más un término para la resistencia aerodinámica, que es proporcional al cubo de la velocidad instantánea. [55]

$$VSP = v \cdot \left[a \cdot (1 + \epsilon_i) + g \cdot \text{pendiente} + g \cdot C_R \right] + \frac{1}{2} \rho_a \frac{C_D \cdot A}{m} (v + v_w)^2 \cdot v \quad (20)$$

Donde:

- v = velocidad del vehículo.
- a = aceleración del vehículo.
- m = masa del vehículo.
- ϵ_i "factor de masa", que es la masa de traslación equivalente de componentes giratorios (ruedas, engranajes, ejes, etc.)
- h = altitud del vehículo.
- pendiente = altura vertical / longitud de la pendiente;
- g = aceleración de la gravedad (9,8 m / s²).
- C_R = coeficiente de resistencia a la rodadura (adimensional).
- C_D = coeficiente de arrastre (adimensional).
- A = área frontal del vehículo.
- ρ_a = densidad del aire ambiente (1.207 kg / m³ a 20 ° C = 68 ° F); y
- v_w = es la velocidad del viento en el lugar de monitoreo (m / s)

A partir de la dinámica vehicular se puede llegar a la ecuación anterior, teniendo en cuenta que la potencia es fuerza por velocidad, y que el VSP es potencia por unidad de masa, a continuación, se presenta el diagrama de cuerpo libre de un vehículo para observar mejor las fuerzas que actúan en él.

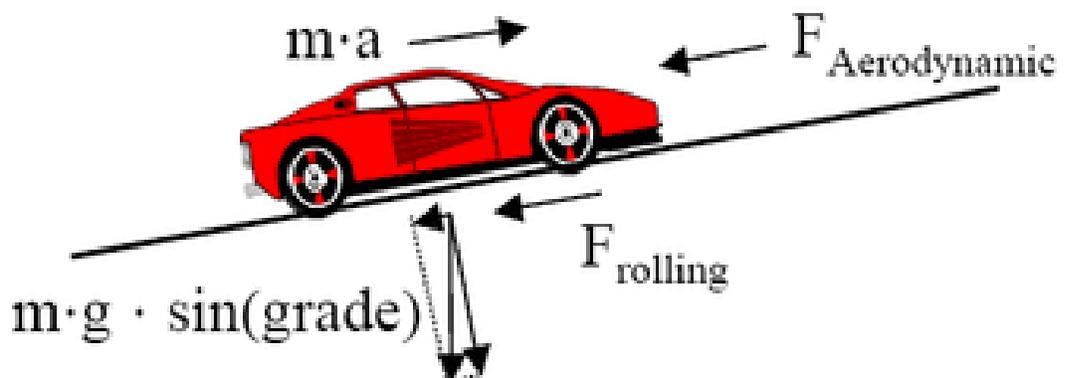


Figura 14. Diagrama de cuerpo libre de un vehículo. [56].

$$VSP = \frac{Potencia}{masa} \left[\frac{kw}{t} \right] \quad (21)$$

Donde

$$Potencia = F_x \cdot v \quad (22)$$

Y

$$F_x = F_d + R_x + R_g + R_i \quad (23)$$

- R_i = Resistencia a la inercia.
- R_g = Resistencia a la pendiente.
- F_d = Fuerza de arrastre. (F. Aerodynamic)
- R_x = Resistencia a la rodadura. (F. Rolling)
- F_x = Fuerza en la rueda.
- P_x = Potencia en la rueda.

$$R_i = m \cdot a \quad (24)$$

$$R_g = m \cdot g \cdot \text{sen } \theta \quad (25)$$

$$R_x = m \cdot g \cdot C_R \cdot \cos \theta \quad (26)$$

$$F_d = \frac{1}{2} C_D \cdot A \cdot \rho_a \cdot v^2 \quad (27)$$

$$F_x = F_d + R_x + R_g + R_i \quad (28)$$

$$F_x = \frac{1}{2} C_D \cdot A \cdot \rho_a \cdot v^2 + m \cdot g \cdot C_R \cdot \cos \theta + m \cdot g \cdot \text{sen } \theta + m \cdot a \quad (29)$$

$$P_x = m \cdot a \cdot v + m \cdot g \cdot v (C_R \cos \theta + \text{sen } \theta) + \left(\frac{1}{2} C_D \cdot A \cdot \rho_a \cdot v^2 \right) \cdot v \quad (30)$$

$$VSP = a \cdot v + g \cdot v (\text{sen } \theta + C_R \cos \theta) + \frac{1}{2} \rho_a \frac{C_D \cdot A}{m} \cdot v^3 \left[\frac{kw}{t} \right] \quad (31)$$

La aceleración fue calculada con un polinomio (Ecuación 32), el cual permite un acercamiento al valor real de la aceleración, no se puede usar la fórmula común de la derivada de la velocidad (Ecuación 33) porque los datos de velocidad obtenidos

son discretos ya que el monitoreo se realiza segundo a segundo y no en tiempos continuos.

$$a = \frac{-v_{i+2} + 8v_{i+1} - 8v_i + v_{i-1}}{12\Delta t_i} \quad (32)$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{v_f - v_i}{t} \quad (33)$$

En este caso la aceleración es un valor hallado a través de medición indirecta, la variable medible directa es la velocidad. Al hacer uso de la ecuación 33 para calcular la aceleración se observan picos y cambios bruscos, los cuales no tienen coherencia física, mientras que al realizar estos cálculos mediante la ecuación 32 se hace un mejor acercamiento a la señal original en tiempo continuo.

Los sistemas en tiempo discreto difieren de los sistemas en tiempo continuo en que las señales para los primeros están en forma de datos muestreados o en la forma digital. [58]

Los datos obtenidos fueron muestreados a 1hz de frecuencia vía diagnóstico a bordo.

Para calcular el área frontal de cada vehículo, se hizo uso del software CA SolidWorks, debido a que en las fichas técnicas de los vehículos no se encuentra esta información, para hallar el área frontal de un vehículo se debe tomar una foto desde la parte frontal del vehículo como se muestra en la figura 15A.

Una vez se tiene la imagen, se procede a insertarla a SolidWorks para elaborar el croquis del vehículo.



A



B

Figura 15. A. Foto vehículo. B. Croquis del vehículo. [Autores]

Seguido de esto, se da en extruir el croquis para poder obtener la cara frontal del vehículo y así realizar posteriormente los cálculos necesarios.

Una vez se tiene el croquis extruido del vehículo se procede a calcular el área frontal, para esto se deben tener en cuenta las dimensiones del vehículo real para ser comparadas con el diseño y determinar la escala del vehículo. Se debe medir una parte del área frontal del vehículo para poder hallar la escala, en este caso se tiene presente que el ancho real del vehículo es de 1731mm.

En la figura 16 se observa que el ancho medido del vehículo es de 1713.98 mm. Dando una escala de aproximadamente 1.

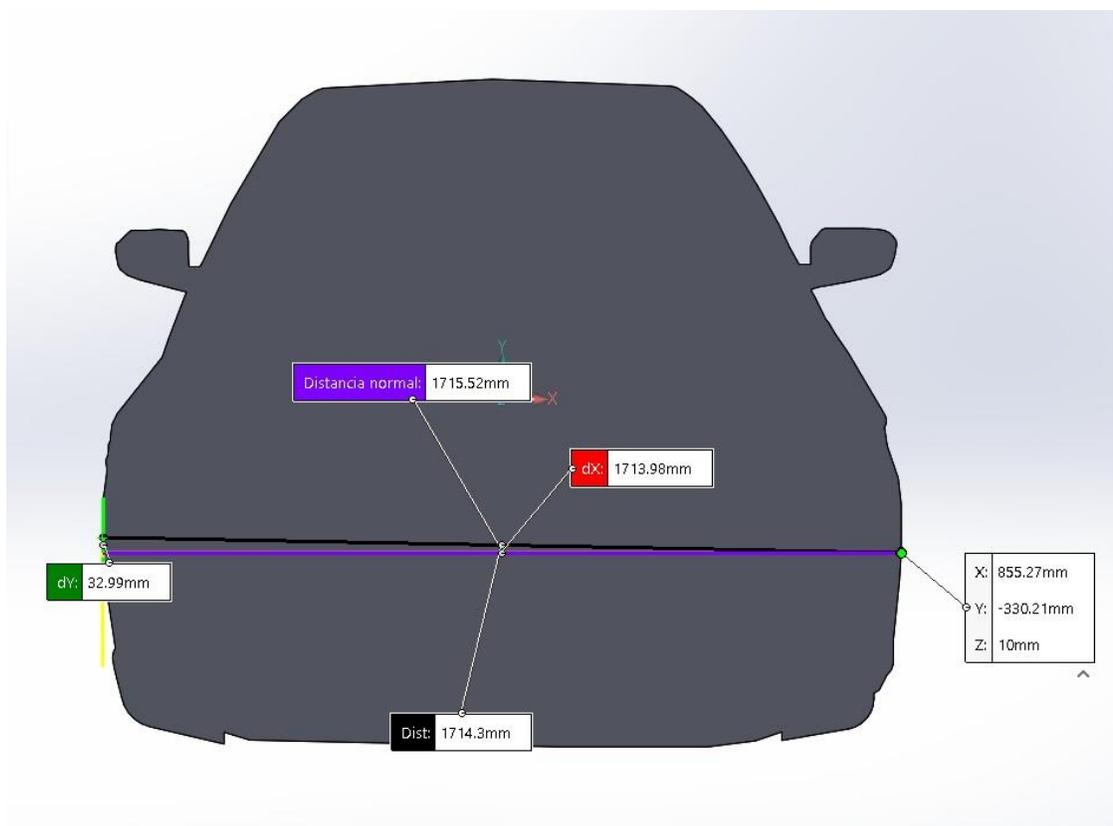


Figura 16. Dimensiones del vehículo. [Autores]

Ancho real (mm)	1731
Ancho medido(mm)	1713.98
Escala	0.99

Tabla 8. Escala del vehículo. [Autores]

El siguiente paso es determinar el área frontal del carro, en SolidWorks da un área de 2096158.56 mm²

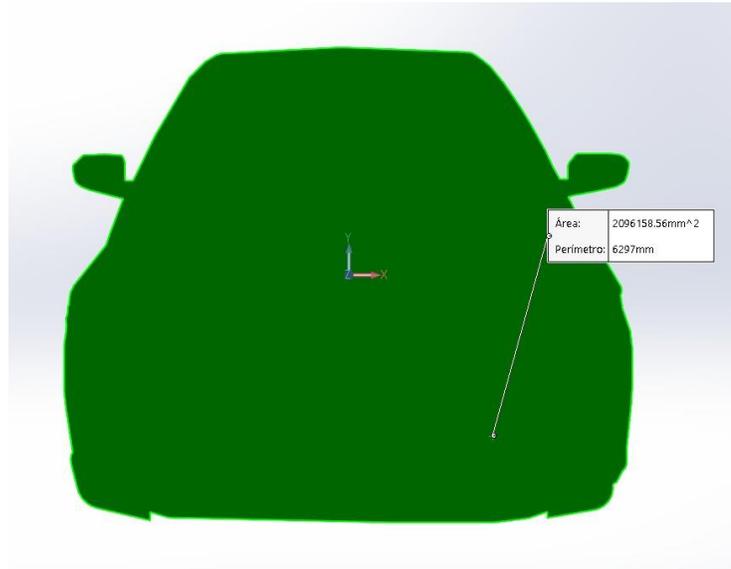


Figura 17. Área y perímetro del vehículo. [Autores]

Por último, se calcula el área frontal en m^2 del vehículo, teniendo en cuenta el área medida en SolidWorks y la escala determinada. Se obtiene como resultado un área frontal de $2.14 m^2$.

5.6. BASE DE DATOS

La base de datos se construyó a partir de los datos obtenidos de la aplicación TorquePro gracias al monitoreo realizado, dicha aplicación genera archivos separados por coma (.csv) como se puede observar en la figura 18.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	GPS Time, Device Time, Longitude, Latitude, GPS Speed (Meters/second), Horizontal Dilution of Precision, Altitude, Bearing, G(x),									
2	Thu Feb 04 18:07:28	GMT-05:00	2021,04-feb.-2021	18:07:27.777,-73.121678623,7.079878183,7.846762,45.64386,914.30272853,345.639						
3	Thu Feb 04 18:07:30	GMT-05:00	2021,04-feb.-2021	18:07:28.767,-73.121763405,7.080066209,8.324983,24.530901,911.20470665,342.91						
4	Thu Feb 04 18:07:31	GMT-05:00	2021,04-feb.-2021	18:07:29.766,-73.121796388,7.080149775,8.515038,17.55002,909.337973902,343.05						
5	Thu Feb 04 18:07:32	GMT-05:00	2021,04-feb.-2021	18:07:30.766,-73.121814727,7.080214146,8.318909,11.145681,909.910914425,343.2						
6	Thu Feb 04 18:07:33	GMT-05:00	2021,04-feb.-2021	18:07:31.767,-73.121838535,7.080288853,8.335614,7.379169,908.790852082,342.83						
7	Thu Feb 04 18:07:34	GMT-05:00	2021,04-feb.-2021	18:07:32.767,-73.121860806,7.080360469,8.533646,8.500535,909.90205859,343.294						
8	Thu Feb 04 18:07:35	GMT-05:00	2021,04-feb.-2021	18:07:33.767,-73.121885217,7.080435118,8.661266,8.454244,910.375798597,341.22						
9	Thu Feb 04 18:07:36	GMT-05:00	2021,04-feb.-2021	18:07:34.767,-73.121912708,7.080509409,8.569695,9.536359,910.697432384,339.58						
10	Thu Feb 04 18:07:37	GMT-05:00	2021,04-feb.-2021	18:07:35.767,-73.121942947,7.080582783,8.357655,10.327027,910.219728978,336.8						
11	Thu Feb 04 18:07:38	GMT-05:00	2021,04-feb.-2021	18:07:36.766,-73.121986811,7.080642916,8.123122,10.425277,909.827228012,322.7						
12	Thu Feb 04 18:07:39	GMT-05:00	2021,04-feb.-2021	18:07:37.767,-73.122037331,7.080695945,8.210821,9.181483,909.201495058,309.56						
13	Thu Feb 04 18:07:40	GMT-05:00	2021,04-feb.-2021	18:07:38.767,-73.122096412,7.080742961,7.612039,9.846299,907.875099557,303.43						
14	Thu Feb 04 18:07:41	GMT-05:00	2021,04-feb.-2021	18:07:39.766,-73.122150503,7.080780399,7.097224,9.401203,907.53293359,304.879						
15	Thu Feb 04 18:07:42	GMT-05:00	2021,04-feb.-2021	18:07:40.767,-73.122195481,7.080811517,6.568554,7.850842,909.461970406,311.02						
16	Thu Feb 04 18:07:43	GMT-05:00	2021,04-feb.-2021	18:07:41.766,-73.122232048,7.080853425,6.470365,7.613873,910.166158677,321.84						
17	Thu Feb 04 18:07:44	GMT-05:00	2021,04-feb.-2021	18:07:42.767,-73.122261866,7.080906337,6.782526,8.965861,910.346303913,339.60						
18	Thu Feb 04 18:07:45	GMT-05:00	2021,04-feb.-2021	18:07:43.766,-73.122280727,7.080966137,7.529585,7.83159,910.614737694,345.897						

Figura 18. Datos .csv. [Autores]

Lo primero que se hizo con los archivos .csv fue crear una copia de los datos y subirlos a Google Drive para tener respaldo de los datos originales en caso de errores en el procesamiento de estos.

Luego de esto se ordenaron los archivos .csv en columnas y se borraron las columnas con datos que no se tuvieron en cuenta para el estudio. Debido a que era muy común encontrar varios datos en ceros al inicio y final de cada trayecto se decidió eliminarlos y dejar alrededor de 30 segundos en cero iniciando y finalizando trayectos, esto ocurre porque el conductor se encuentra parqueado un tiempo mientras configura el dispositivo móvil o simplemente espera unos minutos antes de iniciar su ruta.

Es importante cambiar el formato de la fecha (delta time) a *d/mm/yyyy h:mm:ss.000* para poder calcular posteriormente el delta de tiempo, donde se resta una fila con respecto a la anterior y se multiplica por 86400 ya que son los segundos transcurridos en un día ya que en el formato se incluye la fecha y no únicamente la hora. Este delta de tiempo debe ser uno porque el monitoreo se realiza segundo a segundo, únicamente son válidos los deltas diferentes a este valor cuando se cambia de viaje, de lo contrario fue necesario ver a fondo que ocurría. En algunas ocasiones fue necesario dividir manualmente los viajes porque había saltos grandes de monitoreo los cuales se lograron identificar gracias al delta de tiempo.

Viaje	Device Time	Slope [rad]	Speed (OBD)(km/h)	Engine Load(%)	Engine RPM(rpm)	Fuel flow rate/hour(l/hr)	Litres Per 100 Kilometer(Instant)(l/100km)	Air Fuel Ratio(Com manded)(:1)	Longitude	Latitude	GPS Altitude(m)
1	16/02/2021 20:17:01.805	0.074	0	28.63	745	0.85	-	14.83	-73.1044701	7.06545943	860.05
1	16/02/2021 20:17:02.805	0.003	0	82.75	713	1.5	-	14.83	-73.1044669	7.06545964	859.63
1	16/02/2021 20:17:06.805	-0.024	0	36.47	895.5	1.36	-	14.83	-73.1044586	7.06545938	859.92
1	16/02/2021 20:17:07.804	0.038	0	30.2	771.5	0.95	-	14.83	-73.1044592	7.06545973	859.71
1	16/02/2021 20:17:08.804	0.043	0	29.41	750	0.88	-	14.83	-73.1044608	7.06546067	859.84
1	16/02/2021 20:17:09.805	0.026	0	28.63	732.5	0.84	-	14.83	-73.1044612	7.06546083	859.8
1	16/02/2021 20:17:10.804	0.05	0	85.88	723.75	1.16	-	14.8	-73.1044613	7.06546093	859.8
1	16/02/2021 20:17:11.805	0.06	1	71.37	1467.75	4.47	-	14.8	-73.1044621	7.06546181	859.91
1	16/02/2021 20:17:12.805	0.049	5	56.47	1175.75	3.31	336.23	14.89	-73.1044624	7.06546205	859.9
1	16/02/2021 20:17:13.805	0.07	6	26.67	1805.75	1.75	34.43	14.73	-73.1044629	7.06546295	860.07
1	16/02/2021 20:17:14.805	0.076	7	30.59	1517.5	2.04	35.08	14.88	-73.1044632	7.06546471	860.6
1	16/02/2021 20:17:15.802	0.079	7	26.67	1131.75	1.29	18.59	14.88	-73.104463	7.06546498	860.62
1	16/02/2021 20:17:16.808	0.042	5	28.63	1026.25	1.24	17.12	14.87	-73.104465	7.0654662	860.94
1	16/02/2021 20:17:17.805	0.04	3	31.37	825.25	1.11	21.56	14.89	-73.1044683	7.06546816	861.37
1	16/02/2021 20:17:18.806	0.044	4	34.9	746	1.36	43.86	14.85	-73.1044692	7.06546867	861.36
1	16/02/2021 20:17:19.806	0.039	3	35.29	794	1.15	38.5	14.82	-73.1044706	7.06546947	861.54
1	16/02/2021 20:17:20.802	0.048	5	37.65	764.75	1.3	26.02	14.87	-73.1044718	7.06547039	861.72
1	16/02/2021 20:17:21.805	0.044	6	39.23	815.5	1.88	31.31	14.86	-73.1044727	7.06547093	861.8

Figura 19. Datos ordenados en columnas. [Autores]

El valor de la pendiente no se obtiene directamente del sistema de monitoreo, pero se puede hallar a partir de los datos del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) con ayuda de la herramienta GPS Visualizer.

Figura 20. Hallar pendiente en GPS Visualizer.

[Obtenida de: <https://www.gpsvisualizer.com>]

La pendiente se encuentra de una forma sencilla, se sube un archivo de Excel con la información de latitud y longitud y se seleccionan las opciones como se muestran en la figura 20, se obtienen un archivo de texto plano .txt que al copiarlo y pegarlo en Excel se acomoda automáticamente en columnas, hay que tener en cuenta que el valor de la pendiente que suministra la página es en porcentaje y para los cálculos futuros se requiere hacer la conversión a radianes.

La página <https://www.gpsvisualizer.com/> ofrece otras herramientas como la creación de mapas con las rutas a partir de las coordenadas registrada mediante el monitoreo vía OBD-II, a continuación, se muestra un ejemplo para un trayecto largo, de 5713s (hora y media aprox.) en el área metropolitana de Bucaramanga el cual fue realizado en un Renault Logan (vehículo 3 en nuestra muestra de vehículos). Debido a que el monitoreo es segundo a segundo se logran observar varios puntos consecutivos en el mapa.

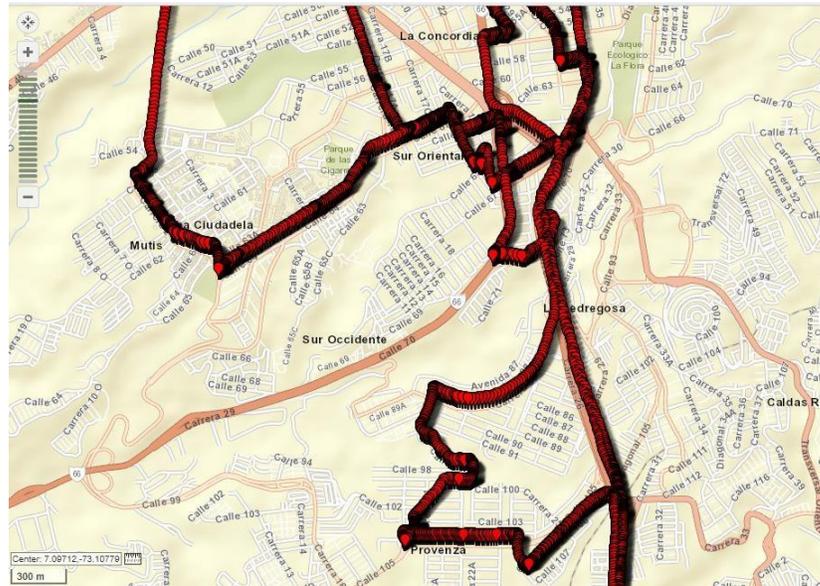


Figura 21. Mapa creado en GPS visualizer

[Autores vía <https://www.gpsvisualizer.com/>]

La herramienta GPS visualizer es muy útil para logra verificar la coherencia de los datos y poder observar las rutas de los trayectos realizados. En la figura 22 se presenta el mismo mapa con un gran acercamiento para poder observar mejor la trayectoria de la ruta recorrida.



Figura 22. Acercamiento - Vista híbrida Mapa creado en GPS visualizer.

[Autores vía <https://www.gpsvisualizer.com/>]

Para calcular los parámetros característicos y otros factores importantes para la construcción del ciclo de conducción como el VSP es necesario calcular previamente las variables que se muestran en la figura 23.

Trip #	Delta Time [s]	Speed [m/s]	Acceleratio n [m/s ²]	# accel/km [km ⁻¹]	Positive acceleration [m/s ²]	Negative acceleration [m/s ²]	Acceleration ² [(m/s) ²]	Frecuency [n_i]	E ² *n _i	Distance [m]	Accumulate distance [m]	Q_Viaje [m ² /s ²]	VSP approx [kW/t]	VSP [kW/t]	V ³ * [m ³ /s ²]	Ca+ [m ² /s ²]	Fuel flow rate [ml/s]	Instantaneous average fuel [l/100km]
1	1.00	2.22	0.00	1			0.00	3852	0.00	2.50	27.36	0.00	-0.58	-0.54	13.21	0.66	0.60	26.31
1	1.00	2.50	0.21	0	0.21		0.04	39	0.00	2.36	29.72	1.31	0.12	0.11	15.63		0.30	13.80
1	1.00	2.50	-0.16	0		-0.16	0.03	95	0.00	2.29	32.02	0.00	-1.24	-1.16	13.21		0.32	12.55
1	1.00	2.22	-0.30	0		-0.30	0.09	64	0.01	2.19	34.20	0.00	-1.79	-1.69	9.08		0.33	12.71
1	1.00	1.94	-0.30	0		-0.30	0.09	75	0.01	1.98	36.18	0.00	-1.51	-1.42	5.92		0.31	13.29
1	1.00	1.67	-0.09	0			0.01	6	0.00	1.77	37.95	0.00	-0.57	-0.53	4.63		0.24	12.27
1	1.00	1.67	-0.30	0		-0.30	0.09	49	0.01	1.42	39.38	0.00	-0.80	-0.73	2.79		0.26	15.11
1	1.00	1.11	-0.35	1		-0.35	0.12	38	0.01	1.42	40.80	0.00	-0.55	-0.50	1.37		0.25	14.86
1	1.00	1.11	0.23	0	0.23		0.05	10	0.00	1.29	42.08	0.00	0.28	0.27	1.98	0.35	0.24	22.02
1	1.00	1.39	0.00	0			0.00	11	0.00	1.11	43.20	0.69	-0.09	-0.07	1.98		0.24	22.29
1	1.00	1.11	-0.21	1		-0.21	0.04	21	0.00	1.25	44.44	0.00	-0.44	-0.40	1.37		0.26	18.13
1	1.00	1.11	0.19	0	0.19		0.03	54	0.00	1.29	45.73	0.00	0.19	0.18	1.98	0.35	0.51	46.96
1	1.00	1.39	0.12	0			0.01	137	0.00	1.32	47.05	0.69	0.18	0.19	2.68		0.43	38.28
1	1.00	1.39	0.28	0	0.28		0.08	47	0.01	1.67	48.72	0.00	0.10	0.09	4.76	0.93	0.45	32.82
1	1.00	1.94	0.49	0	0.49		0.24	4	0.06	1.80	50.52	1.85	0.61	0.55	9.08	0.58	0.46	34.06
1	1.00	2.22	0.14	0			0.02	85	0.00	1.98	52.50	1.16	-0.35	-0.34	10.97		0.26	13.57
1	1.00	2.22	-0.16	0		-0.16	0.03	84	0.00	2.02	54.52	0.00	-0.84	-0.77	9.08		0.35	14.62
1	1.00	1.94	-0.30	0		-0.30	0.09	75	0.01	1.91	56.43	0.00	-1.00	-0.91	5.92		0.39	17.18
1	1.00	1.67	-0.28	0		-0.28	0.08	10	0.01	1.66	58.09	0.00	-0.85	-0.77	3.60		0.36	17.91
1	1.00	1.39	-0.32	1		-0.32	0.10	72	0.01	1.46	59.55	0.00	-0.26	-0.19	1.98		0.28	16.45
1	1.00	1.11	0.02	0			0.00	9	0.00	1.42	60.97	0.00	0.33	0.34	1.98	0.35	0.41	28.14
1	1.00	1.39	0.21	0	0.21		0.04	39	0.00	1.25	62.22	0.69	0.80	0.79	2.68		0.40	36.73
1	1.00	1.39	-0.18	0		-0.18	0.03	24	0.00	1.22	63.44	0.00	0.41	0.45	1.98		0.28	19.74

Figura 23. Variables de la base de datos. [Autores]

En la figura 23 se observan las siguientes columnas:

- # Viaje
- Delta Time [s]
- Velocidad [m/s]
- Aceleración [m/s²]
- # accel/km [km⁻¹]
- Aceleración positiva [m/s²]
- Aceleración negativa [m/s²]
- Aceleración² [(m/s)²]
- Frecuencia[n_i]
- E²*n_i
- Distancia[m]
- Distancia Acumulada[m]
- Q_viaje [m²/s²]
- VSP aproximado [kW/t]
- VSP [kW/t]
- V³*[m³/s²]
- Ca+[m²/s²]
- Flujo de combustible [ml/s]
- Combustible instantáneo promedio [l/100km]

Para facilitar los cálculos se crearon columnas que corresponden a subvalores para calcular los CPs. La columna de Q_viaje corresponde a la diferencia de velocidades usada para calcular PKE (ver ecuación 17). Las velocidades al cubo se registran en

la columna V^3 , y $Ca+$ registra las velocidades cuadradas, estos valor se incorporan en el cálculo de KI (ecuación 18).

Para cada vehículo se creó un archivo en Excel para calcular dichas variables, también se agregó otra hoja con datos del vehículo como se puede observar a continuación:



RELIEVE - Red Latinoamericana en Energía y Vehículos



Universidad Autónoma de Bucaramanga

Datos del vehículo utilizado:

Marca	Renault	Área Frontal	2.38 m ²
Modelo	Logan	Coefficiente de arrastre (Cd)	0.34
Año de fabricación	2014	Coefficiente de rodadura (Fr)	0.015
Cilindrada [Litros]	1.5	Peso bruto vehicular	1521 kg
odometro[km]	168443	Tipo de combustible	gasolina
Tiene codigos de falla (check engine)?	no	Tipo de transmisión	mecánico
nombre del investigador	Silvia Juliana	densidad del aire	1.177 kg/m ³
correo de contacto	snavarro515@unab.edu.co	T ambiente	27 [°C]
		P ambiente	101.30 [kPa]
		R aire	0.287 [kJ/kg.K]

Datos de la campaña de monitoreo

Fecha:	3-feb-21
Lugar:	Bucaramanga
Cantidad de conductores	1
Nombres de conductores	Brandon Delgado



Figura 24. Datos del vehículo. [Autores]

Fue necesario realizar bases de datos de cada vehículo por aparte debido a que hay valores que cambian para cada vehículo como el área frontal y el peso, los cuales influyen directamente en el cálculo de la potencia específica del vehículo (VSP). Si el estudio se hubiera hecho con el mismo tipo de vehículos se podrían manejar una única base de datos desde el inicio.

Al finalizar el monitoreo y la eliminación de datos atípicos de los viajes obtenidos de los diez vehículos, se procedió a unir todos los datos en un mismo archivo, se obtuvieron en total 222 viajes y 300902 filas de datos, cada fila corresponde a un segundo de monitoreo. Estos datos obtenidos representan el patrón de conducción del área metropolitana de Bucaramanga y a partir de ellos se genera el ciclo de conducción. A partir de los datos obtenidos en la campaña de monitoreo realizada se calcularon los parámetros característicos (CPs) para cada vehículo y posteriormente los CPs del patrón de conducción, es decir, se tuvieron en cuenta la totalidad de datos recolectados. En la tabla 9 se pueden observar los resultados obtenidos.

Vehículo CP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PC
Max. Speed [m/s]	26.389	20.556	29.167	26.389	24.722	25.556	17.500	25.833	27.222	21.944	29.167
Average Speed[m/s]	4.903	6.013	5.780	7.420	6.739	5.749	6.491	7.761	7.339	6.049	6.238
Std. Dev speed [m/s]	5.406	5.203	5.290	6.597	5.670	5.410	4.807	5.892	6.440	4.986	5.735
Max + acc[m/s ²]	4.063	4.468	4.699	4.394	4.329	5.995	3.731	5.746	5.456	4.070	5.995
Max - acc.[m/s]	-5.203	-3.426	-5.509	-5.787	-3.634	-5.839	-4.560	-4.990	-5.192	-3.148	-5.839
Average + acc[m/s]	0.634	0.497	0.558	0.588	0.550	0.700	0.735	0.486	0.636	0.559	0.589
Average - acc[m/s]	-0.675	-0.552	-0.614	-0.615	-0.571	-0.737	-0.792	-0.528	-0.677	-0.603	-0.628
Std. Dev + acc [m/s ²]	0.470	0.403	0.439	0.722	0.385	0.646	0.622	0.369	0.587	0.412	0.473
Std. Dev - acc[m/s ²]	0.536	0.420	0.513	0.645	0.402	0.757	0.728	0.441	0.648	0.440	0.520
% Idle	32.49%	22.99%	28.41%	18.44%	22.21%	25.64%	20.02%	12.40%	26.65%	24.62%	24.70%
% Acel	27.95%	26.34%	26.84%	31.23%	29.87%	25.75%	27.38%	29.94%	28.62%	29.00%	28.47%
% Des	26.33%	23.96%	24.56%	29.77%	28.84%	24.51%	25.38%	27.79%	26.88%	27.01%	26.70%
% Crus	13.22%	26.70%	20.19%	20.56%	19.08%	24.10%	27.22%	29.86%	17.85%	19.37%	20.13%
# Accel/Km [km ⁻¹]	21.868	13.013	17.652	16.365	15.904	25.517	25.550	16.786	26.194	17.609	19.644
RMS [m ² /s ²]	0.609	0.474	0.543	0.713	0.526	0.713	0.741	0.495	0.672	0.540	0.585
PKE [m/s ²]	0.455	0.046	0.363	0.381	0.399	0.405	0.383	0.306	0.399	0.358	0.380
SFC [L/100km]	11.280	10.664	11.492	12.334	11.481	12.543	11.775	8.477	14.818	11.262	13.403
KI [km ⁻¹]	1.581	1.185	1.357	0.899	1.301	1.454	1.690	0.888	0.767	1.503	1.176

Tabla 9. Parámetros característicos del patrón de conducción. [Autores]

La velocidad máxima del patrón de conducción corresponde al valor máximo obtenido en el vehículo 3, Renault Logan, es igual a 29.167m/s, lo que equivale a 105 km/h, es un valor coherente, pues alcanzar esta velocidad máxima es posible en el área metropolitana de Bucaramanga.

Por otro lado, la aceleración y desaceleración máxima del patrón de conducción coinciden con los registraos en el vehículo 6, Ssangyong Korando, los valores de aceleración y desaceleración del patrón de manejo oscilan entre 5.99m/s^2 y -5.84m/s^2 . Los demás de parámetros característicos del patrón de conducción tienen valores similares en los CPs calculados individualmente para cada vehículo.

5.7. CONSTRUCCIÓN DEL CICLO

La representatividad del ciclo de conducción depende principalmente de tres factores: (a) la calidad y cantidad de los datos de operación del vehículo, (b) el método de construcción del ciclo de conducción, y (c) los CPs utilizados para evaluar la representatividad del ciclo de conducción [43]. Actualmente, el estado del arte en tecnologías de la información y la comunicación permite monitorear las variables operativas (velocidad, tiempo, consumo de combustible) de una gran muestra de vehículos con una frecuencia de muestreo de 1 Hz a un bajo costo. Sin embargo, no existe una metodología unificada para construir ciclos de conducción y evaluar su representatividad. [8]

Según la tabla 1, el total del parque automotor del área metropolitana es de 703.075, si se quisiera tomar una muestra del 1% se tendrían que monitorear como mínimo siete mil vehículos, esto se sale de los alcances del proyecto, por tal motivo no se tiene en cuenta el primer factor para obtener un ciclo de conducción representativo. Como se definió inicialmente, para este estudio se tomó una muestra de 10 vehículos. Debido a lo mencionado anteriormente, el enfoque de este proyecto acerca de la representatividad del ciclo centra su interés a los factores b y c.

El método usado fue Micro viajes – basado en combustible (Microtrips Fuel Based Method- MTFBM), lo primero que se hizo fue dividir los trayectos en micro viajes que son segmentos de viajes que comienzan y terminan con una velocidad del vehículo de cero. Se obtuvieron 3072 micro viajes de los 222 viajes registrados en la base de datos.

Luego, los micro viajes se agruparon en función de su velocidad promedio y aceleración positiva promedio. Este proceso de agrupamiento se implementó en el software estadístico Minitab, a través de la herramienta Conglomerados de observaciones, utilizando centroides como método de vinculación, distancias euclidianas y un nivel de similitud del 95%. Se obtuvieron 14 grupos (clusters).

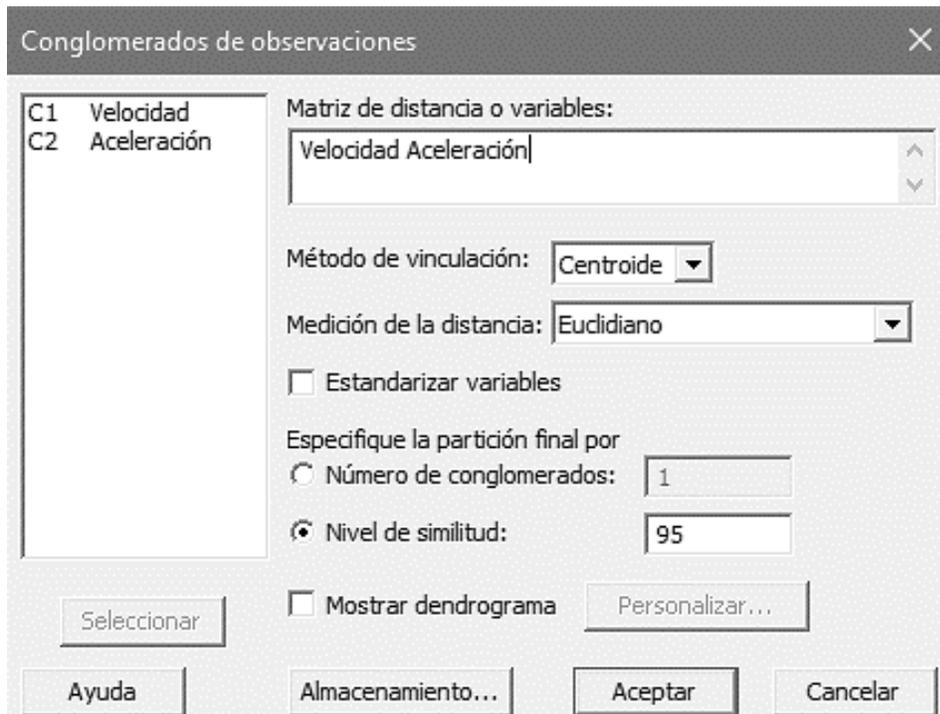


Figura 25. Configuración del agrupamiento realizado en Minitab. [Autores]

La distancia euclidiana es un caso especial de la distancia de Minkowski (donde p es igual a 2) y es una métrica de uso común para evaluar la diferencia entre dos puntos. La distancia euclidiana también se ha utilizado ampliamente en pruebas de software, incluidas las pruebas aleatorias adaptativas basadas en la distancia (DART).

La distancia p de Minkowski entre puntos N -dimensionales $x=(x_1, x_2, \dots, x_N)$ y $y=(y_1, y_2, \dots, y_N)$ se define como:

$$dist_p(x, y) = \left(\sum_{i=1}^N |x_i - y_i|^p \right)^{1/p} \quad (34)$$

Donde p es una constante que debe fijarse de antemano. Cuando $p = 2$, por ejemplo, la distancia p de Minkowski se convierte en la distancia euclidiana; cuando $p = 1$, se convierte en la distancia de Manhattan.[64]

Luego de calcular los micro trips y los clusters, se creó una nueva base de datos en Excel a partir de la obtenida anteriormente y se anexó la información de micro viajes y grupos, esta base de datos actualizada contiene 300902 filas y 23 columnas:

- A) Tiempo total [s]
- B) No. Viaje
- C) Vehículo
- D) Tiempo
- E) RPM
- F) Velocidad [km/h]
- G) Velocidad [m/s]
- H) Aceleración [m/s²]
- I) Distancia [m]
- J) Distancia acum. [m]
- K) Altitud
- L) Pendiente
- M) Consumo fuel [L/s]
- N) "Micro-Trip [-]"
- 15) "N. M-Trip [-]"
- 16) Vel. Prom. [m/s]
- 17) Acel. Prom. [m/s²]
- 18) Cluster
- 19) No. Cluster [-]
- 20) Probabilidad
- 21) VSP [kW/t]
- 22) V³* [m³/s²]
- 23) Ca+ [m²/s²]

Tiempo total [s]	No. Viaje	Vehículo	Tiempo	RPM	Velocidad [km/h]	Velocidad [m/s]	Aceleración [m/s ²]	Distancia [m]	Distancia acumulada [m]	Altitud	Pendiente	Consumo fuel [L/s]	Micro-Trip [-]	N. M-Trip [-]	Vel. Prom. [m/s]	Acel. Prom. [m/s ²]	Cluster	No. Cluster [-]	Probabilidad	VSP [kW/t]	V ³ * [m ³ /s ²]	Ca+ [m ² /s ²]
1	1	1	1	736.25	0	0	0	0	0	0	0	0.000242	1	1	8.788245	0.732743	1	1	0.023948	0	0	0
2	1	1	2	736.25	0	0	0	0	0	0.016	0.016	0.000242	1	2	4.836601	1.050685	2	2	0.121745	0	0	0
3	1	1	3	731.25	0	0	0	0	0	0	0	0.000242	1	3	3.455596	0.920221	3	3	0.19043	0	0	0
4	1	1	4	731.25	0	0	0	0	0	0.007	0.007	0.000242	1	4	5.084423	0.747816	2	4	0.077739	0	0	0
5	1	1	5	781.75	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.000242	1	5	7.780449	0.534446	4	5	0.115234	0	0	0
6	1	1	6	781.75	0	0	0	0	0	-0.021	-0.021	0.000242	1	6	4.203704	0.54343	3	6	0.421224	0	0	0
7	1	1	7	773.75	0	0	0	0	0	-0.009	-0.009	0.000242	1	7	6.368687	0.717728	4	7	0.019531	0	0	0
8	1	1	8	773.75	0	0	-0.23162	0.347917	0.347917	0.022	0.022	0.000242	1	8	7.739616	0.759067	4	8	0.044323	0	0	0
9	1	1	9	773.75	0	0	1.621992	1.3375	1.735417	0.024	0.024	0.000242	1	9	6.152326	0.949901	4	9	0.005893	0	5.358368	3.858025
10	1	1	10	1784.75	10	2.777778	1.615524	1.333056	3.128472	-0.007	-0.007	0.000242	1	10	4.483618	0.874486	3	10	0.000977	4.710476	21.43347	0
11	1	1	11	1784.75	10	2.777778	-0.43361	2.743056	5.871523	0.018	0.018	0.000978	1	11	2.931968	0.757453	3	11	0.000977	-0.31763	21.43347	0
12	1	1	12	2209.25	10	2.777778	1.453793	4.02375	9.895279	0.019	0.019	0.000599	1	12	2.178184	0.776235	5	12	0.000977	4.386234	71.63602	10.06944
13	1	1	13	2209.25	19	5.277778	1.453794	4.023748	13.91803	0.017	0.017	0.000599	1	13	2.586867	0.882523	3	13	0.000326	9.394949	147.022	0
14	1	1	14	1787.5	19	5.277778	-0.20875	4.95535	18.87438	0.018	0.018	0.000368	1	14	1.163931	0.445802	6	14	0.000951	0.640394	147.022	0
15	1	1	15	1787.5	19	5.277778	-0.06931	5.392708	24.26708	0.019	0.019	0.000368	1	15	0.555556	0.706018	6			1.428105	147.022	0
16	1	1	16	2000.25	19	5.277778	0.487574	5.67736	29.94444	0.019	0.019	0.001451	1	16	0.138889	0.162037	6			4.367133	185.6406	4.74537
17	1	1	17	2000.25	22	6.111111	0.254121	6.05375	35.93619	0.018	0.018	0.001451	1	17	0.531634	0.238611	6			3.583481	228.2236	0
18	1	1	18	2000.25	22	6.111111	1.550366	7.395835	43.33403	0.017	0.017	0.002671	1	18	1.093727	0.85182	6			11.44947	436.3426	20.83333
19	1	1	19	2826.25	32	8.888889	1.621992	7.4925	50.88853	0.007	0.007	0.002671	1	19	5.964804	1.029321	2			18.49724	702.332	0
20	1	1	20	2826.25	32	8.888889	-0.34722	8.715274	59.6018	0.008	0.008	0.002671	1	20	0.682838	0.472495	6			-0.9197	702.332	0
21	1	1	21	2073.75	32	8.888889	0.806357	9.621669	69.22347	0.009	0.009	0.001714	1	21	1.840653	0.534844	5			9.426855	884.7576	13.31019
22	1	1	22	2073.75	37	10.277778	0.766188	9.623817	78.84729	0.013	0.013	0.001714	1	22	0.228588	1.236236	6			10.94877	1065.67	0
23	1	1	23	2073.75	37	10.277778	0.208333	10.36195	89.22224	0.016	0.016	0.001454	1	23	2.989371	0.978852	3			5.418958	1176.312	5.864188
24	1	1	24	1732.5	39	10.833333	0.482501	10.35757	93.59868	0.017	0.017	0.000484	1	24	4.381551	0.59342	3			8.70266	1271.412	0
25	1	1	25	1732.5	39	10.833333	-1.01852	9.930558	109.5174	0.018	0.018	0	1	25	3.148148	0.766723	3			-7.23548	1066.344	0
26	1	1	26	1504.5	33	9.166667	-0.95002	9.955313	119.4727	0.019	0.019	0	1	26	2.190857	0.785519	5			-5.4747	770.2548	0

Figura 26. Base de datos con micro trips y clusters. [Autores]

Seguido de esto se procedió a importar la base de datos a Matlab donde se construye el ciclo de conducción por medio de un programa.

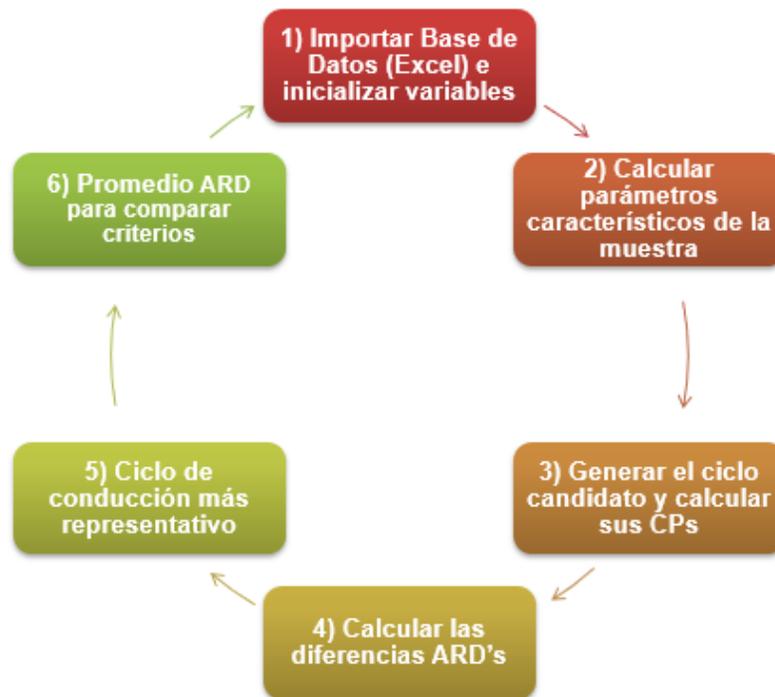


Figura 27. Diagrama del algoritmo. [Autores].

Inicialmente se inicializan las variables como el número de iteraciones, y algunas referencias mínimas como las revoluciones por minuto, luego se realiza el cálculo de los parámetros característicos de la muestra, es decir, los del patrón de conducción.

Después, se seleccionaron un conjunto de viajes de forma cuasi aleatoria en función de la distribución de frecuencias de los grupos, Dentro de cada grupo, cada micro viaje tiene la misma probabilidad de ser seleccionado, en seguida, se unieron para producir un ciclo de conducción candidato con una duración superior a 20 min, en la iniciación de variables se definió como duración mínima del ciclo 1260 segundos (21 minutos) y se obtuvo un ciclo de 1343 segundos, lo que es equivalente a 22 minutos.

En la revisión de literatura se observan los tiempos de duración de cada ciclo de conducción construido por diferentes autores, en diferentes años de publicación, en donde el más común corresponde al rango de 1000- 1500 segundos.

La duración del ciclo no debe ser demasiado corta para tener suficientes micro viajes para reflejar los patrones de conducción del mundo real. Sin embargo, no debería ser demasiado largo ya que no es práctico para experimentos con

dinamómetro. La mayoría de los ciclos de conducción legislativos tienen una duración de ciclo entre 10 y 30 min. [57]

Los criterios para la aceptación del ciclo de conducción candidato como ciclo de conducción representativo se basan en el grado de similitud entre el ciclo de conducción candidato (CP^*) y los patrones de conducción. Este grado de representatividad se mide por la diferencia relativa (RD_i) entre los parámetros característicos del ciclo de conducción candidato y los CPs que describen el patrón de conducción (Ecuación 35). Los valores inferiores al 5% se utilizan normalmente como umbral aceptable. De lo contrario, el método se reinicia y selecciona un nuevo grupo de micro viajes. [8]

$$RD_i = \frac{\sum(CP_i^* - CP_i)}{CP_i} \quad (35)$$

El método micro trips (MT) es reproducible pero no repetible debido a su naturaleza estocástica. Por lo tanto, el ciclo de conducción representativo resultante cambia cada vez que se aplica el método a pesar de utilizar el mismo conjunto de datos de viajes como datos de entrada. Esta variación en los ciclos de conducción resultantes genera diferencias en los valores de CPs obtenidos, dificultando la comparación justa en el grado de representatividad de los ciclos de conducción construidos con los cuatro conjuntos de criterios de evaluación. Como alternativa, se aplicó el método MT varias veces y se determinó la tendencia y la dispersión de cada RD_i . La tendencia del RD_i se describió a través de las diferencias relativas promedio (ARD_i), que se calcula mediante la Ecuación 36. La dispersión de cada RD_i se cuantificó a través de su rango intercuartílico (IQR_i).

$$ARD_i = \frac{\sum_{j=1}^n |CP_i^* - CP_{ij}|}{nCP_i} \quad (36)$$

En la ecuación 36 n es el número total de iteraciones realizadas (1000), j es el número de iteraciones. Tanto el ARD_i como el IQR_i pueden variar entre 0 e infinito. Los valores ARD_i e IQR_i cercanos a cero indican una gran similitud entre el ciclo de conducción construido y el patrón de conducción.

Finalmente, se calculó el valor promedio total del ARD_i (\bar{ARD}_i , Ecuación. 37) y se utilizó para comparar los criterios.

$$\bar{ARD}_i = \frac{\sum_{j=1}^w ARD_i}{w} \quad (37)$$

De manera similar, se hizo para el IQR_i (\bar{IQR}_i , Ecuación 38). En las ecuaciones (3) y (4), los subíndices i se refieren a cualquiera de los CP de la Tabla 5 y, por lo tanto, w = 18.

$$\bar{IQR}_i = \frac{\sum_{i=1}^w IQR_i}{w} \quad (38)$$

6. RESULTADOS OBTENIDOS

6.1. CICLO DE CONDUCCIÓN

El ciclo de conducción obtenido es de 1343 segundos, alcanza una velocidad máxima de 16.38 [m/s], en la gráfica se puede observar que en 274s se alcanza este pico de velocidad llegando a los 60 [km/h].

También se muestra que hay varias partes de tiempo de inactividad donde la velocidad es igual a cero, esto se puede interpretar como las paradas que realiza un conductor durante su trayecto, estas pausas pueden representar las esperas en los semáforos o las paradas voluntarias para recoger a alguien u otro motivo. Debido a la estructura vial del área metropolitana de Bucaramanga es común que en un viaje de más de 20 minutos se realicen varias paradas.

Dentro de la ciudad no hay autopistas con trayectos tan largos sin que sean interrumpidas por semáforos, señales de detención, cruces o algún factor que obligue al conductor a detenerse por un periodo corto de tiempo. Por tales motivos difícilmente es posible transitar frecuentemente a velocidades altas, además la cantidad de vehículos circulando generan trancones que obligan el manejo de velocidades medias.

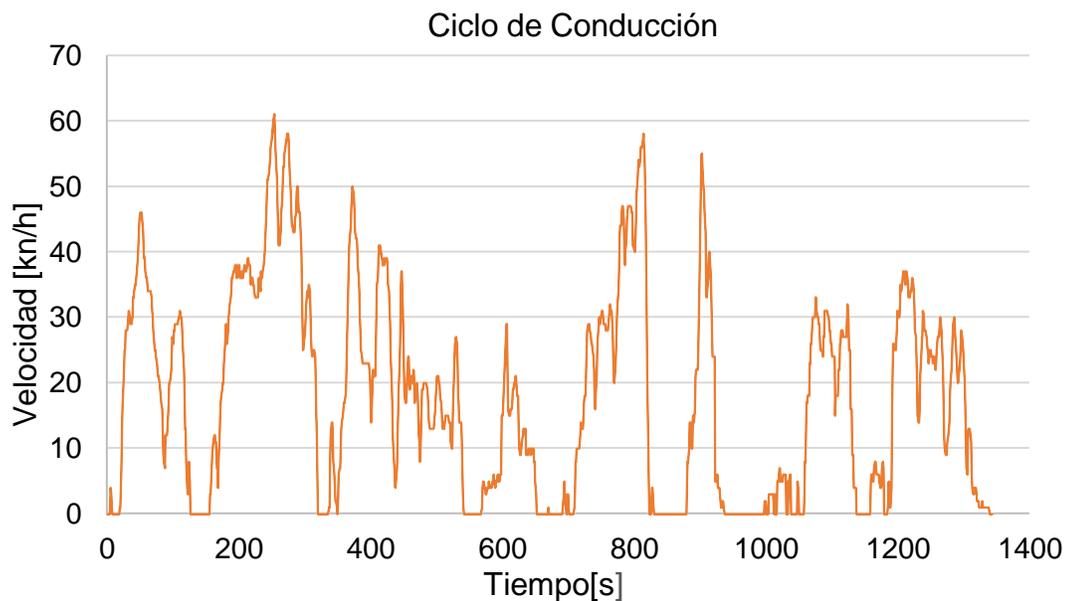


Figura 28. Ciclo de conducción. [Autores]

6.2. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS – DIFERENCIAS RELATIVAS.

Para visualizar los parámetros característicos obtenidos del ciclo de conducción y sus diferencias relativas con respecto al patrón de manejo se crearon diagramas de cajas y bigotes para datos agrupados por medio de la herramienta boxplot de Matlab. Adicionalmente se agregaron círculos verdes con el comando scatter, los cuales muestran el valor de las diferencias relativas promedio (ARD_i),

En cada cuadro, la marca central indica la mediana, y los bordes inferior y superior del cuadro indican los percentiles 25 y 75, respectivamente. Los bigotes se extienden a los puntos de datos más extremos que no se consideran valores atípicos, y los valores atípicos se trazan individualmente utilizando el símbolo '+' [66] Como se puede observar en la figura 29 para el caso de las aceleraciones por kilómetro se puede ver que el valor de ARD es igual a 16.3 y la mediana corresponde a 13.476. Adicionalmente se presentan 22 datos atípicos de los 1000 obtenidos mediante las iteraciones realizadas. Debido a que correr el código con mil iteraciones tiene un alto coste computacional y requiere varias horas de procesamiento, se ejecutó el código con menos iteraciones y se pudo observar que a menor cantidad de iteraciones se obtenían menos datos atípicos, como se muestra en la figura 30.

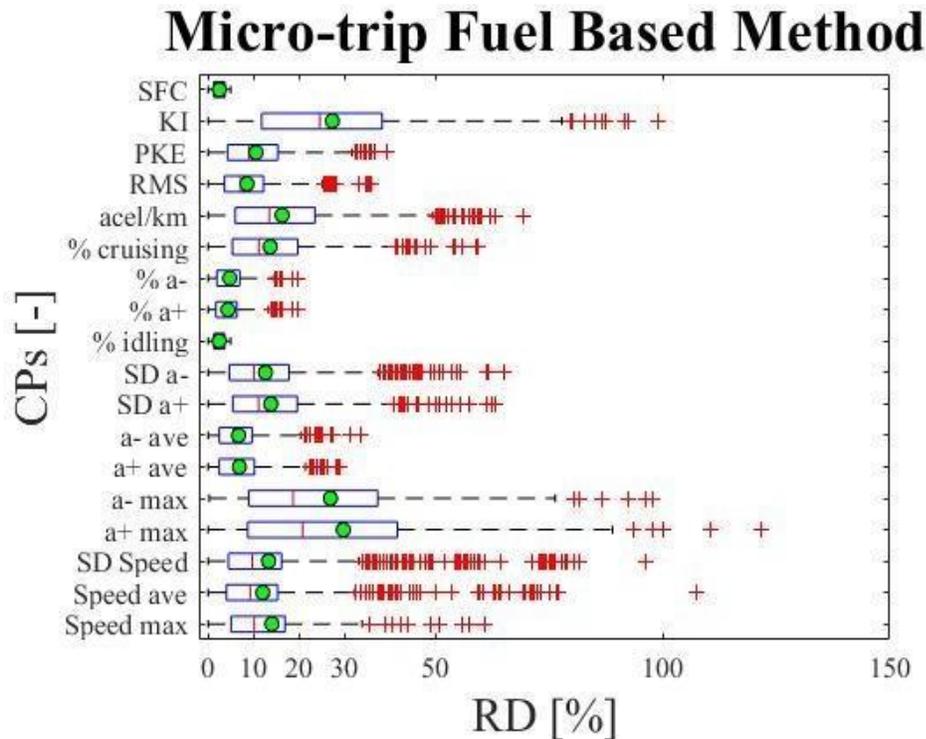


Figura 29. Diagrama de cajas y bigotes de las diferencias relativas luego de realizar 1000 iteraciones. [Autores]

Micro-trip Fuel Based Method

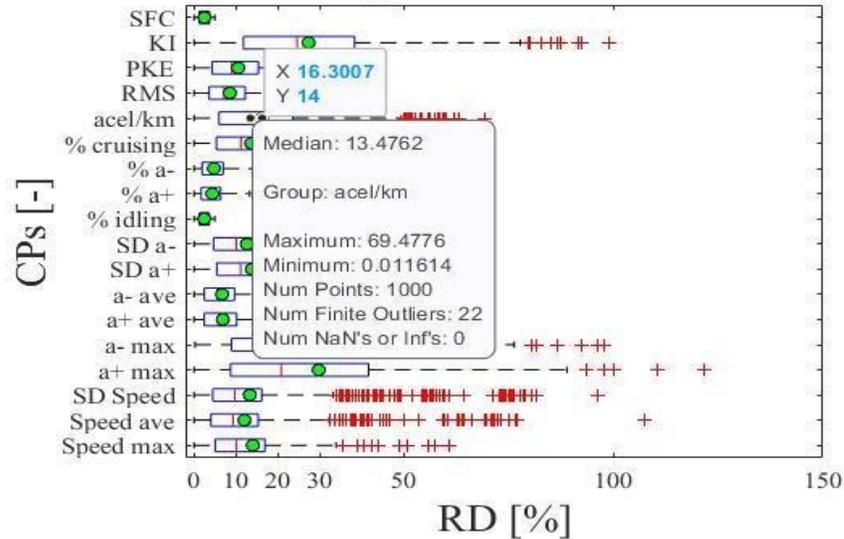


Figura 30. Mediana y ARD del número de aceleraciones por kilómetro. [Autores]

Micro-trip Fuel Based Method

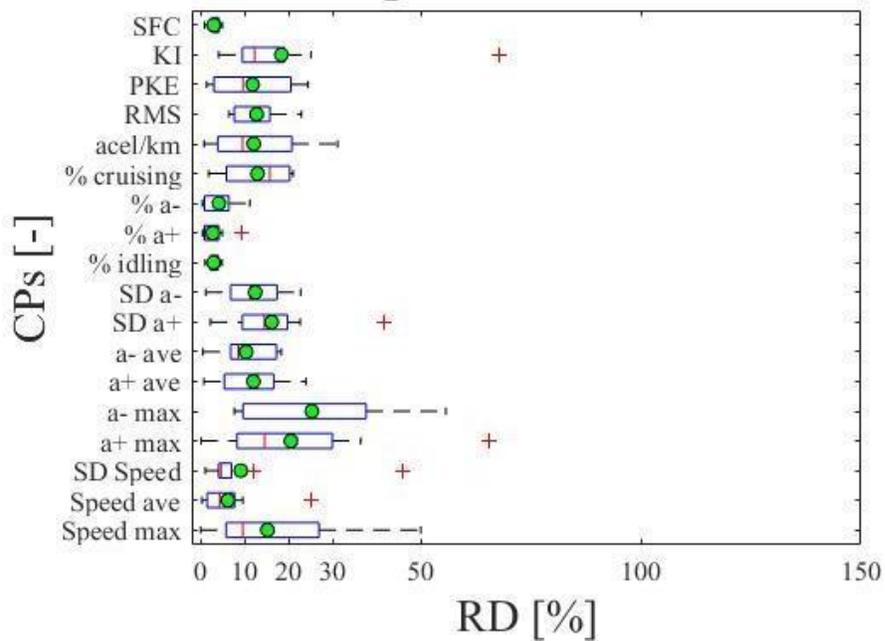


Figura 31. Diagrama de cajas y bigotes de las diferencias relativas luego de realizar 10 iteraciones. [Autores]

Se registraron los valores de los parámetros característicos obtenidos del ciclo de conducción y del patrón de conducción y se compararon mediante las diferencias relativas promedio (ARD_i).

En la tabla 10 se puede observar que los porcentajes de ARD son menores al 30%, el porcentaje en ralentí es el parámetro característico con mayor similitud, ya que su ARD es del 2.46%, por otro lado, la aceleración máxima tiene un 29.78% de ARD, en el patrón de conducción se alcanza una aceleración de 5.9 m/s^2 , mientras que en el ciclo de conducción se obtuvo un valor máximo de 2.6 m/s^2 pero son valores picos que no son tan frecuentes, por otro lado, la aceleración promedio tiene menor porcentaje de ARD, lo que significa que los valores son más semejantes.

Parámetro Característico	Patrón de Conducción.	Ciclo de Conducción	%ARD
Velocidad máxima [m/s]	29.1667	16.3889	14.06102
Velocidad promedio [m/s]	6.2384	5.1415	12.04961
Std. Dev speed [m/s]	5.7346	4.3056	13.31536
Aceleración máxima [m/s^2]	5.9954	2.6289	29.78058
Desaceleración máxima [m/s^2]	-5.8392	-2.9167	26.94222
Aceleración promedio [m/s^2]	0.5886	0.5661	6.882014
Desaceleración promedio [m/s^2]	-0.6285	-0.6207	6.726044
Desviación Estándar de aceleración [m/s^2]	0.4732	0.4352	13.82516
Desviación Estándar desaceleración [m/s^2]	0.5199	0.4831	12.66078
Porcentaje en ralentí	24.70%	23.46%	2.460472
Porcentaje acelerando	28.47%	29.78%	4.402098
Porcentaje desacelerando	26.70%	27.13%	4.767739
Porcentaje en cruce	20.13%	19.63%	13.67196
Número de aceleraciones por kilómetro [km^{-1}]	19.6436	22.7386	16.30074
Raíz media cuadrática [m^2/s^2]	0.5845	0.5665	8.566293
Energía cinética positiva [m/s^2]	0.3797	0.3865	10.53903
Consumo específico de combustible [L/100km]	13.4027	0.1331	2.511124
Intensidad cinética [km^{-1}]	1.1756	2.2300	27.36579

Tabla 10. Comparación de los parámetros característicos del patrón de conducción y el ciclo de conducción. [Autores].

6.3. GRÁFICAS SAPD Y VSP

Para visualizar mejor estos resultados obtenidos de procedió a realizar las gráficas de probabilidad velocidad-aceleración (SAPD) y potencia específica del vehículo (VSP).

6.3.1. SAPD

En las figuras 31 y 32 se presenta un pico notorio de probabilidad alrededor de 0.20 y en velocidades cercanas a cero. Estos resultados son congruentes con los registrados en la tabla 10, el porcentaje en ralentí es de 24.70% en el patrón de conducción y 23.46% en el ciclo de conducción. El porcentaje ARD entre amabas gráficas es de 0.836%, lo cual comprueba la similitud visual que se puede observar.

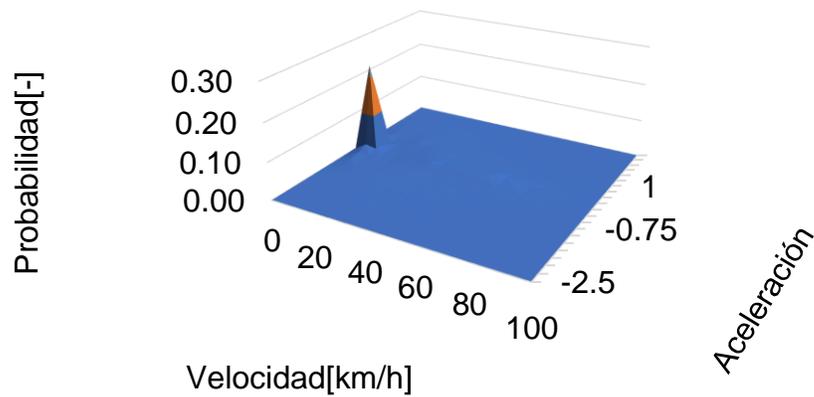


Figura 32. Distribución de probabilidad velocidad-aceleración (SAPD) del patrón de conducción. [Autores].

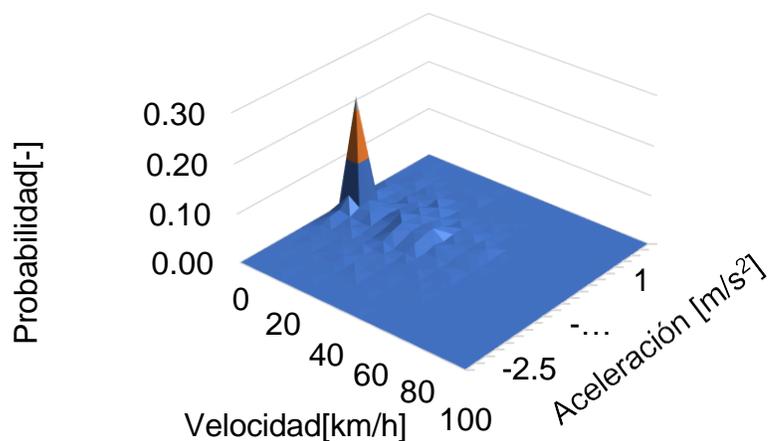


Figura 33. Distribución de probabilidad velocidad-aceleración (SAPD) del ciclo de conducción. [Autores].

Para observar mejor las gráficas de SAPD, se realizó un acercamiento al cambiar el rango de probabilidad de 0 a 0.5, de esta forma se puede ver que las velocidades bajas (0-40km/h) y medias(40-80km/h) son las más frecuentes. En 40km/h se observa otro pico de probabilidad, las velocidades con más alta probabilidad tienen un comportamiento similar al que se observan en la figura 27, velocidades bajas, comúnmente menores a 60 km/h.

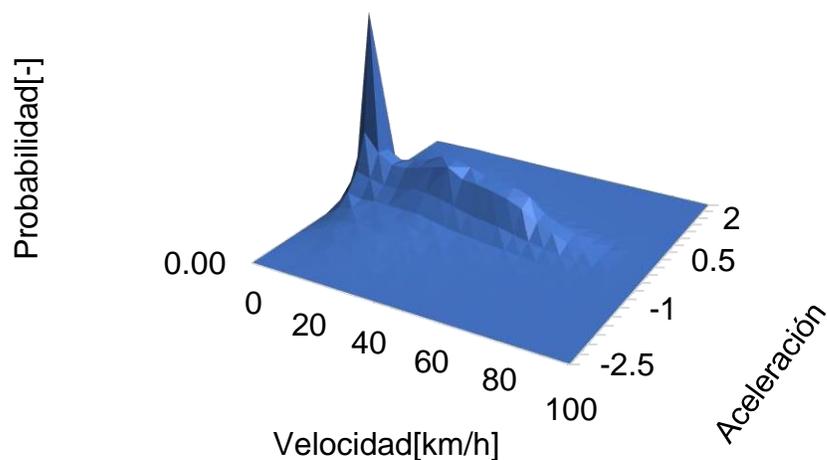


Figura 34. Distribución de probabilidad velocidad-aceleración (SAPD) del patrón de conducción. Acercamiento, rango de 0-0.5 de probabilidad. [Autores].

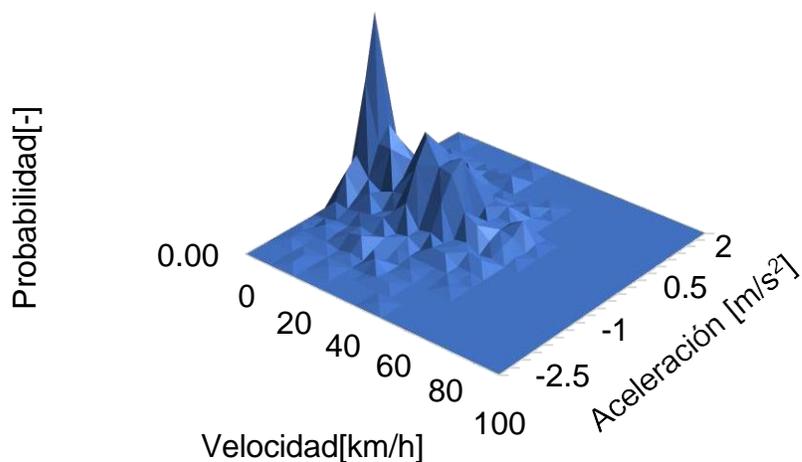


Figura 35. Distribución de probabilidad velocidad-aceleración (SAPD) del ciclo de conducción. Acercamiento, rango de 0-0.5 de probabilidad. [Autores].

Por otra parte, se puede ver que la aceleración y desaceleración son más recurrentes en el rango entre -1m/s^2 y 1m/s^2 . Para observar esto se graficó la vista superior de la gráfica de SAPD y se muestran a continuación. En la figura 35 se presentan velocidades superiores a 60km/h , aunque son poco frecuentes, en esta grafica se tienen en cuenta todos los valores de velocidad muestreados, mientras que en la figura 36 no se alcanzan velocidades mayores a 60 km/h , pues en el ciclo de conducción obtenido esta es la velocidad máxima.

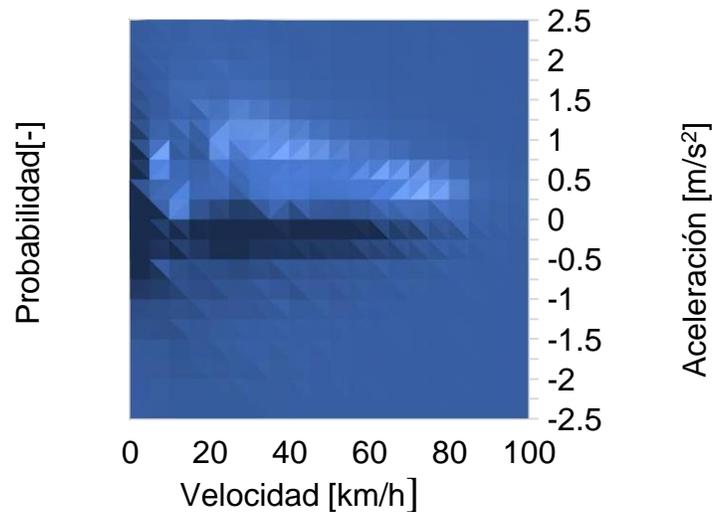


Figura 36. Vista superior de la distribución de probabilidad velocidad-aceleración (SAPD) del patrón de conducción. [Autores].

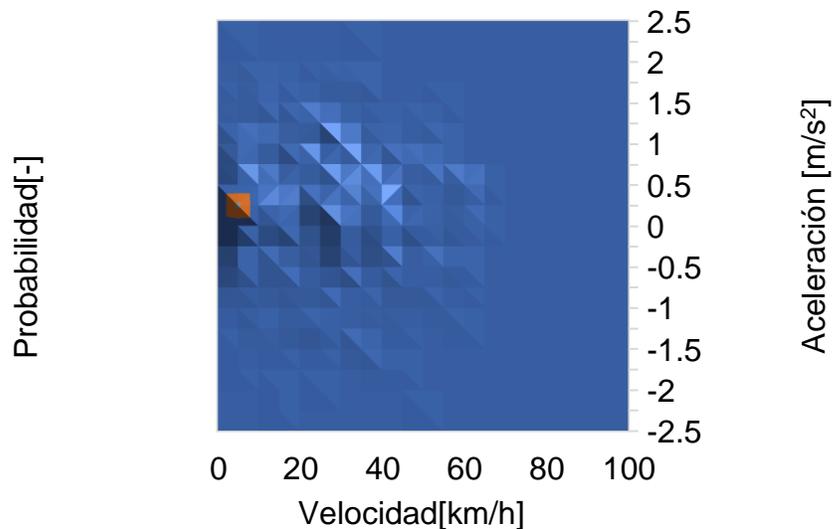


Figura 37. Vista superior de la distribución de probabilidad velocidad-aceleración (SAPD) del ciclo de conducción. [Autores].

6.3.2. VSP

También se realizaron gráficas de la potencia específica del vehículo, su probabilidad y relación con la velocidad.

En términos generales, se considera que la velocidad y la aceleración son las que más afectan las emisiones. VSP explica cómo las diferentes condiciones de conducción de un automóvil afectan las emisiones desde el punto de vista de la física. La distribución de VSP incluye una parte negativa y una parte positiva.

La parte negativa de VSP se deriva de la velocidad y la desaceleración. El movimiento positivo del vehículo (cruce o aceleración) da como resultado valores VSP positivos. [53]

En el modelo internacional de emisiones vehiculares (IVE), los patrones de conducción están caracterizados usando dos parámetros, la potencia específica del vehículo (VSP) y el estrés del motor. El término estrés o esfuerzo de motor al que se hace referencia se relaciona con las revoluciones del motor y el tiempo en el cual el vehículo ha estado operando a un nivel de VSP más alto. Mientras más altas sean las revoluciones y/o más alto sea el nivel de VSP durante 20 segundos antes de un evento, mayor será el nivel de estrés, y por lo tanto mayores las emisiones generadas por el motor. [67]

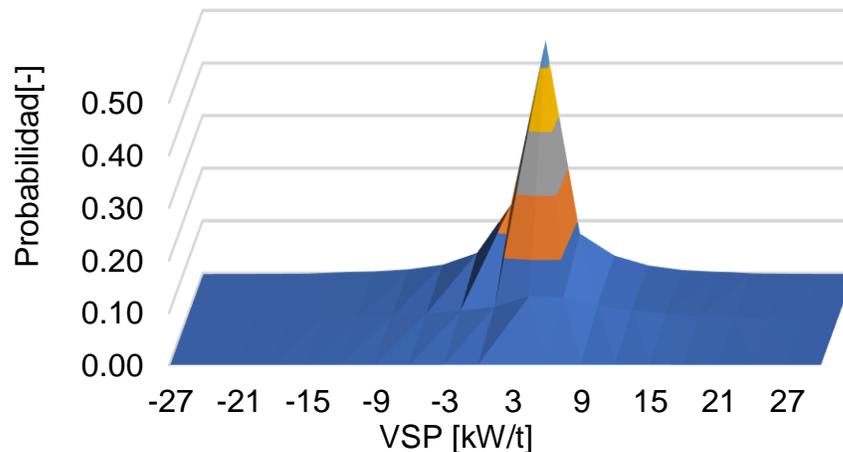


Figura 38. Potencia específica del vehículo (VSP) del patrón de conducción. Gráfica de superficie. [Autores]

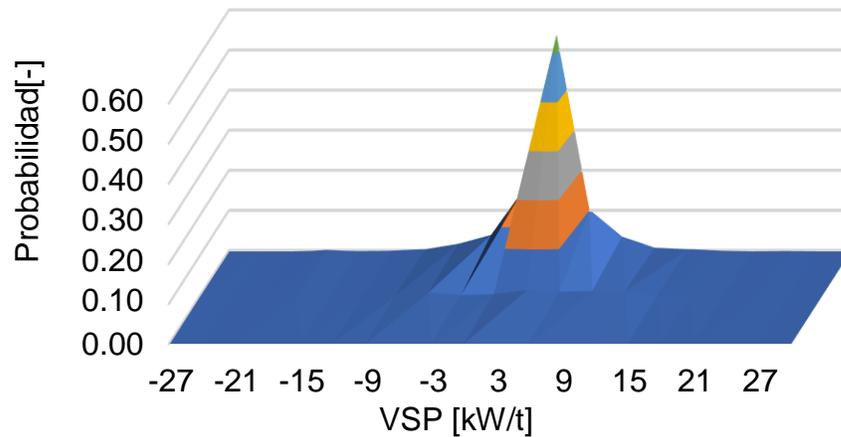


Figura 39. Potencia específica del vehículo (VSP) del ciclo de conducción. Gráfica de superficie. [Autores].

Las dos gráficas anteriores son muy similares, en ambas se observa un pico donde la potencia específica del vehículo es de 3 kW/t, en este punto en el patrón de conducción hay una probabilidad de 0.4433 y en el ciclo de conducción este valor corresponde a 0.5383. Estos valores se obtienen a bajas velocidades, para observar mejor las velocidades con relación al VSP se realizaron gráficas, donde se encuentran tres rangos de velocidades: velocidad baja: 0km/h – 40km/h, velocidad media: 40km/h – 80 km/h y velocidad alta: 80km/h en adelante.

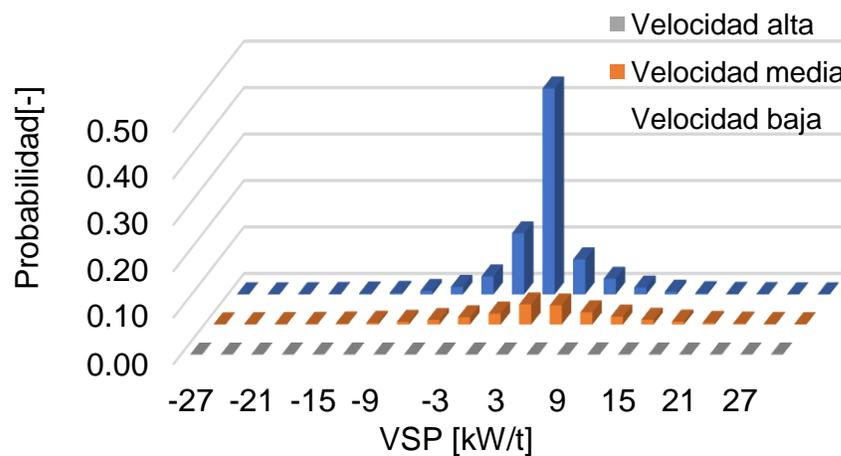


Figura 40. Potencia específica del vehículo (VSP) del patrón de conducción. Gráfica de barras. [Autores]

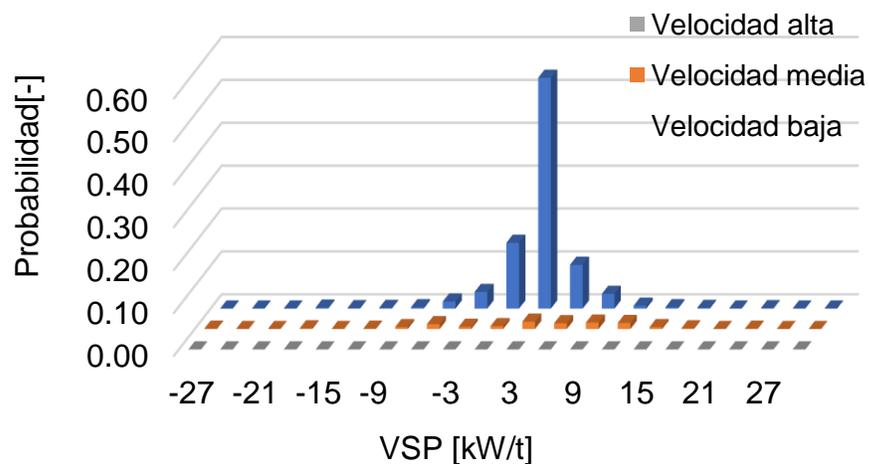


Figura 41. Potencia específica del vehículo (VSP) del ciclo de conducción.
Gráfica de barras. [Autores]

Como se ha analizado anteriormente, en este estudio las velocidades más comunes están en el rango de velocidad baja, por tal motivo, en las gráficas de barras se observa que es más probable que los valores obtenidos de VSP se encuentren dentro de estas bajas velocidades.

Entre las gráficas de VSP hay un porcentaje ARD de 0.747% , lo cual significa que las diferencias entre el patrón de conducción y el ciclo de conducción son mínimas en términos de potencia específica del vehículo.

6.4. COMPARACIÓN

Para validar el ciclo de conducción obtenido, se compara con ciclos de otras ciudades, principalmente se comparan los parámetros característicos y también por medio de las gráficas de SAPD/SAFD y VSP.

6.4.1. COMPARACIÓN DE PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS

En la siguiente tabla se compara el ciclo de conducción obtenido en este estudio (BGA2021: Navarro, Garcia – Bga (Col)), con diez ciclos de conducción como se muestra a continuación en la tabla:

CICLO CP	Max S	Ave S	SD S	Max a+	Max a-	Ave a+	Ave a-	SD a+	SD a-
BGA-2021	16.39	5.14	4.31	2.63	-2.92	0.57	-0.62	0.44	0.48
BGA-2019	13.33	2.21	3.62	4.44	-5	1.03	-1.18	0.75	0.89
TOL	28.1	12	8.9	2	-2.5	0.4	-0.5	0.2	0.4
CDMX	22.3	7.3	6.9	1.3	-2.1	0.5	-0.5	0.2	0.4
MDC	-	5.63	-	-	-	0.54	-0.53	-	-
HK	21.58	6.94	-	-	-	0.59	-0.6	-	-
NYCC	12.39	3.17	-	-	-	0.71	-0.7	-	-
LA92	30.06	11	-	-	-	0.67	-0.75	-	-
FTP-72	25.36	8.75	-	-	-	0.6	-0.69	-	-
FTP-75	25.36	9.47	-	-	-	0.61	-0.7	-	-
ECE 15 + EUDC	33.36	11.42	8.15	-	-	0.32	-0.4	0.26	-

Tabla 11. Comparación de parámetros característicos. (Parte 1) [Autores]

CICLO CP	% idl	% a+	% a-	% cru	AKM	RMS	PKE	SFC	KI
BGA-2021	23.46	29.78	27.13	19.63	22.74	0.57	0.39	0.13	2.23
BGA-2019	62.5	59.8	52.1	26.3	27.05	0.46	0.29	0.22	1.91
TOL	9.9	29.5	25.6	34.9	7.3	0.4	0.24	-	-
CDMX	15.1	32.9	29.3	22.7	8.6	0.5	0.4	-	0.8
MDC	21.75	37.34	37.69	3.22	-	0.63	6.66	-	-
HK	17.8	34.5	34.2	12	36	0.73	0.4	-	-
NYCC	36.2	27.9	28.2	6.3	7	0.91	0.55	-	-
LA92	15.2	38.2	34.1	12.2	9.63	0.85	0.41	-	-
FTP-72	17.6	32.8	28.3	20.9	6.9	0.74	0.38	-	-
FTP-75	17.9	32.4	28.2	21.2	7	0.76	0.38	-	-
ECE 15 + EUDC	21	27	20	32	16	0.13	-	-	-

Tabla 12. Comparación de parámetros característicos. (Parte 2) [Autores]

Los diez ciclos de conducción mostrados en la tabla corresponden a:

- BGA2019: De León – Bga (Col) [65]
- TOL: Huertas- Toluca (Mex) [14]
- CDMX: Quirama - CDMX (Mex) [8]
- MDC: Mohammad -Mashhad (Iran) [9]
- HK: Hung- Hong Kong (China) [57]
- NYCC: The New York City Cycle) [57]
- LA 92 (California Unified Cycle) [57]
- FTP-72 (American Driving Cycle) [57]
- FTP-75 (American Driving Cycle) [57]
- ECE 15 + EUDC (European Driving Cycle) [57]

Se puede observar que los valores de aceleración y desaceleración promedio son similares en todos los ciclos de conducción, por otro lado, los porcentajes de ralentí, acelerado, desacelerado y cruce varían mucho. Los valores de energía cinética positiva (PKE) y raíz media cuadrática de la aceleración (RMS) son todos semejantes y menores a 1. La velocidad promedio va de un rango desde 2m/s hasta 12 m/s.

Los resultados obtenidos son coherentes, porque los ciclos de conducción presentados en la tabla son de distintas ciudades del mundo y se presenta similitud en algunos parámetros característicos, no sería lógico que todos los CPs sean parecidos porque las rutas, estudios, tráfico, población y otros factores que afectan el ciclo son diferentes para cada caso de estudio.

6.4.2. COMPARACIÓN SAPD/SAFD

En China e India construyeron ciclos de conducción de una forma similar a la implementada en este estudio, puesto que se usaron las mismas técnicas de recolección de datos, en Hong Kong además de la medición a bordo (OBD) se empleó la técnica de persecución de vehículo (chase car), y en Mashhad únicamente se usó medición a bordo (OBD) al igual que en este proyecto.

A continuación, se muestran las gráficas de SAPD/SAFD obtenidas en cada ciudad donde se puede observar que tiene un comportamiento bastante similar a las que se obtuvieron en este estudio, se presenta el mismo pico en velocidades cercanas a cero, esto se debe a que tienen alto porcentaje en ralentí.

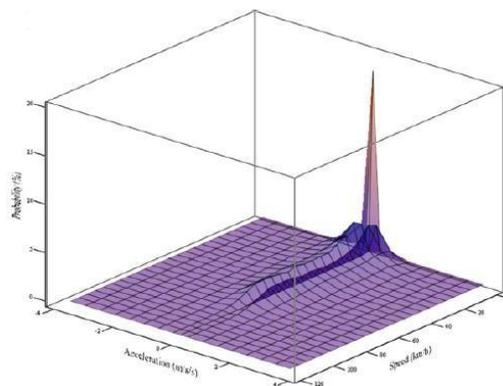


Figura 42SAPD de viajes urbanos en general- Hong Kong. [57].

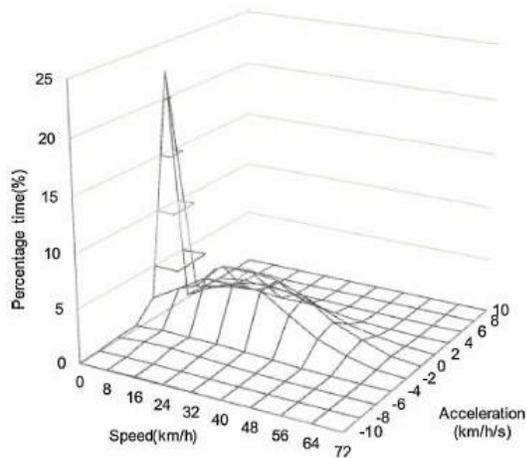


Figura 43.SAFD - Gráfico de distribución de frecuencia de velocidad-aceleración en Mashhad. [9]

6.5. INTERFAZ PARA VISUALIZAR RESULTADOS.

Para la elaboración de la interfaz que permita visualizar la información del ciclo de conducción realizado del área metropolitana de Bucaramanga, se trabaja con el programa MATLAB, en la sección de diseño de aplicaciones se crea una nueva aplicación. A continuación, se presentan los componentes más comunes para trabajar la aplicación, cada componente tiene su respectiva selección de ayuda para entender de mejor manera en que casos usar cada componente.

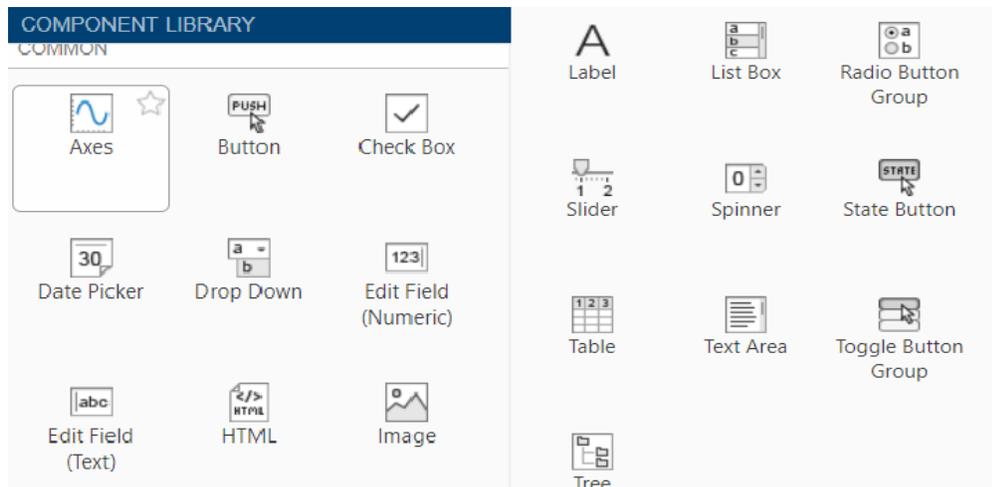


Figura 44.Librería de componentes comunes app designer. [Matlab]

Lo interesante de esta herramienta es que permite realizar la interfaz sin tener que escribir gran cantidad de código, simplemente escogiendo los componentes necesarios y por medio de algunas opciones se puede organizar la información de

forma sencilla, el programa crea automáticamente el código interno basado en las opciones que se habiliten.

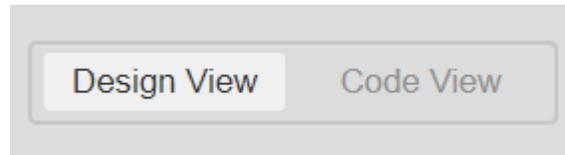


Figura 45. Vistas para la creación de la interfaz. [Matlab].

El objetivo de la interfaz es presentar de forma sencilla la información obtenida de la base de datos correspondiente a los 10 vehículos monitoreados en el área metropolitana de Bucaramanga, para esto se tienen en cuenta 7 aspectos que son los que se presentan gráficamente en la interfaz.

1. Ficha técnica de los vehículos.
2. Parámetros característicos de los vehículos.
3. Comparación de parámetros característicos de vehículos.
4. Parámetros característicos del ciclo de conducción del área metropolitana de Bucaramanga.
5. Ciclo de conducción del área metropolitana de Bucaramanga.
6. Comparación entre las gráficas de SAPD del patrón de conducción y el ciclo de conducción construido.
7. Comparación entre las gráficas de VSP del patrón de conducción y el ciclo de conducción construido.

Una vez definida la información que se desea presentar, se procede a organizar los botones y gráficos en la interfaz, como se observa en la figura 45. Es importante mencionar que la interfaz presenta imágenes o tablas del ciclo de conducción determinado en MATLAB, no se realizan los gráficos en tiempo real debido a que para determinar la gráfica del ciclo de conducción o los parámetros característicos del mismo debe correr el código durante varias horas, de acuerdo con las iteraciones que se tienen en cuenta para la construcción del ciclo de conducción. Adicionalmente, se crea un display gráfico que es donde se visualizan las gráficas de cada botón. Se agregan algunas líneas de código para vincular cada gráfica con el botón definido y con el display gráfico.



Figura 46. Botones interfaz. [Autores]

En la figura 46, se define la imagen del ciclo de conducción guardada y la muestra en el eje grafico una vez se oprima el botón. Un procedimiento similar se realiza con los 7 botones, se agregan las gráficas guardadas previamente.

```
% Callbacks that handle component events
methods (Access = private)

% Button pushed function: CicludeconduccionButton
function CicludeconduccionButtonPushed(app, event)
    global imagen1
    imagen1 = imread("DC_Vvst.PNG");
    imshow(imagen1, 'Parent', app.UIAxes);
    app.Image2.Visible = 'off';
end
```

Figura 47. Guardar imagen ciclo de conducción. [Autores]

En la figura 46, se define la imagen del ciclo de conducción guardada y la muestra en el eje grafico una vez se oprima el botón. Un procedimiento similar se realiza con los 7 botones, se agregan las gráficas guardadas previamente. Para evitar tener que abrir MATLAB cada vez que se desee visualizar la información del ciclo de conducción determinado, se procede a crear una aplicación de escritorio independiente.

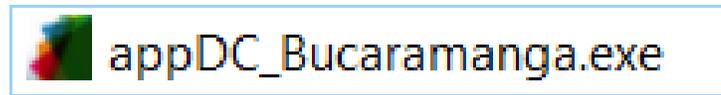


Figura 48. Aplicación del ciclo de conducción. [Autores]

En la figura 48 se observa la interfaz creada, es fácil de usar, simplemente se debe oprimir un botón dependiendo el tipo de grafica o tabla que se desee visualizar.

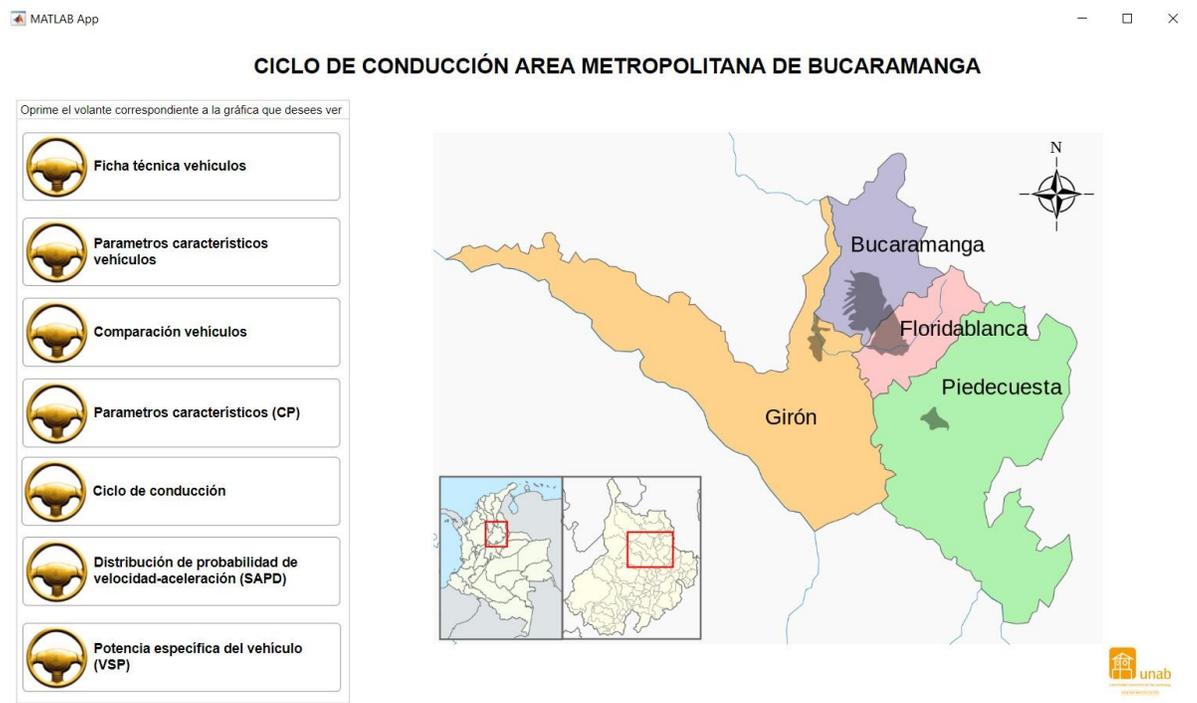


Figura 49. Interfaz. [Autores]

CICLO DE CONDUCCIÓN AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

Oprime el volante correspondiente a la gráfica que desees ver


Ficha técnica vehículos


Parametros característicos vehículos


Comparación vehículos


Parametros característicos (CP)


Ciclo de conducción


Distribución de probabilidad de velocidad-aceleración (SAPD)


Potencia específica del vehículo (VSP)

# Vehículo	Marca	Modelo	Año de fabricación	Cilindrada [L]	Área Frontal [m ²]	Peso Bruto [kg]	Tipo de transmisión	Género del conductor	Edad del Conductor
1	Chevrolet	Onix turbo	2021	1	2.14	1497	Automático	Masculino	52
2	Renault	Sandero	2010	1.6	1.9	1515	Mecánico	Masculino	49
3	Renault	Logan	2014	1.5	2.38	1521	Mecánico	Masculino	22
4	Chevrolet	Spark GT	2017	1.2	2.17	1368	Mecánico	Masculino	18
5	Kia	Rio Spice	2012	1.4	2.07	1063	Automático	Femenino	21
6	Ssangyong	Korando	2015	2	2.25	2040	Automático	Masculino	23
7	Chevrolet	Spark GT	2011	1.2	1.9	1153	Mecánico	Femenino	29
8	Mazda	Mazda 3	2009	2	2.01	2268	Mecánico	Masculino	25
9	Chevrolet	Spark GT	2016	1.2	1.9	1153	Mecánico	Femenino	24
10	Renault	Sandero	2012	1.6	2.2	1515	Mecánico	Masculino	27

Figura 50. Ficha técnica vehículos. [Autores]

Al oprimir el botón correspondiente a la ficha técnica de los vehículos, se obtiene un listado donde adicionalmente a los datos técnicos del vehículo se agrega información correspondiente al género y a la edad del conductor, esta información corresponde a la registrada en la tabla 5.

En el botón de los parámetros característicos de los vehículos muestra toda la información obtenida de la base de datos correspondiente a los 10 vehículos, estos parámetros fueron determinados de acuerdo con las variables monitoreadas de cada vehículo y registradas en cada viaje.

En el siguiente botón se obtiene una tabla con la comparación de los parámetros característicos en 2 casos, el primero es con los viajes de los 10 vehículos monitoreados en el área metropolitana de Bucaramanga, el segundo caso es asumiendo que solo se tienen en cuenta los viajes monitoreados de 5 vehículos para poder determinar si ocurren grandes variaciones en los parámetros característicos.

Esta opción es algo extra en la interfaz, ya que para la construcción del ciclo de conducción se tuvieron en cuenta la base de datos de los 10 vehículos monitoreados.

CICLO DE CONDUCCIÓN AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

Oprime el volante correspondiente a la gráfica que desees ver

-  Ficha técnica vehículos
-  Parametros característicos vehículos
-  Comparación vehículos
-  Parametros característicos (CP)
-  Ciclo de conducción
-  Distribución de probabilidad de velocidad-aceleración (SAPD)
-  Potencia específica del vehículo (VSP)

VEHÍCULO	10 VEHÍCULOS			5 VEHÍCULOS		
	PC	CC	%ARD	PC	CC	%ARD
Max. Speed [m/s]	29.167	16.389	14.061	29.167	14.444	23.546
Average Speed[m/s]	6.238	5.142	12.050	5.839	4.157	14.237
Std. Dev speed [m/s]	5.735	4.306	13.315	5.793	3.843	17.653
Max + acc[m/s^2]	5.995	2.629	29.781	4.694	2.382	20.796
Max - acc.[m/s]	-5.839	-2.917	26.942	-5.787	-2.685	26.481
Average + acc[m/s]	0.589	0.566	6.882	0.593	0.610	6.727
Average - acc[m/s]	-0.628	-0.621	6.726	-0.633	-0.616	6.976
Std. Dev + acc[m/s^2]	0.473	0.435	13.825	0.450	0.430	10.456
Std. Dev - acc[m/s^2]	0.520	0.483	12.661	0.501	0.449	10.679
% Idle	24.700%	23.456%	246.047%	27.291%	27.941%	2.490
% Acel	28.473%	29.779%	440.210%	28.502%	30.294%	4.808
% Des	26.701%	27.132%	476.774%	26.801%	29.779%	4.506
% Crus	20.126%	19.632%	1367.196%	17.405%	11.985%	14.686
# Accel/Km [km^-1]	19.644	22.739	16.301	18.886	25.118	15.102
RMS [m^2/s^2]	0.585	0.567	8.566	0.578	0.586	7.869
PKE [m/s^2]	0.380	0.387	10.539	0.402	0.460	10.891
SFC[L/100km]	13.403	0.133	2.511	15.689	0.133	2.544
VSP [kW/ton]	1.164	0.894	51.218	1.067	0.663	62.844
KI [km^-1]	1.176	2.230	27.366	1.238	3.331	30.175



Figura 51. Comparación parámetros característicos vehículos. [Autores]

CICLO DE CONDUCCIÓN AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

Oprime el volante correspondiente a la gráfica que desees ver

-  Ficha técnica vehículos
-  Parametros característicos vehículos
-  Comparación vehículos
-  Parametros característicos (CP)
-  Ciclo de conducción
-  Distribución de probabilidad de velocidad-aceleración (SAPD)
-  Potencia específica del vehículo (VSP)

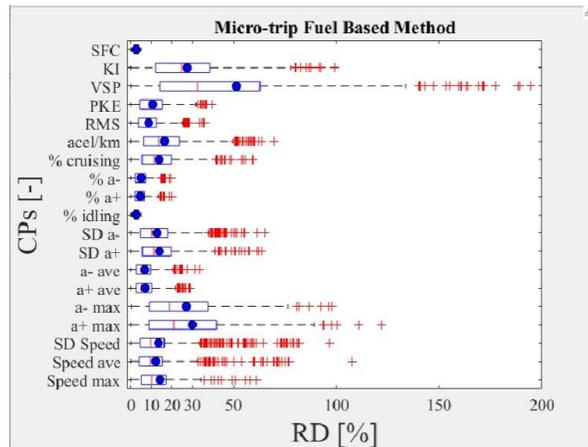


Figura 52. Grafica parámetros característicos. [Autores]

En la figura 51, se observa la gráfica de parámetros característicos correspondiente al ciclo de conducción construido para el área metropolitana de Bucaramanga, con base a esta grafica es que se organizaron los datos en la tabla de parámetros característicos de los vehículos, la gráfica se elabora con los datos obtenidos con 1000 iteraciones en el código de MATLAB.

El siguiente botón corresponde a la gráfica del ciclo de conducción construido del área metropolitana de Bucaramanga, en la figura 52 se puede observar la gráfica de velocidad vs tiempo que se obtiene de MATLAB, en donde se puede tener una idea del tipo de conducción en la ciudad con sus velocidades máximas y tiempo en reposo.

Adicionalmente, como se muestra en la figura 53 se puede ver una comparación entre las gráficas de distribución de probabilidad de velocidad-aceleración (SAPD) del patrón de manejo y el ciclo de conducción obtenido.

Finalmente, se comparan las gráficas de potencia específica del vehículo (VSP) para el caso del patrón de manejo y el ciclo de conducción obtenido.

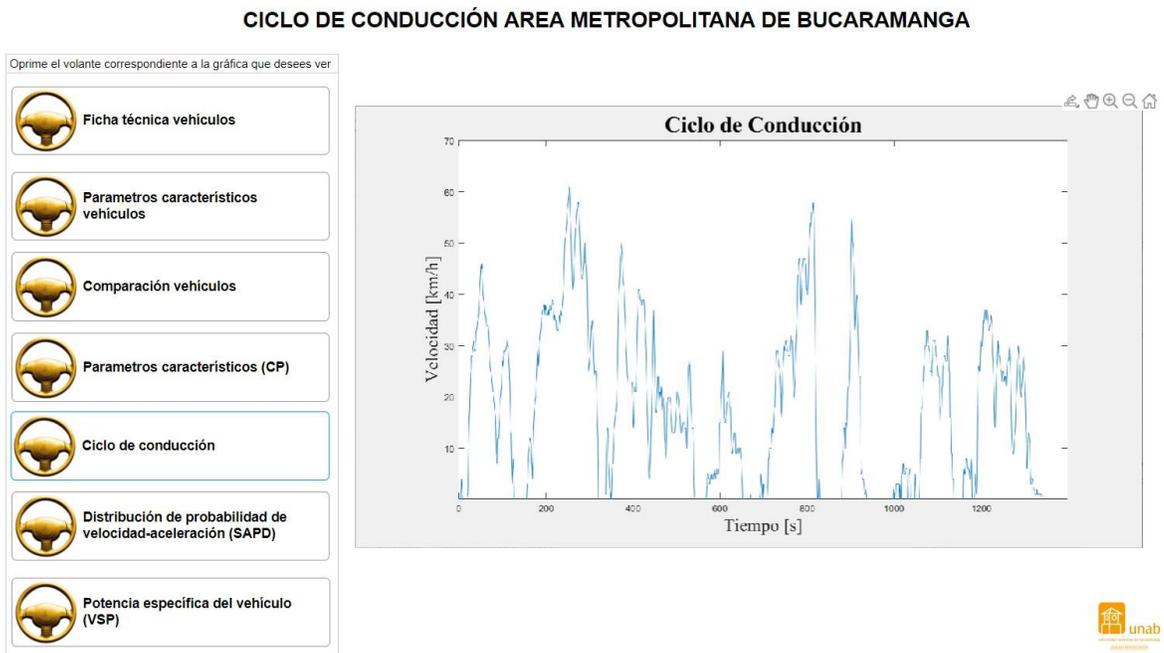


Figura 53.Ciclo de conducción área metropolitana de Bucaramanga. [Autores]

CICLO DE CONDUCCIÓN AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

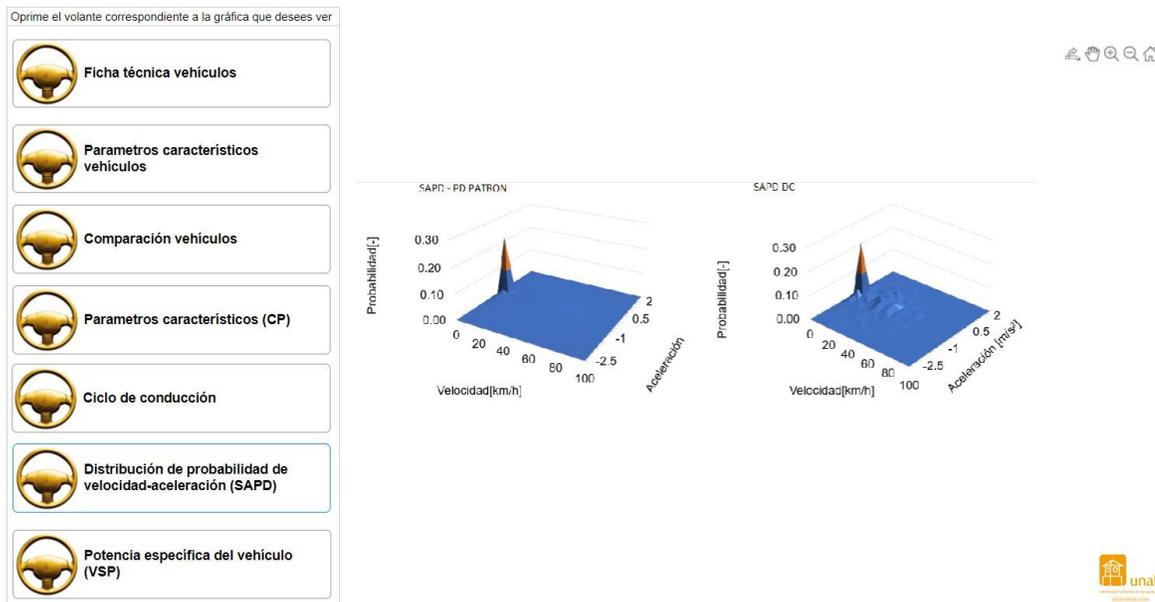


Figura 54. Gráficas SAPD. [Autores].

7. CONCLUSIONES

- Se desarrolló un ciclo de conducción para el área metropolitana de Bucaramanga mediante el monitoreo segundo a segundo, vía diagnóstico a bordo, de una muestra de diez vehículos que circularon libremente en la ciudad sin horarios ni rutas establecidas.
- Se obtuvo un ciclo de conducción con una duración de 1343 segundos, lo que es equivalente a 22 minutos, donde la velocidad máxima es de 16.38 [m/s], es decir, que no se superan los 60 km/h, y se presenta un porcentaje en ralentí de 23.46%.
- Los resultados obtenidos son coherentes debido a que dentro del área metropolitana de Bucaramanga es difícil alcanzar velocidades muy altas porque no se cuentan con autopistas con trayectos muy largos sin que se vean interrumpidos por semáforos o señales de tránsito.
- El método usado fue Micro viajes – basado en combustible (Microtrips Fuel Based Method- MTFBM), donde los criterios de evaluación son el consumo específico de combustible (SFC), la velocidad promedio y el porcentaje de tiempo en ralentí. Se obtuvieron 3072 micro viajes de los 222 viajes registrados en la base de datos.

- El ciclo de conducción obtenido tiene una representatividad parcial, ya que para obtener una muestra representativa se debían monitorear mínimo 7000 vehículos, lo cual estaba fuera del alcance del proyecto, además la pandemia del covid-19 disminuyó la movilidad en el área metropolitana debido a las diversas restricciones implementadas por el gobierno.
- El método micro viajes (MT) es reproducible pero no repetible debido a su naturaleza estocástica, ya que produce un ciclo de conducción diferente cada vez que se aplica el método. Se repitió el proceso de construcción del ciclo de conducción 1000 veces, se calcularon todos los RD_i en cada iteración y se registraron las diferencias relativas promedio (ARD_i).
- El área metropolitana de Bucaramanga tiene alto relieve, esto es una limitante en la construcción del ciclo de conducción ya que el método implementado no tiene en cuenta la altura.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda usar dispositivos de conexión Bluetooth debido a que la mayoría de los conductores usan sus datos móviles en los trayectos.
- Es importante crear una copia de respaldo de los archivos sin editar, es decir, los archivos .csv, ya que si se comete algún error en el proceso se puede recurrir a estos.
- Se requiere un costo computacional alto para la ejecución del programa en Matlab, se recomienda contar con un computador con buena capacidad para evitar inconvenientes
- Es preferible finalizar cada viaje corto cerrando la aplicación Torque pro para evitar pérdida de datos en trayectos muy largos.
- Se recomienda ingresar los datos de posición en la herramienta GPS Visualizer para visualizar mediante un mapa el recorrido y así comprobar la veracidad de los datos.

9. TRABAJO FUTURO

- Seguir monitoreando vehículos para obtener mayor cantidad de vehículos, preferiblemente tomar una muestra diferente de vehículos y con conductores de distintas edades.
- Construir el ciclo de conducción con varios métodos y comparar los resultados obtenidos.
- Tener en cuenta el alto relieve de la ciudad en la construcción del ciclo de conducción.
- Sugerir campañas de eco-driving.
- Analizar la influencia de los micro viajes en el ciclo de conducción.
- Usar instrumentación más precisa y que permita el monitoreo de todo tipo de vehículos.
- Crear una interfaz interactiva con el usuario, incluyendo la visualización de resultados.
- Utilizar otros métodos de clusterización como k-means y pca.

10. REFERENCIAS

- [1]. X. Zhao, Q. Yu, J. Ma, Y. Wu, M. Yu, and Y. Ye, "Development of a representative EV urban driving cycle based on a k-Means and SVM hybrid clustering algorithm," *J. Adv. Transp.*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/1890753
- [2]. J. Zhang, Z. Wang, P. Liu, Z. Zhang, X. Li, and C. Qu, "Driving cycles construction for electric vehicles considering road environment: A case study in Beijing," *Appl. Energy*, vol. 253, 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.113514.
- [3]. P. Yuhui, Z. Yuan, and Y. Huibao, "Development of a representative driving cycle for urban buses based on the K-means cluster method," *Cluster Comput.*, vol. 22, pp. 6871–6880, 2019, doi: 10.1007/s10586-017-1673-y.
- [4]. Y. Yang *et al.*, "Development and emissions performance analysis of local driving cycle for small-sized passenger cars in Nanjing, China," *Atmos. Pollut. Res.*, vol. 10, no. 5, pp. 1514–1523, 2019, doi: 10.1016/j.apr.2019.04.009.

- [5]. Z. Wang, J. Zhang, P. Liu, C. Qu, and X. Li, "Driving cycle construction for electric vehicles based on Markov chain and Monte Carlo method: A case study in Beijing," in *Energy Procedia*, 2019, vol. 158, pp. 2494–2499, doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.389.
- [6]. R. Tharvin *et al.*, "Development of Driving Cycle for Passenger Car under Real World Driving Conditions in Kuala Lumpur, Malaysia," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 429, no. 1, doi: 10.1088/1757-899X/429/1/012047.
- [7]. P. Shen, Z. Zhao, J. Li, and X. Zhan, "Development of a typical driving cycle for an intra-city hybrid electric bus with a fixed route," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 59, pp. 346–360, 2018, doi: 10.1016/j.trd.2018.01.032.
- [8]. L. F. Quirama, M. Giraldo, J. I. Huertas, and M. Jaller, "Driving cycles that reproduce driving patterns, energy consumptions and tailpipe emissions," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 82, 2020, doi: 10.1016/j.trd.2020.102294.
- [9]. M. A. Pouresmaeili, I. Aghayan, and S. A. Taghizadeh, "Development of Mashhad driving cycle for passenger car to model vehicle exhaust emissions calibrated using on-board measurements," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 36, pp. 12–20, 2018, doi: 10.1016/j.scs.2017.09.034.
- [10]. Y.-L. T. Nguyen, T.-D. Nghiem, A.-T. Le, and N.-D. Bui, "Development of the typical driving cycle for buses in Hanoi, Vietnam," *J. Air Waste Manag. Assoc.*, vol. 69, no. 4, pp. 423–437, 2019, doi: 10.1080/10962247.2018.1543736.
- [11]. S. Mongkonlerdmanee and S. Koetnuyom, "Development of a realistic driving cycle using time series clustering technique for buses: Thailand case study," *Eng. J.*, vol. 23, no. 4, pp. 49–65, 2019, doi: 10.4186/ej.2019.23.4.49.
- [12]. S. K. Mayakuntla and A. Verma, "A novel methodology for construction of driving cycles for Indian cities," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 65, pp. 725–735, 2018, doi: 10.1016/j.trd.2018.10.013.
- [13]. T. Koossalapeerom, T. Satiennam, W. Satiennam, W. Leelapatra, A. Seedam, and T. Rakpukdee, "Comparative study of real-world driving cycles, energy consumption, and CO₂ emissions of electric and gasoline motorcycles driving in a congested urban corridor," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 45, pp. 619–627, 2019, doi: 10.1016/j.scs.2018.12.031.
- [14]. J. I. Huertas, L. F. Quirama, M. D. Giraldo, and J. Díaz, "Comparison of driving cycles obtained by the micro-trips, markov-chains and mwd-cp methods," *Int. J. Sustain. Energy Plan. Manag.*, vol. 22, pp. 109–120, 2019, doi: 10.5278/ijsepm.2554.
- [15]. J. I. Huertas, L. F. Quirama, M. Giraldo, and J. Díaz, "Comparison of three methodologies for driving cycles construction," 2018.
- [16]. J. I. Huertas, M. Giraldo, L. F. Quirama, and J. Díaz, "Driving cycles based on fuel consumption," *Energies*, vol. 11, no. 11, 2018, doi: 10.3390/en11113064.

- [17]. J. I. Huertas, J. Díaz, D. Cordero, and K. Cedillo, "A new methodology to determine typical driving cycles for the design of vehicles power trains," *Int. J. Interact. Des. Manuf.*, vol. 12, no. 1, pp. 319–326, 2018, doi: 10.1007/s12008-017-0379-y.
- [18]. Geetha and C. Subramani, "Development of driving cycle under real world traffic conditions: A case study," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 9, no. 6, pp. 4798–4803, 2019, doi: 10.11591/ijece.v9i6.pp4798-4803.
- [19]. N. H. Arun, S. Mahesh, G. Ramadurai, and S. M. Shiva Nagendra, "Development of driving cycles for passenger cars and motorcycles in Chennai, India," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 32, pp. 508–512, 2017, doi: 10.1016/j.scs.2017.05.001.
- [20]. N. Anida, I. S. Ismail, J. S. Norbakyah, W. H. Atiq, and A. R. Salisa, "Characterisation and development of driving cycle for work route in Kuala Terengganu," *Int. J. Automot. Mech. Eng.*, vol. 14, no. 3, pp. 4508–4517, 2017, doi: 10.15282/ijame.14.3.2017.9.0356.
- [21]. H. Y. Tong and W. T. Hung, "A framework for developing driving cycles with on-road driving data," *Transp. Rev.*, vol. 30, no. 5, pp. 589–615, 2010, doi: 10.1080/01441640903286134.
- [22]. V. C. Magaña, "Eco-driving: ahorro de energía basado en el comportamiento del conductor," *Carlos III Madrid*, 2014.
- [23]. L. A. Giraldo Amaya, "Estimación del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá e identificación de variables pertinentes." Bogotá-Uniandes, 2006.
- [24]. A. H. Gomez, "Desarrollo de ciclos de conducción para el área metropolitana Centro Occidente-AMCO." Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Mecánica ..., 2014.
- [25]. A. H. Restrepo, Y. A. Carranza, and J. E. Tibaquira, "Diseño y aplicación de una metodología para determinar ciclos de conducción vehicular en la ciudad de Pereira," *Sci. Tech.*, vol. 1, no. 37, 2007.
- [26]. A. H. Restrepo, S. Izquierdo, and R. A. López, "Estimación de factores que inciden sobre la contaminación ambiental generada por fuentes móviles en pereira," *Sci. Tech.*, vol. 1, no. 37, 2007.
- [27]. A. Valdez Aguilera "Desarrollo de Ciclos de Conducción Vehicular en el Municipio de Naucalpan-Edición Única." Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, 2004, [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/11285/572354>. 2004
- [28]. F. D. E. U. N. P. DE CARRERAS, C. PETROL, B. E. I. M. ESPAÑA, P. J. C. TIPÁN, M. D. E. L. Z. LÓPEZ, and I. N. G. I. BENAVIDES, "TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN FINANZAS Y AUDITORÍA."
- [29]. Q. Shi, B. Liu, Q. Guan, L. He, and D. Qiu, "A genetic ant colony algorithm-based driving cycle generation approach for testing driving range

of battery electric vehicle,” *Adv. Mech. Eng.*, vol. 12, no. 1, 2020, doi: 10.1177/1687814019901054.

- [30]. Y. Peng, Y. Zhuang, and Y. Yang, “A driving cycle construction methodology combining k-means clustering and Markov model for urban mixed roads,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part D J. Automob. Eng.*, vol. 234, no. 2–3, pp. 714–724, 2020, doi: 10.1177/0954407019848873.
- [31]. X. Zheng et al., “Real-world fuel consumption of light-duty passenger vehicles using on-board diagnostic (OBD) systems,” *Front. Environ. Sci. Eng.*, vol. 14, no. 2, 2020, doi: 10.1007/s11783-019-1212-6.
- [32]. Chauhan, B. P., Joshi, G. J., & Purnima, P. (2020). Candidate Driving Cycle Construction for Emission Estimation. In *Transportation Research* (pp. 85-97). Springer, Singapore.
- [33]. Zhang, H., & Yao, Y. G. (2019). Construction of a Light-duty Vehicle Driving Cycle Based on Urban Road. *Journal of Highway and Transportation Research and Development (English Edition)*, 13(4), 95-101.
- [34]. Tong, H. Y., Tung, H. D., Hung, W. T., & Nguyen, H. V. (2011). Development of driving cycles for motorcycles and light-duty vehicles in Vietnam. *Atmospheric Environment*, 45(29), 5191-5199.
- [35]. Lai, J., Yu, L., Song, G., Guo, P., & Chen, X. (2013). Development of city-specific driving cycles for transit buses based on VSP distributions: Case of Beijing. *Journal of transportation engineering*, 139(7), 749-757.
- [36]. Tzirakis, E., & Zannikos, F. (2015). Development of processing methodologies used to form complete driving-cycle dynamometer tests based on urban on-road driving and road gradient data. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 229(1), 97-110.
- [37]. Hwa, M. Y., & Yu, T. Y. (2014). Development of real-world driving cycles and estimation of emission factors for in-use light-duty gasoline vehicles in urban areas. *Environmental monitoring and assessment*, 186(7), 3985-3994.
- [38]. Zhao, X., Ma, J., Wang, S., Ye, Y., Wu, Y., & Yu, M. (2019). Developing an electric vehicle urban driving cycle to study differences in energy consumption. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(14), 13839-13853.
- [39]. Ho, S. H., Wong, Y. D., & Chang, V. W. C. (2014). Developing Singapore Driving Cycle for passenger cars to estimate fuel consumption and vehicular emissions. *Atmospheric environment*, 97, 353-362.
- [40]. Wu, X., Hu, C., & Du, J. (2015). Development of a driving cycle for city bus in Harbin of China. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*, 7(2), 104-119.
- [41]. Seers, P., Nachin, G., & Glaus, M. (2015). Development of two driving cycles for utility vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 41, 377-385.

- [42]. Brady, J., & O'Mahony, M. (2016). Development of a driving cycle to evaluate the energy economy of electric vehicles in urban areas. *Applied energy*, 177, 165-178.
- [43]. Berzi, L., Delogu, M., & Pierini, M. (2016). Development of driving cycles for electric vehicles in the context of the city of Florence. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 47, 299-322.
- [44]. Yang, Y., Zhang, Q., Wang, Z., Chen, Z., & Cai, X. (2018). Markov chain-based approach of the driving cycle development for electric vehicle application. *Energy Procedia*, 152, 502-507.
- [45]. Mahayadin, A. R., Ibrahim, I., Zunaidi, I., Shahrman, A. B., Faizi, M. K., Sahari, M., ... & Rani, M. F. H. (2018, August). Development of Driving Cycle Construction Methodology in Malaysia's Urban Road System. In *2018 International Conference on Computational Approach in Smart Systems Design and Applications (ICASSDA)* (pp. 1-5). IEEE.
- [46]. Anida, I. N., & Salisa, A. R. (2019). Driving cycle development for Kuala Terengganu city using k-means method. *International Journal of Electrical & Computer Engineering (2088-8708)*, 9(3).
- [47]. Anida, I. N., Norbakyah, J. S., Zulfadli, M., Norainiza, M. H., & Salisa, A. R. (2019). Driving cycle development of BAS KITE in Kuala Terengganu city to optimize the energy consumption and emissions. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 469, No. 1, p. 012112). IOP Publishing.
- [48]. Kaymaz, H., Korkmaz, H., & Erdal, H. (2019). Development of a driving cycle for Istanbul bus rapid transit based on real-world data using stratified sampling method. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 75, 123-135.
- [49]. Zhao, X., Ye, Y., Ma, J., Shi, P., & Chen, H. (2020). Construction of electric vehicle driving cycle for studying electric vehicle energy consumption and equivalent emissions. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-15.
- [50]. M. F. Mohd Suhaimi, N. A. Mohd Salleh, D. T. M. Madani Sahari, and M. S. Sarip, "Development of Kuala Lumpur driving cycle for the estimation of fuel consumption and vehicular emission," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 834, no. 1, doi: 10.1088/1757-899X/834/1/012040.
- [51]. Maamria, D., Gillet, K., Colin, G., Chamaillard, Y., & Nouillant, C. (2019). Optimal Predictive Eco-Driving Cycles for Conventional, Electric, and Hybrid Electric Cars. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68(7), 6320-6330.
- [52]. De Haan, P., & Keller, M. (2004). Modelling fuel consumption and pollutant emissions based on real-world driving patterns: the HBEFA approach. *International journal of environment and pollution*, 22(3), 240-258.

- [53]. Yu, L., Wang, Z., Qiao, F., & Qi, Y. (2008). Approach to Development and Evaluation of Driving Cycles for Classified Roads Based on Vehicle Emission Characteristics. *Transportation Research Record*, 2058(1), 58–67.
- [54]. Sawyer, R. F., R. A. Harley, S. H. Cadle, J. M. Norbeck, R. Slott, H. A. Bravo, K. L. Schere, G. M. Hidy, and H. B. Singh. Mobile Sources Critical Review: 1998 NARSTO Assessment. *Journal of Atmospheric Environment*, Vol. 34, No. 12–14, 2000, pp. 2161–2181.
- [55]. Jiménez-Palacios, J. L. *Understanding and Quantifying Motor Vehicle Emissions with Vehicle Specific Power and TILDAS Remote Sensing*. PhD dissertation. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass., Feb. 1999. http://cires.colorado.edu/jimenez/Papers/Jimenez_PhD_Thesis.pdf. Accessed May 16, 2007.
- [56]. Bluett, Jeff & Kuschel, Gerda & Rijkenberg, Micha & Shrestha, Kreepa. (2021). Are the harmful emissions from New Zealand's light duty vehicle fleet improving? May 2011.
- [57]. Hung, W. T., Tong, H. Y., Lee, C. P., Ha, K. and Pao, L. Y. (2007) Development of a practical driving cycle construction methodology: a case study in Hong Kong, *Transportation Research D*, 12, pp. 115–128.
- [58]. Ogata, K. (1996). *Sistemas De Control En Tiempo Discreto* (1a. ed.). México: Prentice Hall Hispanoamericana.
- [59]. Nutramon, T., & Supachart, C. (2009). Influence of driving cycles on exhaust emissions and fuel consumption of gasoline passenger car in Bangkok. *Journal of environmental sciences*, 21(5), 604-611.
- [60]. Gong, Q., Midlam-Mohler, S., Marano, V., & Rizzoni, G. (2011). An iterative markov chain approach for generating vehicle driving cycles. *SAE International Journal of Engines*, 4(1), 1035-1045.
- [61]. Shi, S., Lin, N., Zhang, Y., Cheng, J., Huang, C., Liu, L., & Lu, B. (2016). Research on Markov property analysis of driving cycles and its application. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 47, 171-181.
- [62]. Bishop, J. D., Axon, C. J., & McCulloch, M. D. (2012). A robust, data-driven methodology for real-world driving cycle development. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(5), 389-397.
- [63]. Xiao, Z., Dui-Jia, Z., & Jun-Min, S. (2012). A synthesis of methodologies and practices for developing driving cycles. *Energy Procedia*, 16, 1868-1873.
- [64]. R. Huang, C. Cui, W. Sun and D. Towey, "Poster: Is Euclidean Distance the best Distance Measurement for Adaptive Random Testing?," 2020 IEEE 13th International Conference on Software Testing, Validation and Verification (ICST), 2020, pp. 406-409, doi: 10.1109/ICST46399.2020.00049.

- [65] León, C. M. (2019). Estimación del consumo de combustible mediante la determinación de ciclos de conducción representativos en Bucaramanga, Santander. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12749/7051>.
- [66] Velleman, P.F., and D.C. Hoaglin. Applications, Basics, and Computing of Exploratory Data Analysis. Pacific Grove, CA: Duxbury Press, 1981.
- [67] Quinde Medina, D. D. (2020). Estimación de emisiones de CO2 en taxis con cilindrada de 1400cc bajo parámetros de conducción normal en la ciudad de Cuenca, utilizando el modelo IVE (Master's thesis, Universidad del Azuay).
- [68] Nouri, P., & Morency, C. (2017). Evaluating microtrip definitions for developing driving cycles. Transportation Research Record, 2627(1), 86-92.

11. ANEXOS

ANEXO 1. CÓDIGO MATLAB

```
%Driving cycle construction program
%Microtrips Fuel Based Method
%Elimina las variables creadas
tic
clear all
clc
tam=20;
num_iter = 10;
Diff=[];

%Lee archivos de excel de la hoja 1
trips = xlsread('DataDC')
trips(isnan(trips))=0;

%Inicialización de variables
tiempo = 1260;
intervals = 10;
%Velocidad en idle minima
velidmin = 0.01;
%Aceleración positiva de referencia
apref = 0.14;
%Aceleración negativa de referencia
anref = -0.14;
%RPM min de referencia
rpmmin = 750;
% Diferencia relativa
er = 0.05;

%Vector de velocidades del ciclo
DC = [];
% Vector de RPM del ciclo
RPM = [];
% Vector de aceleraciones
A = [];
%Microtrips seleccionados
micro_sele = [];
%Pendiente
Pen= [];
%Specific fuel consumption
SFC = [];
%Longitud del ciclo de manejo
len_DC = length(DC);
%Velocidad media del ciclo
mvDC = 0;
```

```

%----- Calculos de CP's generales -----
%----- Calculos muestra -----
% Velocidad
mvelmaxmtra=[];
mvelpmtra=[];
mvelsdmtra=[];

% Aceleración
macelmaxmtrap=[];
macelpmtrap=[];
macelsdmtrap=[];

% Desaceleración
macelmaxmtran=[];
macelpmtran=[];
macelsdmtran=[];

% Porcentaje de Tiempo
mperidle=[];
mperacelp=[];
mperaceln=[];
mpercrucero=[];

% No de aceleraciones/km
macelxkm=[];

% RMS
mrms=[];

% PKE
mpke=[];

%SFC
mSFC=[];

%VSP y KI
mVSP=[];
mKI=[];

for bb=1:1:max(trips(:,2))

    t_viaje=[];
    speed=[];

    %Posiciones del viaje i
    posxviaje = find(trips(:,2)==bb);

```

```

%Velocidad
velmaxviaje = max(trips(posxviaje,7));
velpviaje = mean(trips(posxviaje,7));
velsdviaje = std(trips(posxviaje,7));

mvelmaxmtra=[mvelmaxmtra;velmaxviaje];
mvelpmtra = [mvelpmtra;velpviaje];
mvelsdmtra = [mvelsdmtra;velsdviaje];

%Aceleración
acelviaje = trips(posxviaje,8);
acelxviajep = find(acelviaje>=apref);
acelmaxviajep = max(acelviaje(acelxviajep));
acelpviajep = mean(acelviaje(acelxviajep),'omitnan');
acelsdviajep = std(acelviaje(acelxviajep),'omitnan');

macelmaxmtrap = [macelmaxmtrap;acelmaxviajep];
macelpmtrap = [macelpmtrap;acelpviajep];
macelsdmtrap = [macelsdmtrap;acelsdviajep];

%Desaceleración
acelxviajen = find(acelviaje<=anref);
acelmaxviajen = min(acelviaje(acelxviajen));
acelpviajen = mean(acelviaje(acelxviajen),'omitnan');
acelsdviajen = std(acelviaje(acelxviajen),'omitnan');

macelmaxmtran = [macelmaxmtran;acelmaxviajen];
macelpmtran = [macelpmtran;acelpviajen];
macelsdmtran = [macelsdmtran;acelsdviajen];

%Porcentaje de tiempo
velidviaje = find(trips(posxviaje,7)<=velidmin);

tviaje = length(trips(posxviaje,7));
tidviaje = length(velidviaje);
tacelp = length(acelxviajep);
taceln = length(acelxviajen);

pertidviaje = 100*(tidviaje/tviaje);
pertacelviajep = 100*(tacelp/tviaje);
pertacelviajen = 100*(taceln/tviaje);
pertcruviaje = 100-pertidviaje-pertacelviajep-pertacelviajen;

mperidle = [mperidle;pertidviaje];
mperacelp = [mperacelp;pertacelviajep];
mperaceln = [mperaceln;pertacelviajen];
mpercruzero = [mpercruzero;pertcruviaje];

% No. de aceleraciones/km
lviaje = length(acelviaje);

```

```

fviaje=zeros(lviaje,1);

for yy=1:1:lviaje-1
    if acelviaje(yy+1)>0&&acelviaje(yy)<=0
        fviaje(yy+1,1)=1;
    else
        fviaje(yy+1,1)=0;
    end
end

distviaje = sum(trips(posxviaje,9))/1000;
acelxkm = sum(fviaje)/distviaje;

macelxkm=[macelxkm;acelxkm];

% RMS
rmsviaje = rms(trips(posxviaje,8));

mrms = [mrms;rmsviaje];

% PKE
velviaje = trips(posxviaje,7);
lviaje = length(velviaje);
qviaje = zeros(lviaje,1);

for ff=1:1:lviaje-1
    if velviaje(ff+1,1)>velviaje(ff,1)
        qviaje(ff+1,1)= ((velviaje(ff+1,1))^2) -
((velviaje(ff,1))^2));
    else
        qviaje(ff+1,1) = 0;
    end
end

pkeviaje = sum(qviaje)/(distviaje*1000);

mpke=[mpke;pkeviaje];

%Consumo real
fuelviaje = sum(trips(posxviaje,13));
SFCviaje = fuelviaje/distviaje;
mSFC = [mSFC;SFCviaje];

%VSP y KI
VSPpviaje = mean(trips(posxviaje,21));
KIpviaje = nansum(trips(posxviaje,23))*1000/sum(trips(posxviaje,22));

mVSP = [mVSP;VSPpviaje];

```

```

    mKI = [mKI;KIpviaje];

end

% Velocidad
velmaxmtra = median(mvelmaxmtra, 'omitnan');
velpmtra = median(mvelpmtra, 'omitnan');
velsdmtra = median(mvelsdmtra, 'omitnan');

% Aceleración
acelmaxmtrap = median(macelmaxmtrap, 'omitnan');
acelpmtrap = median(macelpmtrap, 'omitnan');
acelsdmtrap = median(macelsdmtrap, 'omitnan');

% Desaceleración
acelmaxmtran = median(macelmaxmtran, 'omitnan');
acelpmtran = median(macelpmtran, 'omitnan');
acelsdmtran = median(macelsdmtran, 'omitnan');

% Porcentaje de Tiempo
peridletra = median(mperidle, 'omitnan');
peracelmtrap = median(mperacelp, 'omitnan');
peracelmtran = median(mperaceln, 'omitnan');
percrucomtra = median(mpercrucomtra, 'omitnan');

% No de aceleraciones/km
acelxkmmtra = median(macelxkm, 'omitnan');

% RMS
rmsmtra = median(mrms, 'omitnan');

% PKE
pkemtra = median(mpke, 'omitnan');

%SFC
SFCmtra = median(mSFC, 'omitnan');

%VSP y KI
pVSP=median(mVSP, 'omitnan');
pKI=median(mKI, 'omitnan');

%Inicialización de diferencias
DiffCiclos = zeros(num_iter,1);
Diffvel = zeros(num_iter,1);
Diffap = zeros(num_iter,1);
Diffan = zeros(num_iter,1);
Difftid = zeros(num_iter,1);
Diffvelmax = zeros(num_iter,1);
Diffacelmaxp = zeros(num_iter,1);
Diffacelmaxn = zeros(num_iter,1);

```

```

Diffperidle = zeros(num_iter,1);
Diffperacelp = zeros(num_iter,1);
Diffperaceln = zeros(num_iter,1);
Diffpercru = zeros(num_iter,1);
Diffvelp = zeros(num_iter,1);
Diffacelp = zeros(num_iter,1);
Diffacelpn = zeros(num_iter,1);
Diffacelxkm = zeros(num_iter,1);
Diffvelsd = zeros(num_iter,1);
Diffacelsdp = zeros(num_iter,1);
Diffacelsdn = zeros(num_iter,1);
Diffrms = zeros(num_iter,1);
Diffpke = zeros(num_iter,1);
Diffsapd = zeros(num_iter,1);
DiffSFC= zeros(num_iter,1);
DiffCO2=zeros(num_iter,1);
DiffCO=zeros(num_iter,1);
DiffNO=zeros(num_iter,1);
DiffNO2=zeros(num_iter,1);
DiffNOx=zeros(num_iter,1);
DiffVSP=zeros(num_iter,1);
DiffKI=zeros(num_iter,1);

```

```

%-----Inicialización de Matrices RDC's-----

```

```

M_len = zeros(1,num_iter);
M_DC = zeros(1380,num_iter);
M_RPM = zeros(1380,num_iter);
M_A = zeros(1380,num_iter);
M_FR = zeros(1380,num_iter);
M_VSP = zeros(1380,num_iter);
M_Vaero = zeros(1380,num_iter);
M_CA = zeros(1380,num_iter);
M_len_DC = zeros(1380,num_iter);
M_Micro_Sele = zeros(1380,num_iter);

```

```

%-----Inicialización de vectores CP's de CDC-----

```

```

CP_velmaxCDC = zeros(num_iter,1);
CP_acelmaxCDCp = zeros(num_iter,1);
CP_acelmaxCDCn = zeros(num_iter,1);
CP_pertidCDC = zeros(num_iter,1);
CP_pertacelCDCp = zeros(num_iter,1);
CP_pertacelCDCn = zeros(num_iter,1);
CP_pertcruCDC = zeros(num_iter,1);
CP_velpCDC = zeros(num_iter,1);
CP_acelpCDCp = zeros(num_iter,1);
CP_acelpCDCn = zeros(num_iter,1);
CP_acelxkmCDC = zeros(num_iter,1);
CP_velsdCDC = zeros(num_iter,1);
CP_acelsdCDCp = zeros(num_iter,1);
CP_acelsdCDCn = zeros(num_iter,1);

```

```

CP_rmsCDC = zeros(num_iter,1);
CP_pkeCDC = zeros(num_iter,1);
CP_SFCreal = zeros(num_iter,1);
CP_VSPCDC = zeros(num_iter,1);
CP_KICDC = zeros(num_iter,1);
    u = 0;

% Generación del ciclo candidato
for oo = 1 : 1 : num_iter

    DC = [];
    RPM = [];
    A = [];
    Pen = [];
    FR = [];
    VSP = [];
    Vaero = [];
    CA = [];
    micro_sele = [];
    mat_DC = [];
    len_DC = length(DC);
    u = 0;

    while u==0

        while len_DC<tiempo

            %Selección del cluster de forma aleatoria con distribución de
probabilidad
            %Entrega el máximo número de cluster (columna 2, archivo cluster)
            max_cluster = max(trips(:,19));
            %Entrega un vector con valores de probabilidad de cada cluster
(columna 3, archivo cluster)
            prob = trips(1:max_cluster,20);
            %Entrega un vector con la suma acumulado de todas las
probabilidades
            prob=cumsum(prob);
            %Genera un número aleatorio con el cual se compara la
probabilidad de cada cluster.
            r_px = rand;
            %Selecciona la probabilidad de acuerdo al numero aleatorio
generado y devuelve la posición de dicho número (1 busca un solo
numero,first lo hace de arriba hacia abajo)
            number_cluster = find(r_px<prob,1,'first');
            %Selecciona los micro_trips de acuerdo al número de cluster
            sel_micros = find(trips(:,18)== number_cluster);
            %Selecciona los micro_trips
            micros = trips(sel_micros,15);

```

```

        %Selección de micro_trips uniforme y aleatoriamente
        %Entrega el tamaño del vector micros
        len_micros = length(micros);
        %Entrega un número aleatorio entre 1 y el tamaño del vector
micros
        r_u = randi([1 len_micros],1,1);
        %Entrega el número del micro_trip seleccionado obtenido
aleatoriamente
        number_micro = micros (r_u);
        %Entrega la posición de los datos del micro_trip seleccionado
        sel_micro = find(trips(:,14)== number_micro);
        %Entrega los datos de velocidad (m/s) de las posiciones del
        %micro_trip seleccionado contenidas en la columna 7
        micro_trip_DC = trips(sel_micro,7);
        %Entrega los datos de rpm de las posiciones del micro_trip
        %seleccionado contenidas en la columna 5
        micro_trip_rpm = trips(sel_micro,5);
        %Entrega los datos de rpm de las posiciones del micro_trip
        %seleccionado contenidas en la columna 8
        micro_trip_a = trips(sel_micro,8);
        %Entrega los datos de pendiente de las posiciones del micro_trip
        %seleccionado contenidas en la columna 12
        micro_trip_pen = trips(sel_micro,12);
        %Entrega los datos de SFC de las posiciones del micro_trip
        %seleccionado contenidas en la columna 13
        micro_trip_fr = trips(sel_micro,13);

        %Entrega los datos de VSP de las posiciones del micro_trip
        %seleccionado contenidas en la columna 21
        micro_trip_vsp = trips(sel_micro,21);
        %Entrega los datos de V_aero de las posiciones del micro_trip
        %seleccionado contenidas en la columna 22
        micro_trip_vaero = trips(sel_micro,22);
        %Entrega los datos de C_A de las posiciones del micro_trip
        %seleccionado contenidas en la columna 23
        micro_trip_ca = trips(sel_micro,23);

        %Cosntrucción de los ciclos candidatos a partir del empalme de
micro_trips
        %Matriz con datos de micro_trips seleccionados y número de
micro_trips
        micro_sele = [micro_sele;number_micro];
        % El punto y como empalma el microtrip anterior con el nuevo y
así sucesivamente
        DC = [DC;micro_trip_DC];
        RPM = [RPM;micro_trip_rpm];
        A = [A;micro_trip_a];
        Pen = [Pen;micro_trip_pen];
        FR = [FR;micro_trip_fr];
        VSP = [VSP;micro_trip_vsp];

```

```

    Vaero = [Vaero;micro_trip_vaero];
    CA = [CA;micro_trip_ca];
    len_DC = length(DC);

    end

    mat_DC = [RPM DC A FR VSP Vaero CA];

    t_CDC=transpose(1:1:length(DC));
    T_CDC=transpose(1:1:len_DC);

    %pen_CDC=zeros(length(DC),1);

    pen_CDC=Pen;

    %----- Calculos de CP's Ciclo candidato -----
    -----
    %Performance values ciclo candidato CDC
    %Velocidad
    velmaxCDC = max(DC);
    velpCDC = mean(DC);
    velstdCDC = std(DC);

    %Aceleración
    acelxCDCp = find(A>=apref);
    acelmaxCDCp = max(A(acelxCDCp));
    acelpCDCp = mean(A(acelxCDCp));
    acelstdCDCp = std(A(acelxCDCp));

    %Desaceleración
    acelxCDCn = find(A<=anref);
    acelmaxCDCn = min(A(acelxCDCn));
    acelpCDCn = mean(A(acelxCDCn));
    acelstdCDCn = std(A(acelxCDCn));

    %Porcentaje de tiempo
    validCDC = find(DC<=velidmin);
    tCDC = length(DC);
    tidCDC = length(validCDC);
    tacelCDCp = length(acelxCDCp);
    tacelCDCn = length(acelxCDCn);

    pertidCDC = 100*(tidCDC/tCDC);
    pertacelCDCp = 100*(tacelCDCp/tCDC);
    pertacelCDCn = 100*(tacelCDCn/tCDC);
    pertcruCDC = 100-pertidCDC-pertacelCDCp-pertacelCDCn;

    % No. de aceleraciones/km

```

```

lCDC = length(A);
fCDC=zeros(lCDC,1);

for yy=1:1:lCDC-1
    if A(yy+1)>0&&A(yy)<=0
        fCDC(yy+1,1)=1;
    else
        fCDC(yy+1,1)=0;
    end
end
distCDC = sum(DC)/1000;
acelxkmCDC = sum(fCDC)/distCDC;

% RMS
rmsCDC = rms(A);

% PKE
lvCDC = length(DC);
qCDC = zeros(lvCDC,1);

for ff=1:1:lvCDC-1

    if DC(ff+1)>DC(ff)
        qCDC(ff+1,1) = (((DC(ff+1))^2)-((DC(ff))^2));
    else
        qCDC(ff+1,1) = 0;
    end
end

pkeCDC = sum(qCDC)/(distCDC*1000);

%SFC real [L/km]
fuelCDC = sum(FR);
SFCreal = fuelCDC/distCDC;

%VSP y KI
VSPCDC = mean(VSP);
KICDC = nansum(CA)*1000/sum(Vaero);

%Comparación de los parámetros de desempeño del ciclo candidato y la
población
if (abs(SFCmtra-SFCreal)/SFCmtra>er)|| (abs(peridlemtra-
pertidCDC)/peridlemtra>er)|| (len_DC>tiempo+120)

%Sino cumple se inicializan de nuevo las variables
u = 0;
DC = [];

```

```

        RPM = [];
        A = [];
        Pen=[];
        FR = [];
        VSP = [];
        Vaero = [];
        CA = [];
        micro_sele = [];
        mat_DC = [];
        len_DC = length(DC);
    else
        u=1;
    end
end

%----- Diferencias CDC vs Muestra -----
%1. Diferencia velocidad máxima
Diffvelmax(oo) = 100*(abs(velmaxmtra-velmaxCDC)/velmaxmtra);

%2. Diferencia aceleración positiva máxima
Diffacelmaxp(oo) = 100*(abs(accelmaxmtrap-accelmaxCDCp)/accelmaxmtrap);

%3. Diferencia desaceleración máxima
Diffacelmaxn(oo) = 100*(abs((accelmaxmtran-accelmaxCDCn)/accelmaxmtran));

%4. Diferencia de porcentual en idle
Diffperidle(oo) = 100*(abs(peridlemtra-pertidCDC)/peridlemtra);

%5. Diferencia de porcentual acelerando
Diffperacelp(oo) = 100*(abs(peracelmtrap-pertacelCDCp)/peracelmtrap);

%6. Diferencia de porcentual desacelerando
Diffperaceln(oo) = 100*(abs(peracelmtran-pertacelCDCn)/peracelmtran);

%7. Diferencia de porcentual en cruceo
Diffpercru(oo) = 100*(abs(percrucomtra-pertcruCDC)/percrucomtra);

%8. Diferencia porcentual velocidad promedio
Diffvelp(oo) = 100*(abs(velpmtra-velpCDC)/velpmtra);

%9. Diferencia porcentual aceleración positiva promedio
Diffacelpp(oo) = 100*(abs(acelpmtrap-acelpCDCp)/acelpmtrap);

%10. Diferencia porcentual aceleración negativa promedio
Diffacelpn(oo) = 100*(abs(acelpmtran-acelpCDCn)/abs(acelpmtran));

%11. Diferencia número de aceleraciones por km
Diffacelxkm(oo) = 100*(abs(accelxkmmtra-accelxkmCDC)/accelxkmmtra);

```

```

%12. Diferencia desviación estándar velocidad
Diffvelsd(oo) = 100*(abs(velsdmtra-velsdCDC)/velsdmtra);

%13. Diferencia desviación estándar aceleración positiva
Diffacelsdp(oo) = 100*(abs(acelsdmtrap-acelsdCDCp)/acelsdmtrap);

%14. Diferencia desviación estándar aceleración negativa
Diffacelsdn(oo) = 100*(abs(acelsdmtran-acelsdCDCn)/acelsdmtran);

%15. Diferencia RMS
Diffrms(oo) = 100*(abs(rmsmtra-rmsCDC)/rmsmtra);

%16. Diferencia PKE
Diffpke(oo) = 100*(abs(pkemtra-pkeCDC)/pkemtra);

%17. Diferencia SFC real
DiffSFC(oo)=100*(abs(SFCmtra-SFCreal)/SFCmtra);

%18. Diferencia VSP
DiffVSP(oo)=100*(abs(pVSP-VSPCDC)/pVSP);

%19. Diferencia KI
DiffKI(oo)=100*(abs(pKI-KICDC)/abs(pKI));

%Determinación del ciclo más representativo
DiffCiclos(oo)=(Difffacelmaxn(oo)+Diffacelmaxp(oo)+Diffacelpn(oo)+Diffacelp
pp(oo)+Diffacelsdn(oo)+Diffacelsdp(oo)+Diffacelxkm(oo)+Diffan(oo)+Diffap(
oo)+DiffKI(oo)+Diffperaceln(oo)+Diffperacelp(oo)+Diffpercru(oo)+Diffperid
le(oo)+Diffpke(oo)+Diffrms(oo)+Diffsapd(oo)+DiffSFC(oo)+Difftid(oo)+Diffv
el(oo)+Diffvelmax(oo)+Diffvelp(oo)+Diffvelsd(oo)+DiffVSP(oo))/100;

%-----Inicialización de Matrices de Ciclos Representativos-----
%1. Matriz de velocidad
M_DC(1:length(DC),oo) = DC;

%2. Matriz de RPM's
M_RPM(1:length(RPM),oo) = RPM;

%3. Matriz de Aceleraciones
M_A(1:length(A),oo) = A;

%4. Matriz de consumo específico de combustible
M_FR(1:length(FR),oo) = FR;

%5. Matriz de VSP
M_VSP(1:length(VSP),oo) = VSP;

```

```

%6. Matriz de
M_Vaero(1:length(Vaero),oo) = Vaero;

%7. Matriz de
M_CA(1:length(CA),oo) = CA;

%. Matriz del tiempo de cada ciclo
M_len(1,oo) = len_DC;

M_len_DC(1:length(T_CDC),oo) = T_CDC;

%. Matriz de microtrips seleccionados para cada ciclo
M_Micro_Sele(1:length(micro_sele),oo) = micro_sele;

%-----Vectores para comparar CP's de cada CDC-----
CP_velmaxCDC(oo) = velmaxCDC;
CP_acelmaxCDCp(oo) = acelmaxCDCp;
CP_acelmaxCDCn(oo) = acelmaxCDCn;
CP_pertidCDC(oo) = pertidCDC;
CP_pertacelCDCp(oo) = pertacelCDCp;
CP_pertacelCDCn(oo) = pertacelCDCn;
CP_pertcruCDC(oo) = pertcruCDC; CP_velpCDC(oo) = velpCDC;
CP_acelpCDCp(oo) = acelpCDCp;
CP_acelpCDCn(oo) = acelpCDCn;
CP_acelxkmCDC(oo) = acelxkmCDC;
CP_velsdCDC(oo) = velsdCDC;
CP_acelsdCDCp(oo) = acelsdCDCp;
CP_acelsdCDCn(oo) = acelsdCDCn;
CP_rmsCDC(oo) = rmsCDC;
CP_pkeCDC(oo) = pkeCDC;
CP_SFcreal(oo) = SFcreal;
CP_VSPCDC(oo) = VSPCDC;
CP_KICDC(oo) = KICDC;
    end

%-----Ciclo de Conducción Más Representativo-----
[val,pos] = min(DiffCiclos);
Time = M_len(1,pos);
    DC_RDC = M_DC(1:Time,pos);
    M_DC_KM = DC_RDC*3.6;
    RPM_RDC = M_RPM(1:Time,pos);
    A_RDC = M_A(1:Time,pos);
    Pen=[];
    FR_RDC= M_FR(1:Time,pos);
    VSP_RDC = M_VSP(1:Time,pos);
    Vaero_RDC = M_Vaero(1:Time,pos);
    CA_RDC= M_CA(1:Time,pos);
    micro_selē_RDC = M_Micro_Sele(1:Time,pos);
    Tiempo = transpose(1:Time);
    %Speed = M_DC(1:Time,pos);
    Speed = M_DC_KM;

```

```

%Velocidad
velmaxRDC = max(DC_RDC);
velpRDC = mean(DC_RDC);
velsdrDC = std(DC_RDC);

%Aceleración
acelxRDCp = find(A_RDC>=apref);
acelmaxRDCp = max(A_RDC(acelxRDCp));
acelpRDCp = mean(A_RDC(acelxRDCp));
acelsdrDCp = std(A_RDC(acelxRDCp));

%Desaceleración
acelxRDCn = find(A_RDC<=anref);
acelmaxRDCn = min(A_RDC(acelxRDCn));
acelpRDCn = mean(A_RDC(acelxRDCn));
acelsdrDCn = std(A_RDC(acelxRDCn));

%Porcentaje de tiempo
velidRDC = find(DC_RDC<=velidmin);
tRDC = length(DC_RDC);
tidRDC = length(velidRDC);
tacelRDCp = length(acelxRDCp);
tacelRDCn = length(acelxRDCn);

pertidRDC = 100*(tidRDC/tRDC);
pertacelRDCp = 100*(tacelRDCp/tRDC);
pertacelRDCn = 100*(tacelRDCn/tRDC);
pertcruRDC = 100-pertidRDC-pertacelRDCp-pertacelRDCn;

% No. de aceleraciones/km
lRDC = length(A_RDC);
fRDC=zeros(lRDC,1);

for cc=1:1:lRDC-1
    if A_RDC(cc+1)>0&&A_RDC(cc)<=0
        fRDC(cc+1,1)=1;
    else
        fRDC(cc+1,1)=0;
    end
end
distRDC = sum(DC_RDC)/1000;
acelxkmRDC = sum(fRDC)/distRDC;

% RMS
rmsRDC = rms(A_RDC);
% PKE
lvRDC = length(DC_RDC);
qRDC = zeros(lvRDC,1);

```

```

for mm=1:1:lvRDC-1

    if DC_RDC(mm+1)>DC_RDC(mm)
        qRDC(mm+1,1) = ((DC_RDC(mm+1))^2) - ((DC_RDC(mm))^2);
    else
        qRDC(mm+1,1) = 0;
    end
end

pkeRDC = sum(qRDC)/(distRDC*1000);

%SFC real [L/km]
fuelRDC = sum(FR_RDC);
SFCrealRDC = fuelRDC/distRDC;

%VSP y KI
VSPRDC = mean(VSP_RDC);
KIRDC = nansum(CA_RDC)*1000/sum(Vaero_RDC);

A_CPSDC =
[velmaxRDC;velpRDC;velsdRDC;acelmaxRDCp;acelmaxRDCn;acelpRDCp;acelpRDCn;a
celsdRDCp;acelsdRDCn;pertidRDC;pertacelRDCp;pertacelRDCn;pertcruRDC;acelx
kmRDC;rmsRDC;pkeRDC;SFCrealRDC;VSPRDC;KIRDC]
Diff2=[Diffvelmax,Diffvelp,Diffvelsd,Diffacelmaxp,Diffacelmaxn,Diffacelpp
,
Diffacelpn,Diffacelsdp,Diffacelsdn,Diffperidle,Diffperacelp,Diffperaceln,
Diffpercru,Diffacelxkm,Diffrms,Diffpke,DiffSFC,DiffVSP,DiffKI];
promedio2 = mean(Diff2,'omitnan');
A_ADRR =transpose(promedio2)

Grafica_CDC = plot(Tiempo,Speed);
xlabel('Tiempo [s]', 'FontSize',tam,'FontName','Times New Roman')
ylabel('Velocidad [km/h]', 'FontSize',tam,'FontName','Times New Roman')
title('Ciclo de Conducción-5V', 'FontSize',tam+5,'FontName','Times New
Roman')

Diff=[Diffvelmax,Diffvelp,Diffvelsd,Diffacelmaxp,Diffacelmaxn,Diffacelpp,
Diffacelpn,Diffacelsdp,Diffacelsdn,Diffperidle,Diffperacelp,Diffperaceln,
Diffpercru,Diffacelxkm,Diffrms,Diffpke,DiffKI,DiffSFC];
promedio = mean(Diff,'omitnan');
desviacion_std = std(Diff);
varianza=desviacion_std.^2;
CoV=100*(desviacion_std./promedio);
minDiff = min(Diff);
maxDiff = max(Diff);
QDiff = quantile(Diff,[0.25 0.50 0.75]);
IQR=QDiff(3,:)-QDiff(1,:);

```

```

Results=transpose([promedio;IQR;desviacion_std;varianza;CoV;minDiff;QDiff
;maxDiff]);
parameter = ["Speed max","Speed ave","SD Speed","a+ max","a- max","a+
ave","a- ave","SD a+","SD a-","% idling","% a+","% a-","%
cruising","acel/km","RMS","PKE","KI","SFC"];
boxplot(Diff,parameter, 'orientation', 'horizontal')
set(gca, 'FontSize', tam*0.6, 'FontName', 'Times New Roman')
xlim([-2 150])
xticks([0 10 20 30 50 100 150])
xlabel('RD [%]', 'FontSize', tam, 'FontName', 'Times New Roman')
ylabel('CPs [-]', 'FontSize', tam, 'FontName', 'Times New Roman')
title('Micro-trip Fuel Based Method', 'FontSize', tam+5, 'FontName', 'Times
New Roman')

hold on
scatter(promedio.', 1:1:size(Diff,2), 'MarkerEdgeColor', [0 0
0], 'MarkerFaceColor', 'g')
hold off
toc

```

9.2. BASE DE DATOS

Se crearon varias carpetas en drive para adjuntar los siguientes archivos:

- Datos originales sin modificar [ViajesDC (.csv)]
- Datos editados en excel [ViajesEditados (.xlsx)]
- Archivos en Excel para el cálculo de los parámetros característicos [CP's]
- Archivos en excel con formato compatible para correr en el código de matlab. [Matlab_DC]
- Ejecutable de la interfaz para visualización de los datos obtenidos. [Interfaz]

Los archivos mencionados anteriormente se encuentran disponibles en el siguiente enlace:

<https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1-knv385Bp7xfWBGb8gCy4JoWs0PD3W92>

9.3. ARTÍCULO CIENTÍFICO

Development of Driving Cycle under Real World Conditions in metropolitan area of Bucaramanga

Silvia J. Navarro^a, Ricardo A. García^b.

^aEstudiante de ingeniería mecatrónica- Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB), Calle 98 #16-77, Torres de Villa Alicia, Bucaramanga, Colombia.

^bEstudiante de ingeniería mecatrónica- Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB), Calle 45 BIS # 27 75., Torres de Sotomayor, Bucaramanga, Colombia.

Abstract

This study presents the driving cycle built in the metropolitan area of Bucaramanga. To build the driving cycle, speed, RPM and fuel consumption database was used, it was obtained by monitoring second by second the operation of 10 light vehicles in real conditions in the cities of Bucaramanga, Floridablanca, Girón and Piedecuesta for seven months.

The speed data with respect to time from the database define the driving pattern in the metropolitan area of Bucaramanga, 18 characteristic parameters were defined that describe variables of speed, acceleration, operating modes, dynamics and fuel consumption. To observe the trends of the results, the process was repeated 1000 times and the average relative difference (ARD) and the interquartile range (IQR) of the differences for each characteristic parameter were obtained.

Keywords: driving cycle, microtrips, obd, light vehicles, vsp, sapd..

1. Introduction

The driving cycle is a speed-time profile for a vehicle that is driven in a specific condition, generally selected to represent a part of the real-life situation. Driving cycles are known to provide a wide range of applications for vehicle manufacturers (Watson et al., 1982), traffic engineers (Tong et al., 1999), and environmentalists (Bullock, 1982). Speed-time traces derived from driving cycles can be used to estimate fuel consumption for a particular area (Simanaitis, 1977; Lyons et al., 1986).

Table 1 shows different driving cycles developed in different countries and different years of publication of the studies. Additionally, the type of vehicle taken into account for each study is defined. In addition, it is observed that in most studies a route selection is made, however, in the proposed study we want to observe the driving pattern of people in the area in a normal way, that is, without conditioning them to travel in a determined route. In Table 1, the authors do not define a number of specific characteristic parameters for the construction of the driving cycle, it is observed that these parameters vary between 3 and 33 characteristic parameters. In the case of the method worked for the construction of the cycle, most of the authors do it following the method of micro segments or micro-trips (MT).

Nomenclature	
ARD_i	average relative differences.
CP_i	characteristic parameters of the conduction pattern.
CP_i^*	characteristic parameters of the driving cycle.
MT	micro trips.
MTFBM	Microtrips Fuel Based Method

Table 1. Summary of documents reviewed on driving cycles.

AUTHOR	YEAR	COUNTRY	VEHICLE TYPE	ROUTE SELECTION	CPs	COMMENTS
Tong	2011	Vietnam	Gasoline vehicle	Sí	12	Micro-trips, average absolute percentage error (AAPE), SAPD
Lai	2013	China	Bus	Sí	10	Vehicle specific power (VSP), Micro-trips, RMSE
Tzirakis	2014	Grecia	Gasoline vehicle	Sí	8	Micro-trips, GUDCM, GUDC
Hwa	2014	China	Gasoline vehicle	No	10	Tracing, Ward's Method, total root mean square deviation (TRMSD)
Ho	2014	Singapur	Gasoline vehicle	Sí	20	Micro-trips, Comprehensive Modal Emission Model (CMEM)
Wu	2015	China	Bus híbrido	Sí	11	Micro-trips, PCA, Fuzzy C
Seers	2015	Canadá	Gasoline vehicle	Sí	9	Micro-trips
Brady	2016	Irlanda	Electric vehicle	Sí	28	Micro-trips, K-means, Markov-chain
Berzi	2016	Italia	Vehículo eléctrico	No	14	Micro-trips, K-means
Anida	2017	Malasia	Gasoline vehicle	Sí	23	Micro-trips, Genetic algorithms (GA)
Arun	2017	India	Gasoline vehicle	Sí	10	Micro-trips, SAFD
Huertas	2017	Mexico	Bus	Sí	8	MWD-CP
Poueresmaeili	2017	Irán	Bus	Sí	14	Micro-trips, international vehicle emissions (IVE), VSP
Yuhui	2017	China	Bus	Sí	15	Micro-trips, PCA, K-means
Shen	2018	China	Hybrid bus	Sí	12	K-means, Micro-trips, PCA

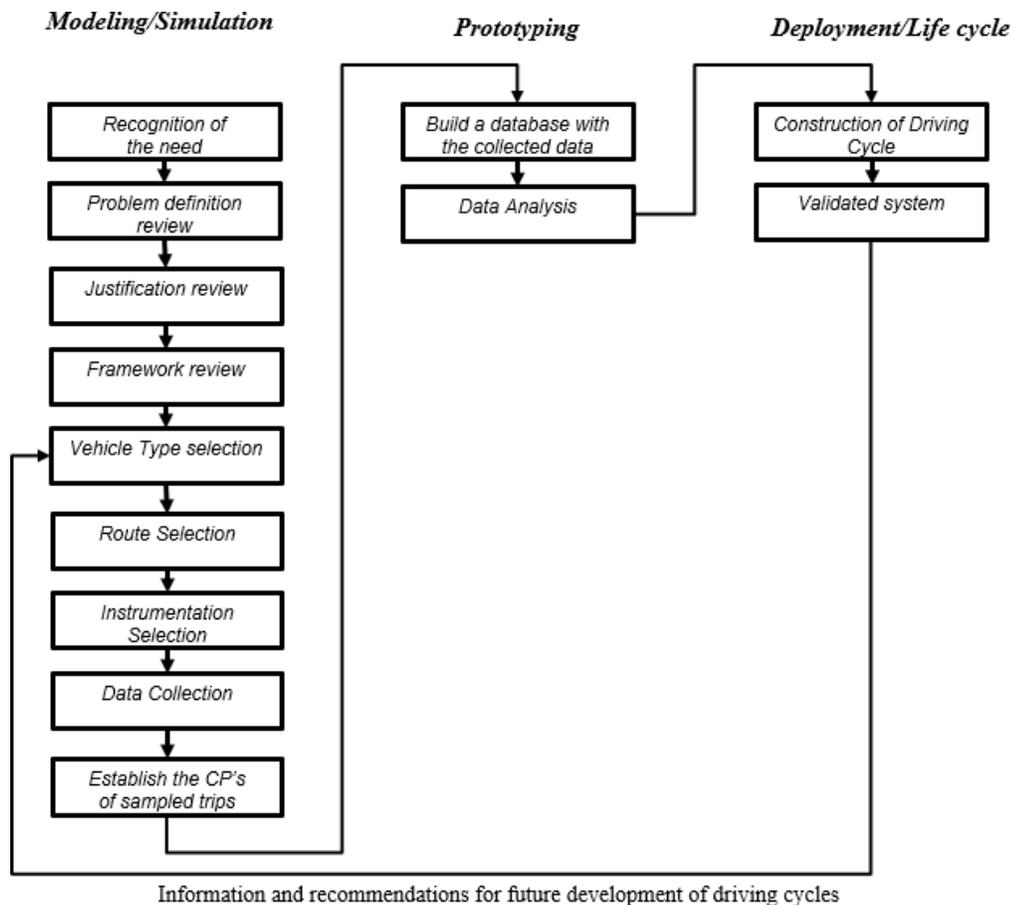
Yang	2018	China	Electric vehicle	Sí	12	Markov Chain Monte Carlo
Mahayadin	2018	Malasia	Gasoline vehicle	Sí	8	Micro-trips, SAFD
Tharvin	2018	Malasia	Gasoline vehicle	Sí	10	Micro-trips
Zhao	2018	China	Electric vehicle	Sí	17	PCA, C-Means (FCM)
Nguyen	2018	Vietnam	Bus	Sí	33	Markov chain,SAFD, transition probability matrice(TPM)
Mayakuntla	2018	India	Bus	Sí	6	Micro-trips, Trip segments
Zhao	2018	China	Electric vehicle	Sí	8	K-means, support vector machine (SVM), PCA
Huertas	2018	Mexico	Bus	Sí	18	speed–acceleration frequency distribution (SAFD), SAPD
Anida	2018	Malasia	Electric vehicles	Sí	9	Micro-trips, K-means
Huertas	2019	Mexico	Bus	No	16	Micro-trips Markov chain, MWD-CP y FB
Anida	2019	Malasia	Hybrid bus	Sí	9	Micro-trips, K-means
Wang	2019	China	Electrical Taxis.	No	12	Markov Chain and Monte Carlo
Yang	2019	China	Gasoline vehicle	Sí	18	Micro-trips, PCA
Peng	2019	China	Gasoline vehicle	No	15	Micro-trips, K-means, Markov chain
Geetha	2019	India	Electric vehicle	Sí	3	Micro-trips, tracing
Zhang	2019	China	Electrical Taxis.	No	22	Micro-trips, PCA, Markovchain-MonteCarlo
Mongkonlerdmanee	2019	Thailand	Bus	Sí	23	Micro-trips, PCA, K-means
Kaymaz	2019	Turquia	Bus	Sí	14	Micro-trips, Proportional Stratified Sampling (PSS) method
Shi	2019	China	Electric vehicle	Sí	12	PCA, genetic ant colony algorithm (ACA)
Chauhan	2020	India	Rickshaw.	Sí	10	Micro-trips, K-means,V-box
Zhao	2020	China	Electric vehicle	Sí	12	Markov Chain Monte Carlo, RMSE, SAPD
Quirama	2020	Mexico	Bus	Sí	23	Micro-trips, EBMT

2. Materials and methods

For the construction of the driving cycle in the metropolitan area of Bucaramanga by the traditional method, (MT) the methodology proposed in figure 1 was followed, which consists of the following steps:

- (i) Select the type of vehicle to monitor.
- (ii) Define the route, in this study the driver is free to travel the routes he wishes as long as it is within the metropolitan area of Bucaramanga.
- (iii) Select the instrumentation to monitor the vehicle.
- (iv) Monitor the vehicles, recording the speed, RPM, position of the vehicles, engine load, fuel consumption and air-fuel ratio, during the duration of the trip.
- (v) Build the database and obtain the characteristic parameters.
- (vi) Build the driving cycle following the traditional MT method.
- (vii) Evaluate the degree of representativeness of the driving cycle obtained. These steps are described in detail below.

Figure. 1. Methodology to develop the driving cycle.



2. 1. Vehicles and instrumentation

2.1.1. Vehicles.

The vehicles chosen as a sample for the study were 10 light vehicles. The table shows information from the technical sheet of each vehicle, the first column refers to the number of the monitored vehicle, the fourth column corresponds to the year of manufacture, followed by this is the column of displacement, then there are the values corresponding to the frontal area and vehicle weight.

Table 2. Data of the monitored vehicles.

#	BRAND	MODEL	YEAR	[L]	FRONT AREA [M ²]	GROSS WEIGHT [KG]	TYPE OF TRANSMISSION	DRIVER'S GENDER	DRIVER'S AGE
1	Chevrolet	Onix turbo	2021	1	2.14	1497	Automatic	Male	52
2	Renault	Sandero	2010	1.6	1.9	1515	Mechanical	Male	49
3	Renault	Logan	2014	1.5	2.38	1521	Mechanical	Male	22
4	Chevrolet	Spark GT	2017	1.2	2.17	1368	Mechanical	Male	18
5	Kia	Rio Spice	2012	1.4	2.07	1063	Automatic	Feminine	21
6	Ssangyong	Korando	2015	2	2.25	2040	Automatic	Male	23
7	Chevrolet	Spark GT	2011	1.2	1.9	1153	Mechanical	Feminine	29
8	Mazda	Mazda 3	2009	2	2.01	2268	Mechanical	Male	25
9	Chevrolet	Spark GT	2016	1.2	1.9	1153	Mechanical	Feminine	24
10	Renault	Sandero	2012	1.6	2.2	1515	Mechanical	Male	27

2.1.2. Instrumentation

The chosen data acquisition technique was on-board diagnostics, CMallMarket brand ELM327 OBDII devices were used for monitoring, which are compatible with the TorquePro application available for Android mobile devices, with a sampling frequency of 1hz. The connection type of the OBDII device was adjusted to the driver's needs, OBDII-Wifi and OBDII-Bluetooth were used. The devices used are not designed for heavy vehicles, their coverage is limited to light vehicles, this is not a problem in our case study since the sample is restricted to light vehicles. They are compatible with iOS, android and Windows operating systems, and with applications such as TDashcommand, and obd auto doctor. They support the protocols SAE J1850-PWM, SAE J1850-VPW, ISO 9142-2, ISO 14230-4 (Slow), ISO 14230-4 (fast), ISO 15765-4 (CAN).

2.2. Monitoring campaign

Data collection began in October 2020 and ended in April 2021. 10 light vehicles were monitored using OBDII on-board measurement devices and global positioning systems (GPS) to determine position.

Drivers were allowed to move freely through the metropolitan area of Bucaramanga, no fixed routes or schedules were established for monitoring, some drivers followed their daily personal route as their way to go to work, in the same way vehicles that provide the shuttle service and its routes were constantly changing. It is important to bear in mind that not all drivers were leaving daily due to the pandemic, vehicular traffic in the city decreased, several restrictions were established such as peak and ID, curfews and mandatory preventive social isolation. In addition to this, remote work and virtual classes were incorporated, which reduced the daily transportation needs of citizens.

2.3. Cycle construction

The representativeness of the driving cycle depends mainly on three factors: (a) the quality and quantity of the vehicle operation data, (b) the method of construction of the driving cycle, and (c) the CPs used to evaluate the representativeness of the driving cycle [43]. Currently, the state of the art in information and communication technologies allows monitoring the operational variables (speed, time, fuel consumption) of a large sample of vehicles with a sampling frequency of 1 Hz at a low cost. However, there is no unified methodology for constructing driving cycles and evaluating their representativeness. [8]. The total number of automobiles in the metropolitan area is 703,075, if a sample of 1% were to be taken, a minimum of seven thousand vehicles would have to be monitored, this is beyond the scope of the project, for this reason the first factor to obtain a representative driving cycle. As initially defined, a sample of 10 vehicles was taken for this study. Due to the afore mentioned, the focus of this project on the representativeness of the cycle focuses its interest on factors b and c.

2.3.1. Characteristic Parameters

Both driving patterns and driving cycles can be described by characteristic parameters [21,34] which are metrics based on speed and time, such as average speed, average acceleration. For this study, 18 characteristic parameters were defined that describe variables of speed, acceleration, operating modes, dynamics, and fuel consumption.

Table 3. characteristic parameters

	<i>Characteristic Parameters (CP)</i>	<i>Symbol</i>	<i>Units</i>
<i>Speed</i>	Average speed	Ave S	m/s
	Maximum speed	Max S	m/s
	Standard deviation of speed	SD S	m/s
<i>Acceleration</i>	Maximum acceleration	Max a+	m/s ²
	Maximum deceleration	Max a-	m/s ²
	Average acceleration	Ave a+	m/s ²
	Average deceleration	Ave a-	m/s ²
	Standard deviation of acceleration	SD a+	m/s ²
	Standard deviation of deacceleration	SD a-	m/s ²
<i>Operating modes (% of time)</i>	Percent of idle time	% idl	%
	Percentage accelerating	% a+	%
	Percentage deceleration	% a-	%
	Percentage cruising	% cru	%
<i>Dynamics</i>	No. of acceleration per kilometer.	AKM	km ⁻¹
	Root mean square of accel.	RMS	m/s ²
	Positive kinetic energy	PKE	m/s ²
	Kinetic Intensity	KI	[km ⁻¹]
<i>Fuel consumption</i>	Specific fuel consumption	SFC	L/km

The equations taken from De Haan, P., & Keller, M. (2004). [52] to calculate characteristics parameters

In addition to the characteristic parameters, the Hong Kong and Zhuhai cycles [57] used the speed-acceleration frequency distribution (SAFD) and the speed-acceleration probability distribution (SAPD). to determine the best driving cycle, while the Beijing cycles introduced Vehicle Specific Power (VSP) to select the most representative cycle from a candidate cycle group [53].

SAPD is a useful tool for representing driving behaviors. It is the probability that the driving data will occur in each speed and acceleration class. SAPD is generally displayed in terms of frequency or probability graph, which provides visual information of driving patterns for each individual trip or group of trips. [57]

In 1998, Sawyer showed that there is a close relationship between emission factors and a vehicle's power output [54]. Later, Jiménez-Palacios introduced the VSP concept in 1999 to describe and quantify the emission condition during vehicle operation [55]. Vehicle Specific Power (VSP) is defined as the instantaneous power per unit mass of the vehicle. The units of specific power are those of power per unit of mass. The fundamental metric unit (SI) is watts per kilogram, which is the same as kilowatts per metric ton (kW / t). The instantaneous power generated by the engine is used to overcome rolling resistance and aerodynamic drag and to increase the potential and kinetic energies of the vehicle. [53].

2.3.2. Method

The method used was Micro trips - fuel based (Microtrips Fuel Based Method- MTFBM), the first thing that was done was to divide the trips into micro trips that are segments of trips that start and end with a vehicle speed of zero. 3072 micro trips were obtained from the 222 trips registered in the database.

The micro trips were then grouped based on their average speed and average positive acceleration. This grouping process was implemented in the Minitab statistical software, through the Observations Clusters tool, using centroids as the linkage method, Euclidean distances, and a 95% level of similarity. Were obtained 14 clusters.

Afterwards, a set of trips were selected in a quasi-random way based on the frequency distribution of the groups. Within each group, each micro trip has the same probability of being selected, then they were joined to produce a driving cycle. candidate with a duration greater than 20 min, at the initiation of variables, 1260 seconds (21 minutes) was defined as the minimum cycle duration and a cycle of 1343 seconds was obtained, which is equivalent to 22 minutes.

In the literature review, the duration times of each driving cycle constructed by different authors are observed, in different years of publication, where the most common corresponds to the range of 1000-1500 seconds.

The criteria for the acceptance of the candidate driving cycle as a representative driving cycle are based on the degree of similarity between the candidate driving cycle (CP *) and the driving patterns. This degree of representativeness is measured by the relative difference (RD_i) between the characteristic parameters of the candidate driving cycle and the CPs that describe the driving pattern (Equation 1). Values less than 5% are normally used as an acceptable threshold. Otherwise, the method restarts and selects a new group of micro trips. [8]

$$RD_i = \frac{\sum(CP_i^* - CP_i)}{CP_i} \quad (1)$$

The micro trips (MT) method is reproducible but not repeatable due to its stochastic nature. Therefore, the resulting representative driving cycle changes each time the method is applied despite using the same travel data set as input data. This variation in the resulting driving cycles generates differences in the CP values obtained, making it difficult to make a fair comparison in the degree of representativeness of the driving cycles constructed with the four sets of evaluation criteria.

As an alternative, the MT method was applied several times and the trend and dispersion of each RD_i . The trend of RD_i was described through the mean relative differences ARD_i , which is calculated by Equation 2. The dispersion of each RD_i was quantified through its interquartile range (IQR_i).

$$ARD_i = \frac{\sum_{j=1}^n |CP_{ij}^* - CP_{ij}|}{nCP_i} \quad (2)$$

In equation 2 n is the total number of iterations performed (1000), j is the number of iterations. Both the ARD_i and the IQR_i can vary between 0 and infinity. They ARD_i and IQR_i values close to zero indicate a great similarity between the constructed driving cycle and the driving pattern.

Finally, the total average value of ARD_i ($A\bar{R}D_i$ Equation. 3) was calculated and used to compare the criteria.

$$A\bar{R}D_i = \frac{\sum_{j=1}^w ARD_i}{w} \quad (3)$$

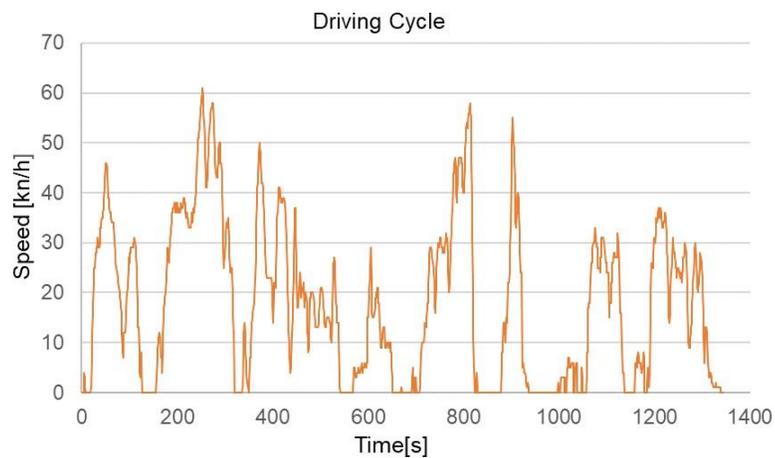
3. Results.

Driving Cycle.

The driving cycle obtained is 1343 seconds, it reaches a maximum speed of 16.38 [m / s], in the graph this peak speed is reached in 274s, reaching 60 [km / h].

It is also shown that there are several parts of idle time where the speed is equal to zero, this can be interpreted as the stops that a driver makes during his journey, these pauses can represent the waits at the traffic lights or the voluntary stops to pick up someone or other reason. Due to the road structure of the Bucaramanga metropolitan area, it is common for a trip of more than 20 minutes to make several stops. Within the city there are no highways with such long distances without being interrupted by traffic lights, stop signs, crossings or some factor that forces the driver to stop for a short period of time. For these reasons it is difficult to drive frequently at high speeds, in addition the number of vehicles circulating generates traffic jams that force the handling of medium speeds.

Figure. 2. Driving cycle. -Speed vs time graph.



3.2. Characteristic parameters- relative differences.

To visualize the characteristic parameters obtained from the driving cycle and their relative differences with respect to the driving pattern, box-and-whisker diagrams were created for grouped data using the Matlab boxplot tool. Additionally, green circles were added with the scatter command, which show the value of the average relative differences (ARDi),

In each box, the middle mark indicates the median, and the bottom and top edges of the box indicate the 25th and 75th percentiles, respectively. Whiskers are extended to the most extreme data points that are not considered outliers, and outliers are plotted individually using the '+' symbol [66]

In the case of accelerations per kilometer, it can be seen that the value of ARD is equal to 16.3 and the median corresponds to 13.476. Additionally, 22 outliers of the 1000 data obtained through the iterations performed are presented. Because running the code with a thousand iterations has a high computational cost and requires several hours of processing, the code was executed with fewer iterations.

Figure 3. Box-and-whisker plot of relative differences after performing 1000 iterations.

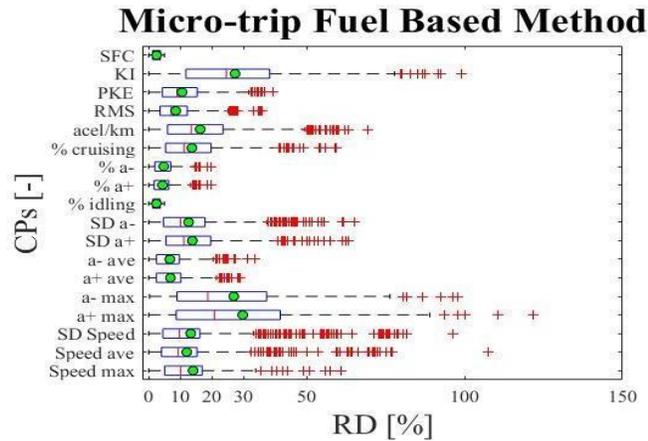


Table 4. Comparison of the characteristic parameters of the driving pattern and the driving cycle.

<i>Characteristic parameters</i>	<i>Driving pattern.</i>	<i>Driving cycle</i>	<i>%ARD</i>
<i>Maximum speed [m/s]</i>	29.1667	16.3889	14.06102
<i>Average speed [m/s]</i>	6.2384	5.1415	12.04961
<i>Std. Dev speed [m/s]</i>	5.7346	4.3056	13.31536
<i>Maximum acceleration [m/s²]</i>	5.9954	2.6289	29.78058
<i>Maximum deceleration [m/s²]</i>	-5.8392	-2.9167	26.94222
<i>Average acceleration [m/s²]</i>	0.5886	0.5661	6.882014
<i>Average deceleration [m/s²]</i>	-0.6285	-0.6207	6.726044
<i>Standard deviation of acceleration [m/s²]</i>	0.4732	0.4352	13.82516
<i>Standard deviation of deacceleration [m/s²]</i>	0.5199	0.4831	12.66078
<i>Percent of idle time</i>	24.70%	23.46%	2.460472
<i>Percentage accelerating</i>	28.47%	29.78%	4.402098
<i>Percentage deceleration</i>	26.70%	27.13%	4.767739
<i>Percentage cruising</i>	20.13%	19.63%	13.67196
<i>No. of acceleration per kilometer. [km⁻¹]</i>	19.6436	22.7386	16.30074
<i>Root mean square of accel. [m²/s²]</i>	0.5845	0.5665	8.566293
<i>Positive kinetic energy [m/s²]</i>	0.3797	0.3865	10.53903
<i>Specific fuel consumption [L/100km]</i>	13.4027	0.1331	2.511124
<i>Kinetic Intensity [km⁻¹]</i>	1.1756	2.2300	27.36579

The values of the characteristic parameters obtained from the driving cycle and the driving pattern were recorded and compared by mean relative differences (ARDi).

In table 4 it can be seen that the ARD percentages are less than 30%, the idle percentage is the characteristic parameter with the greatest similarity, since its ARD is 2.46%, on the other hand, the maximum acceleration has 29.78% of ARD, in the driving pattern an acceleration of 5.9 m / s² is reached, while in the driving cycle a maximum value of 2.6 m / s² was obtained but they are peak values that are not so frequent, on the other hand, the Average acceleration has a lower percentage of ARD, which means that the values are more similar.

3.3. SAPD AND VSP GRAPHS.

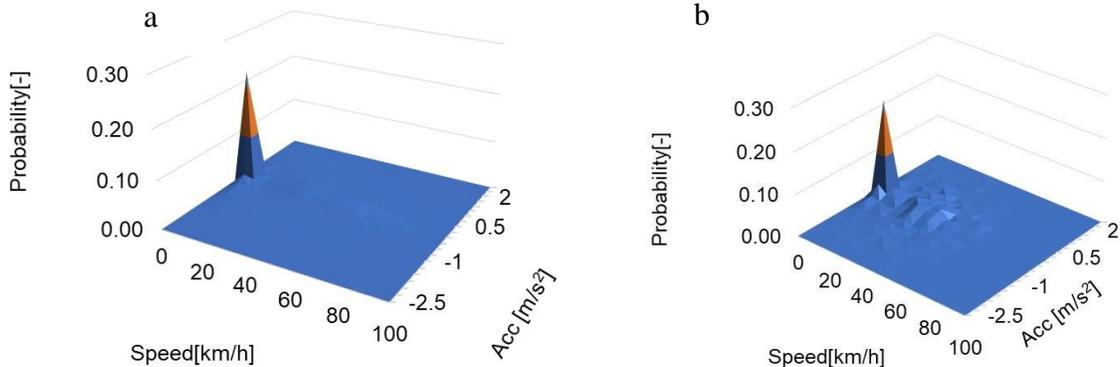
To better visualize these results obtained, we proceeded to perform speed-acceleration probability (SAPD) and vehicle specific power (VSP) graphs.

3.3. 1. SAPD

Figure 4 shows a noticeable probability peak around 0.20 and at speeds close to zero. These results are consistent with those recorded in table 10, the idle percentage is 24.70% in the driving pattern and 23.46% in the driving cycle.

Figure 4. Speed acceleration probability distribution. (SAPD).

- a) Of driving pattern.
- b) Of driving cycle.



3.2.1. VSP

Graphs were also made of the specific power of the vehicle, its probability and relationship with speed.

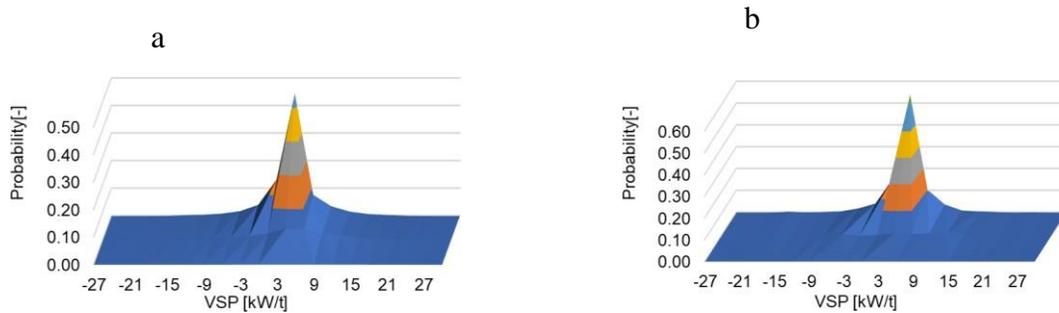
Speed and acceleration are considered to have the greatest impact on emissions. VSP explains how different driving conditions of a car affect emissions from a physics point of view. The VSP distribution includes a negative part and a positive part. The downside of VSP stems from speed and deceleration. Positive vehicle movement (cruising or acceleration) results in positive VSP values. [53]

In the International Vehicle Emissions Model (IVE), driving patterns are characterized using two parameters, vehicle specific power (VSP) and engine stress. The term engine stress or effort referred to relates to the engine revolutions and the time that the vehicle has been operating at a higher VSP level. The higher the revs and / or the higher the VSP level for 20 seconds before an event, the higher the stress level, and therefore the higher the emissions generated by the engine. [67].

The graphs in figure 5 are very similar, in both a peak is observed where the specific power of the vehicle is 3 kW / t, at this point in the driving pattern there is a probability of 0.4433 and in the driving cycle this value corresponds to 0.5383. These values are obtained at low speeds, to better observe the speeds in relation to the VSP, graphs were made, where there are three speed ranges: low speed: 0km / h - 40km / h, average speed: 40km / h - 80 km / h and high speed: 80km / h onwards.

Figure 5. Vehicle Specific Power (VSP).

- a) Of the driving pattern
- b) Of the driving cycle



3.4. Comparison

The following table compares the driving cycle obtained in this study (BGA2021: Navarro, Garcia - Bga (Col)), with ten driving cycles as shown in table 5.

Table 5. Characteristic parameters comparison

	BGA 2021	BGA 2019	TOL	CDMX	MDC	HK	NYCC	LA 92	FTP-72	FTP-75	ECE 15 + EUDC
Max S	16.39	13.33	28.10	22.30	-	21.58	12.39	30.06	25.36	25.36	33.36
Ave S	5.14	2.21	12.00	7.30	5.63	6.94	3.17	11.00	8.75	9.47	11.42
SD S	4.31	3.62	8.90	6.90	-	-	-	-	-	-	8.15
Max a+	2.63	4.44	2.00	1.30	-	-	-	-	-	-	-
Max a-	-2.92	-5.00	-2.50	-2.10	-	-	-	-	-	-	-
Ave a+	0.57	1.03	0.40	0.50	0.54	0.59	0.71	0.67	0.60	0.61	0.32
Ave a-	-0.62	-1.18	-0.50	-0.50	-0.53	-0.60	-0.70	-0.75	-0.69	-0.70	-0.40
SD a+	0.44	0.75	0.20	0.20	-	-	-	-	-	-	0.26
SD a-	0.48	0.89	0.40	0.40	-	-	-	-	-	-	-
% idl	23.46	62.50	9.90	15.10	21.75	17.80	36.20	15.20	17.60	17.90	21
% a+	29.78	59.80	29.50	32.90	37.34	34.50	27.90	38.20	32.80	32.40	27
% a-	27.13	52.10	25.60	29.30	37.69	34.20	28.20	34.10	28.30	28.20	20
% cru	19.63	26.30	34.90	22.70	3.22	12.00	6.30	12.20	20.90	21.20	32
AKM	22.74	27.05	7.30	8.60	-	36.00	7.00	9.63	6.90	7.00	16.00
RMS	0.57	0.46	0.40	0.50	0.63	0.73	0.91	0.85	0.74	0.76	0.13
PKE	0.39	0.29	0.240	0.40	6.66	0.40	0.55	0.41	0.38	0.38	-
SFC	0.13	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KI	2.23	1.91	-	0.80	-	-	-	-	-	-	-

The ten driving cycles shown in the table correspond to:

- BGA2019: De León – Bga (Col) [65]
- TOL: Huertas- Toluca (Mex) [14]
- CDMX: Quirama - CDMX (Mex) [8]
- MDC: Mohammad -Mashhad (Iran) [9]
- HK: Hung- Hong Kong (China) [57]
- NYCC: The New York City Cycle)
- LA 92 (California Unified Cycle)
- FTP-72 (American Driving Cycle)
- FTP-75 (American Driving Cycle)
- ECE 15 + EUDC (European Driving Cycle)

The average acceleration and deceleration values are similar in all driving cycles, on the other hand, the percentages of idling, accelerating, decelerating, and cruising vary greatly. The values of positive kinetic energy (PKE) and root mean square of acceleration (RMS) are all similar and less than 1. The average velocity ranges from 2m / s to 12 m / s.

The results obtained are consistent, because the driving cycles presented in the table are from different cities in the world and there is similarity in some characteristic parameters, it would not be logical for all the CPs to be similar because the routes, studies, traffic, population, and other factors affecting the cycle are different for each case study.

4. Conclusions

- The method used was Micro trips - fuel based (Microtrips Fuel Based Method- MTFBM), where the evaluation criteria are the specific fuel consumption (SFC), the average speed and the percentage of time at idle. 3072 micro trips were obtained from the 222 trips registered in the database.
- A driving cycle with a duration of 1343 seconds was obtained, which is equivalent to 22 minutes, where the maximum speed is 16.38 [m / s], that is, it does not exceed 60 km / h, and it is presented an idle percentage of 23.46%.
- The results obtained are consistent because within the metropolitan area of Bucaramanga it is difficult to reach very high speeds because there are no highways with very long routes without being interrupted by traffic lights or traffic signals. In addition, traffic forces drivers to travel at low speeds in the city.
- An idle percentage of 23.46% is presented, which is equivalent to idle times where the speed is equal to zero, this can be interpreted as the stops made by a driver during his journey, these pauses can represent waiting at traffic lights or voluntary stops to pick someone up or other reason. It also represents the times where each journey begins and ends.
- A driving cycle can be described by a graph of speed vs. time, speed-acceleration probability distribution (SAPD), vehicle specific power (VSP) and by means of the characteristic parameters.
- The micro trips (MT) method is reproducible but not repeatable due to its stochastic nature, as it produces a different conduction cycle each time the method is applied. The driving cycle construction process was repeated 1000 times, all RD_i were calculated in each iteration and the mean relative differences (ARD_i) were recorded.
- The box and whisker plots allow us to observe the dispersion of the data obtained, thanks to this it was observed that the greater the number of iterations, the greater the amount of atypical data obtained.
- Ten vehicles were monitored with a frequency of 1Hz through on-board monitoring with low-cost instrumentation (Scanner ELM327) and with mobile devices through the Torque Pro application.

References.

- [1]. X. Zhao, Q. Yu, J. Ma, Y. Wu, M. Yu, and Y. Ye, "Development of a representative EV urban driving cycle based on a k-Means and SVM hybrid clustering algorithm," *J. Adv. Transp.*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/1890753
- [2]. J. Zhang, Z. Wang, P. Liu, Z. Zhang, X. Li, and C. Qu, "Driving cycles construction for electric vehicles considering road environment: A case study in Beijing," *Appl. Energy*, vol. 253, 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.113514.
- [3]. P. Yuhui, Z. Yuan, and Y. Huibao, "Development of a representative driving cycle for urban buses based on the K-means cluster method," *Cluster Comput.*, vol. 22, pp. 6871–6880, 2019, doi: 10.1007/s10586-017-1673-y.
- [4]. Y. Yang *et al.*, "Development and emissions performance analysis of local driving cycle for small-sized passenger cars in Nanjing, China," *Atmos. Pollut. Res.*, vol. 10, no. 5, pp. 1514–1523, 2019, doi: 10.1016/j.apr.2019.04.009.
- [5]. Z. Wang, J. Zhang, P. Liu, C. Qu, and X. Li, "Driving cycle construction for electric vehicles based on Markov chain and Monte Carlo method: A case study in Beijing," in *Energy Procedia*, 2019, vol. 158, pp. 2494–2499, doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.389.
- [6]. R. Tharvin *et al.*, "Development of Driving Cycle for Passenger Car under Real World Driving Conditions in Kuala Lumpur, Malaysia," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 429, no. 1, doi: 10.1088/1757-899X/429/1/012047.
- [7]. P. Shen, Z. Zhao, J. Li, and X. Zhan, "Development of a typical driving cycle for an intra-city hybrid electric bus with a fixed route," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 59, pp. 346–360, 2018, doi: 10.1016/j.trd.2018.01.032.
- [8]. L. F. Quirama, M. Giraldo, J. I. Huertas, and M. Jaller, "Driving cycles that reproduce driving patterns, energy consumptions and tailpipe emissions," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 82, 2020, doi: 10.1016/j.trd.2020.102294.
- [9]. M. A. Pouresmaeili, I. Aghayan, and S. A. Taghizadeh, "Development of Mashhad driving cycle for passenger car to model vehicle exhaust emissions calibrated using on-board measurements," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 36, pp. 12–20, 2018, doi: 10.1016/j.scs.2017.09.034.

- [10]. Y.-L. T. Nguyen, T.-D. Nghiem, A.-T. Le, and N.-D. Bui, "Development of the typical driving cycle for buses in Hanoi, Vietnam," *J. Air Waste Manag. Assoc.*, vol. 69, no. 4, pp. 423–437, 2019, doi: 10.1080/10962247.2018.1543736.
- [11]. S. Mongkonlerdmanee and S. Koetnuyom, "Development of a realistic driving cycle using time series clustering technique for buses: Thailand case study," *Eng. J.*, vol. 23, no. 4, pp. 49–65, 2019, doi: 10.4186/ej.2019.23.4.49.
- [12]. S. K. Mayakuntla and A. Verma, "A novel methodology for construction of driving cycles for Indian cities," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 65, pp. 725–735, 2018, doi: 10.1016/j.trd.2018.10.013.
- [13]. T. Koossalapeerom, T. Satiennam, W. Satiennam, W. Leelapatra, A. Seedam, and T. Rakpukdee, "Comparative study of real-world driving cycles, energy consumption, and CO₂ emissions of electric and gasoline motorcycles driving in a congested urban corridor," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 45, pp. 619–627, 2019, doi: 10.1016/j.scs.2018.12.031.
- [14]. J. I. Huertas, L. F. Quirama, M. D. Giraldo, and J. Díaz, "Comparison of driving cycles obtained by the micro-trips, markov-chains and mwd-cp methods," *Int. J. Sustain. Energy Plan. Manag.*, vol. 22, pp. 109–120, 2019, doi: 10.5278/ijsepm.2554.
- [15]. J. I. Huertas, L. F. Quirama, M. Giraldo, and J. Díaz, "Comparison of three methodologies for driving cycles construction," 2018.
- [16]. J. I. Huertas, M. Giraldo, L. F. Quirama, and J. Díaz, "Driving cycles based on fuel consumption," *Energies*, vol. 11, no. 11, 2018, doi: 10.3390/en11113064.
- [17]. J. I. Huertas, J. Díaz, D. Cordero, and K. Cedillo, "A new methodology to determine typical driving cycles for the design of vehicles power trains," *Int. J. Interact. Des. Manuf.*, vol. 12, no. 1, pp. 319–326, 2018, doi: 10.1007/s12008-017-0379-y.
- [18]. Geetha and C. Subramani, "Development of driving cycle under real world traffic conditions: A case study," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 9, no. 6, pp. 4798–4803, 2019, doi: 10.11591/ijece.v9i6.pp4798-4803.
- [19]. N. H. Arun, S. Mahesh, G. Ramadurai, and S. M. Shiva Nagendra, "Development of driving cycles for passenger cars and motorcycles in Chennai, India," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 32, pp. 508–512, 2017, doi: 10.1016/j.scs.2017.05.001.
- [20]. N. Anida, I. S. Ismail, J. S. Norbakyah, W. H. Atiq, and A. R. Salisa, "Characterisation and development of driving cycle for work route in Kuala Terengganu," *Int. J. Automot. Mech. Eng.*, vol. 14, no. 3, pp. 4508–4517, 2017, doi: 10.15282/ijame.14.3.2017.9.0356.
- [21]. H. Y. Tong and W. T. Hung, "A framework for developing driving cycles with on-road driving data," *Transp. Rev.*, vol. 30, no. 5, pp. 589–615, 2010, doi: 10.1080/01441640903286134.
- [22]. V. C. Magaña, "Eco-driving: ahorro de energía basado en el comportamiento del conductor," *Carlos III Madrid*, 2014.
- [23]. L. A. Giraldo Amaya, "Estimación del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá e identificación de variables pertinentes." Bogotá-Uniandes, 2006.
- [24]. A. H. Gomez, "Desarrollo de ciclos de conducción para el área metropolitana Centro Occidente-AMCO." Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Mecánica ..., 2014.
- [25]. A. H. Restrepo, Y. A. Carranza, and J. E. Tibaquirá, "Diseño y aplicación de una metodología para determinar ciclos de conducción vehicular en la ciudad de Pereira," *Sci. Tech.*, vol. 1, no. 37, 2007.
- [26]. A. H. Restrepo, S. Izquierdo, and R. A. López, "Estimación de factores que inciden sobre la contaminación ambiental generada por fuentes móviles en pereira," *Sci. Tech.*, vol. 1, no. 37, 2007.
- [27]. A. Valdez Aguilera "Desarrollo de Ciclos de Conducción Vehicular en el Municipio de Naucalpan-Edición Única." Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, 2004, [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/11285/572354>. 2004
- [28]. F. D. E. U. N. P. DE CARRERAS, C. PETROL, B. E. I. M. ESPAÑA, P. J. C. TIPÁN, M. D. E. L. Z. LÓPEZ, and I. N. G. I. BENAVIDES, "TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN FINANZAS Y AUDITORÍA."
- [29]. Q. Shi, B. Liu, Q. Guan, L. He, and D. Qiu, "A genetic ant colony algorithm-based driving cycle generation approach for testing driving range of battery electric vehicle," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 12, no. 1, 2020, doi: 10.1177/1687814019901054.
- [30]. Y. Peng, Y. Zhuang, and Y. Yang, "A driving cycle construction methodology combining k-means clustering and Markov model for urban mixed roads," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part D J. Automob. Eng.*, vol. 234, no. 2–3, pp. 714–724, 2020, doi: 10.1177/0954407019848873.
- [31]. X. Zheng et al., "Real-world fuel consumption of light-duty passenger vehicles using on-board diagnostic (OBD) systems," *Front. Environ. Sci. Eng.*, vol. 14, no. 2, 2020, doi: 10.1007/s11783-019-1212-6.
- [32]. Chauhan, B. P., Joshi, G. J., & Purnima, P. (2020). Candidate Driving Cycle Construction for Emission Estimation. In *Transportation Research* (pp. 85-97). Springer, Singapore.
- [33]. Zhang, H., & Yao, Y. G. (2019). Construction of a Light-duty Vehicle Driving Cycle Based on Urban Road. *Journal of Highway and Transportation Research and Development (English Edition)*, 13(4), 95-101.
- [34]. Tong, H. Y., Tung, H. D., Hung, W. T., & Nguyen, H. V. (2011). Development of driving cycles for motorcycles and light-duty vehicles in Vietnam. *Atmospheric Environment*, 45(29), 5191-5199.
- [35]. Lai, J., Yu, L., Song, G., Guo, P., & Chen, X. (2013). Development of city-specific driving cycles for transit buses based on VSP distributions: Case of Beijing. *Journal of transportation engineering*, 139(7), 749-757.
- [36]. Tzirakis, E., & Zannikos, F. (2015). Development of processing methodologies used to form complete driving-cycle dynamometer tests based on urban on-road driving and road gradient data. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 229(1), 97-110.
- [37]. Hwa, M. Y., & Yu, T. Y. (2014). Development of real-world driving cycles and estimation of emission factors for in-use light-duty gasoline vehicles in urban areas. *Environmental monitoring and assessment*, 186(7), 3985-3994.
- [38]. Zhao, X., Ma, J., Wang, S., Ye, Y., Wu, Y., & Yu, M. (2019). Developing an electric vehicle urban driving cycle to study differences in energy consumption. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(14), 13839-13853.
- [39]. Ho, S. H., Wong, Y. D., & Chang, V. W. C. (2014). Developing Singapore Driving Cycle for passenger cars to estimate fuel consumption and vehicular emissions. *Atmospheric environment*, 97, 353-362.

- [40]. Wu, X., Hu, C., & Du, J. (2015). Development of a driving cycle for city bus in Harbin of China. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*, 7(2), 104-119.
- [41]. Seers, P., Nachin, G., & Glaus, M. (2015). Development of two driving cycles for utility vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 41, 377-385.
- [42]. Brady, J., & O'Mahony, M. (2016). Development of a driving cycle to evaluate the energy economy of electric vehicles in urban areas. *Applied energy*, 177, 165-178.
- [43]. Berzi, L., Delogu, M., & Pierini, M. (2016). Development of driving cycles for electric vehicles in the context of the city of Florence. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 47, 299-322.
- [44]. Yang, Y., Zhang, Q., Wang, Z., Chen, Z., & Cai, X. (2018). Markov chain-based approach of the driving cycle development for electric vehicle application. *Energy Procedia*, 152, 502-507.
- [45]. Mahayadin, A. R., Ibrahim, I., Zunaidi, I., Shahrman, A. B., Faizi, M. K., Sahari, M., ... & Rani, M. F. H. (2018, August). Development of Driving Cycle Construction Methodology in Malaysia's Urban Road System. In *2018 International Conference on Computational Approach in Smart Systems Design and Applications (ICASSDA)* (pp. 1-5). IEEE.
- [46]. Anida, I. N., & Salisa, A. R. (2019). Driving cycle development for Kuala Terengganu city using k-means method. *International Journal of Electrical & Computer Engineering* (2088-8708), 9(3).
- [47]. Anida, I. N., Norbakyah, J. S., Zulfadli, M., Norainiza, M. H., & Salisa, A. R. (2019). Driving cycle development of BAS KITE in Kuala Terengganu city to optimize the energy consumption and emissions. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 469, No. 1, p. 012112). IOP Publishing.
- [48]. Kaymaz, H., Korkmaz, H., & Erdal, H. (2019). Development of a driving cycle for Istanbul bus rapid transit based on real-world data using stratified sampling method. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 75, 123-135.
- [49]. Zhao, X., Ye, Y., Ma, J., Shi, P., & Chen, H. (2020). Construction of electric vehicle driving cycle for studying electric vehicle energy consumption and equivalent emissions. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-15.
- [50]. M. F. Mohd Suhaimi, N. A. Mohd Salleh, D. T. M. Madani Sahari, and M. S. Sarip, "Development of Kuala Lumpur driving cycle for the estimation of fuel consumption and vehicular emission," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 834, no. 1, doi: 10.1088/1757-899X/834/1/012040.
- [51]. Maamria, D., Gillet, K., Colin, G., Chamailard, Y., & Nouillant, C. (2019). Optimal Predictive Eco-Driving Cycles for Conventional, Electric, and Hybrid Electric Cars. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68(7), 6320-6330.
- [52]. De Haan, P., & Keller, M. (2004). Modelling fuel consumption and pollutant emissions based on real-world driving patterns: the HBEFA approach. *International journal of environment and pollution*, 22(3), 240-258.
- [53]. Yu, L., Wang, Z., Qiao, F., & Qi, Y. (2008). Approach to Development and Evaluation of Driving Cycles for Classified Roads Based on Vehicle Emission Characteristics. *Transportation Research Record*, 2058(1), 58-67.
- [54]. Sawyer, R. F., R. A. Harley, S. H. Cadle, J. M. Norbeck, R. Slott, H. A. Bravo, K. L. Schere, G. M. Hidy, and H. B. Singh. Mobile Sources Critical Review: 1998 NARSTO Assessment. *Journal of Atmospheric Environment*, Vol. 34, No. 12-14, 2000, pp. 2161-2181.
- [55]. Jiménez-Palacios, J. L. *Understanding and Quantifying Motor Vehicle Emissions with Vehicle Specific Power and TILDAS Remote Sensing*. PhD dissertation. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass., Feb. 1999. http://cires.colorado.edu/jimenez/Papers/Jimenez_PhD_Thesis.pdf. Accessed May 16, 2007.
- [56]. Bluett, Jeff & Kuschel, Gerda & Rijkenberg, Micha & Shrestha, Kreepa. (2021). Are the harmful emissions from New Zealand's light duty vehicle fleet improving? May 2011.
- [57]. Hung, W. T., Tong, H. Y., Lee, C. P., Ha, K. and Pao, L. Y. (2007) Development of a practical driving cycle construction methodology: a case study in Hong Kong, *Transportation Research D*, 12, pp. 115-128.
- [58]. Ogata, K. (1996). *Sistemas De Control En Tiempo Discreto* (1a. ed.). México: Prentice Hall Hispanoamericana.
- [59]. Nutramon, T., & Supachart, C. (2009). Influence of driving cycles on exhaust emissions and fuel consumption of gasoline passenger car in Bangkok. *Journal of environmental sciences*, 21(5), 604-611.
- [60]. Gong, Q., Midlam-Mohler, S., Marano, V., & Rizzoni, G. (2011). An iterative markov chain approach for generating vehicle driving cycles. *SAE International Journal of Engines*, 4(1), 1035-1045.
- [61]. Shi, S., Lin, N., Zhang, Y., Cheng, J., Huang, C., Liu, L., & Lu, B. (2016). Research on Markov property analysis of driving cycles and its application. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 47, 171-181.
- [62]. Bishop, J. D., Axon, C. J., & McCulloch, M. D. (2012). A robust, data-driven methodology for real-world driving cycle development. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(5), 389-397.
- [63]. Xiao, Z., Dui-Jia, Z., & Jun-Min, S. (2012). A synthesis of methodologies and practices for developing driving cycles. *Energy Procedia*, 16, 1868-1873.
- [64]. R. Huang, C. Cui, W. Sun and D. Towey, "Poster: Is Euclidean Distance the best Distance Measurement for Adaptive Random Testing?," 2020 IEEE 13th International Conference on Software Testing, Validation and Verification (ICST), 2020, pp. 406-409, doi: 10.1109/ICST46399.2020.00049.
- [65]. León, C. M. (2019). Estimación del consumo de combustible mediante la determinación de ciclos de conducción representativos en Bucaramanga, Santander. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12749/7051>.
- [66]. Velleman, P.F., and D.C. Hoaglin. *Applications, Basics, and Computing of Exploratory Data Analysis*. Pacific Grove, CA: Duxbury Press, 1981.