

CLASIFICACIÓN DE ESTILOS DE CONDUCCIÓN EN EL ÁREA
METROPOLITANA DE BUCARAMANGA CON MONITOREO A BORDO (OBD II)
EN CONDICIONES REALES DE CARRETERA

JUAN DANILO MOLINA MARTÍNEZ
BRAYAN FERNEY ACUÑA OLIVAR

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BUCARAMANGA
2022

CLASIFICACIÓN DE ESTILOS DE CONDUCCIÓN EN EL ÁREA
METROPOLITANA DE BUCARAMANGA CON MONITOREO A BORDO (OBD II)
EN CONDICIONES REALES DE CARRETERA

JUAN DANILO MOLINA MARTÍNEZ
BRAYAN FERNEY ACUÑA OLIVAR

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
2022

AGRADECIMIENTOS

Nuestra gratitud a las personas que nos colaboraron de forma amable con su tiempo, dedicación y paciencia, para llevar a cabalidad y de buena forma el monitoreo de los datos utilizados en el desarrollo del proyecto.

Muchas gracias a nuestra directora MSc. Jessica Gissella Maradey por el acompañamiento, dedicación y apoyo proporcionado durante la realización del proyecto, y, sobre todo por los consejos tan valiosos recibidos desde su experiencia personal y profesional, siendo una maestra de la vida que se ganó nuestro aprecio.

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 nuestros familiares por siempre creer en nosotros, en que alcanzaríamos este sueño que a veces parecía imposible, pero finalmente hoy podemos decir ¡se ha conseguido la meta!

-Juan Danilo y Brayan Ferney.

Gratitud especial a mi madre Georgina Martínez y a mi padre Juan José Molina, por impregnar en mí valores de respeto, honestidad y responsabilidad, por los consejos dados a cada momento que me guiaron a nunca perecer ante los obstáculos que se oponían para cumplir los objetivos propuestos, gracias por estar en todo mi proceso de formación desde mis inicios en primaria hasta culminar mis estudios de pregrado.

-Juan Danilo Molina

Un agradecimiento especial primero que todo a Dios, por todo lo que hasta el momento me ha brindado, a mis padres Martha olivar y Gerardo Acuña por ser ese pilar y apoyo incondicional durante todo mi desarrollo académico y personal, a mi amiga del alma Yesika Vargas por confiar y creer en mí, sus consejos, apoyo y compañía que me ha brindado durante este proceso, a mi compañero Juan Danilo, a mis amigos, y a todas las personas que han aportado en el cumplimiento de este logro.

-Brayan Acuña Olivar

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	13
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	15
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1 ESTILOS DE CONDUCCIÓN	16
2.1.1 Definición del estilo de conducción	16
2.1.1 Clasificación de estilos de conducción	17
2.1.2 Importancia de los estilos de conducción	18
2.1.3 Factores que influyen en los estilos de conducción	18
2.1.4 Instrumentación utilizada para la adquisición de datos	19
2.1.5 Métodos para la clasificación de estilos de conducción.	20
2.2 CICLOS DE CONDUCCIÓN	21
2.2.1 Definición de ciclos de conducción	21
2.2.1 Tipos de ciclos de conducción	22
2.2.2 Métodos para el desarrollo de ciclos de conducción	24
2.2.3 Metodología base para la construcción de ciclos de conducción.	26
3. ESTADO DEL ARTE	27
3.1 ESTILOS DE CONDUCCIÓN	27
3.2 CICLOS DE CONDUCCIÓN	31
4. METODOLOGÍA	34
4.1 CAMPAÑA DE MONITOREO	35
4.1.1 Ruta seleccionada	35
4.1.2 Datos técnicos de los vehículos monitoreados	36
4.1.3 Datos sociodemográficos de los conductores	37
4.1.4 Variables monitoreadas	38
4.2 SISTEMA DE MONITOREO IMPLEMENTADO	38
4.2.1 Sistema de adquisición de datos	39

4.2.2	Tipo de conectividad para el envío de información	41
4.2.3	Registrador de datos	43
4.2.4	Almacenamiento de datos en la nube.....	46
4.3	ADQUISICIÓN DE DATOS	47
4.4	ELIMINACIÓN DE DATOS ATÍPICOS	48
4.5	REGISTRO DE DATOS EN LA NUBE	50
4.6	METODOLOGÍA APLICADA PARA LA CLASIFICACIÓN DE ESTILOS DE CONDUCCIÓN	50
4.6.1	Selección de las características para la clasificación de los estilos de conducción	51
4.6.2	Segmentación del tipo de carretera	54
4.6.3	Identificación de los rangos intercuartílicos.....	54
4.6.4	Método de la aceleración para la clasificación de estilos de conducción	55
4.6.5	Método del Jerk para la clasificación de estilos de conducción.....	56
4.6.6	Construcción del algoritmo desarrollado.....	56
4.7	MÉTODO APLICADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL CICLO DE CONDUCCIÓN	57
4.7.1	Método micro-trips fuel based method (MTFBM).....	57
4.7.2	Selección de los parámetros característicos.....	58
4.7.3	Ecuaciones para el cálculo de los parámetros característicos	58
4.7.4	Cálculos de los parámetros característicos de los datos monitoreados	60
4.7.5	Obtención de los micro viajes.....	61
4.7.6	Clúster y distribución de probabilidad	61
4.7.7	Selección cuasi aleatoria y empalme de los micro viajes.....	62
4.7.8	Validación del ciclo de conducción	62
4.8	POTENCIA ESPECÍFICA DEL VEHÍCULO (VSP)	65
4.8.1	Proceso de obtención de las variables para calcular el VSP.....	66
4.9	DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE VELOCIDAD-ACELERACIÓN (SAFD).....	67
4.9.1	Proceso de obtención del diagrama SAFD	67
5.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS	68
5.1	BASE DE DATOS PROYECTO ACTUAL 2022	68
5.2	BASE DE DATOS CONCATENADA (PROYECTO 2021 Y 2022)	69

5.3	CICLOS DE CONDUCCIÓN OBTENIDOS, MUESTRA DE 16 Y 26 VEHÍCULOS	70
5.3.1	Parámetros característicos y diferencias relativas.....	72
5.4	ANÁLISIS DE LA POTENCIA ESPECIFICA DEL VEHÍCULO	73
5.5	ANÁLISIS DE LOS DIAGRAMAS SAFD	75
5.5.1	Análisis de la variable de velocidad en los diagramas SAFD	75
5.5.2	Análisis de la variable de aceleración en los diagramas SAFD.....	76
5.5.3	Análisis del diagrama SAFD de forma generalizada	77
5.6	CLASIFICACIÓN DE ESTILOS DE CONDUCCIÓN MUESTRA DE 16	
	VEHÍCULOS	78
5.6.1	Clasificación de estilos de conducción base de datos general.....	78
5.6.2	Correlación del consumo de combustible y los estilos de conducción	80
5.6.3	Consumo de combustible por tipo de carretera.....	81
5.7	CLASIFICACIÓN DE ESTILOS DE CONDUCCIÓN POR CONDUCTOR	81
5.7.1	Clasificación de estilos de conducción por conductor	82
5.7.2	Correlación del consumo de combustible y los estilos de conducción	84
5.7.3	Clasificación de los estilos de conducción por conductor y correlación de la edad.	85
5.7.4	Correlación del consumo de combustible y los estilos de conducción por cada conductor.	86
6.	VALIDACIÓN Y COMPARACIÓN DEL CICLO DE CONDUCCIÓN	87
6.1	COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS	87
6.1.1	Comparación con los ciclos de conducción desarrollados en Bucaramanga..	88
6.1.2	Comparación con los ciclos de conducción desarrollados para la homologación	88
6.2	VALIDACIÓN DE LOS CICLOS DE CONDUCCIÓN	91
6.2.1	Validación del ciclo de conducción a partir de la diferencia relativa promedio	91
7.	CONCLUSIONES	93
8.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS A FUTURO	95
	BIBLIOGRAFÍA.....	96
9.	ANEXOS	103

9.1	MANUAL DE CONFIGURACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN OBD II Y TORQUE PRO	103
9.2	ANEXOS BASE DE DATOS DESARROLLADAS	103
9.3	CARPETA CON TODA LA INFORMACIÓN DEL PROYECTO.....	103
9.4	GRÁFICAS DE LOS ESTILOS DE CONDUCCIÓN	104
9.5	CÓDIGO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL CICLO DE CONDUCCIÓN BASE CONCATENADA	109
9.6	CÓDIGO CLASIFICACIÓN DE ESTILOS DE CONDUCCIÓN	114

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parque automotor área metropolitana de Bucaramanga 2015 – 2018, [autores].	13
Tabla 2. Clasificación de estilos de conducción, [autores].	17
Tabla 3. Factores influyentes en los estilos de conducción [7].	18
Tabla 4. Instrumentaciones utilizadas para el monitoreo de vehículos, [autores].	20
Tabla 5. Algoritmos implementados para la clasificación de estilos de conducción, [autores].	21
Tabla 6. Métodos implementados y parámetros característicos seleccionados por diferentes ciclos de conducción establecidos en el mundo, [autores].	25
Tabla 7. Información del área metropolitana de Bucaramanga [autores].	36
Tabla 8. Datos técnicos de la muestra de vehículos, [autores].	36
Tabla 9. Variables monitoreadas a partir del sistema de monitoreo.	38
Tabla 10. Ventajas y desventajas de los métodos de monitoreo en condiciones reales de carretera, [autores].	39
Tabla 11. Matriz QFD selección de dispositivo OBD2, [Autores].	41
Tabla 12. Descripción de los pines del puerto OBD II, [autores].	42
Tabla 13. Sensores seleccionados en la App Torque Pro, [autores].	45
Tabla 14. Características calculadas para analizar el comportamiento de conducción, [autores].	52
Tabla 15. Características utilizadas para la clasificación de estilos según la literatura investigada, [autores].	53
Tabla 16. Malla vial estratificada para el área metropolitana de Bucaramanga.	54
Tabla 17. Media, desviación estándar, cuartiles Q1, Q2, Q3, y rango intercuartílico para aceleración positiva, desaceleración, jerk absoluto y velocidad, para diferentes tipos de carretera, [autores].	55
Tabla 18. Ecuaciones cálculos de los parámetros característicos, [autores].	59
Tabla 19. Cálculo de parámetros característicos, datos monitoreados proyecto actual, [autores].	64
Tabla 20. Comparación de la base de datos actual y la base de datos antecedente, [autores].	70
Tabla 21. Parámetros característicos obtenidos del ciclo de conducción, [autores].	73
Tabla 22. Estilos de conducción clasificados por conductor, [autores].	85
Tabla 23. Consumo de combustible y estilos de conducción por conductor, [autores].	86
Tabla 24. Ciclos de conducción a comparar, [autores].	87
Tabla 25. Comparación de ciclos de conducción estatales con los desarrollados, [autores].	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de conducción transitorio ETC [64].	22
Figura 2. Ciclo de conducción ECE-15 [64].	22
Figura 3. Ciclo de conducción FTP-75 [64].	22
Figura 4. Metodología base para el desarrollo de ciclos de conducción [62].	26
Figura 5. Metodología desarrollada para el proyecto, [autores].	34
Figura 6. Campaña de monitoreo Bucaramanga 2021 2do semestre, [autores].	35
Figura 7. Marca de los vehículos monitoreados, [autores].	37
Figura 8. Datos sociodemográficos, (a) rango de edades, (b) genero, (c) experticia conduciendo, [autores].	37
Figura 9. Sistema de monitoreo establecido, [autores].	38
Figura 10. Dispositivos OBD II disponibles en el mercado colombiano a bajo costo, [autores].	39
Figura 11. Pines del conector del dispositivo ELM327.	42
Figura 12. Localizaciones del puerto OBDII dentro del vehículo.	42
Figura 13. Selección de unidades del Sistema Internacional de Unidades, [autores].	44
Figura 14. Configuración de opciones de adaptador, [autores].	44
Figura 15. Configuración de la opción registro de datos y carga, [autores].	45
Figura 16. Validación funcional de la instalación y configuración rpm, [autores].	45
Figura 17. Validación de guardado y registro de sensores, [autores].	46
Figura 18. Carpeta torqueLogs almacenamiento interno, [autores].	47
Figura 19. Envío de datos a desarrolladores del proyecto, [autores].	47
Figura 20. Sistema de adquisición de datos instalado, [autores].	47
Figura 21. Datos recibidos de parte de los conductores, [autores].	48
Figura 22. Etapa 1 y 2 de eliminación y ajuste de archivos atípicos, [autores].	49
Figura 23. Etapa de eliminación de datos atípicos, [autores].	49
Figura 24. Base de datos proyecto Molina y Acuña 2022, [autores].	50
Figura 25. Metodología desarrollada para la clasificación de estilos de conducción, [autores].	51
Figura 26. Características utilizadas por cantidad de artículos, [autores].	52
Figura 27. Algoritmo para la construcción del ciclo de conducción, tomado de [68].	58
Figura 28. Obtención de los parámetros característicos, [autores].	60
Figura 29. Proceso de clustering, conglomerados de observaciones, [autores].	61
Figura 30. Configuración para el proceso de clúster, [autores].	61
Figura 31. Diagrama de cuerpo libre de un vehículo [90].	65
Figura 32. Base de datos generada entre agosto y diciembre del 2021, (a) número de viajes procesados obtenidos por vehículo, (b) distancia recorrida total por vehículo, (c) meses monitoreados, (d) total de horas por vehículo, [autores].	68
Figura 33. Base concatenada (a) viajes registrados, (b) distancia recorrida, [autores].	69
Figura 34. Ciclo de conducción obtenido muestra de 16 vehículos, [autores].	71

Figura 35.Ciclo de conducción obtenido con una muestra de 26 vehículos, [autores].....	72
Figura 36.Frecuencia para la variable VSP, (a) muestra de 16 vehículos CC y PC, (b) muestra de 26 vehículos CC y PC, [autores].	74
Figura 37.Diagrama VSP, (a) ciclo de conducción obtenido para la muestra de 16 vehículos, (b) ciclo de conducción obtenido para la muestra de 26 vehículos, (c) patrón de conducción muestra de 16 vehículo, (d) patrón de conducción muestra de 26 vehículos, [autores].	74
Figura 38.Diagrama SAFD (a) ciclo de conducción muestra de 16 vehículos, (b) ciclo de conducción muestra de 26 vehículos, (c) patrón de conducción de 16 muestras, (d) patrón de conducción muestra de 26 vehículos, [autores].	75
Figura 39.Acercamiento en frecuencia del diagrama SAFD, (a) ciclo de conducción muestra de 16 vehículos, (b) ciclo de conducción muestra de 26 vehículos, (c) patrón de conducción de 16 muestras, (d) patrón de conducción muestra de 26, [autores].	76
Figura 40.Acercamiento en frecuencia del diagrama SAFD aceleración, (a) ciclo de conducción muestra de 16 vehículos, (b) ciclo de conducción muestra de 26 vehículos, (c) PC de 16 muestras, (d) PC de 26 vehículos, [autores].....	77
Figura 41. Estilos de conducción para la base de datos general, (a) método de la aceleración, (b) método del jerk, [autores].	79
Figura 42. Consumo de combustible asociado al estilo de conducción y al tipo de carretera clasificada, [autores]	80
Figura 43. Consumo de combustible por vía clasificada, [autores].....	81
Figura 44.Estilos de conducción conductor 8, (a) método de la aceleración, (b) método del jerk, [autores].....	82
Figura 45.Estilos de conducción conductor 12, (a) método de la aceleración, (b) método del jerk, [autores].	83
Figura 46.Correlación del consumo de combustible y los estilos de conducción conductor 8, [autores].....	84
Figura 47.Correlación del consumo de combustible y los estilos de conducción conductor 12, [autores].....	84
Figura 48.Comparación de los parámetros característicos obtenidos en los antecedentes desarrollados en la región del área metropolitana de Bucaramanga y los obtenidos en el proyecto actual, (a) velocidad, (b) aceleración, (c) modos de operación, (d) dinámica, (e)aceleración negativa, [autores].....	89
Figura 49.Comparación de los parámetros característicos obtenidos en el proyecto actual respecto a ciclos de conducción establecidos en otras regiones del mundo, (a) velocidad, (b) aceleración, (c) modos de operación, (d) dinámica, (e)desaceleraciones, [autores]. ..	90
Figura 50. Comparación de las ARD% entre los antecedentes y el proyecto actual, (a) velocidad, (b) aceleración, (c), modos de operación, (d) dinámica, [autores].	91
Figura 51.Comparación de las diferencias relativas entre distintos ciclos desarrollados en condiciones reales de carretera, (a) velocidad, (b) aceleración, (c) modos de operación, (d) dinámicas, [Autores].....	92

RESUMEN

Los sistemas inteligentes de transporte (SIT) permiten optimizar el uso de la infraestructura existente incrementando el control, la efectividad, la eficiencia y la seguridad de los sistemas y la infraestructura de transporte, con el fin de gestionar la creciente demanda de movilidad [1]. Para desarrollar SIT eficaces es muy importante realizar campañas de monitoreo en condiciones reales de carretera que permitan la recolección de datos que describen el patrón de conducción de una región de interés. En el proyecto desarrollado se implementó un sistema de monitoreo a bordo (OBD II) con conexión a bluetooth en una muestra de 16 vehículos adquiriendo datos durante los meses de agosto a diciembre del año 2021 creando una base de datos para el área metropolitana de Bucaramanga con la que se describió el patrón de conducción a partir de tres conceptos, ciclos de conducción, diagramas de distribución de la frecuencia de velocidad- aceleración y la potencia específica del vehículo. También se abordó el tema de estilos de conducción a partir de los métodos de aceleración y del Jerk siendo este otro elemento que permite conocer más sobre los hábitos de conducción de los conductores de la región estudiada. El ciclo desarrollado se construyó con el método Micro Trips Fuel Based (MTFBM) alcanzando una similitud <15% de las diferencias relativas promedio de los parámetros característicos del 68.75%, mientras que el SAFD y el VSP indicaron que las personas conducían en la región a velocidades y aceleraciones bajas, debido a la alta densidad de tráfico. Con los estilos de conducción se validó que un estilo de conducción agresivo aumenta el consumo de combustible en más del 20%.

PALABRAS CLAVE: Estilos de conducción, ciclos de conducción, Micro Trip Fuel Based Method, diagnostico a bordo.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT) son facilitadores clave para alcanzar los objetivos de las políticas públicas de transporte y tránsito. Estos sistemas permiten optimizar el uso de la infraestructura existente incrementando el control, la efectividad, la eficiencia y la seguridad de los sistemas y la infraestructura de transporte, con el fin de acomodar y gestionar mejor la creciente demanda de movilidad [1]. Esto se logra con la implementación de tecnologías existentes que permiten el monitoreo y la adquisición de datos para consecutivamente crear bases de datos que son utilizadas por entidades públicas y/o privadas para la toma de decisiones en función de, gestión y proyección a futuro de la infraestructura.

El incremento del parque automotor en el área Metropolitana de Bucaramanga en los últimos 8 años ha sido del 87% un dato desproporcional en comparación al crecimiento de la infraestructura de movilidad de la ciudad, algunas estadísticas ofrecidas por las entidades de tránsito y transporte presentadas en la tabla 1, permiten observar que en el año 2015 los automotores registrados en la región eran de 595.373 y para el cierre del año 2018 se encontraban transitando un total de 703.075 vehículos para un crecimiento del 18% aproximadamente. En el año 2019, Luis David Arévalo Durán, experto en vías, transporte y movilidad de la Sociedad Santandereana de ingenieros, aseguró que el área metropolitana “se quedó sin suficientes vías para el tránsito de tantos automotores” [2] y por lo tanto se ve la necesidad de establecer políticas públicas que contrarresten los factores de tráfico, seguridad vial, emisiones, consumo de combustible y mejoras en la infraestructura, a partir de Sistemas Inteligentes de Transporte.

Tabla 1. Parque automotor área metropolitana de Bucaramanga 2015 – 2018, [autores].

<i>Área metropolitana</i>	<i>Parque automotor</i>			
	2018	2017	2016	2015
<i>Floridablanca</i>	167.126	164.780	163.357	159.543
<i>Bucaramanga</i>	220.993	200.123	197.855	189.345
<i>Girón</i>	300.836	269.147	258.943	236.043
<i>Piedecuesta</i>	14.120	12.814	11.949	10.442
<i>Total</i>	703.075	646.864	632.104	595.373

Fuente. Dirección de Tránsito y Transporte de Bucaramanga [3].

La problemática abordada en el desarrollo del proyecto es la escasez de una base de datos representativa de monitoreo de vehículos en condiciones reales de carretera en el área metropolitana de Bucaramanga, que permita determinar ¿Cómo conducen las personas en el área metropolitana de Bucaramanga?, esta pregunta se aborda a través de la clasificación de estilos de conducción y de la descripción

del patrón de conducción a partir del desarrollo de ciclos de conducción, y de la aplicación del concepto de potencia específica instantánea (VSP) y del diagrama de la distribución de la frecuencia de velocidad – aceleración (SAFD).

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El plan de desarrollo 2020-2023 expuesto por la alcaldía de Bucaramanga plantea 3 objetivos referentes a la movilidad estos son, desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles y de calidad con la construcción de corredores verdes, senderos peatonales y ciclo rutas. Brindar cursos de seguridad vial para vehículos no motorizados y por último modernizar el sistema de semaforización y señalización vial de Bucaramanga [4], a partir del diseño y construcción del Sistema Inteligente de Gestión del tráfico (SIGT), el objetivo principal de SIGT es proveer fluidez en la movilidad de los semáforos con la implementación de inteligencia artificial a través de cámaras. Algunos de los proyectos ejecutados en su momento con relación al tema mencionado en la ciudad, es el Sistema Integrado de Transporte Masivo del Área Metropolitana de Bucaramanga denominado METROLÍNEA.

Con lo anterior se puede plantear que la ciudad de Bucaramanga no cuenta con un registro amplio de políticas públicas proyectadas hacia los Sistemas Inteligentes de Transporte, si se compara con ciudades como Medellín en donde se ha venido trabajando desde el 2010 con estrategias para el desarrollo de SIT [5], un ejemplo de esto es el desarrollo del Sistema Inteligente de Movilidad en Medellín (SIMM). Todo este éxito se debe a la implementación de tecnologías inteligentes que permiten monitorear de forma constante factores que están relacionados directamente a la movilidad de la ciudad como, tráfico vehicular, infraestructura vial, comportamiento de los conductores, entre otros, logrando así el desarrollo de bases de datos que son utilizadas para la ejecución de planes de mejoras desde el punto de vista de eficiencia y desempeño.

El proyecto busca abordar los problemas de movilidad en el área metropolitana de Bucaramanga respondiendo a la pregunta de ¿Cuáles son los hábitos o estilos de conducción de las personas en la región? A partir de la implementación de un sistema de monitoreo a bordo (OBD II) para una muestra de vehículos mayor a 15, registrando datos segundo a segundo durante 4 meses, que permitan por un lado desarrollar un ciclo de conducción local un poco más representativo al integrar los datos monitoreados en el proyecto actual con los registrados en [6], y también clasificar los estilos de conducción que ayudan a la descripción correcta del patrón de conducción en la ciudad a partir de métodos estadísticos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Describir el patrón de conducción para el área metropolitana de Bucaramanga mediante la clasificación de estilos de conducción a partir de los datos recolectados con dispositivo de monitoreo a bordo (OBD II), en condiciones reales de carretera con una muestra representativa ≥ 15 vehículos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Implementar un sistema de monitoreo para la obtención segundo a segundo de las variables de operación: posición, velocidad, RPM, carga del motor, consumo de combustible y posición del pedal de acelerador para una muestra de vehículos (≥ 15) mediante tecnología de monitoreo a bordo (OBDII).
- Definir los parámetros característicos que describen el patrón de conducción del área metropolitana de Bucaramanga.
- Desarrollar un ciclo de conducción del área metropolitana de Bucaramanga con la base de datos actualizada.
- Clasificar los estilos de conducción (calmado, normal, agresivo) usando métodos estadísticos.
- Validar y comparar los resultados del ciclo de conducción del proyecto actual con respecto al realizado en [6], teniendo en cuenta que la muestra de los vehículos es más representativa.

2. MARCO TEÓRICO

La sección de marco teórico se divide en dos objetos de estudio, la primera temática corresponde a estilos de conducción, y la segunda informa todo lo relacionado sobre ciclos de conducción.

En el tópico de estilos de conducción, se discuten los diferentes conceptos que ha tomado la literatura respecto al tema de investigación, se categoriza los tipos de estilos de conducción de interés (agresivo, tranquilo y moderado), y sus respectivos indicadores y/o características estudiadas a partir de la literatura investigada, los factores relacionados que afectan los estilos de conducción y, por último, los diferentes métodos que permiten clasificar los estilos de conducción. Por otra parte, en el segmento de ciclos de conducción se tendrá la definición de un ciclo de conducción, los diferentes tipos de ciclos de conducción, aplicaciones y métodos para el desarrollo de estos mismos.

2.1 ESTILOS DE CONDUCCIÓN

2.1.1 Definición del estilo de conducción

En la literatura no se encuentra determinada una definición consensuada para el estilo de conducción [7], a continuación, se presentan los conceptos que han sido desarrollados por diferentes autores al pasar de los años. Deery [8], relacionó los estilos de conducción con la forma en que las personas eligen conducir o los hábitos de conducción que desarrollan con el tiempo. Mientras que, Saad [9] lo describió como una característica relativamente estable que representa la forma personal de conducir. Por otra parte, de Rafael et al [10] lo definieron como un conjunto de actividades y pasos utilizados por un operador cuando conduce un vehículo, de acuerdo con su juicio, experiencia y habilidades personales. Kleisen [11], Lajunen et al [12], también utilizaron el término de “hábitos”. No obstante, en estudios más recientes [13] [14] realizados están de acuerdo en que el estilo de conducción está fuertemente influenciado por las condiciones externas, que no pueden separarse de su evaluación. Finalmente, una definición más enfocada al desarrollado del proyecto se contextualizó en 2017 por Martínez et al [7], donde da a conocer que el estilo de conducción se entiende como la forma en que el conductor opera los controles del vehículo en el contexto de la escena de conducción y las condiciones externas como, el día de la semana, la hora, el clima y el estado de ánimo, entre otros factores.

2.1.1 Clasificación de estilos de conducción

“Los estilos de conducción se implementan en diferentes niveles de especificación, desde indicadores únicos, como exceso de velocidad o aceleraciones bruscas, hasta conceptos muy generales, por ejemplo, “conducción agresiva”, que pueden basarse en una combinación de varios indicadores de comportamiento más específicos” [15]. El interés del proyecto realizado se enfoca en tres tipos de clasificación, conducción agresiva, normal y tranquila. En la siguiente tabla se pueden observar algunos ejemplos de los estilos de conducción mencionados y los indicadores de medida de cada una de las categorías enunciadas.

Tabla 2. Clasificación de estilos de conducción, [autores].

Estilo de conducción	Indicadores/Medidas/Características	Referencias
Agresivo		Aljaafreh et al [16], Constantinescu et al [17], Cordero et al [18], Deng et al [19], Derbel [20], Donkers et al [21], Felipe et al [22], Felstead et al [23], Feng et al [24], Gao et al [25], Guo et al [26], Johnson et al [27], Karaduman et al [28], Lee et al [29], Li et al [30], Liessner et al [31], Liu et al [32], Ozgul et al [33], Shi et al [34], Silva et al [35].
Normal o moderado	Velocidad, aceleración lateral y longitudinal, Jerk, Pedal del freno, Pedal del acelerador, Ángulo del volante, Factores externos de carretera, ángulo de guiñada, Emisiones y consumo, y eventos de aceleraciones.	Cordero et al [18], Deng et al [19], Derbel [20], Donkers et al [21], Feng et al [24], Gao et al [25], Guo et al [26], Lee et al [29], Liessner et al [31], Ozgul et al [33], Shi et al [34], Silva et al [35], Bejani et al [36], Colombo et al [37], Gallus et al [38], Jardin et al [39], Li et al [40], Meseguer et al [41], Mohammadnazar et al [42].
Calmado o Tranquilo		Deng et al [19], Derbel [20], Felipe et al [22], Felstead et al [23], Gao et al [25], Guo et al [26], Lee et al [29], Shi et al [34], Silva et al [35], Colombo et al [37], Jardin et al [39], Li et al [40], Meseguer et al [41], Mohammadnazar et al [42].

En cuanto a los estilos de conducción establecidos en la tabla 2, se han relacionado en la literatura desde diferentes perspectivas, por ejemplo, un estilo de conducción agresivo se puede asociar a velocidades excesivas, esta conducta se ha identificado por algunos autores [13] [22] conociendo los límites de velocidad establecidos en el área de conducción (urbana, rural, residencial o autopistas) , si el conductor supera los límites de velocidad que se han estipulado en dichas rutas de forma constante se asociaría con un estilo de conducción agresivo. Otras características utilizadas para clasificar los estilos de conducción es la posición del pedal del acelerador [24] [29] [40] [43], a través de esta variable se puede identificar si el conductor mantiene de forma constante la posición del pedal del acelerador cuando cambia de marcha o si está varía mucho de forma repetitiva. La aceleración y la desaceleración son de las características más utilizadas, a través de estas se puede recrear el perfil de sacudidas y visualizar, si los cambios observados en dicho perfil son de una conducción agresiva, o si mantienen picos pequeños que son indicios de un estilo de conducción moderado o tranquilo [21][26-27][44-45].

Finalmente, otras de las características más utilizadas según la literatura investigada, son la aceleración lateral y longitudinal utilizadas en los desarrollos presentados en [16][36-37][46-48], en dónde a través de las variables mencionadas se determinaban los cambios abruptos de carril asociados a una conducción agresiva.

En cuanto al estilo de conducción tranquilo o pasivo, se ha relacionado con la economía del vehículo, la reducción de consumo de energía y la no presencia de cambios abruptos en las variables de aceleración y posicionamiento [49]. También con velocidades bajas, aceleración y desaceleraciones graduales, y maniobras suaves en el volante [50].

2.1.2 Importancia de los estilos de conducción

- Los buenos estilos de conducción ayudan al ahorro del consumo de combustible en más del 25% [51] [52].
- Los estilos de conducción tienen un papel importante en el desarrollo de sistemas de control de vehículos centrados en el bienestar del ser humano, la seguridad vial, y los sistemas inteligentes de transporte y la administración de energía de vehículos [53].

2.1.3 Factores que influyen en los estilos de conducción

En la tabla 3, se observan dos grupos de factores que influyen al momento de clasificar un estilo de conducción, los factores del entorno y los de tipo humano.

Tabla 3. Factores influyentes en los estilos de conducción [7].

Condiciones de conducción influyentes en el estilo de conducción	
Factores humanos	Factores ambientales
Edad, género, carácter, comportamiento, potencial agresivo, antecedentes demográficos, familiaridad con el vehículo, experiencia de conducción, condición (drogas, alcohol, etc.)	Tráfico, temporada, clima, tipo de carretera, distancia de visión, condiciones del camino, hora del día y condiciones de iluminación.

- **Factores de género y edad.**

Como ejemplo de estudio del factor de género y los estilos de conducción se trae a contexto el desarrollo realizado por Laapotti et al [54] en donde compararon las actitudes de los conductores hombres y mujeres ante el comportamiento de tráfico auto informado en Finlandia, llegando a la conclusión que los hombres eran más propensos a tener infracciones de tráfico y un porcentaje de accidentalidad más alto que las mujeres. Por otra parte, Kleisen [11] implementó el método MDSI para

comparar los estilos de conducción entre conductores jóvenes, hombres y mujeres, observando que en gran porcentaje de las mujeres que hicieron parte de su estudio obtuvieron una clasificación asociada a los estilos de conducción tranquilos o suaves. Estos y diversos estudios más indican que los hombres toman conductas más arriesgadas en comparación a las mujeres cuando conducen.

La edad también ha sido un factor de estudio en la literatura, en donde diversos trabajos han relacionado que las personas adultas (60 años) tienden a tener estilos de conducción más tranquilos que los jóvenes. Por ejemplo, De Waard et al [55] observaron que los adultos conducían a velocidades muy bajas cuando ingresaban a condiciones de tráfico pesado en la autopista en comparación a los jóvenes. Mientras que, Reimer et al [56] concluyeron que los conductores adultos tienden a conducir menos en el carril de alta velocidad.

- **Factores relacionados con la personalidad y el estilo de vida.**

Los estilos de conducción también se han relacionado con la personalidad de cada persona [57], en el trabajo citado los autores encontraron correlaciones entre las personalidades impulsivas y los estilos de conducción agresivos, también hallaron analogías en las personalidades de enojo y ansiedad con referente a los estilos de conducción disociativos y riesgosos, concluyendo así que la búsqueda de sensaciones impulsivas, sensaciones de enojó y ansiedad contribuían a tener un estilo de conducción más agresivo y riesgoso.

2.1.4 Instrumentación utilizada para la adquisición de datos

Realizar un estudio detallado de las características es importante cuando se desea clasificar un estilo de conducción, para esto se debe tener en cuenta dos factores que influyen en la representatividad del estilo de conducción; Cuando se tienen demasiadas funciones se aumentan los costos de cálculo computacional que provocan que los modelos desarrollados sean insuficientes. Por otro lado, la escasez de características seleccionadas conlleva a que el estilo de conducción clasificado no sea el correcto o el más adecuado. Para la obtención de estas características existen múltiples formas de adquisición y registro de datos del conductor y el vehículo, a continuación, se describen algunas de ellas:

Tabla 4. Instrumentaciones utilizadas para el monitoreo de vehículos, [autores].

Tecnología implementada	Referencias	Ventajas/Desventajas
Dispositivo de diagnóstico a bordo [OBD2]	[29] [35] [41] [45] [58] [59] [60]	Económico, fácil adquisición e implementación, gran variedad de tecnología, permite el registro de datos de múltiples variables / No compatible con todos los vehículos del mercado y propenso a golpes.
GPS	[40] [33].	Gran variedad de precios, fácil adquisición en el mercado permite el registro de datos de múltiples variables / Pérdida de señal por comunicación satelital.
PEMS, GPS	[38].	Permite el monitoreo de múltiples variables en conjunto con variables de emisiones / Instrumentación de laboratorio, precios altos.
GPS y acelerómetro de 2 ejes	[16].	Gran variedad de precios, fácil adquisición en el mercado permite el registro de datos de múltiples variables / Pérdida de señal por comunicación satelital.
IMU externa+ sensor GPS	[37].	Gran variedad de precios, fácil adquisición en el mercado permite el registro de datos de múltiples variables / Pérdida de señal por comunicación satelital y la IMU incomoda a los conductores por su tamaño.
CAN-BUS, sensores de presión, y unidad IMU	[60].	Permite monitorear una gran cantidad de variables/ Incomodidad para los conductores y una alta complejidad.
Sistema de adquisición de imágenes, y puerto CAN	[19].	Permite analizar datos del entorno de la escena de conducción / no registra datos de las variables operacionales del vehículo, necesita un procesamiento de datos amplio, requiere un algoritmo de procesamiento complejo.

2.1.5 Métodos para la clasificación de estilos de conducción.

La clasificación del estilo de conducción se puede realizar de manera objetiva o subjetiva [40]. La información subjetiva se basa en opiniones, comentarios, emociones y análisis individuales realizados por expertos en el tema de estilos de conducción. Una gran diferencia entre la información objetiva y subjetiva es que la objetiva no varía, mientras que la subjetiva difiere de una persona a otra. A continuación, se describen los tipos de clasificadores objetivos más comunes:

- **Implementado mediante reglas heurísticas:** Se considera la estrategia más sencilla para el reconocimiento del estilo de conducción, se basa en reglas que son umbrales predefinidos para agrupar el estilo de conducción en grupos, este tipo de clasificador fue introducido por primera vez por Stoichkov [61].
- **Implementado a través de modelos:** Los algoritmos basados en modelos consisten en la descripción del estilo de conducción a través de un conjunto de ecuaciones de características predefinidas. Los modelos seleccionados se ajustan a cada estilo de conducción conviniendo sus parámetros para que estos se ajusten a los datos utilizados para retroalimentarlos, por lo general utilizando métodos basados en datos [15].
- **Implementado mediante algoritmos de aprendizaje:** Los algoritmos de aprendizaje están divididos en dos partes, los no supervisados y los supervisados; Los algoritmos no supervisados no requieren la comprensión del proceso subyacente. La clasificación se logra mediante el análisis estadístico de las señales de entrada inherentes a los algoritmos. Esto permite incrementar el

número de clases y por tanto la finura de clasificación, cabe resaltar que las características estadísticas del estilo de conducción fomentan el uso de métodos Bayesianos. Mientras que los algoritmos supervisados implican el conocimiento del estilo de conducción, de los datos utilizados para el entrenamiento. Uno de los algoritmos supervisados más simples es el *k*nearing (KNN) [15].

En la tabla 5, se observan los métodos implementados por distintos autores en sus trabajos desarrollados para la clasificación de estilos de conducción, cabe resaltar que estos algoritmos pertenecen al tipo de clasificación objetiva como se describió anteriormente.

Tabla 5. Algoritmos implementados para la clasificación de estilos de conducción, [autores].

Referencia	Método Utilizado	Tipo de clasificador
[16]	<i>Fuzzy Logic</i>	Reglas heurísticas o Basado en reglas
[20]	<i>Fuzzy Inference System (FIS) model</i>	
[24]	<i>An adaptive neuro-fuzzy inference system (Fuzzy logic)</i>	
[29]	<i>acceleration method and Jerk.</i>	
[34]	<i>Fuzzy Logic</i>	
[36]	<i>convolutional neural network (CNNAR)</i>	Algoritmos de aprendizaje
[48]	<i>based on unsupervised data mining methods (DP-means, Hidden Markov Models, and Behavioural Topic Extraction)</i>	
[17]	<i>Hierarchical Cluster Analysis (HCA) and Principal Component Analysis (PCA)</i>	
[60]	<i>unsupervised clustering method (HCA) with a data-driven extreme learning machine (ELM) algorithm</i>	
[22]	<i>Neural Network</i>	
[28]	<i>CNN (Deep learning)</i>	
[58]	<i>KNN, NN, Random Forest</i>	
[19]	<i>hidden Markov model</i>	
[23]	<i>CP's, statistical analysis</i>	

2.2 CICLOS DE CONDUCCIÓN

2.2.1 Definición de ciclos de conducción

Los ciclos de conducción son estudios estadísticos basados en la velocidad de un parque automotor específico o particular, servicio público y/o carga, que describe o representa de forma sintetizada el patrón de conducción en una región determinada [62]. Esto permite generar un perfil de velocidad versus el tiempo convirtiéndolos en una herramienta muy útil para la industria automotriz y las entidades reguladoras de emisiones alrededor del mundo [63].

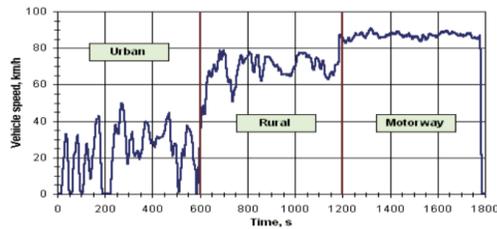


Figura 1. Ciclo de conducción transitorio ETC [64].

2.2.1 Tipos de ciclos de conducción

Generalmente se pueden clasificar los ciclos de conducción en dos grupos [65]:

- **Ciclos de conducción de estado estable:** Algunas de sus características son, que poseen períodos prolongados a velocidades constantes, y que contienen rampas con aceleración y tramos de velocidad constante, un ejemplo de este ciclo de conducción es el ECE-15 mostrado en la figura 2.

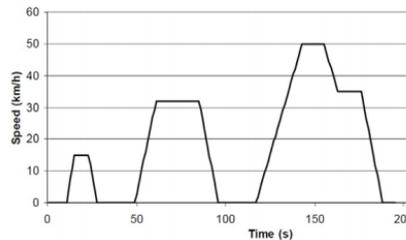


Figura 2. Ciclo de conducción ECE-15 [64].

- **Ciclos de conducción transitorios:** Estos implican muchos cambios en el perfil de velocidad, es decir, son series de tiempo de la velocidad del vehículo las cuales se obtienen de mediciones de velocidad cuando el vehículo se moviliza de un lugar a otro, representan los cambios constantes de velocidad típicos de la conducción en carretera. Uno de los ciclos representativos de este tipo es el ciclo FTP-75.

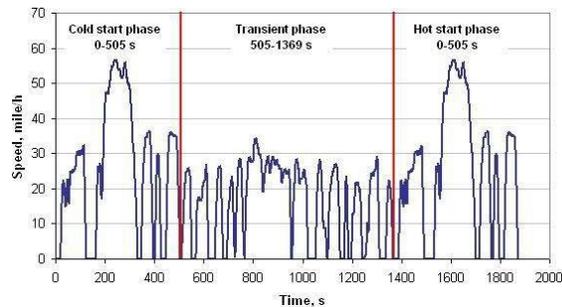


Figura 3. Ciclo de conducción FTP-75 [64].

Los ciclos de conducción también se pueden clasificar en base a su propósito de estudio, los dos propósitos más comunes en los que se aplican los ciclos de conducción son los siguientes:

- **Los ciclos de conducción para determinar el desempeño energético de los vehículos.**

En la actualidad existen muchos ciclos de conducción de homologación estos varían según la región donde se aplican, Estado Unidos, La Unión Europea y Japón son grandes productores de vehículos mundiales y cada uno de ellos han desarrollado sus propios ciclos de conducción, los cuales son usados para estimar el desempeño energético y ambiental de los vehículos que producen y para homologar los vehículos que transitan en su región, estos ciclos de homologación también son usados en varios países latinoamericanos. Algunos de los ciclos de conducción más implementados para la homologación de vehículos por empresas fabricantes son el New European Driving Cycle (NEDC), y el FTP-75.

- **Ciclos de conducción para representar condiciones operativas reales.**

El procedimiento de homologación europeo, basado en un ciclo de conducción fijo para todos los vehículos, no representa de forma correcta el consumo energético y las emisiones vehiculares en condiciones reales de carretera [66]: debido a que la influencia del estilo de conducción en el consumo y las emisiones no pueden descuidarse y su impacto medioambiental en el mundo real no es simple para medir. Las pruebas realizadas con sistemas de medición de emisiones portátiles (PEMS) han demostrado que los automóviles emiten mayor cantidad de contaminantes en la carretera con condiciones operativas reales que durante pruebas de laboratorio. Un ciclo de conducción es representativo cuando muestra las condiciones de manejos principales o comunes de una población. Para el caso de ciclos de conducción en condiciones reales se tratan de determinar los parámetros característicos comúnmente usados en ciclos de homologación y en diferentes investigaciones, entre ellos están: Velocidad promedio, velocidad de carrera promedio, aceleración promedio, desaceleración promedio, longitud media de micro-trip, promedio del número de aceleraciones / desaceleraciones, número promedio de paradas, %ralentí, %aceleración, %desaceleración, velocidad rms, aceleración rms, energía positiva cinética (kpe), distribución velocidad/aceleración, potencia específica del motor, máxima velocidad, mínima velocidad, entre otros.

2.2.2 Métodos para el desarrollo de ciclos de conducción

No existe una metodología única bien aceptada por la comunidad de expertos en este tema [62], aunque el proceso de obtención de datos (velocidad vs tiempo) en campañas de medición es muy similar, algunos autores difieren en el método para construir ciclos de conducción y analizar los datos obtenidos, pero dichos métodos si se pueden establecer en dos grupos, estocásticos y determinísticos:

- **Métodos estocásticos.**

Dos de los métodos estocásticos más implementados para la construcción de ciclos de conducción (CC) son, los micro viajes y las cadenas de Markov, para estos dos enfoques un ciclo de conducción se realiza empalmado una selección cuasi aleatoria de segmentos de viaje o estados.

- Método de micro viajes:** La definición más simple de un micro viaje está dada por, una secuencia de perfil de velocidad entre dos paradas sucesivas, cuando su variable de velocidad inicio en cero y finalizo en cero [67]. Los micro viajes menores a 10 segundos normalmente tienden a eliminarse, según la literatura este método desprecia los patrones de conducción urbana congestionados, teniendo en cuenta que estos están lejos de ser insignificantes en lo que respecta a la estimación de las emisiones de vehículos.
- Cadena de Markov:** Está basado en la matriz de transición, en este método el primer micro viaje se elige al azar y luego, en función de la probabilidad de que ocurra el siguiente grupo en la base de datos se elige el siguiente micro viaje de ese grupo.

En estos dos métodos, se evalúa la representatividad del patrón de conducción contenido en los CC candidatos. Con ese fin, los patrones de conducción monitoreados en la región bajo consideración y contenidos en la base de datos se describen por un conjunto de parámetros característicos (CP), entendiendo que un CP es cualquier variable formada a partir de las variables de velocidad y tiempo, como velocidad media, energía cinética positiva, etc [68].

El proceso de obtención de un CC candidato se repite hasta que se obtiene el umbral aceptable. El primer CC candidato que cumple este umbral se convierte en el CC representativo. Como estos dos métodos son estocásticos, el CC de salida cambia cada vez que se aplica el método, lo que hace que el método sea repetible pero no reproducible [68].

- **Métodos determinísticos.**

Con fines del proyecto se describen los siguientes métodos determinísticos.

- Método de la diferencia mínima ponderada de parámetros característicos (MWD-CP):** En este método, se obtiene un valor estimado de consumo de energía (CE) para cada viaje, y el viaje con el CE más cercano al CE promedio de todos los viajes se selecciona como el CC representativo. Por lo tanto, utiliza CE como parámetro de evaluación para evaluar la representatividad del CC. Como alternativa, el MWD-CP estima el CE como una función lineal de los CP que más influyen en la energía [68].
- Método basado en combustible (FB):** El método FB tiene un enfoque en donde se calcula el consumo de combustible específico promedio (SFC) de los viajes muestreados. Luego, el viaje con el SFC más cercano al SFC promedio se selecciona como el CC representativo [69].

Tabla 6. Métodos implementados y parámetros característicos seleccionados por diferentes ciclos de conducción establecidos en el mundo, [autores].

Parámetros característicos [CP's]	Método utilizado								
	MT	MT	MT	MT	MCMC	MCMC	KT	TB	TB
Velocidad promedio	*	*	*	*			*	*	
Velocidad promedio en movimiento			*	*				*	*
Aceleración promedio			*	*				*	*
Desaceleración promedio			*	*				*	*
Longitud media de micro viajes								*	*
Número de aceleraciones/cambios de aceleración			*					*	*
Número promedio de paradas	*						*	*	
% Ralentí		*	*	*		*	*	*	*
% Acelerando		*	*	*		*		*	
% Crucero		*	*	*		*		*	*
% Desacelerando		*	*	*		*		*	
RMS de la velocidad							*		
RMS de la aceleración			*				*		
PKE							*		
Tasa de cambio de la aceleración							*		
Distribución de velocidad y aceleración					*	*	*		*
VSP				*		*			
Velocidad máxima	*	*		*					
Velocidad mínima									
Nombre del ciclo de conducción	FTP 72, FTP 75	HHDDT	China	Beijing	LA92	ARTERIAL	PERTH	IEC	TMDC

MT: Micro-trips, MCMC: Markov Chain-Monte Carlo, TB: Travel based, KT: Knight Tour.

2.2.3 Metodología base para la construcción de ciclos de conducción.

En la figura 4, se presenta una metodología base muy bien aceptada en la literatura al momento de desarrollar ciclos de conducción [62], el propósito del marco presentado fue esbozar las etapas y consideraciones importantes en el desarrollo de un ciclo de conducción. En el diagrama se pueden observar seis pasos fundamentales a seguir en el desarrollo de cualquier ciclo de conducción, se inicia en la estratificación del ciclo de conducción aquí se establecen los vehículos, el tipo de ruta, la cantidad de muestra, entre otros, el siguiente paso es establecer la selección de ruta, nivel de tráfico, entre otros. El tercer paso permite establecer el tipo de instrumentación a implementar para la adquisición de datos. El cuarto punto es fundamental para definir los parámetros característicos o métricas con las que se buscara representar el patrón de conducción. El quinto paso sirve como preprocesamiento de los datos de velocidad y tiempo, también permite refinar la estratificación inicial realizada en el paso 1. Finalmente, el último paso y el más importante establecer la metodología a implementar y posteriormente construir o desarrollar el ciclo de conducción dando validez al cumplimiento a las condiciones de tiempo de paro y las diferencias relativas.

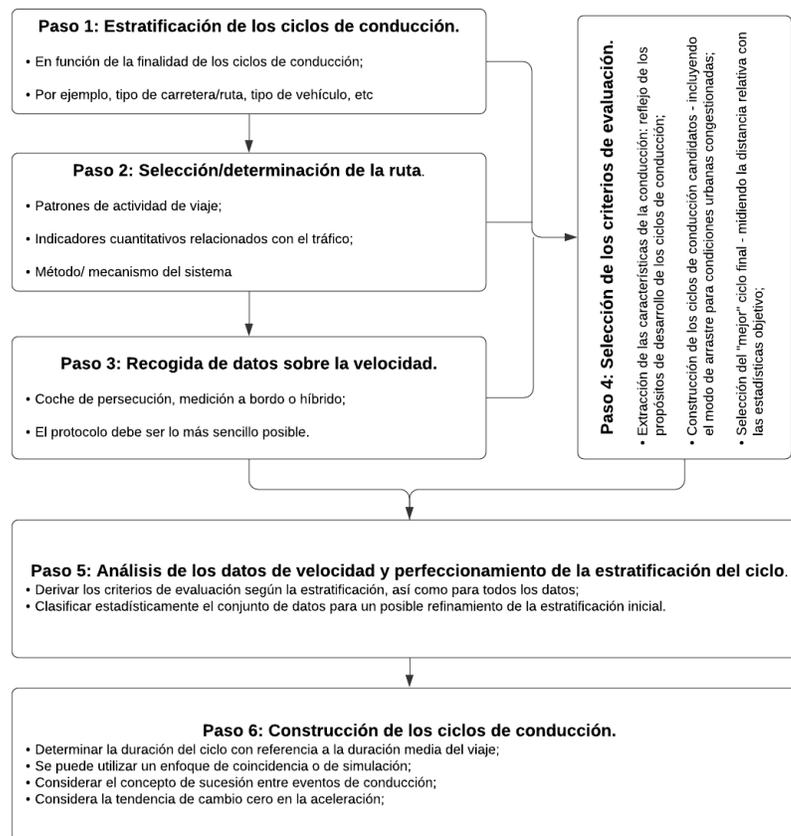


Figura 4. Metodología base para el desarrollo de ciclos de conducción [62].

3. ESTADO DEL ARTE

El proyecto aborda en conjunto dos temáticas centrales, la clasificación de estilos de conducción, respondiendo a la pregunta ¿Cómo conducen las personas en la región definida? y el desarrollo de un ciclo de conducción para el área metropolitana de Bucaramanga, por consiguiente, el estado del arte se clasifica en dos secciones.

3.1 ESTILOS DE CONDUCCIÓN

El estilo de conducción se refiere a la forma en que el conductor opera los controles del vehículo en el contexto de la escena de conducción y las condiciones externas como, el día de la semana, la hora del día, el clima, las condiciones de la vía y el estado de ánimo de la persona, entre otros [7]. Comúnmente, los estudios que permiten clasificar los estilos de conducción se dividen en dos grupos: estudios de encuesta y estudios basados en las variables que describen el movimiento del vehículo. Para contextualizar el primer tópico mencionado anteriormente se cita el trabajo realizado en el año 2013 por, Poó et al [57] en dónde se relacionaron los rasgos de personalidad de los conductores con los estilos de conducción. Esto se llevó a cabo implementando el método de los 5 factores (arriesgado, enojado, disociativo, ansioso y cuidadoso) en una muestra no probabilística de 908 conductores en la ciudad Mar de Plata, Argentina. Cada uno de los factores mencionados se evaluó mediante el inventario multidimensional de estilos de conducción (MDSI-S) que se basa en realizar una encuesta a cada uno de los conductores con valores entre 1 a 6 donde (1=nunca y 6= siempre), mientras que los rasgos de personalidad se estimaron a partir del cuestionario de personalidad de Zuckerman-Kuhlman. Como se observa en el trabajo anterior, estos estudios pueden clasificar los estilos de conducción en múltiples estilos para el caso de encuestas, y generalmente en tres categorías (tranquilo o conservador, agresivo y moderado o normal) para el segundo grupo definido.

A continuación, se definen las tres categorías mencionadas en el párrafo anterior de acuerdo con lo investigado en la literatura: En 2011, Wang et al [49] asocian el estilo de conducción tranquilo con la economía del vehículo, la reducción de consumo de energía y la no presencia de cambios abruptos en las variables de aceleración y posicionamiento. También dio a conocer que todo lo contrario sucede con un conductor agresivo debido a que este conducirá a una economía pobre. Otro concepto sobre el estilo de conducción agresivo dado por Castignani et al en el año 2015 [50], indica que generalmente este se asocia con velocidades altas, aceleración y desaceleración impulsivas, cambios abruptos en el ángulo del volante del vehículo y maniobras laterales y longitudinales bruscas. Mientras que un ciclo de conducción tranquilo se asocia con velocidades bajas, aceleración y desaceleraciones graduales, y maniobras al volante suaves [50]. Finalmente, con

las dos clasificaciones definidas, se podría inferir que un estilo de conducción moderado o normal se encuentra en medio de los dos estilos. [70]

Algunos de los trabajos realizados de estilos de conducción se presentan a continuación, describiendo la tecnología que utilizaron para la recopilación de los datos y el algoritmo implementado al momento de clasificar los estilos. En el año 2015, Ferreira et al realizaron un estudio sobre el impacto de los estilos de conducción en el consumo de combustible, durante 3 años monitorearon vía CAN y GPS con el dispositivo XtraN una flota de buses compuesta por alrededor de 1.500 conductores, se registraron en totalidad 22 parámetros característicos y se procesaron a partir de un “procesamiento analítico en línea (OLAP) y KD” en donde se identificaron las variables con mayor impacto en el consumo de combustible y se eliminaron los datos atípicos. Finalmente, se determinaron los factores de impacto que más influyen en el consumo de combustible a través del proceso de minería de datos “Naive Bayes (NB)” y se concluyó que los conductores más eficientes tienden a usar el embrague menos veces [71].

En este mismo año, Lee.C et al [29] instrumentaron un vehículo VW Passat 2012 con tecnología de diagnóstico a bordo (OBD II) y GPS, registrando durante 4 meses un total de 93 viajes en condiciones reales de carretera con el objetivo de clasificar el tipo de carretera y el estilo de conducción, y así relacionarlos con el consumo de combustible que en el estudio citado se estimó a partir del modelo de tasa de combustible en el trabajo desarrollado por Heywood [72]. El método implementado para la clasificación del tipo de carretera se basó en la velocidad y para la clasificación del estilo de conducción se utilizaron dos de los métodos más comunes, que se basan en la aceleración y el tirón (jerk). Los resultados se compararon entre sí, observando que el método jerk mostró una mejor correlación entre el alto consumo de combustible y la conducción agresiva en carreteras urbanas y rurales, concluyendo por parte de los autores que el método basado en las sacudidas(jerk) es más adecuado para clasificar el estilo de conducción [29]. Por otra parte, Sentoff et al [45] registraron datos en condiciones reales de carretera de 82 vehículos por 10 días en la ciudad de Vermont con el objetivo de relacionar las emisiones con respecto a la pendiente y los estilos de conducción. Los datos monitoreados por el sistema a bordo (OBD II) Y GPS los aplicaron en el Simulador de Emisiones de Vehículos Motorizados (MOVES) con las que se realizaron las estimaciones de emisiones basada en la distribución de potencia específica del vehículo (VSP).

A finales del año 2015, Shi et al [73] evaluaron los estilos de conducción de manera cuantitativa normalizando el comportamiento de conducción en función de un modelo de conducción personalizado. Para cada conductor se estableció un modelo personalizado a partir del uso de la condición de prueba del vehículo del mundo real (VTD) y la red neuronal diseñada localmente. En primera instancia los autores tuvieron en cuenta en el VTD 3 factores, la posición del acelerador (TP), la presión de los frenos (BP), y la velocidad del vehículo (VS) dónde eligieron 18 controladores

para comparar los comportamientos de conducción y definieron que la variable que puede diferenciar de manera más notoria los estilos de conducción es el TP. Posteriormente crearon redes neuronales para el desarrollo del controlador local para obtener el “conductor modelo” a partir de dos enfoques, inverso directo y el RBF. Finalmente, al tener normalizado el modelo conductor que recreaba un perfil de velocidad estandarizado, obtuvieron los coeficientes de agresividad (AggIn) y establecieron estilos de conducción agresivo, moderado y tranquilo.

En 2016, Meseguer et al [41] desarrollaron una plataforma a partir de la minería de datos y redes neuronales con la que analizaban y clasificaban los estilos de conducción, consumo de combustible basada en la caracterización del conductor. El trabajo cuenta con tres importantes enfoques, una aplicación para Android que permite la configuración de las variables a monitorear y observar los estilos de conducción en tiempo real por parte de los usuarios, el dispositivo de diagnóstico a bordo (OBD II) para la adquisición de datos a través de la ECU del vehículo y el centro de datos web que permite a partir de redes neuronales la retroalimentación al conductor de su perfil de conductor para concientizar una conducción menos agresiva y eficiente. Wang et al [74] desarrollaron un método de máquina de vectores de apoyo basado en el clustering de k-means (kMC-SVM) con el objetivo de obtener las curvas de caracterización de estilos de conducción de manera más rápida. Los datos registrados se obtuvieron con un simulador de conducción y a partir de ellos los conductores se clasificaron en dos grupos: agresivo y moderado. En los resultados analizados por los autores se determina que el método kMC-SVM es un método eficaz para clasificar estilos de conducción en tiempos reducidos, en comparación con el método SVM.

En 2017, Castignani et al [75] desarrollaron un método de detección de maniobras de conducción adaptativo basado en una distribución normal multivariante (MVN), mitigando la problemática de otros desarrollos que dependían de datos de entrenamiento a priori. El trabajo permitió clasificar los estilos de conducción para cada móvil, vehículo y conductor de manera individual. Finalmente, el clasificador se implementó en una aplicación móvil permitiendo a los usuarios registrar su conducción, clasificarlo a partir del modelo MVN que posteriormente se enviaba a un servidor final que calcula una puntuación del 1 al 100 en función de la densidad de eventos MVN el estilo de conducción y determinar en cuál de los dos grupos de clasificación se encuentra tranquilo o agresivo.

En 2018, del Campo et al [60] propusieron un método de clasificación del estilo de conducción con un algoritmo Machine Learning, centrado en la comodidad global del conductor y los pasajeros. Los datos utilizados en el desarrollo del método de aprendizaje automático se recopilaron utilizando el automóvil instrumentado Uyanik, que luego se procesaron por un algoritmo de análisis de agrupamiento jerárquico (HCA) no supervisado encargado de interpretar la comodidad de conducción y una máquina de aprendizaje extremo (ELM) de alto rendimiento que logró clasificar en un 95% de eficiencia los estilos de confort que estaban establecidos en 3 grupos

(cómodo, un poco incómodo y bastante incómodo). Los investigadores de [76] desarrollaron un algoritmo para el reconocimiento del comportamiento humano del dueño del vehículo, a través de la clasificación del estilo de conducción, con el objetivo de contrarrestar los robos de vehículos electrónicos en la actualidad. Realizaron la adquisición de 51 parámetros de conducción con instrumentación OBD II, e implementaron 5 algoritmos de aprendizaje automático para la clasificación de estilos de conducción J48, J48injerto, J48consolidado, RandomTree, RepTree.

En 2019 Feraud et al [77] estimaron estilos de conducción a través del monitoreo de variables como aceleración y desaceleración promedio, aceleración y frenado impulsivos e infracciones de tráfico implementando un modelo de lógica difusa que permite clasificar a los conductores dentro de tres grupos: estilo de conducción calmado, normal y agresivo. El desarrollo realizó 3 experimentos y sus resultados obtenidos tuvieron una eficiencia del 84% de precisión al clasificar los estilos de conducción, el estilo de conducción menos preciso fue el de moderado con un error del 16%, la adquisición de datos se llevó a cabo con instrumentación OBD II y el aplicativo móvil Torque. A finales del primer semestre, Fan et al [78] analizaron el comportamiento y el riesgo de conducción de 10674 taxis pertenecientes a Qiangsheng Corporation durante un mes, la adquisición de datos se realizó a través de GPS. El método aplicado fue el proceso de jerarquía analítica de peso de entropía (Entropía – AHP), en donde se tuvieron en cuenta 5 índices de primer grado (velocidad, estabilidad de conducción, kilometraje y tiempo, fatiga de conducción) y estos se sub-dividieron en 15 sub-índices en totalidad. Por último, los resultados se obtuvieron calculando las ponderaciones de los índices y el valor del riesgo, que finalmente permitieron ubicar a los taxistas en 5 grupos considerando el grado de riesgo (extremadamente bajo, bajo, medio, relativamente alto y alto).

En el año 2020, Gao et al [25] propusieron el desarrollo de un sistema de control de cruce adaptativo (ACC) personalizado con el objetivo de satisfacer distintos estilos de conducción y minimizar el error de seguimiento, la variación de aceleración y el consumo de combustible. El sistema ACC funciona bajo tres estilos de conducción, conservador, moderado y agresivo. La metodología seguida por los autores para cumplir sus objetivos consta de una adquisición de datos que se registra a partir de la técnica de seguimiento de vehículo, y vía CAN en donde todos los datos se guardan a través de MicroAutoBox y ControlDesk, luego se procede a realizar el agrupamiento de datos a partir del método SOM Neural Network y k-Means. Finalmente, el clasificador de estilos de conducción se realiza aplicando una combinación de aprendizaje automático no supervisado y supervisado (PNN), para posteriormente poder recrear el sistema de control ACC que se dividió en dos partes superior que considera el rendimiento del sistema de seguimiento del automóvil, comodidad y ahorro de combustible, este segmento se resolvió con la aplicación de un controlador basado en MPC y la parte inferior que se diseñó combinando la retroalimentación PID y feedforward.

En 2021, Mohammadnazar et al [42] plantearon la hipótesis de que los estilos de conducción variaban respecto al tipo de zona en la ciudad, para validar lo mencionado definieron tres segmentos de calle (residencial, comercial y carreteras) para ello, se utilizó la clasificación Urban Street Design Guide. Las variables registradas para el estudio fueron posición (latitud, longitud, altitud) y movimiento (velocidad y aceleración) que se obtuvieron de los mensajes básicos de seguridad (BSM) recopilados de vehículos equipados con dispositivos de comunicación V2V y V2I partícipes del programa Safety Pilot Model Deployment (SPMD) en Ann Arbor, Michigan. Las variables registradas en la base de datos pasaron por un pre-procesamiento eliminando los datos atípicos y determinando el concepto de volatilidad de conducción temporal (CV) que posteriormente se utilizaría en los métodos de agrupamiento k-means y k-medoids para realizar la clasificación de los estilos de conducción. Como se había planteado en la hipótesis inicial del trabajo los estilos de conducción la calle comercial obtuvo un porcentaje mayor para el estilo de conducción agresivo, mientras que el estilo de conducción tranquilo predominó en la zona de carretera.

3.2 CICLOS DE CONDUCCIÓN

Los ciclos de conducción son variaciones de velocidad a lo largo de un periodo de tiempo que pretende representar los comportamientos de conducción típicos. La literatura confirma que los comportamientos de conducción en todas las regiones son diferentes, por tanto, los ciclos de conducción también lo son [67]. Por ende, en esta segunda sección del estado del arte se presentarán algunos de los trabajos más citados.

En el año 2015, Seers.P et al [79] desarrollaron dos ciclos de conducción teniendo en cuenta dos condiciones de operación, la primera para vehículos de trabajo en zonas suburbanas al campo Salaberry de Valley y la segunda para vehículos que se conducían en las zonas internas del aeropuerto internacional Pierre-Elliot Trudeau, estableciendo que los comportamientos de conducción en las áreas mencionadas no se tenían en cuenta en los ciclos de conducción convencionales y por tanto el consumo de combustible y las emisiones no se estimaban de la forma más representativa. Para demostrar su hipótesis instrumentaron dos camionetas con dispositivos a bordos monitoreando 5 parámetros y obteniendo aproximadamente 28 h 25 min de recolección de datos. Con el método de micro trips construyeron los ciclos de conducción que se compararon con los ciclos FTP-74 y HWFCT revelando un aumento del 31% en el consumo de combustible.

En 2016, Brady. J et al [80] Implementaron una metodología de diseño de un ciclo de conducción combinando dos métodos, estadístico y estocástico con el objetivo de estimar el rendimiento energético de los vehículos eléctricos. Para ello ejecutaron paso a paso las siguientes tareas en donde, definieron la ruta, seleccionaron 7

vehículos y 30 conductores, y establecieron un tiempo de adquisición de datos de 6 meses a través de la red de área de control (CAN) y GPS. Como se mencionó construyeron el ciclo de conducción con un método estocástico y estadístico y como valor agregado clasificaron a partir de redes neuronales 5 zonas (congestionado urbano, parada de inicio urbano, libre circulación urbana, extraurbana, autovía de libre circulación, autovía congestionada) relacionando el comportamiento de conducción para cada zona presentada, con el consumo energético. El ciclo de conducción desarrollado lo compararon con los ciclos de conducción legislativo concluyendo que los ciclos de conducción propuestos en EEUU, Japón, y otros, no pueden ser utilizados para el diseño de vehículos eléctricos.

En 2017, Arun et al [81] desarrollaron un ciclo de conducción en vehículos de turismo y motocicletas para la ciudad de Chennai, India, con el objetivo de estimar las emisiones y el consumo de combustible. Los autores plantearon una recolección de datos en horas pico y seleccionaron una zona que abarcaba diferentes tipos de carretera. El ciclo de conducción desarrollado constó de 11 parámetros característicos y se basó en el método de micro viajes, con un tiempo de construcción de 1.448 segundos para los vehículos de turismo y 1.065 segundos para motocicletas. Por otra parte, Nouri et al [67] evaluaron las definiciones de micro viajes para el desarrollo de ciclos de conducción a partir de 8 métodos distintos. El trabajo consistió en establecer 14 parámetros característicos para cada uno de los métodos a mencionar; Fixed distance, Intersection, stop sequence, fixed time, event bin base don average local acceleration, fixed speed ranges, event bin base donde MLE y k-means. Al comparar dichos métodos al momento de construir el ciclo de conducción los autores demostraron que la definición de micro viajes tiene una gran influencia significativa. También observaron que el método fixed distance es el que mejor representa la definición de micro viajes. Huertas et al [82] desarrollaron una nueva metodología con dos enfoques, ser repetible y reproducible permitiendo describir los patrones de conducción local de la región y obtener un ciclo de conducción representativo, con el objetivo de diseñar trenes de potencia ecológicos. La metodología MWD-CP abarco tres fases: selección de ruta, muestreo de ciclos de conducción y selección del ciclo representativo. Para ello, realizaron pruebas en 15 autobuses equipados con instrumentación GPS en dónde realizaron la adquisición de datos segundo a segundo de las variables de velocidad, altitud, consumo de combustible y emisiones del tubo de escape.

En 2019 Huertas et al [68], compararon tres métodos para la construcción de ciclos de conducción, Micro viajes, cadenas de Markov y MWD-CP, con el objetivo de determinar cuál era el más representativo para la zona elegida. Los autores utilizaron una base de datos que había sido creada en trabajos anteriores aplicando el monitoreo a bordo OBD II y GPS en 15 buses que recorrieron durante 8 meses la ruta pre-seleccionada, ubicada entre Ciudad de México y Toluca por sus características topográficas, de tráfico y nivel de servicio. Posteriormente a los datos se les realizo un análisis QA/QC para eliminar los datos atípicos y así finalmente obtuvieron la base de datos compuesta por 138 viajes. En los resultados obtenidos

por los autores se concluyó que el método MWD-CP produjo el ciclo de conducción que describe el patrón de conducción en esa región con el nivel más alto de representatividad. En otro estudio realizado por Zhan et [83] proponen construir ciclos de conducción para vehículos eléctricos en Beijing aplicando el método de Micro-trip y Markov Monte Carlo considerando el entorno de la carretera, ambos métodos son mejorados en este estudio y son evaluados con pruebas MAPE y KS para ver la representatividad de los ciclos de conducción construidos. Los datos se obtuvieron de una muestra de 40 taxis a través de la Plataforma Nacional de Monitoreo y Gestión de NEV y se fusionaron con los datos monitoreados por GPS a una frecuencia de 1 Hz en carretera durante 6 meses. Los resultados de la construcción de los ciclos de conducción en condiciones reales de la ciudad de Beijing se compararon con el ciclo NEDC observando diferencias significativas. En relación con el proyecto planteado en este documento se tiene de antecedente el trabajo realizado por León. C [84] en la Ciudad de Bucaramanga en la búsqueda de construir un patrón de conducción representativo de la ciudad, desarrollo el ciclo de conducción a través del método Micro-trips Fuel Based Method (MTFBM), en dónde monitoreo 2 vehículos del servicio de tránsito con instrumentación OBD II estimando las emisiones y el consumo de combustible.

En el año 2020, Quiramaa et al [85] aplicaron un nuevo método para el desarrollo de ciclos de conducción denominado Energy Based Micro – trip (EBMT) representando a partir de este el consumo de energía real y las emisiones de escape en vehículos. La metodología implementada para la aplicabilidad del método EBMT se inició desde la instrumentación con un sistema a bordo en 15 vehículos de tipo pesado que contaban con las mismas características técnicas de mantenimiento. Luego se efectuó la trazabilidad de dos rutas en las zonas urbanas de la ciudad de México y Toluca, y seleccionaron los parámetros característicos (CP) a monitorear y registrar en la base de datos, cuantitativamente fueron 19 CP que segmentaron en cuatro categorías, velocidad, aceleración, modos de operación y la dinámica. La campaña de monitoreo conto con una durabilidad de 8 meses en diferentes horarios de tráfico de movilidad y en distintas épocas de clima, permitiendo así que el ciclo de conducción se hiciera más representativo. En la actualidad en el area metropolitana de Bucaramanga se ha venido incrementando el parque automotor en gran porcentaje afectando en proporción al ambiente, salud, seguridad, infraestructura del área establecida. Observando así, el requerimiento de implementar proyectos que permitan establecer patrones de conducción representativos en la ciudad que demuestren las necesidades de movilidad.

4. METODOLOGÍA

La base metódica del proyecto corresponde a la implementada en los procesos de diseño para sistemas mecatrónicos por (Devdas Shetty), esta consta en su estructura de tres etapas, modelado/simulación, Adquisición e implementación, cada una de estas se divide por sub – fases que corresponden a una serie de actividades definidas por los autores del proyecto para dar cumplimiento a los objetivos específicos. En la etapa 1, se encuentran todas las actividades que tienen relación con la investigación de la literatura, caracterización del proyecto, instrumentación y modelado. En la etapa 2 se halla todo el proceso afín con la eliminación y ajuste de datos atípicos de la base de datos y su construcción. Finalmente, en la etapa 3 se describe el desarrollo del ciclo de conducción y de los estilos de conducción, su validación y análisis de resultados respectivamente.

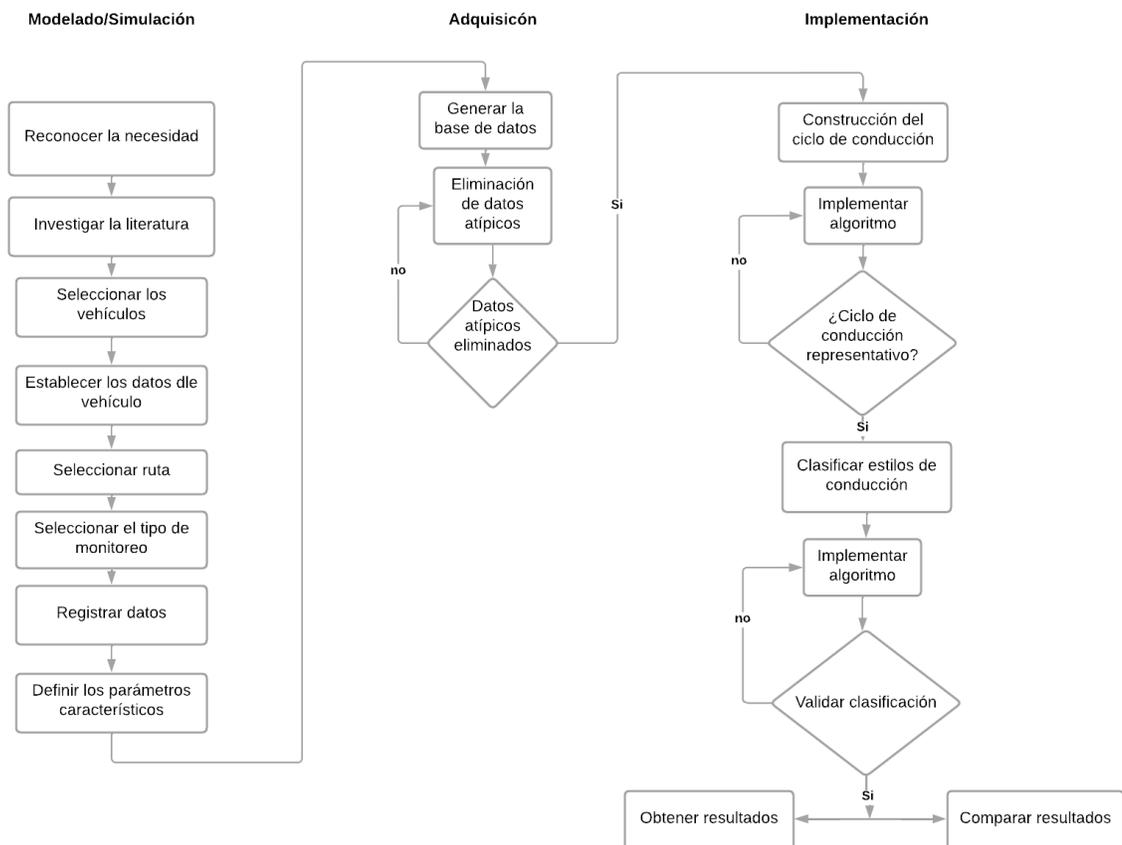


Figura 5. Metodología desarrollada para el proyecto, [autores].

4.1 CAMPAÑA DE MONITOREO

La campaña de monitoreo llevada a cabo en la ciudad de Bucaramanga en el segundo semestre del año 2021 se describe en la figura 6, anexo a esto, a continuación, se describe de manera puntual cada uno de los aspectos definidos en dicho proceso de monitorización.

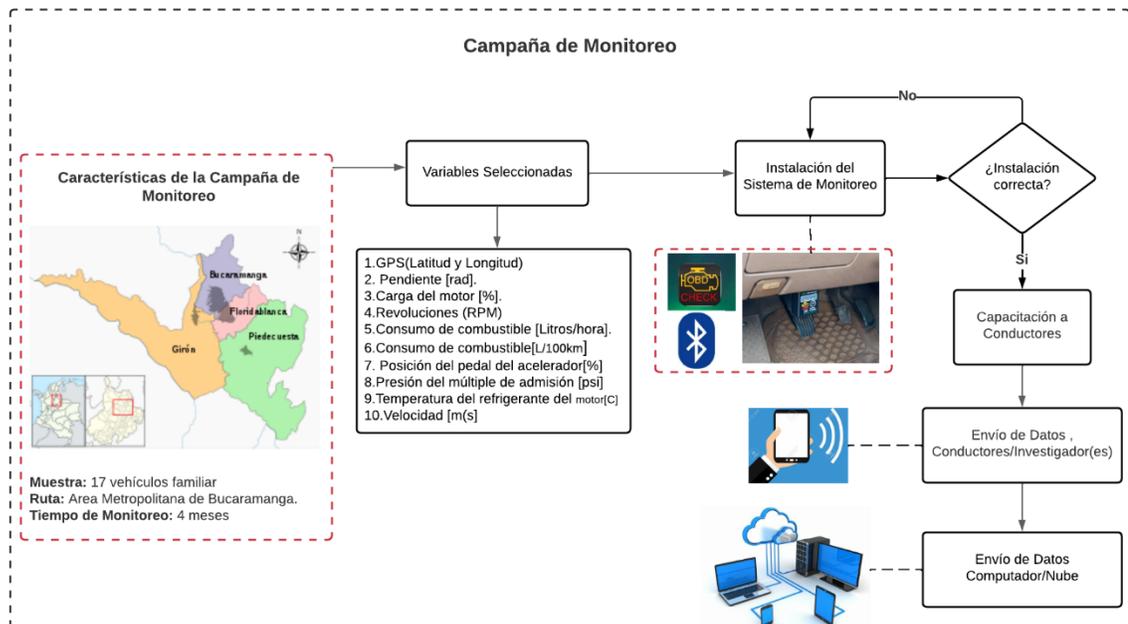


Figura 6. Campaña de monitoreo Bucaramanga 2021 2do semestre, [autores].

4.1.1 Ruta seleccionada

Los conductores tuvieron la autonomía para desplazarse por cualquier ruta dentro del área metropolitana de Bucaramanga y en cualquier horario deseado. La zona mencionada tiene una población de 1'341.694 habitantes aproximadamente, cuenta con una superficie de 1,479 km² y se encuentra ubicada a 959 metros sobre el nivel del mar, en la figura 7 se puede observar los distintos municipios que conforman la región del área metropolitana de Bucaramanga.

Tabla 7. Información del área metropolitana de Bucaramanga [autores].

Municipio	Extensión Km ²	Altitud msnm	Distancia a Bucaramanga km	Densidad del aire (kg/m ³)	P ambiente (kPa)	T ambiente (°C)
Bucaramanga	165	959	0	1.177	101.3	27
Floridablanca	100.35	926	2			
Girón	475.14	919	7			
Piedecuesta	344	1005	17			
Tomado del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE).						

4.1.2 Datos técnicos de los vehículos monitoreados

El total de la muestra monitoreada en el segundo semestre del 2021 durante los meses de agosto hasta diciembre fue de 17 vehículos. La caracterización técnica de los vehículos como marca, modelo, año, área frontal, coeficiente de rodadura, entre otros, están definidos en la tabla 8. Cabe resaltar que el área frontal se calculó a partir del software de SolidWorks.

Tabla 8. Datos técnicos de la muestra de vehículos, [autores].

Marca	Modelo	Año	Cilindrada [Litros]	Peso bruto vehicular [kg]	Tipo de vehículo	Tipo de combustible	Área frontal [m ²]	Coeficiente de arrastre [cd]	Coeficiente de rodadura [fr]
Chevrolet	Spark life	2017	1	1.230	Liviano	Gasolina	1.92	0.34	0.014
Chevrolet	Tracker	2017	1.8	1.806	Camioneta	Gasolina	2.5	0.352	0.013
Hyundai	Tucson	2016	2	2.030	Camioneta	Gasolina	2.6	0.34	0.013
Chevrolet	Aveo Sedan	2014	1.4	1.122	Liviano	Gasolina	2.16	0.36	0.014
Chevrolet	Sail Sport	2015	1.4	1.444	Liviano	Gasolina	1.76	0.54	0.015
Renault	Sandero	2013	1.6	1.515	Liviano	Gasolina	2.02	0.35	0.014
Renault	Logan	2014	1.6	1.521	Liviano	Gasolina	2.65	0.34	0.013
Chevrolet	Optra	2007	1.8	1.720	Liviano	Gasolina	1.939	0.5	0.017
Chevrolet	Spark GT	2013	1.2	1.368	Liviano	Gasolina	2.2	0.34	0.014
Chevrolet	Aveo Sedan	2012	1.4	1.122	Liviano	Gasolina	2.16	0.36	0.014
Renault	Logan	2010	1.6	1.521	Liviano	Gasolina	2.65	0.34	0.013
Honda	Fit ex	2007	1.5	1.134	Liviano	Gasolina	1.77	0.32	0.014
Daihatsu	Terios	2016	1.5	1.720	Camioneta	Gasolina	2	0.34	0.014
Chevrolet	Aveo Sedan	2012	1.4	1.122	Liviano	Gasolina	2.16	0.36	0.014
Renault	Sandero	2012	1.6	1.515	Liviano	Gasolina	2.02	0.35	0.014
Volkswagen	Jetta	2019	1.4	1.393	Liviano	Gasolina	2.5	0.27	0.013
Skoda	Fabia	2018	1	1.035	Liviano	Gasolina	2.54	0.32	0.014

En la figura 7, se representan las distintas marcas de los vehículos monitoreados, siendo Chevrolet la marca con más aplicabilidad en el contexto del proyecto con un 42%, seguida por Renault con un 27%, finalmente el otro 31% se distribuyó de forma equitativa en las 8 marcas restantes.

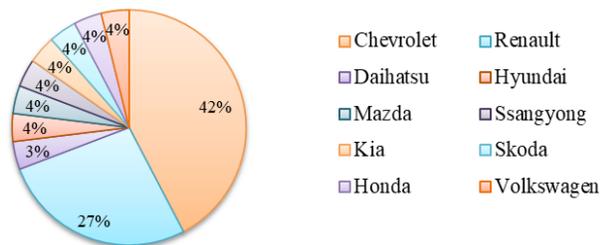


Figura 7. Marca de los vehículos monitoreados, [autores].

4.1.3 Datos sociodemográficos de los conductores

Cómo se mencionó en el marco teórico sobre la clasificación de estilos de conducción y los factores que afectan a estos mismos, en donde se describieron algunos estudios que analizaron la influencia de factores como la edad, la experiencia conduciendo, el género, y otros, respecto al comportamiento de conducción, se vio la necesidad de realizar una caracterización sociodemográfica a los conductores del proyecto, con el objetivo que en trabajos a futuro, está información descrita en los diferentes diagramas pueda ser de utilidad.

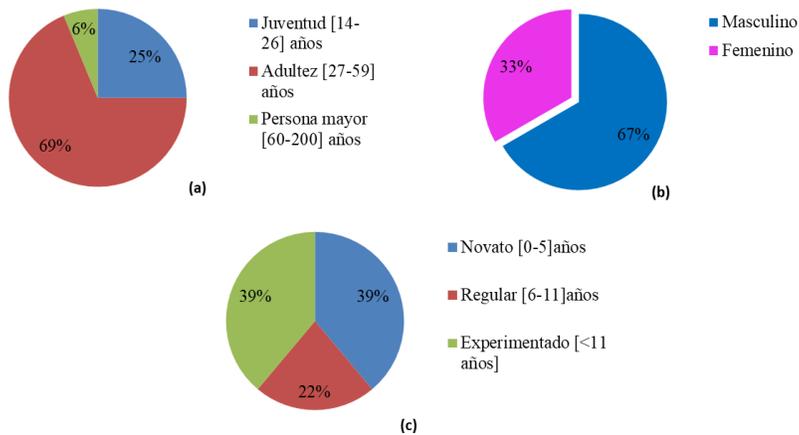


Figura 8. Datos sociodemográficos, (a) rango de edades, (b) género, (c) experticia conduciendo, [autores].

De los resultados mostrados en los diagramas porcentuales se puede establecer que el rango de edad con más participación en el proyecto se encuentra entre los 27 y 59 años pertenecientes al grupo de adultez como se observa en la figura 8(a), mientras, en el género se resalta que la diferencia entre conductores hombres y mujeres es del 34% como se describe en la figura 8(b). Por último, la experticia conduciendo se encuentra equilibrada en cuanto a los conductores novatos que llevan entre 0 y 5 años en el ejercicio de la práctica de conducción y regulares que llevan de 6 a 11 años ejecutando dicha actividad como se informa en la figura 8(c).

4.1.4 Variables monitoreadas

Las variables operacionales de interés que fueron monitoreadas en los vehículos se relacionan con las descritas en el objetivo general del proyecto, en la tabla 9 se contienen las registradas por el dispositivo de monitoreo.

Tabla 9. Variables monitoreadas a partir del sistema de monitoreo.

Unidad	Descripción de la variable	Unidad	Descripción de la variable
%	Carga de motor.	%	Posición relativa del acelerador.
l/h	Flujo de combustible/hora.	psi	Presión del colector.
lat-lon	GPS latitud y GPS longitud	rpm	RPM motor.
l/100km	Litro por 100 kilómetros (instantáneo).	°C	Temperatura del refrigerante del motor.
%	Posición del acelerador (colector).	km/h	Velocidad del OBD

4.2 SISTEMA DE MONITOREO IMPLEMENTADO

El sistema de monitoreo se desglosa en 4 subetapas, el sistema de adquisición de datos, el tipo de señal para el envío de información, el registrador de datos, y el servidor de almacenamiento. Estas etapas se pueden observar en forma de diagrama en la figura 9.

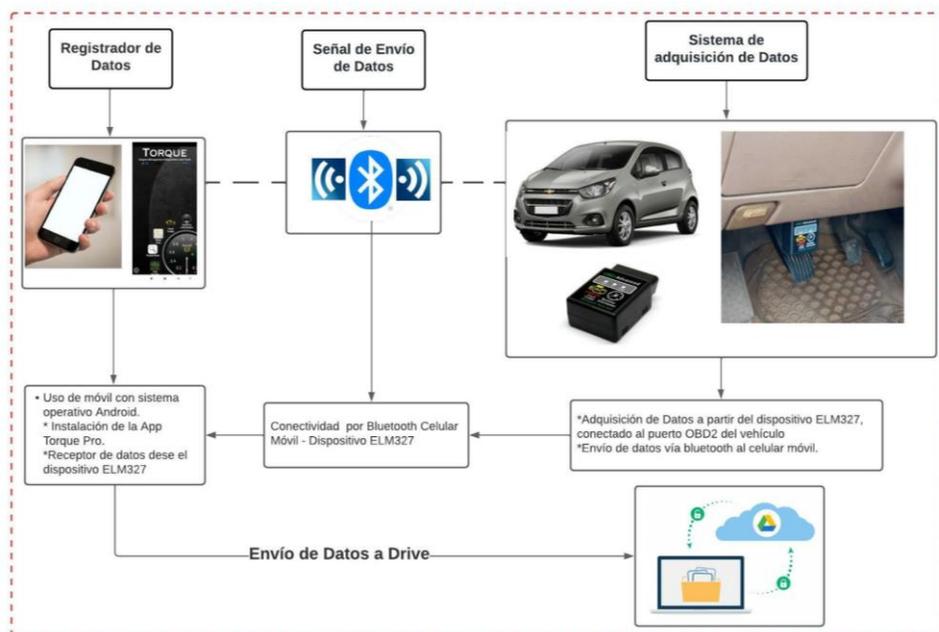


Figura 9. Sistema de monitoreo establecido, [autores].

4.2.1 Sistema de adquisición de datos

El sistema de adquisición de datos es el encargado de realizar la conexión entre los sensores del vehículo y el sensor de monitoreo, en este caso se estudiaron los dos tipos de monitoreo más comunes según la literatura al momento de registrar datos en condiciones reales de carretera, el método de persecución de vehículos y el de monitoreo a bordo, en la tabla 10 se tienen algunas ventajas y desventajas que se presentan en los dos métodos mencionados.

Tabla 10. Ventajas y desventajas de los métodos de monitoreo en condiciones reales de carretera, [autores].

Tipo de monitoreo	Ventajas	Desventajas
Persecución de vehículo	Requiere de un solo vehículo instrumentado.	-Los hábitos de conducción del conductor que va en el coche perseguido pueden variar si este observa que está siendo perseguido. -Variaciones impulsivas en las velocidades para mantener el mismo ritmo del vehículo perseguido. -Los resultados obtenidos van a variar si es un conductor experto y de este dependerán los datos. -Mayor costo de instrumentación.
Dispositivo de diagnóstico a bordo (OBD2) y Smartphone	-Monitoreo en tiempo real. -Se instala en el vehículo directamente. -Diversos dispositivos en el comercio. -Localización satelital con el Smartphone del conductor.	-El puerto OBD II se puede garantizar en todos los vehículos modelo 2006 en adelante. -Requiere un dispositivo que registre los datos monitoreados por el dispositivo. -La información se pierde en puentes, túneles, y otras zonas. -El costo según la tecnología del dispositivo aumenta. -Si se busca monitorear una muestra de vehículos representativa al mismo tiempo, los costos serán muy altos.

Se selecciono el método de diagnóstico a bordo por un importante motivo, si se trabaja el método de persecución de vehículos se estaría definiendo que los hábitos del conductor van a estar dados por un solo conductor que intentará “imitar” los hábitos de conducción de otros, se podría decir que este método sesga los resultados al momento de clasificar los estilos de conducción. A partir de lo mencionado anteriormente, se procedió a seleccionar la instrumentación correspondiente.



Figura 10. Dispositivos OBD II disponibles en el mercado colombiano a bajo costo, [autores].

- **Seleccionar la instrumentación a implementar.**

Luego de tener algunas de las características de los dispositivos que hay en el mercado colombiano, se procedió a realizar una matriz de comparación para obtener los dos mejores dispositivos que se acoplan a los requisitos técnicos y económicos del proyecto.

- a. **Técnicos:** El sistema de monitoreo requiere que el dispositivo elegido se pueda conectar con la mayor parte de los vehículos seleccionados y que permita a través de una aplicación el registro de datos de las variables que se desean monitorear.
- b. **Económico:** Cómo se tiene una muestra de 16 vehículos a monitorear se busca que la relación del precio de los dispositivos sea lo menor posible y que cumpla con las características técnicas requeridas.

- **Características relevantes en la selección del dispositivo OBD II.**

- a. Los dispositivos deben permitir el registro y envío de datos a un aplicativo en tiempo real.
- b. Deben poder realizar la lectura de los sensores seleccionados por los autores en su totalidad.
- c. Tener compatibilidad con gran parte de los vehículos en Colombia.
- d. No deben generar ninguna incomodidad a los conductores cuando se instalen debido a su tamaño.
- e. La conectividad debe ser lo más estable posible para evitar la pérdida de información.

Con los ítems mencionados y otras características subjetivas al proyecto se desarrolló la matriz de comparación para la selección de los dispositivos mostrada en la tabla 11.

- **Criterios de selección para el dispositivo OBD II.**

Teniendo en cuenta las características técnicas brindadas por las empresas y estipuladas en el tópico anterior se procedió a realizarse una matriz de selección comparando cual dispositivo OBD II se adecua más a las necesidades del proyecto, para llevar a cabo el proceso de selección se generaron 3 valores de calificación (1,3,9) en dónde 1 indica que no cumple en su totalidad la necesidad y 9 que cumple en su totalidad.

Los dos dispositivos con mayor puntaje en la matriz de selección son el dispositivo III Y V de la figura 10.

Tabla 11. Matriz QFD selección de dispositivo OBD2, [Autores].

Peso	Parámetro	Dispositivo OBD II				
		Dispositivo I	Dispositivo II	Dispositivo III	Dispositivo IV	Dispositivo V
5	Registro de datos	9	9	9	9	9
5	Confiabilidad de datos	1	1	3	1	9
3	Protocolos compatibles	9	3	9	1	9
5	Marcas de vehículos compatibles	1	1	9	9	9
3	Sistemas operativos	1	3	3	1	3
2	Indicador de estado de conexión	1	9	9	9	9
5	Precio	9	9	9	9	1
1	Confort de instalación	9	1	3	3	3
Total de puntos		141	137	207	167	197

- **Observaciones y recomendaciones:**

Se sugiere trabajar con el Scanner Automotriz Nexas Nexlink por la calidad del producto, pero por el límite económico dentro del proyecto se selecciona la otra opción descrita.

- Algunos dispositivos con módulo Wifi pueden ser trabajados para el monitoreo a bordo en vehículos siempre y cuando estos no desconecten los datos móviles del conductor o si el dispositivo wifi de forma automática envía datos a una plataforma externa sin necesidad de un smartpone.
- Por parte de los autores se hicieron pruebas con los dispositivos I, II, III Y IV, y en compatibilidad de los vehículos a monitorear en el proyecto el que se acoplo a la mayoría fue el dispositivo III.
- El escáner II de tipo Wifi no es recomendable para su uso de monitoreo a bordo, porque desconecta los datos móviles del usuario y por su longitud puede generar algún accidente.

En conclusión, la instrumentación seleccionada a partir de lo mencionado anteriormente es el dispositivo III, por economía y cumplimiento a los datos técnicos descritos.

4.2.2 Tipo de conectividad para el envío de información

- **Conexión del dispositivo ELM327 con el vehículo.**

La conexión del dispositivo ELM327 y el vehículo se realizó a partir del puerto OBD2, es muy importante tener en cuenta las señales que ingresan en cada pin del PUERTO OBD II, a continuación, se describe en la tabla cada una de las señales que ingresan a los pines mostrados en la figura 11.

Tabla 12. Descripción de los pines del puerto OBD II, [autores].

Pin	Descripción	Pin	Descripción
1	Sin uso	9	Sin uso
2	J1850 Bus positivo	10	J1850 Bus negativo
3	Sin uso	11	Sin uso
4	Tierra del vehículo (GND Vehículo)	12	Sin uso
5	Tierra de la señal (GND Signal)	13	Tierra de la señal (GND Signal)
6	Can High	14	CAN low
7	ISO 9141-2 Línea K	15	ISO 9141-2 Línea L
8	Sin uso	16	Batería positivo (DCC +)

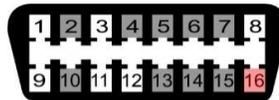


Figura 11. Pines del conector del dispositivo ELM327.

Al momento de realizar la instalación de un dispositivo ELM327 con el puerto OBDII del vehículo es importante reconocer las diferentes ubicaciones en las que puede estar el puerto de diagnóstico a bordo, en la figura 12 se observan los diferentes puntos en donde se sitúa este.

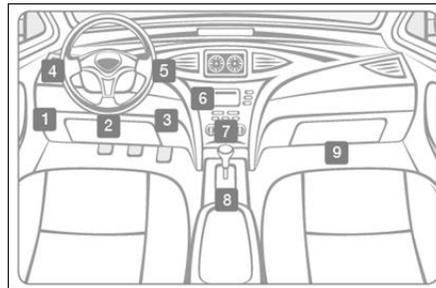


Figura 12. Localizaciones del puerto OBDII dentro del vehículo.
 Recuperado de: <https://www.verizon.com/support/knowledge-base-210135/>

Normalmente los puntos más comunes de localización del puerto OBD II son: debajo del volante, detrás de la tapa que hay debajo del volante, encima de la pisa y en la guantera. Para evitar que se deba realizar una inspección de cada uno de los puntos mostrados en la figura 12, se recomienda visitar la siguiente página [OBD2 port Chevrolet Sail III \(2015 - ...\) - Find your plug ! \(ouilsobdfacile.com\)](http://www.ouilsobdfacile.com) en dónde se ingresa la marca y el modelo del vehículo, a partir de estos dos datos ingresados la página genera el paso a paso mostrando a través de fotos reales del vehículo la ubicación del puerto OBD II.

- **Conexión del dispositivo ELM327 con el registrador de datos.**

El *Scanner Automotriz Elm327 Advanced Obd2*, envía su información a través de bluetooth y funciona para dispositivos Android como se informa en su breve descripción.

4.2.3 Registrador de datos

En base a lo mencionado en la sección de conectividad del dispositivo ELM327, se establecieron dos partes que conforman el registrador de datos, el hardware conformado por un celular móvil con sistema operativo Android y con la opción de bluetooth, por otro lado, el software que corresponde a la aplicación de torque pro descargada desde la tienda oficial de Google play store. Posterior a ello se procede a configurar y vincular las tres partes conformadas en el sistema de monitoreo como se describe a continuación:

- **Descarga del aplicativo.**

La aplicación Torque Pro es una de las más utilizadas en conjunto con el escáner seleccionado y otros en el mercado, debido a que permite trabajar múltiples funciones a nivel intermedio y avanzado como el monitoreo de vehículos en tiempo real y el registro de archivos en el almacenamiento interno de los celulares, función que otras aplicaciones en el mercado no permite realizar, está se puede encontrar en la play store de Android y tiene aproximadamente un valor de \$10.000 pesos colombianos alrededor de los \$3 dólares.

- **Instalación de la aplicación Torque Pro.**

Es muy importante entender que la aplicación al momento de la descarga y la instalación solicita una serie de permisos como la activación de la ubicación del dispositivo móvil y el acceso a la carpeta de almacenamiento interno, en dónde se va a crear la carpeta que registrará cada archivo de Excel correspondiente a un viaje.

- **Configuración del Aplicativo Torque Pro.**

La configuración que se explica a continuación se efectúa entre el OBD II y la aplicación Torque Pro, los lectores deben tener en cuenta que el aplicativo funciona para dispositivos con sistema operativo Android y computadora. Cabe resaltar que los pasos a continuación mencionados son un pequeño resumen del proceso que se puede encontrar en el documento desarrollado y compartido por los autores del proyecto en la sección de anexos **(9.1 INVESTIGACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN)**.

a) **Selección de unidades:** Se establece como sistema de medición para el proyecto, el Sistema Internacional de Unidades (SI), para ello, se seleccionan las unidades que se observan en la figura 13. Cabe resaltar que algunas medidas como la longitud y consumo de combustible ya se encuentran por defecto en unidades del Sistema Internacional, en este caso [km/h] y [l/h].



Figura 13. Selección de unidades del Sistema Internacional de Unidades, [autores].

b) **Configuración de opciones de adaptador OBD2:** A partir de la configuración realizada en opciones de adaptador se logra vincular el dispositivo ELM327 con el celular, configurando el tipo de conexión por vía bluetooth, y también programando que la vinculación entre el dispositivo de monitoreo y el celular se haga de forma automática, ósea, sin la necesidad de estar realizando la acción de vincularse al bluetooth cada vez que la aplicación sea abierta por el conductor para registrar los viajes. En la figura 14 se indican las opciones que se deben elegir para que se ejecute el proceso descrito anteriormente.

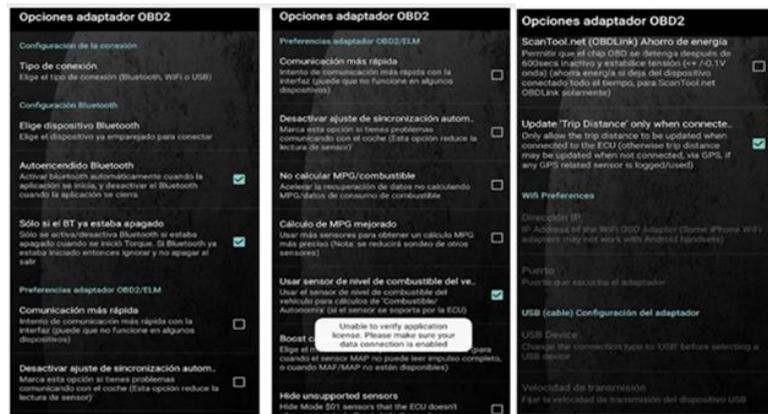


Figura 14. Configuración de opciones de adaptador, [autores].

c) **Configuración de Registro de datos y carga:** A partir del menú de registro de datos y carga se configura todo lo asociado al intervalo de muestreo, la lectura de los sensores del vehículo y del celular, que con fines del proyecto se eligieron los presentados en la tabla 13, y por último la activación del registro automático de archivos por viaje realizado que va a depender de las casillas seleccionadas cómo se indica en la figura 15.

Tabla 13. Sensores seleccionados en la App Torque Pro, [autores].

Item	Sensor	Item	Sensor
1	Carga de motor	6	Posición relativa del acelerador
2	Flujo de combustible/hora	7	Presión del colector
3	GPS latitud y longitud	8	RPM motor
4	Litro por 100 kilómetros (instantáneo)	9	Temperatura del refrigerante del motor
5	Posición del acelerador (colector)	10	Velocidad OBD

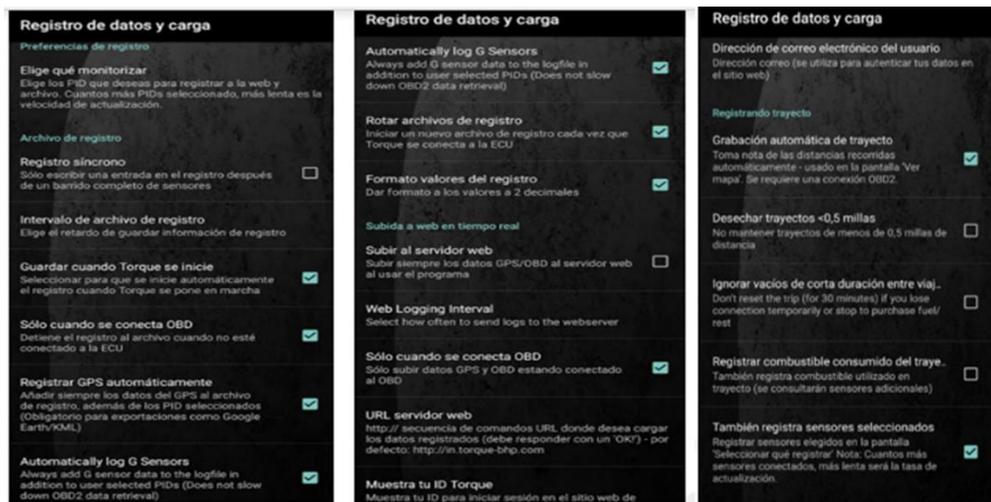


Figura 15. Configuración de la opción registro de datos y carga, [autores].

d) **Validación de la configuración realizada:** Finalizado todos los pasos anteriormente descritos, se verifica si la configuración quedo correctamente funcional para ello se enciende el vehículo, aquí se da lectura a las RPM en el tacómetro digital mostrado en el menú principal de la aplicación, se acelera el vehículo mientras se observa la variación de las revoluciones del motor como se indica en la figura 16.



Figura 16. Validación funcional de la instalación y configuración rpm, [autores].

Por último se cierra la aplicación, se apaga el vehículo, se vuelve a encender el vehículo, se abre la aplicación y se sigue la siguiente ruta, se ingresa en configuración, registro de carga y datos, elige que monitorizar, allí se verifica que los sensores seleccionados aparezcan en pantalla como se puede observar en la figura 17, si esta pantalla aparece en negro, significa que los sensores se borraron y se debe volver a configurar la aplicación torque pro desde la selección de datos y carga, elige que monitorizar.



Figura 17. Validación de guardado y registro de sensores, [autores].

Comprobada la instalación, vinculación y configuración del registrador de datos con el sistema de adquisición de datos se procede a continuar con la etapa final del sistema de monitoreo correspondiente a la descarga y envío de datos a la nube.

4.2.4 Almacenamiento de datos en la nube

La siguiente sección se realizó con el fin de capacitar y orientar a los colaboradores del proyecto para la realización del envío de datos. A continuación, se indica el paso a paso a seguir para hacer el envío de datos de todos los archivos registrados en la carpeta creada por la aplicación Torque pro:

- a. Se busca en el menú principal del celular la carpeta con nombre “administrador” o “archivos” o “gestión de archivos” o “gestor de documentos” o “files”, el nombre puede variar según la marca del celular.
- b. Se ingresa al almacenamiento interno de la carpeta anteriormente mencionada y allí se busca la subcarpeta con el nombre de “torqueLogs” como se encierra en la figura 18, esta contiene todos los archivos de los viajes registrados por la aplicación Torque Pro.



Figura 18. Carpeta torqueLogs almacenamiento interno, [autores].

- c. A continuación, se abre la carpeta de torqueLogs y dentro de esta se encuentran todos los archivos que se han monitoreado hasta el momento, en cada uno de ellos se indica la fecha respectiva. Se seleccionan todos los archivos en formato (.csv) como se muestra en la figura 19 y se elige la opción enviar, en el proyecto desarrollado se trabajaron los envíos por medio de WhatsApp, Telegram y correo electrónico. Resaltar que en el documento compartido en la sección de anexos **(9.1 INVESTIGACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN)** explica este método para el envío de datos como recomendado y otro específicamente que no se utilizó por las desventajas que se enuncian allí respecto al trabajado en el documento.

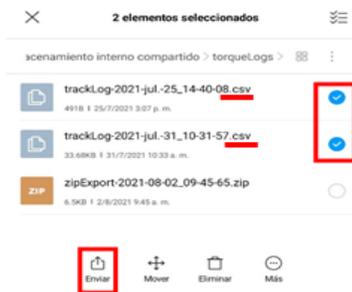


Figura 19. Envío de datos a desarrolladores del proyecto, [autores].

4.3 ADQUISICIÓN DE DATOS

Luego de haber establecido la campaña y el sistema de monitoreo a implementar, se inicia el proceso de adquisición de datos para la muestra de 17 vehículos en el área metropolitana de Bucaramanga, en la figura 20 se observa la instalación del sistema de adquisición de datos.



Figura 20. Sistema de adquisición de datos instalado, [autores].

Por otra parte, en la figura 21 se tienen algunos de los datos recibidos por parte de los colaboradores del proyecto, estos fueron enviados por diversas plataformas como WhatsApp, Telegram y Gmail, resaltar que estos datos son los generados en “bruto” por el aplicativo Torque Pro, ósea, sin ningún tipo de edición o filtrado.

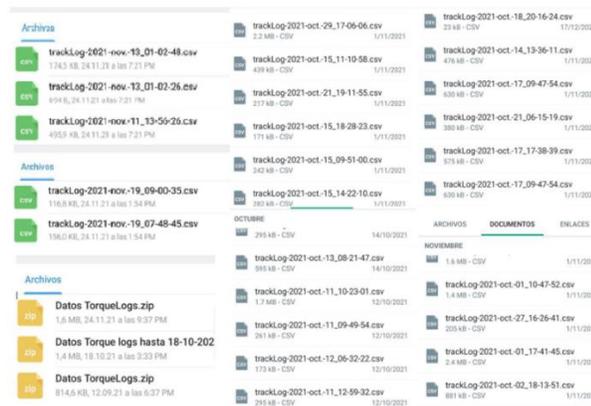


Figura 21. Datos recibidos de parte de los conductores, [autores].

4.4 ELIMINACIÓN DE DATOS ATÍPICOS

Obtener resultados confiables depende de la calidad de datos que conforman la base de datos, por ende, es necesario contar con unas etapas de preprocesamiento de datos, este proceso se realizó de forma manual teniendo en cuenta los diagramas contemplados en la figura 22 y 23. Las dos primeras etapas corresponden al ajuste de los archivos recibidos en bruto desde el aplicativo torque Pro y la eliminación de archivos que corresponden a perdidas de señal del dispositivo, archivos de pruebas, y perdida deliberada de tiempo por parte de los conductores, estos viajes no representan de ninguna forma información relevante para el estudio del proyecto.

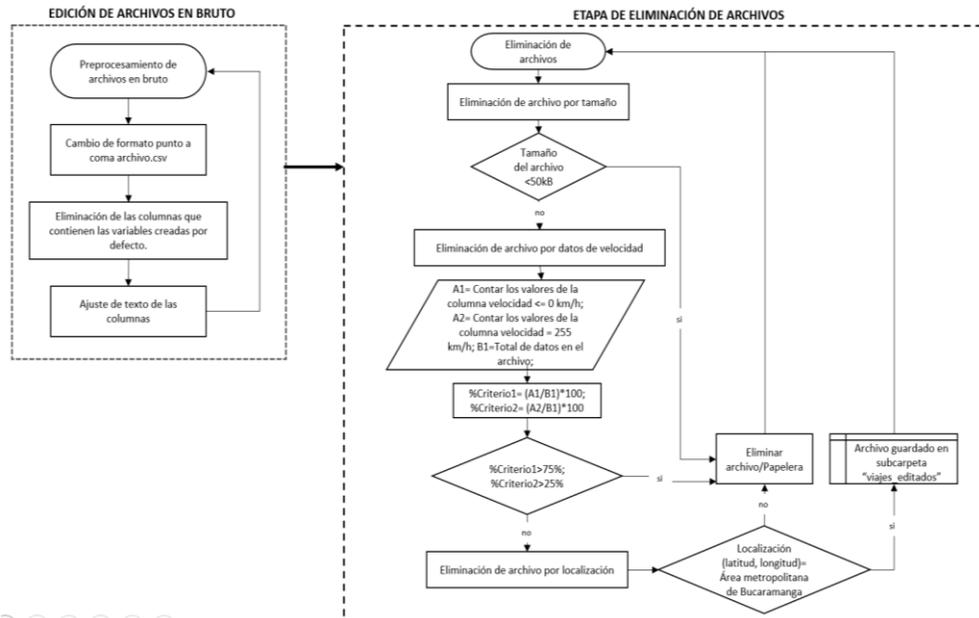


Figura 22. Etapa 1 y 2 de eliminación y ajuste de archivos atípicos, [autores].

La tercera etapa de eliminación y ajuste de datos atípicos contenido en la figura 23, encierra todo lo referente a la corrección de datos inusuales que se generan por fallos en la instrumentación, como pérdida de señal y conectividad. Así mismo, la conversión de unidades de las variables monitoreadas debido a una configuración inicial errónea, y el anexo de columnas que contienen variables externas como la pendiente que se obtiene a partir del software GPS Visualizer.

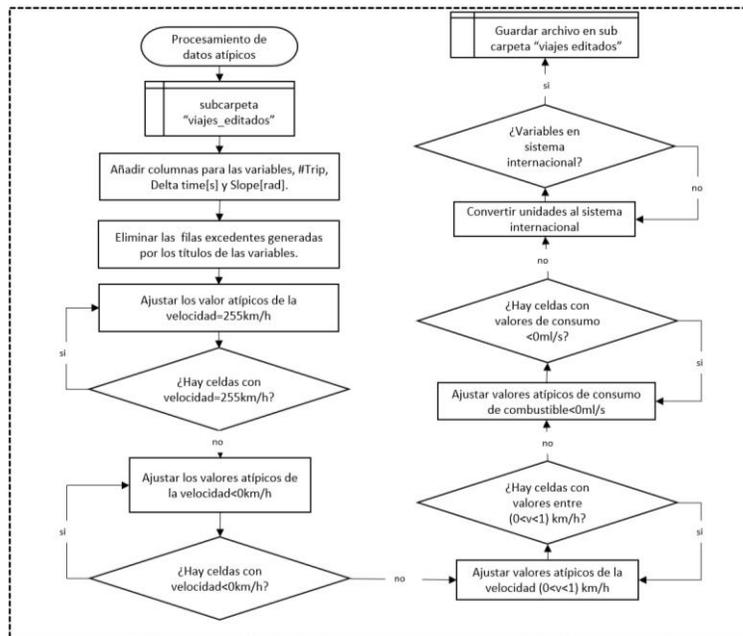


Figura 23. Etapa de eliminación de datos atípicos, [autores].

4.5 REGISTRO DE DATOS EN LA NUBE

Después de haber realizado el preprocesamiento de datos atípicos de forma manual, se procede a crear las carpetas que contienen los archivos en bruto adquiridos desde la aplicación Torque Pro, los archivos editados con los datos atípicos eliminados, los archivos con las ecuaciones establecidas y los cálculos de los parámetros característicos, y la correspondiente base de datos generada, todas las carpetas mencionadas se observan en la figura 24 y se pueden validar en la sección de anexos(**9.2 BASE DE DATOS 2022**).



Base de datos	yo
Calculos_CP,s	yo
Diagramas	yo
Viajes_editados	yo
Viajes_sin_editar	yo

Figura 24.Base de datos proyecto Molina y Acuña 2022, [autores].

4.6 METODOLOGÍA APLICADA PARA LA CLASIFICACIÓN DE ESTILOS DE CONDUCCIÓN

La clasificación del estilo de conducción se puede realizar de manera objetiva o subjetiva, la información subjetiva se basa en opiniones, comentarios, emociones y análisis individuales realizados por expertos en el tema de estilos de conducción. Por otra parte, en los métodos objetivos se tienen 3 formas de clasificadores; Mediante reglas heurísticas o basado en reglas, a través de modelos y a partir de algoritmos de aprendizaje. En el proyecto se efectuó la implementación de dos métodos el de aceleración y el de jerk basados en reglas (RB), para establecer los umbrales que identifican los diferentes estilos de conducción que se basan en los rangos intercuartílicos, a continuación, se describe la metodología creada para la clasificación de los estilos de conducción.

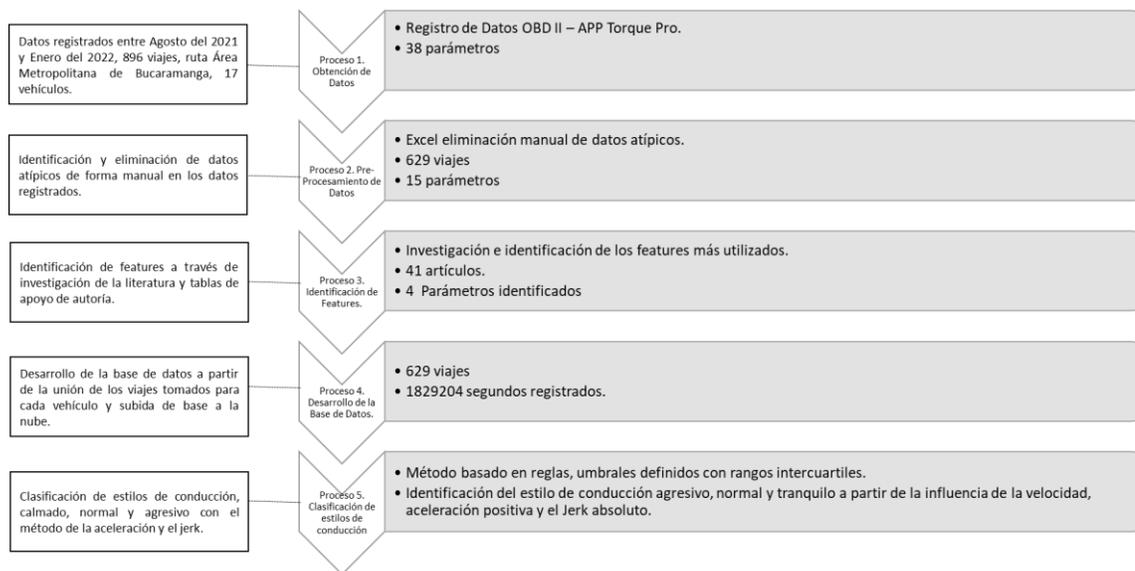


Figura 25. Metodología desarrollada para la clasificación de estilos de conducción, [autores].

4.6.1 Selección de las características para la clasificación de los estilos de conducción

Las características (*features*) son los indicadores que permiten clasificar los estilos o hábitos de conducción, si la conducción de la muestra monitoreada es agresiva, moderada o tranquila. Con el fin de seleccionar las características que definen los estilos de conducción en el proyecto, se realizó la siguiente investigación de la literatura estipulada en la tabla 15 en dónde se realizó la obtención de las distintas características que describen el estilo de conducción, en este caso se agruparon dependiendo la variable individual trabajada por el artículo, ejemplo, algunos artículos trabajaron la desviación y la media de la aceleración, estas características individuales se agregan al grupo de aceleración mostrada en la tabla referente.

En la figura 26 se resaltan las cinco características (*features*) más utilizadas por la literatura investigada al momento de clasificar los estilos de conducción por grupo, en primer lugar la velocidad se usó en 26 artículos de los 40 investigados, el segundo término utilizado es la aceleración con 14 aplicaciones de los 40 artículos, la apertura del pedal del acelerador con una utilidad de 12 artículos de 40 posibles, en cuarto y quinto lugar se tiene la aceleración lateral y longitudinal con 11 y 10 artículos en dónde se aplicaron estos *features*.

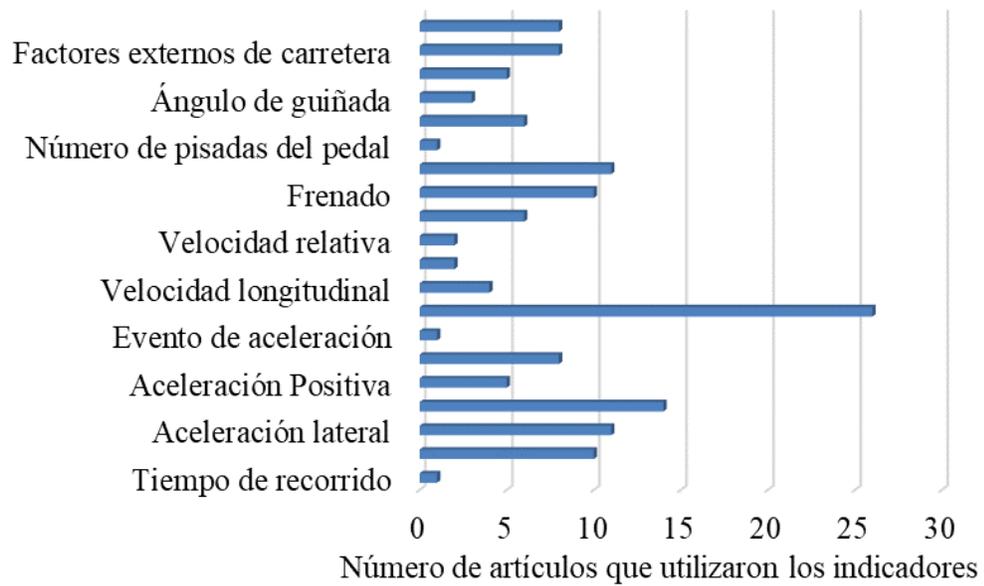


Figura 26. Características utilizadas por cantidad de artículos, [autores].

Teniendo en cuenta los resultados de la investigación y el método basado en reglas que tiene su limitante en la cantidad de parámetros seleccionados, se elige la aceleración positiva y el jerk absoluto como features de clasificación, y como clasificador los cuartiles 1 y 3 de cada una de las variables mencionadas.

Tabla 14. Características calculadas para analizar el comportamiento de conducción, [autores].

Features Seleccionados			
Descriptor Grupal	Características	Siglas	Unidad
Jerk absoluto	Jerk Absoluto Media	Ave_J	m/s ³
	Desviación Estándar	SD_J	m/s ³
	Cuartil 1	Q1_J	m/s ³
	Cuartil 2	Q2v_J	m/s ³
	Cuartil 3	Q3_J	m/s ³
	Rango Intercuartílico	IQR_J	m/s ³
Aceleración Positiva	Media o promedio	Media_a+	m/s ²
	Desviación Estándar	SD_a+	m/s ²
	Cuartil 1	Q1_a+	m/s ²
	Cuartil 3	Q3_a+	m/s ²
	Cuartil 4	Q4_a+	m/s ²
	Rango Intercuartílico	IQR_a+	m/s ²
Tipo de carretera	Urbana	Urb	0-40 km/h
	Metropolitana	Met	>40 km/h

Tabla 15. Características utilizadas para la clasificación de estilos según la literatura investigada, [autores].

Características utilizadas	Grupo de características																		Referencias			
	Tiempo de Avance	Aceleración Longitudinal	Aceleración Lateral	Aceleración	Aceleración Positiva	Aceleración Negativa	Evento de Aceleración	Velocidad	Velocidad Longitudinal	Velocidad Lateral	Velocidad Relativa	Jerk/Impulso	Freno	Apertura del pedal del acelerador	Número de presión del pedal	Ángulo del volante	Ángulo de guiñada	Emisiones y consumo		Trabajo mecánico	Factores externos de carretera	Otros
5		*	*				*	*												*		Mohammadnazar et al [42]
5				*		*		*										*		*		Donkers et al [21]
3	*										*	*										Gao et al [25]
4				*		*		*										*				Guo et al [26]
4		*	*					*				*										Schockenhoff et al [46]
4				*		*						*									*	Silva et al [35]
4		*	*					*												*		Jardin et al [39]
1													*									Shi et al [34]
6				*	*			*				*	*							*		Cordero et al [18]
5				*	*			*				*								*		Liu et al [32]
5			*					*				*	*		*							Li et al [40]
3								*		*										*		Yu et al [86]
3								*					*								*	Feng et al [87]
2		*	*																			Bejani et al [36]
2								*					*									Han et al [88]
6		*						*	*			*	*		*							Shouno et al [47]
6		*	*					*				*			*					*		del Campo et al [60]
3								*					*							*		Feng et al [24]
3												*		*			*					Ozgul et al [33]
5		*	*					*	*							*						Brambilla et al [48]
4								*				*	*		*							Li et al [43]
4		*	*					*								*						Colombo et al [37]
2					*															*		Gallus et al [38]
3												*	*		*							(Sun et al, 2017)
1												*										Deng et al [19]
2								*												*		Karaduman et al [28]
2								*					*									Wang et al [70]
3				*				*												*		Liessner et al [31]
3				*	*			*														Nikulin et al [44]
4					*	*		*				*										Lee et al [29]
5				*				*					*		*							Li et al [30]
4				*	*			*											*			Sentoff et al [45]
3				*								*								*		Ferreira et al [71]
2				*							*											Derbel et al [20]
2								*												*		Felipe et al [22]
4		*	*			*		*														Dorr et al [13]
1																		*				Mensing et al
3		*	*					*														Aljaafreh et al [16]
4			*	*	*			*														Johnson et al [27]
6				*	*			*				*					*	*				Constantinescu et al [17]
2				*				*														Felstead et al [23]
Total	1	10	11	14	5	8	1	26	4	2	2	6	10	11	1	6	3	5	1	8	8	

4.6.2 Segmentación del tipo de carretera

La clasificación del tipo de carretera se definió en 2 conceptos urbano, y metropolitano, teniendo en cuenta la malla vial del área metropolitana de Bucaramanga que se describe en la tabla 16.

Tabla 16. Malla vial estratificada para el área metropolitana de Bucaramanga. Realizada en base a [89].

Tipo Ruta	Urbana (Velocidades bajas)			Metropolitana (Velocidades medias)	
Sistema Arterial	Sistema Local			Sistema Arterial	
Tipología	Red local nivel 2	Red local nivel 1	Intermedia	Metropolitana secundaria	Metropolitana primaria
Función	Accesos a terrenos y predios.	Comunican un sector urbano con la red arterial, acceso principal a barrios, sistemas de transporte complementario.	Conectan dos o más sectores, con vías arteriales secundarias y terciarias.	Complementan la articulación de los municipios del área metropolitana con otra cabecera municipal	Permite la conexión de los flujos vehiculares nacionales de paso por el área urbana. Flujo sur – norte, flujo este – oeste, vías con mayor volumen de vehículos por día
Velocidad de diseño	20 km/h	20 km/h	40 km/h	50 km/h	50 km/h
Carriles	2	2	2 a 4	2 a 4	<4

Identificado los límites de velocidad para cada uno de los sistemas arteriales de la región monitoreada, se implementa un método basado en la velocidad similar al implementado por Lee et al [29] para clasificar el tipo de ruta en los dos conceptos mencionados anteriormente. Para ello en una primera etapa se agruparon los datos a partir de los límites de velocidad para este caso, el tipo de carretera urbana se asocia a velocidades menores a 40 km/h, la vía metropolitana se contempla en el sistema arterial (metropolitanas secundarias y metropolitanas primarias) con velocidades de desplazamiento mayores a 40 km/h.

Luego de la segmentación, se desarrolla una segunda etapa a partir de una serie de condiciones establecidas que se encarga de eliminar en lo más posible las ventanas de tiempo cortas asociadas a intersecciones, semáforos, retornos, que generan cambios en la velocidad sesgando la clasificación del tipo de carretera. Los eventos en ralentí también se obtuvieron en esta etapa.

4.6.3 Identificación de los rangos intercuartílicos

Realizada la clasificación del tipo de carretera y agrupado los datos en urbano y metropolitano se calculan los umbrales de clasificación a partir de los rangos intercuartílicos de aceleración positiva y jerk absoluto. En donde, el cuartil 1 (25%) es el umbral superior que identifica todos los valores de aceleración positiva tanto

del jerk absoluto en el grupo de estilos de conducción tranquila, mientras que, el cuartil 3 (75%) es el umbral inferior que determina todos los estilos de conducción agresivo. Por otro lado, el medio cincuenta de la distribución de frecuencia pertenece a una conducción normal.

$$IQR = Q3 - Q1 \quad (1)$$

En la tabla 17 se presentan las diferentes métricas estadísticas calculadas, los valores subrayados en negrilla son los umbrales que determinan los grupos tranquilo, normal y agresivo tanto para la segmentación de datos en vías urbanas, como para la tipología nombrada como metropolitana.

Tabla 17. Media, desviación estándar, cuartiles Q1, Q2, Q3, y rango intercuartílico para aceleración positiva, desaceleración, jerk absoluto y velocidad, para diferentes tipos de carretera, [autores].

Tipología	Métrica estadística	Aceleración positiva [m/s ²]	Desaceleración [m/s ²]	Jerk absoluto [m/s ³]	Velocidad [km/h]
Urbana [sistema local]	Media	0.456	-0.467	0.333	20.681
	Desviación estándar	0.448	0.482	0.322	11.944
	Cuartil 1	0.138	-0.648	0.102	11
	Cuartil 2	0.324	-0.324	0.239	20
	Cuartil 3	0.648	-0.138	0.459	30
	Rango intercuartílico	0.509	0.509	0.356	19
Metropolitana [sistema arterial]	Media	0.342	-0.386	0.241	52.546
	Desviación estándar	0.352	0.464	0.257	14.198
	Cuartil 1	0.138	-0.486	0.073	44
	Cuartil 2	0.254	-0.231	0.162	52
	Cuartil 3	0.463	-0.138	0.318	61
	Rango intercuartílico	0.324	0.370	0.245	17

4.6.4 Método de la aceleración para la clasificación de estilos de conducción

Después de la segmentación de los datos a partir del método de la velocidad para identificar el tipo de carretera, se aplicó el método de la aceleración para obtener la clasificación de los estilos de conducción, este consiste en hallar a partir de los cuartiles y del rango intercuartílico de la aceleración positiva los límites que determinan cuando un estilo de clasificación es tranquilo, moderado o agresivo. En este caso se establece que los datos menores al límite inferior del 25% (cuartil 1) se asocian a estilos de conducción tranquilos, mientras, que los datos que se encuentran por encima del extremo del cuartil 3 (75%) se considerarían estilos de conducción agresivos, por otra parte, los datos que se encuentra en el 50% se consideran como un estilo de conducción normal o moderado. Se debe tener en cuenta que la aceleración es el cambio de la velocidad y que está directamente correlacionada con el consumo de combustible, por ende, cuando se busca mostrar la relación entre estilos de conducción y consumo de combustible esta es una de las características que se debe tener en cuenta al aplicar cualquier tipo de método de clasificación.

4.6.5 Método del Jerk para la clasificación de estilos de conducción

Otro método aplicado para la clasificación de estilos de conducción es el del Jerk, cabe resaltar, que el Jerk es la derivada de la aceleración, o desde otra perspectiva la segunda derivada de la velocidad. A partir del Jerk, se puede relacionar el cambio de la aceleración en cierto delta de tiempo. Así mismo, se puede correlacionar con la posición del pedal del acelerador. De igual forma que en el método de la aceleración, a partir del Jerk absoluto se obtienen las métricas estadísticas de los cuartiles y el rango intercuartílico que definen los umbrales para la clasificación de los estilos de conducción tranquilo y agresivo, en dónde el límite superior de los estilos de clasificación tranquilo es el cuartil 1 y el límite inferior de los estilos de conducción agresivo es el cuartil 3, cabe resaltar, que dichas métricas estadísticas se calcularon para cada uno de las segmentaciones realizadas del tipo de carretera.

$$Jerk = \frac{da}{dt} \quad (2)$$

El algoritmo para la clasificación del tipo de carretera y de los estilos de conducción por los métodos mencionados, se realizó en el software Matlab con licencia educativa y se puede encontrar en la sección de anexos del libro.

4.6.6 Construcción del algoritmo desarrollado

Se especifica de forma general los pasos que sigue el algoritmo para la clasificación de los estilos de conducción, cabe resaltar que el método de aceleración y del Jerk absoluto siguen la misma secuencia de procesamiento y obtención de resultados, exceptuando el tipo de variable a analizar.

Paso 1. Segmentación de los datos a partir del tipo de ruta clasificado (Urbana y Metropolitana), según el límite de velocidad establecido en la malla vial del área metropolitana de Bucaramanga conceptualizado en la tabla 16.
vralentí<Urbana≤40 km/h, Metropolitana >40 km/h.

Paso 2. Agrupamiento de los datos segmentados, y realización del cálculo de las métricas estadísticas para las variables de velocidad, aceleración positiva, aceleración negativa, y jerk absoluto para cada uno de los grupos establecidos.

Paso 3. Segmentación de los datos de aceleración positiva y jerk absoluto, teniendo en cuenta que se utilizaran solo los datos de cada grupo estratificado con aceleración positiva.

Paso 4. Realización del cálculo de los cuartiles Q1 y Q3 de las variables de aceleración y del jerk absoluto para cada tipo de ruta estratificada y segmentada en los pasos 1 y 3, que definen los umbrales para clasificar los estilos de conducción

en tranquilos y agresivos respectivamente. Q1 es el límite superior para los estilos de conducción tranquilos que corresponde al 25% de la distribución y Q3 es el límite inferior de los estilos de conducción agresivos que pertenecen al 75% de la distribución.

Paso 5. Clasificación del estilo de conducción a partir del método de aceleración:

Si $a(t) \leq Q_{1a}$, se clasifica como un estilo tranquilo.

Si $a(t) \geq Q_{3a}$, se clasifica como un estilo agresivo.

Si $Q_{1a} < a(t) < Q_{3a}$, se clasifica como un estilo normal.

Paso 6. Clasificación del estilo de conducción a partir del método del jerk absoluto:

Si $|J|(t) \leq Q_1|J|$, se clasifica como un estilo tranquilo.

Si $|J|(t) \geq Q_3|J|$, se clasifica como un estilo agresivo.

Si $Q_1|J| < |J|(t) < Q_3|J|$, se clasifica como un estilo normal.

Donde, $|J|$ es el valor absoluto calculado a partir de la derivada de la aceleración.

Nota: Recordar que los pasos 5 y 6, independientemente del método aplicado tiene en cuenta el tipo de ruta en el que se encuentra en un tiempo (t) determinado.

Paso 7. Se relacionan los estilos de conducción clasificado por tipo de ruta con el consumo específico promedio (SFC).

4.7 MÉTODO APLICADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL CICLO DE CONDUCCIÓN

4.7.1 Método micro-trips fuel based method (MTFBM)

Siguiendo los objetivos del proyecto, se procede a implementar el método micro-trips fuel based method (MTFBM) utilizado en el antecedente, este método es una combinación de los micro viajes (MT) y del método determinístico Fuel Based Method (FBM). El algoritmo base de iteración de esta combinación son los micro viajes, a diferencia que su principal parámetro característico para establecer que el ciclo de conducción es representativo es el consumo específico de combustible (SFC), por ende, se plantea la condición que establece que la diferencia relativa (ARD) del parámetro mencionado debe ser menor al 5% respecto al de la muestra de datos a comparar [69]. En la figura 27 se estableció el algoritmo con el cual se construyó el ciclo de conducción que describe el patrón de conducción para la base de datos obtenida.

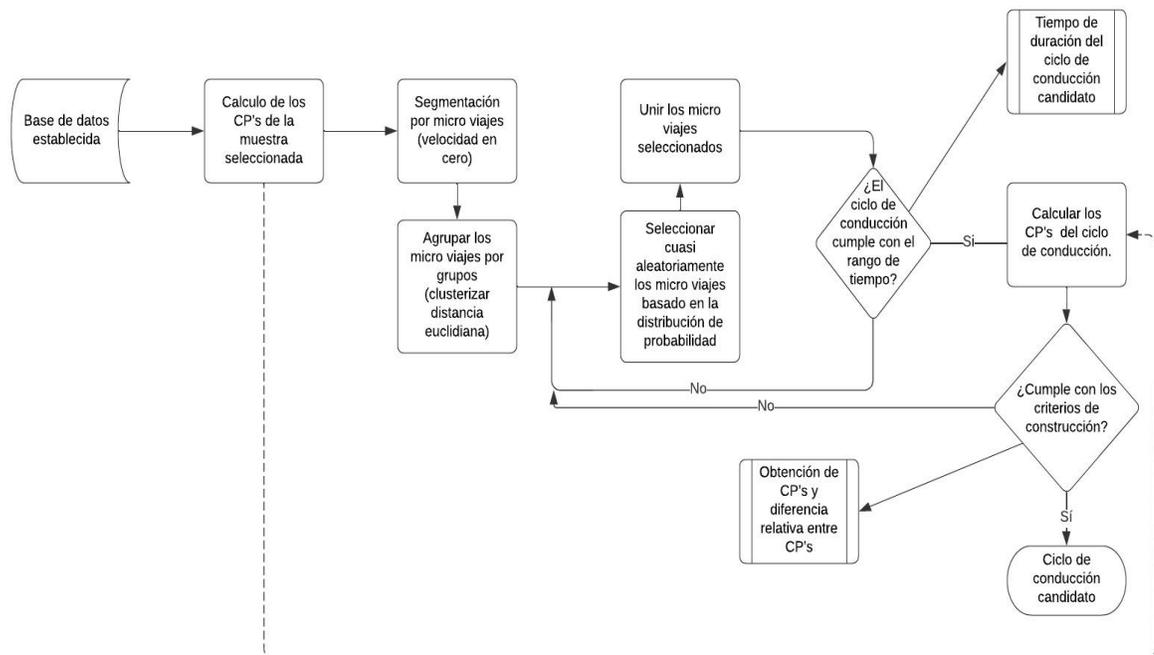


Figura 27. Algoritmo para la construcción del ciclo de conducción, tomado de [68].

4.7.2 Selección de los parámetros característicos

Dando continuidad al algoritmo establecido en la figura 27, se procede a seleccionar los parámetros característicos para la construcción del ciclo de conducción basado en los antecedentes realizados en el proyecto por Navarro et al [6] teniendo en cuenta que este proyecto es una continuación del mencionado, se seleccionaron los Cp's establecidos allí y se muestran en la tabla 18 con sus respectivas ecuaciones, cabe resaltar que los parámetros característicos son métricas estadísticas basadas en la velocidad y el tiempo y estos son una forma de describir un patrón de conducción en la región, de igual forma lo son los diagramas VSP y SAFD que más adelante se mencionaran.

4.7.3 Ecuaciones para el cálculo de los parámetros característicos

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de los parámetros característicos se establecen en la tabla 18:

Tabla 18. Ecuaciones cálculos de los parámetros característicos, [autores].

Grupo	Parámetro	Ecuación	Ec
Distancia	Distancia total	$dist = (t_2 - t_1) \frac{v_1}{3,6} + \sum_{i=2}^n (t_i - t_{i-1}) \frac{v_i}{3,6}$	(3)
	Tiempo total	$T_{total} = t_2 - t_1 + \sum_{i=2}^n (t_i - t_{i-1})$	(4)
Tiempo	Tiempo de crucero	$T_{cru} = T_{total} - T_{acc} - T_{des} - T_{det}$	(5)
	Tiempo de conducción empleado acelerando	$T_{acc} = \begin{cases} t_2 - t_1 & (a_1 > acc_límite) \\ 0 & (else) \end{cases} + \sum_{i=2}^n \begin{cases} t_i - t_{i-1} & (a_1 > acc_límite) \\ 0 & (else) \end{cases}$	(6)
	Tiempo de conducción empleado desacelerando	$T_{des} = \begin{cases} t_2 - t_1 & (a_1 < -acc_límite) \\ 0 & (else) \end{cases} + \sum_{i=2}^n \begin{cases} t_i - t_{i-1} & (a_1 < -acc_límite) \\ 0 & (else) \end{cases}$	(7)
	Tiempo detenido	$T_{det} = \begin{cases} t_2 - t_1 & (v_1 = 0 \wedge a_1 = 0) \\ 0 & (else) \end{cases} + \sum_{i=2}^n \begin{cases} t_i - t_{i-1} & (v_1 = 0 \wedge a_1 = 0) \\ 0 & (else) \end{cases}$	(8)
	% tiempo crucero	$\%_{cru} = 100 - T_{acc} - T_{des} - T_{det}$	(9)
	% tiempo acelerando	$\%_{a+} = \frac{T_{acc}}{T_{total}} \times 100$	(10)
	% tiempo desacelerando	$\%_{a-} = \frac{T_{des}}{T_{total}} \times 100$	(11)
	% tiempo ralenti	$\%_{idal} = \frac{T_{det}}{T_{total}} \times 100$	(12)
Velocidad	Velocidad media	$Ave_s = \frac{dist}{T_{total}}$	(13)
	Desviación estándar de la velocidad	$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n v_i^2}$	(14)
Aceleración	Aceleración media	$Ave_{a+} = \left(\sum_{i=1}^n \begin{cases} 1(a_i > 0) \\ 0(else) \end{cases} \right)^{-1} \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1(a_i > 0) \\ 0(else) \end{cases}$	(15)
	Desaceleración media	$\sigma_{a+} = \sqrt{\frac{1}{n_{a+} - 1} \sum_{i=1}^n \begin{cases} a_i^2(a_i > 0) \\ 0(else) \end{cases}}, \quad \text{donde } n_{a+} = \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1(a_i > 0) \\ 0(else) \end{cases}$	(16)
	Desviación estándar de la aceleración	$Ave_{a-} = \left(\sum_{i=1}^n \begin{cases} 1(a_i < 0) \\ 0(else) \end{cases} \right)^{-1} \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1(a_i < 0) \\ 0(else) \end{cases}$	(17)
	Desviación estándar de la desaceleración	$\sigma_{a-} = \sqrt{\frac{1}{n_{a-} - 1} \sum_{i=1}^n \begin{cases} a_i^2(a_i < 0) \\ 0(else) \end{cases}}, \quad \text{donde } n_{a-} = \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1(a_i < 0) \\ 0(else) \end{cases}$	(18)
Dinámicas	Número de aceleraciones	$acc_{nr} = \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (a_i > acc_{límite}^{a_{i-1}} \leq acc_{límite}) \\ 0 & (else) \end{cases}$	(19)
	Número de aceleraciones por km	$\frac{Accel}{km} = 1000 * \frac{acc_{nr}}{dist}$	(20)
	Raíz media cuadrática	$RMS_a = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i ^2}$	(21)

	Energía cinética positiva	$PKE = \frac{1}{dist} \sum_{i=2}^n v_i^2 - v_{i-1}^2 (v_1 > v_{i-1})$ else	(22)
	Potencia específica del vehículo	$VSP = \sum_{i=1}^n v_i (1,1 * a_i + 9,81 + 0,132) + 3,02 \times 10^{-4} (v_i + v_w)^2 v_i$	(23)
	Intensidad cinética	$KI = \left(\sum_{i=1}^n \begin{cases} 0,5 * (v_i^2 - v_{i-1}^2) & (0,5(v_i^2 - v_{i-1}^2)) > 0 \\ 0 & else \end{cases} \right) \times \frac{1000}{\sum_{i=2}^n (v_i^3 + (v_i * v_{i-1}) + (v_i * v_{i-1}^2) + v_{i-1}^3) / 4}$	(24)
Consumo de combustible	Consumo de combustible específico	$SFC = \frac{\sum_i^n IFC_i}{dist}$	(25)

Fuente. Elaboración propia con base a las referencias [64]

4.7.4 Cálculos de los parámetros característicos de los datos monitoreados

Obtenidas las variables monitoreadas y eliminados los datos atípicos, se calcularon los parámetros característicos para cada uno de los vehículos de la muestra y para el patrón de conducción de la región. Para ello se definieron las ecuaciones planteadas en la tabla 18, en un archivo de Excel anexada en conjunto con los archivos editados, este proceso se puede ver reflejado en figura 28. En la tabla 19 se presentan los resultados obtenidos de los parámetros característicos que describen el patrón de conducción.

# Trip	Delta time [s]	Speed[m/s]	Acceleration [m/s^2]	#Acce[km/ km^2]	Positive acceleration [m/s^2]	Negative acceleration [m/s^2]	Acceleration ^2	Frecuencia[n /s]	E ₂ ^n	Distance[m]	Accumulate Distance[m]	Q_Visale[m^2/s^2]	VSP approx [kW/t]	VSP[KW/t]	V^3[m^3/s^3]	Co*(m^2)/s^2	Fuel flow rate[m/s]	Instantaneous average fuel [l/100km]	Instantaneous average fuel [l/100km] (/peso*1000)	Velocidad [km/h]
1	1	0	0	0	0	0	0	309529	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	0	1	0	0	309529	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	0	0,81018519	0	0,81018519	0,65640003	9115	0,43086101	0,69444444	0,69444444	1,92901235	0	0	0,66979595	0,96450617	-	-	0	
4	1	1	1,38888889	0,81018519	0	0,81018519	0,65640003	9115	0,43086101	0,69444444	1,38888889	0	1,53092769	1,42583674	2,67918381	-	-	-	0	
5	1	1	1,38888889	-0,1157407	0	-0,1157407	0,01339592	13944	0,00017945	1,21527778	2,60416667	0	0,67547615	0,6978647	2,67918381	-	-	-	0	
6	1	1	1,38888889	-0,0925926	1	-0,0925926	0,00857339	6073	7,3503E-05	1,52777778	4,13194444	0	0,64256972	0,65210795	2,67918381	-	-	-	0	
7	1	1	1,38888889	0,64814815	0	0,64814815	0,42096602	12114	0,17648067	1,94444444	6,07638889	4,32098765	1,67872396	1,595672	7,95181756	2,16049383	-	-	23,24327278	
8	1	1	2,5	0,64814815	0	0,64814815	0,42096602	12114	0,17648067	1,94444444	8,02083333	0	3,29523108	3,14495316	15,625	-	-	-	17,2172391	
9	1	1	2,5	-0,0925926	0	-0,0925926	0,00857339	6073	7,3503E-05	2,36111111	10,38194444	0	1,28277683	1,31758082	15,625	-	-	-	17,2172391	
10	1	1	2,5	0	0	0	0	309529	0	2,5	12,88194444	0	1,51282367	1,52458279	15,625	-	-	-	17,2172391	
11	1	1	2,5	-0,0925926	1	-0,0925926	0,00857339	6073	7,3503E-05	2,63888889	15,52083333	0	1,2361362	1,26862027	15,625	-	-	-	17,2172391	
12	1	1	2,5	0,64814815	0	0,64814815	0,42096602	12114	0,17648067	3,05555556	18,5763889	6,79012346	3,27055086	3,12047212	29,4710219	3,95906173	-	-	23,24327278	
13	1	1	3,61111111	0,64814815	0	0,64814815	0,42096602	12114	0,17648067	3,05555556	21,65194444	0	4,44775201	4,23204039	47,0893347	-	-	-	17,8619304	
14	1	1	3,61111111	-0,0925926	1	-0,0925926	0,00857339	6073	7,3503E-05	3,47222222	25,1041667	0	1,43441275	1,48638205	47,0893347	-	-	-	17,8619304	
15	1	1	3,61111111	3,7007E-17	0	3,7007E-17	1,3696E-33	4535	1,8757E-06	3,61111111	28,5127778	0	1,83768597	1,85612569	47,0893347	-	-	-	17,8619304	
16	1	1	3,61111111	-0,06944444	0	-0,06944444	0,00482253	2965	2,3257E-05	3,50694444	32,22222222	0	2,1490123	2,14227696	47,0893347	-	-	-	17,8619304	
17	1	1	3,61111111	-0,48611111	0	-0,48611111	0,23630401	19901	0,05583959	3,19444444	35,4166667	0	-0,7314592	-0,536839	33,1522205	0,8719492	-	-	24,1629364	
18	1	1	2,77777778	-0,48611111	1	-0,48611111	0,23630401	19901	0,05583959	3,19444444	38,61111111	0	-0,7034193	-0,5534225	21,4334705	0,8719492	-	-	17,8614344	
19	1	1	2,77777778	0,0423963	0	0,0423963	0,00141335	2785	4,5939E-06	2,91666667	41,5277778	0	0,92338134	0,9348701	21,4334705	0,8719492	-	-	17,8614344	
20	1	1	2,77777778	0,16203704	0	0,16203704	0,026256	6886	0,00068938	2,91666667	44,44444444	1,62037037	1,2770234	1,24898907	26,8601842	0,81018519	0,55126581	-	19,84557333	
21	1	1	3,05555556	0,13888889	0	0,13888889	0,01929012	19211	0,00037211	2,95138889	47,39583333	0	1,38839386	1,36243283	28,5279462	0,55126581	-	-	14,70042617	
22	1	1	3,05555556	0,13888889	0	0,13888889	0,01929012	19211	0,00037211	3,15972222	50,5555556	1,77469136	1,8382973	1,8176447	32,6502507	0,88794568	0,9229091	-	22,37554479	
23	1	1	3,33333333	0,16203704	0	0,16203704	0,026256	29690	0,00068938	3,19444444	53,75	0	0,81641725	0,7805821	37,037037	0,9229091	-	-	22,37554479	
24	1	1	3,33333333	-0,06944444	1	-0,06944444	0,00482253	2338	2,3257E-05	3,36805556	57,1180556	0	0,58897439	0,63024413	37,037037	0,9229091	-	-	22,37554479	
25	1	1	3,33333333	0,32407407	0	0,32407407	0,10502401	12667	0,01103004	3,61111111	60,7291667	4,01234568	2,88265524	2,79158538	47,3679698	2,00617284	0,84566328	-	18,79252257	
26	1	1	3,88888889	0,30092593	0	0,30092593	0,09055641	5086	0,00820046	3,64383333	64,375	0	3,26878742	3,17170259	58,8134431	0,84566328	-	-	18,79252257	
27	1	1	3,88888889	0,11574074	0	0,11574074	0,01339592	13944	0,00017945	3,95833333	68,33333333	2,23765482	3,70589226	3,6801391	65,4203104	1,1882716	1,28810247	-	24,53529076	
28	1	1	4,16666667	0,18518519	0	0,18518519	0,03429355	5740	0,00117605	3,99305556	72,3263889	0	2,97460956	2,91891376	72,337963	1,28810247	-	-	24,53529076	
29	1	1	4,16666667	-0,1851852	0	-0,1851852	0,03429355	5740	0,00117605	3,99305556	76,51944444	0	1,68658884	1,73832636	65,4203104	1,28810247	-	-	24,53529076	
30	1	1	3,88888889	-0,162037	0	-0,162037	0,026256	9332	0,00068938	4,02777778	80,34722222	0	1,7087841	1,79028648	58,8134431	1,13445852	-	-	20,16815892	
31	1	1	3,88888889	0,0423963	0	0,0423963	0,00141335	9692	4,5939E-06	3,88888889	84,23611111	0	1,6449161	1,64788898	58,8134431	1,13445852	-	-	20,16815892	
32	1	1	3,88888889	-0,162037	0	-0,162037	0,026256	29690	0,00068938	3,75	87,98611111	0	0,67737199	0,76142855	52,806713	0,72425769	-	-	13,79538924	

Figura 28. Obtención de los parámetros característicos, [autores].

4.7.5 Obtención de los micro viajes

Una vez calculado los parámetros característicos del patrón de conducción, se procede a dividir los viajes en micro viajes, en este caso la definición de micro viaje está dada por una secuencia de perfil de velocidad entre dos paradas sucesivas, cuando su variable de velocidad inicia en cero y finaliza en cero. Como resultado de los 539 viajes registrados para la base de datos de 16 vehículos se obtuvieron un total de 9897 micro viajes utilizando el concepto establecido anteriormente, y para la base concatenada entre los 16 vehículos monitoreados en el proyecto actual y en el antecedente se registraron un total de 12967 micro viajes.

4.7.6 Clúster y distribución de probabilidad

Los clústeres hacen referencia a la agrupación de los micro segmentos de acuerdo con la velocidad y aceleración promedio de cada uno, este proceso se realizó con la herramienta estadística de Minitab, a partir del método de conglomerados de observaciones teniendo en cuenta la medición Euclidiana. Los clústeres obtenidos se generaron con un porcentaje de similitud del 95%. En la figura 29 y 30 se muestra el proceso para esta sección.

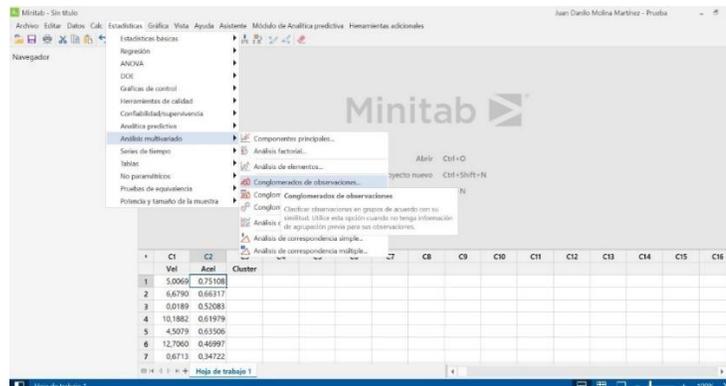


Figura 29. Proceso de clustering, conglomerados de observaciones, [autores].

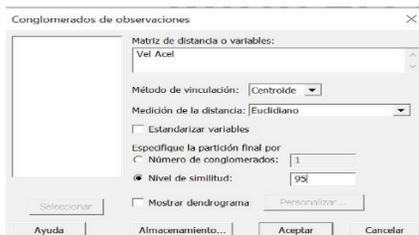


Figura 30. Configuración para el proceso de clúster, [autores].

Después de realizar el proceso de clúster, se procede a calcular la probabilidad en la que ocurre el clúster, para ello se tiene en cuenta la ecuación (26).

$$P_{cluster_i} = \frac{\text{casos favorables}}{\text{casos totales}} \quad (26)$$

Al obtener los clústeres correspondientes de la base de datos obtenida en el proyecto actual, y después de haber calculado la probabilidad para cada uno de estos, se finaliza el desarrollo total del archivo que se exportará a Matlab y con el cual se va a obtener el ciclo de conducción representativo. En total para la base de datos construida en el proyecto actual con una muestra de 16 vehículos se obtuvieron 12 clústeres, mientras que para la base de datos concatenada un total de 17 clústeres.

4.7.7 Selección cuasi aleatoria y empalme de los micro viajes

La selección cuasi-aleatoria cuenta con cinco pasos en general:

- Paso 1: generar un número aleatorio entre 0 a 1.
- Paso 2: selección del primer clúster con la probabilidad acumulada mayor al número generado en el paso 1.
- Paso 3: identificación de la cantidad de micro viajes que pertenecen al clúster seleccionado.
- Paso 4: generación de un número aleatorio entre el 1 y el número máximo de micro viajes dentro del clúster.
- Paso 5: Selección del micro viaje de acuerdo con el número generado anteriormente.

El proceso de empalme de los micro viajes se realiza iterando los pasos anteriores hasta que se cumpla la condición de tiempo de paro establecido, ósea, el tiempo que durará el perfil de velocidad obtenido, el rango del tiempo de paro recomendado esta entre los 1140 y 1360 segundos. Al satisfacer dicha condición los ciclos pasan a ser ciclos candidatos, lo que significa que posteriormente se les calculará las diferencias relativas promedio a cada uno de los parámetros característicos de los ciclos candidatos y si esta diferencia relativa promedio en comparación a la muestra de datos está entre los rangos aceptables [0-20%] se considerará un ciclo representativo.

4.7.8 Validación del ciclo de conducción

La validación de la representatividad del patrón de conducción contenido en los ciclos de conducción candidatos se realiza a partir de las diferencias relativas entre los parámetros característicos del ciclo de conducción (CP_i^*) y los parámetros

característicos del patrón de conducción (CP_i), en la literatura [68] [81] se informa que son diferencias relativas aceptables los valores entre [5% y 15%], pero este rango también viene dado por la cantidad de parámetros característicos seleccionados y se puede ajustar dependiendo del estudio desarrollado, con fines de este proyecto este rango se amplía debido a la cantidad de CP's utilizados en la generación del ciclo candidato.

Las diferencias relativas (RD_i) se calculan a partir de la ecuación (27), está se modifica cuando se trabaja con métodos de naturaleza estocástica como lo es el método micro trips (MT), esto significa que los ciclos candidatos que se obtienen a partir del algoritmo desarrollado son repetibles, pero no reproducibles. Para eliminar dicha dificultad se establece la ecuación (28) que permite a partir de la reproducción repetitiva del método MT determinar la tendencia y la dispersión de la diferencia relativa para cada uno de los CP's. La tendencia de la RD_i se describe a partir de las diferencias relativas promedio (ARD_i) y la dispersión de cada RD_i se calculó a través de su rango intercuartílico (IQR_i).

$$RD_i = \frac{\sum(CP_i^* - CP_i)}{CP_i} \quad (27)$$

Donde,

n, es el número total de iteraciones realizadas;

j, es el número de la iteración;

w, cantidad de CP's utilizados;

$$ARD_i = \sum_{j=1}^n \frac{|CP_{ij}^* - CP_{ij}|}{nCP_i} \quad (28)$$

Finalmente, la ecuación (29) permite validar la representatividad del ciclo de conducción desarrollado y el patrón de conducción, en dónde:

$$ARD_i = \sum_{j=1}^n \frac{ARD_i}{w} \quad (29)$$

Tabla 19. Cálculo de parámetros característicos, datos monitoreados proyecto actual, [autores].

CP	Vehículo																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	PC
Max. speed [m/s]	25,278	27,500	25,833	21,667	30,556	32,778	28,333	28,889	28,056	25,834	26,944	24,722	27,500	23,889	19,722	25,000	32,778
Average speed [m/s]	7,991	5,690	7,329	4,049	7,167	8,637	4,267	7,911	7,473	6,087	5,911	7,565	5,623	4,008	5,971	8,571	6,029
Std. Dev speed [m/s]	6,075	5,230	5,387	4,847	6,452	7,619	5,011	7,317	7,236	6,217	5,837	5,147	5,303	4,814	5,304	6,876	6,031
Max + acc [m/s ²]	3,125	5,556	5,741	4,745	4,282	4,537	5,301	5,000	5,324	3,888	5,593	4,213	4,722	4,051	2,778	3,403	5,741
Max - acc. [m/s ²]	-4,120	-5,995	-5,671	-3,704	-6,019	-6,481	-5,185	-4,907	-6,157	-4,419	-5,347	-4,861	-4,190	-4,537	-3,194	-3,310	-6,481
Average + acc [m/s ²]	0,484	0,544	0,610	0,494	0,624	0,640	0,593	0,464	0,541	0,592	0,559	0,622	0,542	0,573	0,459	0,492	0,554
Average - acc [m/s ²]	-0,545	-0,580	-0,613	-0,540	-0,644	-0,721	-0,622	-0,514	-0,594	-0,666	-0,584	-0,657	-0,560	-0,592	-0,491	-0,540	-0,592
Std. Dev + acc [m/s ²]	0,341	0,419	0,455	0,361	0,470	0,489	0,445	0,357	0,494	0,454	0,463	0,490	0,409	0,419	0,329	0,381	0,429
Std. Dev - acc [m/s ²]	0,412	0,498	0,473	0,413	0,563	0,635	0,482	0,400	0,570	0,553	0,506	0,558	0,404	0,445	0,352	0,463	0,485
% Idle	11,94%	28,04%	12,50%	39,27%	21,73%	21,53%	41,19%	26,64%	31,11%	23,71%	26,34%	1,44%	30,30%	22,43%	24,94%	20,93%	29,15%
% Acel	33,15%	28,05%	33,43%	21,63%	29,77%	33,80%	23,50%	25,37%	24,06%	30,99%	26,86%	37,64%	25,73%	21,86%	25,85%	27,98%	26,80%
% Des	29,58%	26,33%	33,27%	19,86%	29,10%	30,10%	22,50%	23,35%	22,20%	28,22%	25,74%	35,82%	25,15%	13,74%	24,43%	25,65%	25,28%
% Crus	25,33%	17,58%	20,80%	19,24%	19,40%	14,57%	12,80%	24,65%	22,63%	17,09%	21,06%	25,09%	18,82%	124,96%	24,78%	25,43%	18,77%
# Accel/Km [km ⁻¹]	21,045	18,400	16,495	24,204	22,774	12,750	20,722	14,013	14,750	19,207	18,486	20,517	17,772	22,078	18,387	13,064	18,169
RMS [m/s ²]	0,506	0,536	0,628	0,417	0,629	0,706	0,519	0,434	0,530	0,620	0,545	0,710	0,490	0,484	0,417	0,490	0,530
PKE [m/s ²]	0,280	0,402	0,443	0,307	0,393	0,473	0,421	0,270	0,325	0,478	0,353	0,405	0,350	0,395	0,263	0,318	0,365
SFC [L/100km]	11,329	11,867	12,240	13,381	8,975	12,234	12,192	9,344	10,397	13,831	13,144	9,614	12,356	12,203	10,932	9,991	11,333
VSP [kW/ton]	1,524	0,964	1,461	0,338	1,329	2,057	0,731	1,762	1,496	1,753	1,567	7,491	0,891	0,628	0,965	1,641	1,339
KI [km ⁻¹]	0,759	1,561	1,476	1,292	0,987	0,865	1,674	0,541	0,674	1,248	1,054	1,397	1,333	1,685	1,004	0,719	1,041

4.8 POTENCIA ESPECÍFICA DEL VEHÍCULO (VSP)

En 1998 Jiménez introdujo el concepto de la potencia específica del vehículo (VSP-vehicle specific power) definiéndola como la potencia instantánea por unidad de masa del vehículo. La potencia instantánea generada por el motor se utiliza para superar la resistencia total de las cargas en carretera, como la resistencia de rodadura, aerodinámica y de arrastre, también permite aumentar las energías cinéticas y potencial en el vehículo [90]. De forma general se puede asociar a la potencia específica con el producto entre la velocidad y una aceleración equivalente, en donde se incluyen los efectos de la pendiente de carretera, la resistencia de rodadura y un término de la resistencia aerodinámica que es proporcional al cubo de la velocidad instantánea. La unidad fundamental del VSP en el Sistema Internacional (SI) es igual a kilovatios por tonelada métrica (kW/ton). A continuación, se establece la ecuación que describe la potencia instantánea:

$$VSP = v \times [a \times (1 + \epsilon i) + g \times \text{pendiente} + g \times Cr] + \frac{1}{2} Pa \frac{C_D \times A}{m} (v + v_m)^2 \times v \quad (30)$$

Donde,

v , velocidad del vehículo;

v_m , Velocidad del viento en la zona de monitoreo;

a , aceleración del vehículo;

ϵi , factor de masa;

g , aceleración de la gravedad;

pendiente , altura vertical/longitud de la pendiente;

Cr , coeficiente de resistencia a la rodadura;

C_D , Coeficiente de arrastre;

Pa , densidad del aire ambiente;

A , área frontal del vehículo;

m = masa del vehículo;

Un acercamiento a la ecuación (30) planteada por Jiménez, se puede obtener a partir de la descripción dinámica del diagrama de cuerpo libre mostrado en la figura 36, teniendo en cuenta el concepto de potencia que se define como fuerza por velocidad.

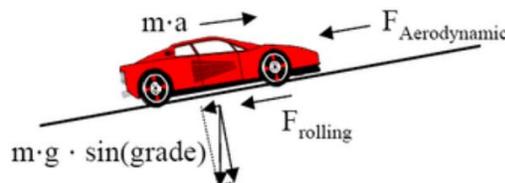


Figura 31. Diagrama de cuerpo libre de un vehículo [90].

$$VSP = \frac{Potencia}{masa} \left[\frac{kw}{ton} \right] \quad (31)$$

$$Potencia = Fx * v \quad (32)$$

$$Fx = Fd + Rx + Rg + Ri \quad (33)$$

Donde,

Fx = Fuerza en la rueda;

Fd = Fuerza de arrastre o aerodinamica;

Rx = Resistencia a la rodadura;

Rg = Resistencia a la pendiente;

Ri = Resistencia a la inercia;

$$Fd = \frac{1}{2} C_D * A * P_a + v^2 \quad (34)$$

$$Rx = m * g * C_r * \cos\theta \quad (35)$$

$$Rg = m * g * \sin\theta \quad (36)$$

$$Ri = m * a \quad (37)$$

$$Fx = \frac{1}{2} C_D * A * P_a + v^2 + m * g * C_r * \cos\theta + m * g * \sin\theta + m * a \quad (38)$$

$$VSP = v * a + g * v(\sin\theta + C_r \cos\theta) + \frac{1}{2} P_a \frac{C_D * A}{m} * v^3 \quad (39)$$

4.8.1 Proceso de obtención de las variables para calcular el VSP

- Los coeficientes aerodinámicos, y de rodadura se obtuvieron a partir de la literatura.
- El término de área frontal se halló a través del software de SolidWorks.
- La pendiente se calculó a través de la herramienta *GPS Visualizer* exportando los datos de longitud y latitud medidos a partir del dispositivo ELM327.
- La velocidad del vehículo se monitoreo a partir de la instrumentación seleccionada.
- La masa del vehículo se obtuvo a partir de las fichas técnicas del fabricante.
- La presión atmosférica se trabajó según la estipulada en la región.
- La gravedad es la aceleración gravitacional estipulada a nivel internacional.
- La aceleración se obtuvo a través del polinomio estipulado en la ecuación (40).

$$a = \frac{-v_{i+2} + v_{i+1} - 8v_{i+1} + v_{i-2}}{12\Delta t i} \quad (40)$$

- Obtenidos los datos para calcular el VSP segundo a segundo, se procede a relacionar las velocidades bajas, medias y altas en rangos de VSP, encontrando así la frecuencia porcentual para cada uno de los rangos previamente establecidos.
- Los resultados y análisis de este desarrollo se pueden encontrar en la sección 5 del libro de tesis de grado.

4.9 DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE VELOCIDAD-ACELERACIÓN (SAFD)

SAFD es una herramienta útil para representar comportamientos de conducción a través de la frecuencia o probabilidad en que los datos de conducción se produzcan en cada clase de velocidad y aceleración [91]. Proporcionando así, información visual de los patrones de conducción para cada viaje individual o grupo de viajes.

4.9.1 Proceso de obtención del diagrama SAFD

- Se dividieron los datos obtenidos de velocidad en rangos iguales, ejemplo, la velocidad mínima del vehículo fue 0 km/h, mientras que el máximo de velocidad fue 100 km/h, se establecieron 20 rangos de velocidad por ende se tendría intervalos de 5 km/h.
- Se dividieron los datos obtenidos de aceleración en rangos iguales, ejemplo, la aceleración mínima del vehículo fue -6 m/s^2 , mientras que el valor máximo es de 6 m/s^2 , se establecieron la misma cantidad de rangos que en la variable velocidad por ende se tendría intervalos de 0.1 m/s^2 .
- Después de establecer los rangos e intervalos para las variables de velocidad y aceleración se construye una matriz de 20×20 en este ejemplo específico, posterior a ello se calcularían las frecuencias para cada clase de velocidad y aceleración.
- Finalmente se realiza el diagrama SAFD utilizando los gráficos de superficie en 3D del software Excel.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS

5.1 BASE DE DATOS PROYECTO ACTUAL 2022

La base de datos que se generó durante la campaña de monitoreo realizada en los meses de agosto a diciembre del año 2021, registro un total de 17 vehículos descartándose 1 vehículo por ser de categoría pública, por ende, los archivos del vehículo público se aislaron de la base de datos principal y se podrán utilizar en estudios a futuro. En la figura 32(a), se pueden observar los viajes totales que se registraron por cada vehículo en la campaña de monitoreo, el 60% de los vehículos contaron con un total de viajes igual o mayor a 30, cabe resaltar que los archivos mencionados en las gráficas hacen referencia a viajes procesados sin datos atípicos. Por otra parte, en la figura 32(b) se tiene la distancia recorrida por vehículo en kilómetros, se mantuvo un promedio de 439 kilómetros recorridos totales por cada vehículo de la muestra de 16 automóviles.

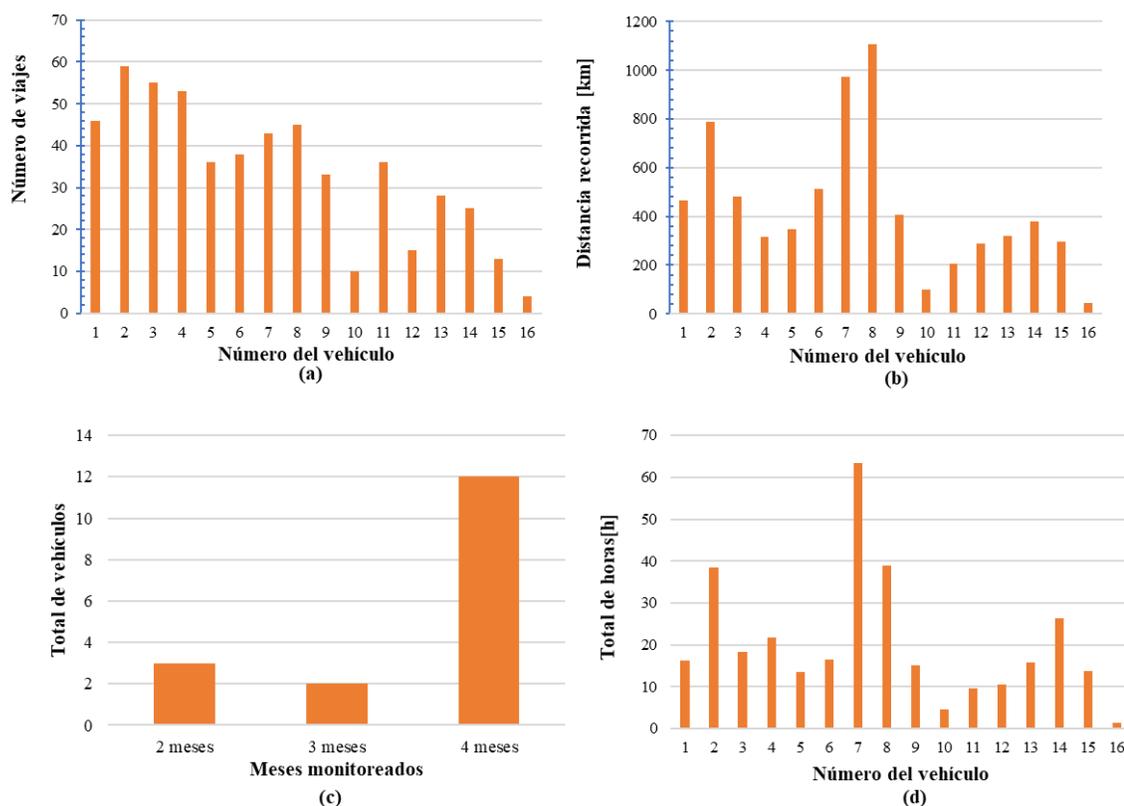


Figura 32. Base de datos generada entre agosto y diciembre del 2021, (a) número de viajes procesados obtenidos por vehículo, (b) distancia recorrida total por vehículo, (c) meses monitoreados, (d) total de horas por vehículo, [autores].

En la figura 32(c) se tiene la cantidad de meses monitoreados, en total 12 vehículos estuvieron instrumentados y monitoreando durante 4 meses, 2 vehículos durante 3 meses y 3 vehículos durante 2 meses. Indicando así, que el 75% de los vehículos participantes estuvo cumpliendo un lapso de 4 meses de adquisición de datos. Finalmente, en la figura 32(d) se tiene el total de horas registrada por vehículo, se puede deducir que la mayoría de vehículos tuvieron pocas horas de monitoreo debido a recorridos cortos dentro de la ciudad, y que los vehículos 2,7, y 8 que obtuvieron la mayor cantidad de horas registradas realizaban viajes que representaban trayectos más largos, esto se puede validar observando al mismo tiempo la figura 32(a) y 32(b) correspondiente al número de archivos y distancia recorrida total para cada vehículo.

5.2 BASE DE DATOS CONCATENADA (PROYECTO 2021 Y 2022)

Se realizó la unión de la base de datos creada por Navarro et al [6] y la desarrollada en el proyecto actual, los primeros 10 vehículos que se encierran en los recuadros negros tanto en la figura 33(a) y 33(b) corresponden a los datos de la base desarrollada en el proyecto antecedente en la región.

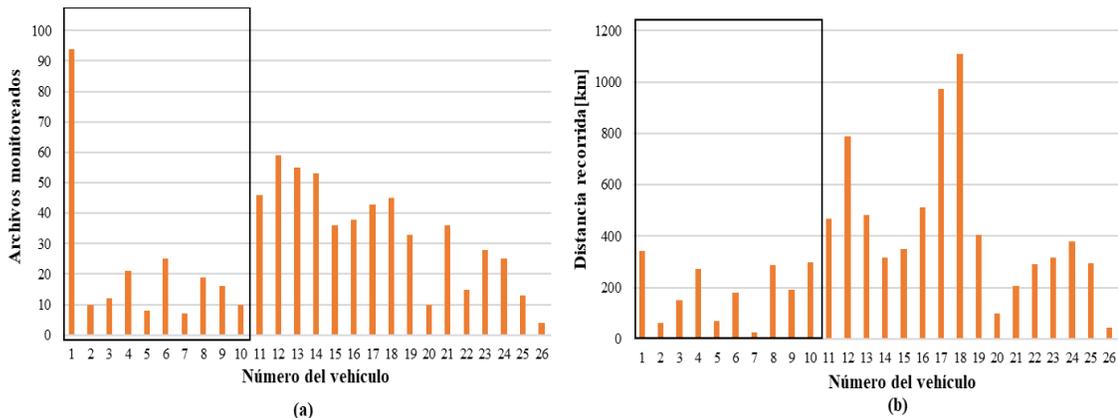


Figura 33. Base concatenada (a) viajes registrados, (b) distancia recorrida, [autores].

En la tabla 20 se realiza un breve resumen de la totalidad de archivos registrados en la base de datos del proyecto antecedente y la concatenada en esta sección, con el fin de reflejar el aumento de la representatividad de los datos obtenidos con respecto al anterior, siendo esta una de las búsquedas principales del proyecto, que es establecer una base de datos en el área metropolitana de Bucaramanga que sea representativa, para así dar cumplimiento a los tres factores que indican que el ciclo de conducción desarrollado es representativo, dichos factores son: (a) la calidad y cantidad de los datos de operación del vehículo, (b) el método de construcción del ciclo de conducción, y (c) los CP's utilizados para evaluar la representatividad del ciclo de conducción.

Tabla 20. Comparación de la base de datos actual y la base de datos antecedente, [autores].

Item	Base de datos concatenada	Base de datos antecedente [6]	Unidades
Total de viajes registrados	760	221	Viajes
Total de tiempo monitoreado	407.48	83.46	Horas
Total de distancia recorrida	8907.48	1876.9	Kilómetros

Estos resultados indican que la base de datos desarrollada en el proyecto actual aumento la cantidad de los datos en un 300%, haciendo un gran aporte a la representatividad de la base de datos que se había iniciado en el primer semestre del año 2021.

5.3 CICLOS DE CONDUCCIÓN OBTENIDOS, MUESTRA DE 16 Y 26 VEHÍCULOS

El ciclo de conducción mostrado en la figura 34 corresponde al desarrollado para la base de datos construida en el proyecto actual, de este se puede establecer las siguientes características: La velocidad máxima que se alcanzó fue de 64km/h en el segundo 595, también se puede obtener del ciclo de conducción los modos operativos de ralentí, acelerando y desacelerando, estos tienen valores de 23%, 30%, y 28% respectivamente. El 23% correspondido al tiempo en ralentí indica cuando el vehículo tiene velocidades cercanas a cero que se puede asociar a eventos como paradas que se realizan por diferentes intersecciones como semáforo, cruces, tráfico, entre otras. También es muy importante analizar que en casi todo el ciclo de conducción obtenido las velocidades no superan los 40km/h por ende se podría inferir que la infraestructura vial de la ciudad no cuenta con vías como autopistas que permitan alcanzar velocidades altas de forma frecuente. Por último, el tiempo de duración de este perfil de velocidad obtenido es de 1355 segundos equivalente a 22 minutos con 35 segundos, cumpliendo el criterio de paro mencionado en las secciones anteriores.

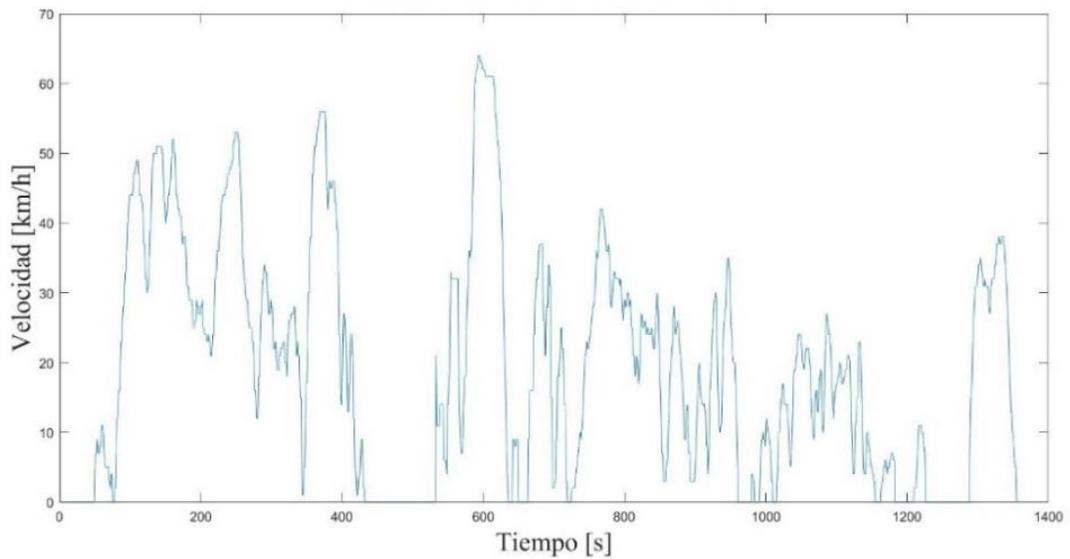


Figura 34. Ciclo de conducción obtenido muestra de 16 vehículos, [autores].

El ciclo de conducción de la figura 35 tiene una representatividad mayor en cuanto a la cantidad de viajes, tiempo y distancia total registrada en la base de datos, las características que se pueden enunciar del segundo ciclo de conducción son: la velocidad máxima se obtuvo en el segundo 42 con un valor de 63 km/h, estas velocidades medias se mantuvieron en los 300 segundos iniciales del perfil de velocidad. En comparación al ciclo obtenido en la figura 33, se podría decir que el comportamiento del perfil de velocidad se mantiene debido a que las velocidades en un 70% del ciclo obtenido no superan los 40km/h asociado a velocidades bajas. Por otra parte, el tiempo total del ciclo de conducción desarrollado es de 1274 segundos que corresponde a 21 minutos con 14 segundos cumpliendo así con el criterio de paro. En cuanto a los modos operativos, se puede establecer que el tiempo en ralentí representado en el ciclo de conducción es de 28% aproximadamente, acelerando y desacelerando de 27% y 25% respectivamente.

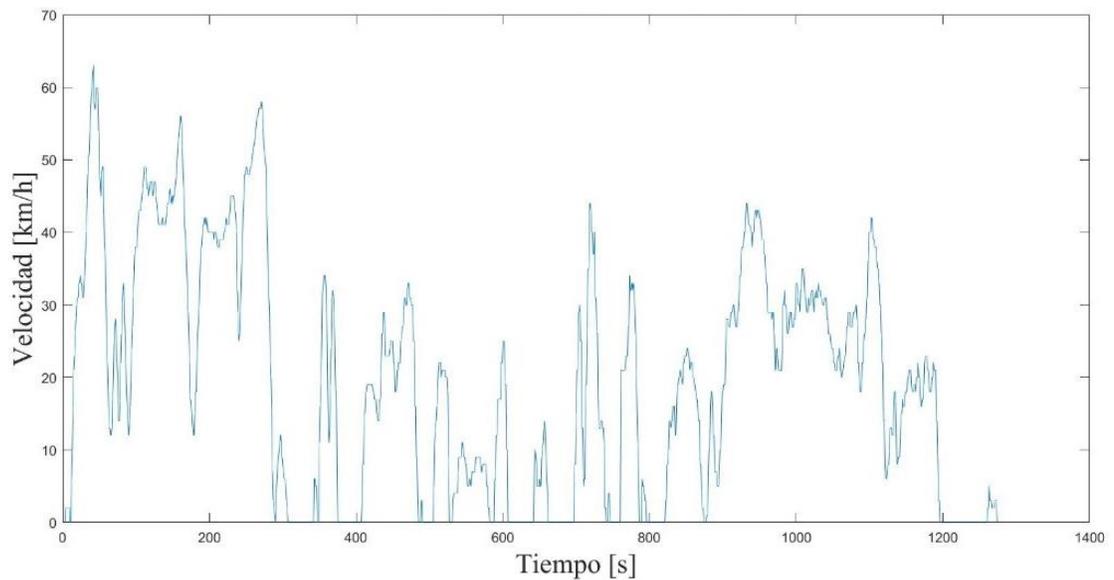


Figura 35. Ciclo de conducción obtenido con una muestra de 26 vehículos, [autores].

5.3.1 Parámetros característicos y diferencias relativas

En la tabla 21, se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros característicos seleccionados que describen el patrón de conducción del área metropolitana de Bucaramanga. La tabla se secciona en dos partes, la base de datos correspondiente a la muestra de 16 vehículos y la base de datos concatenada. Comparando los resultados de los patrones de conducción se puede establecer que la diferencia más significativa entre los valores de ambas bases de datos son los CP's asociados a la aceleración máxima positiva y la desaceleración máxima. En cuanto a los valores obtenidos para ambos ciclos de conducción que describen cada uno de los patrones de conducción las diferencias son mínimas, por ende, se realiza una comparación entre ambos ciclos obtenidos a partir de las diferencias relativas promedio (ARD%). Con las diferencias relativas promedio se puede observar que para el ciclo de conducción con mayor representatividad en archivos registrados (base de datos con una muestra de 26 vehículos) es menor en todos sus parámetros característicos exceptuando las ARD% de los CP's de máxima aceleración positiva y negativa, por ende, la cantidad de vehículos monitoreados mejora la representatividad de los datos.

Tabla 21. Parámetros característicos obtenidos del ciclo de conducción, [autores].

Parámetro característico	Base de datos 16 vehículos			Base de datos 26 vehículos		
	Patrón de conducción	Ciclo de conducción	ARD [%]	Patrón de conducción	Ciclo de conducción	ARD [%]
Max. speed [m/s]	32.77	17.77	16.22%	32.78	17.5	15.7%
Average speed [m/s]	6.02	5.30	14.90%	6.07	5.37	13.98%
Std. Dev speed [m/s]	6.03	4.66	16.45%	5.78	4.51	14.92%
Max + acc [m/s ²]	5.74	2.45	19.49%	6.46	2.59	22.08%
Max - acc. [m/s ²]	-6.48	-3	22.31%	-6.48	-2.91	25.88%
Average + acc [m/s ²]	0.55	0.56	7.46%	0.56	0.55	7.46%
Average - acc [m/s ²]	-0.59	-0.6	8.31%	-0.60	-0.63	7.66%
Std. Dev + acc [m/s ²]	0.42	0.41	10.49%	0.44	0.41	11.54%
Std. Dev - acc [m/s ²]	0.48	0.46	13.30%	0.49	0.47	13.56%
% Idle	29.15%	22.95%	2.5%	28.23%	23.39%	2.44%
% Acel	26.80%	29.52%	6.11%	27.09%	30.45%	5.47%
% Des	25.28%	28.26%	7.39%	25.52%	27.78%	6.84%
% Crus	18.77%	19.26%	12.25%	19.16%	18.36%	11.89%
# Accel/Km [km ⁻¹]	18.16	21.43	19.93%	18.37	21.90	19.77%
RMS [m/s ²]	0.53	0.55	12.44%	0.54	0.56	10.82%
PKE [m/s ²]	0.36	0.38	14.27%	0.37	0.405	12.73%
SFC [L/km]	0.11	0.12	2.43%	0.12	0.133	2.53%
KI [km ⁻¹]	1.04	1.83	36.32%	1.07	2.1	30.93%

5.4 ANÁLISIS DE LA POTENCIA ESPECIFICA DEL VEHÍCULO

Otra forma de describir un patrón de conducción de una región específica es a partir de la aplicación del concepto de VSP, se informa que la potencia específica del vehículo tiene una relación estrecha respecto a las emisiones contaminantes.

Describiendo los diagramas estipulados en la figura 36(a) y 36(b) se tiene que la máxima potencia específica para la muestra de 16 vehículos es de 28.82 [kW/ton] mientras que para la muestra de 26 vehículos este valor es de 32.03 [kW/ton], la mayoría de los datos de potencia específica para la muestra de 16 vehículos y 26 vehículos se encuentran entre el rango de [0 y 3] [kW/ton], con un porcentaje de 53% y 46% respectivamente. También cabe resaltar que el comportamiento descrito por los diagramas de los patrones de conducción, cómo los ciclos de conducción obtenidos representan la variable de potencia específica de forma adecuada y su comportamiento se asemejan como se observa en la figura 36(a) y 36(b).

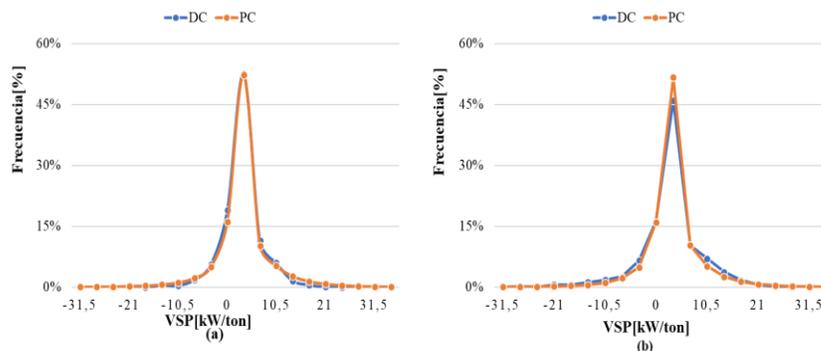


Figura 36. Frecuencia para la variable VSP, (a) muestra de 16 vehículos CC y PC, (b) muestra de 26 vehículos CC y PC, [autores].

En la figura 37 se relacionó la variable de VSP respecto a la velocidad, en donde se segmentó los datos de la velocidad en tres partes, velocidades bajas (<40 km/h), medias (40 km/h $\leq v \leq 80 \text{ km/h}$), y velocidades altas ($v > 80 \text{ km/h}</math>). También se crearon contenedores para la variable VSP que varía en sus rangos de 3.5 kW/ton, del proceso descrito se obtuvo que la mayor parte de los datos se encuentran en los rangos de velocidades bajas con valores de potencia específica entre 0 y 3 kW/ton, para todos los diagramas desarrollados en la figura 37.$

Para poder validar la relación entre las emisiones contaminantes y la potencia específica vehicular, es necesario instrumentar los vehículos con dispositivos PEMS que permitan monitorear las emisiones contaminantes en condiciones reales de carretera y como se relacionan con las bajas velocidades, medias y altas.

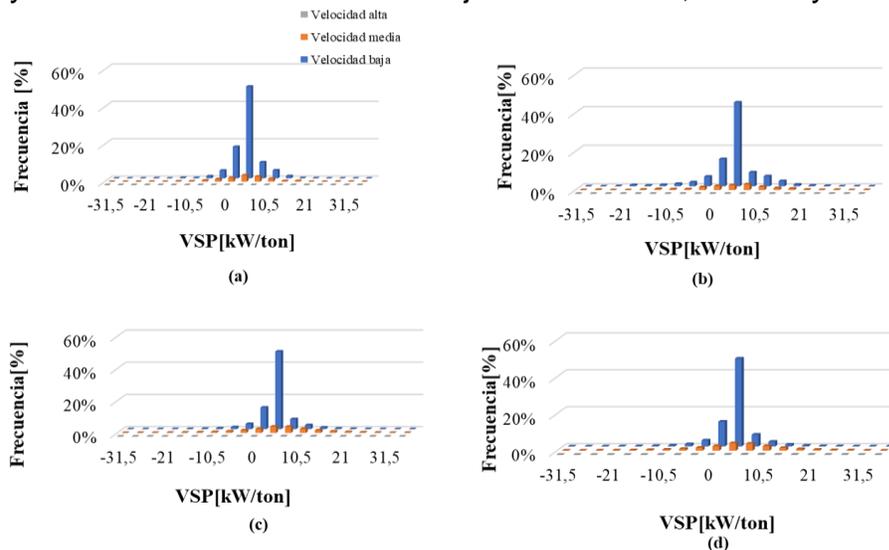


Figura 37. Diagrama VSP, (a) ciclo de conducción obtenido para la muestra de 16 vehículos, (b) ciclo de conducción obtenido para la muestra de 26 vehículos, (c) patrón de conducción muestra de 16 vehículo, (d) patrón de conducción muestra de 26 vehículos, [autores].

5.5 ANÁLISIS DE LOS DIAGRAMAS SAFD

A partir de los diagramas de frecuencia de velocidad – aceleración se pueden describir los patrones de conducción de una región, con el fin de validar los ciclos de conducción obtenidos se realizaron dichos diagramas comparando los diagramas SAFD obtenidos a partir de la muestra de datos monitoreada y los datos registrados de los ciclos de conducción.

5.5.1 Análisis de la variable de velocidad en los diagramas SAFD

- Analizando la variable de velocidad de los ciclos de conducción de los diagramas de la figura 48(a) y 38(b) se observa que el 88% de las velocidades que se obtuvieron en ambos ciclos corresponden a velocidades bajas que no superan los 40km/h y el otro 12% corresponde a velocidades medias.
- Por otra parte, el comportamiento de velocidades en la figura 38(c) varía de la siguiente manera, las velocidades bajas tienen un porcentaje del 80%, mientras que hay un 18.7% en velocidades medias y un 1.3% en velocidades altas esto se puede verificar en detalle a través de la figura 38(c).
- El comportamiento de velocidad que describe el diagrama SAFD en la figura 38(d) del patrón de conducción de la muestra de 26 vehículos varía de la siguiente forma, las velocidades bajas tienen un porcentaje correspondiente al 80%, mientras que hay un 18.85% en velocidades medias.

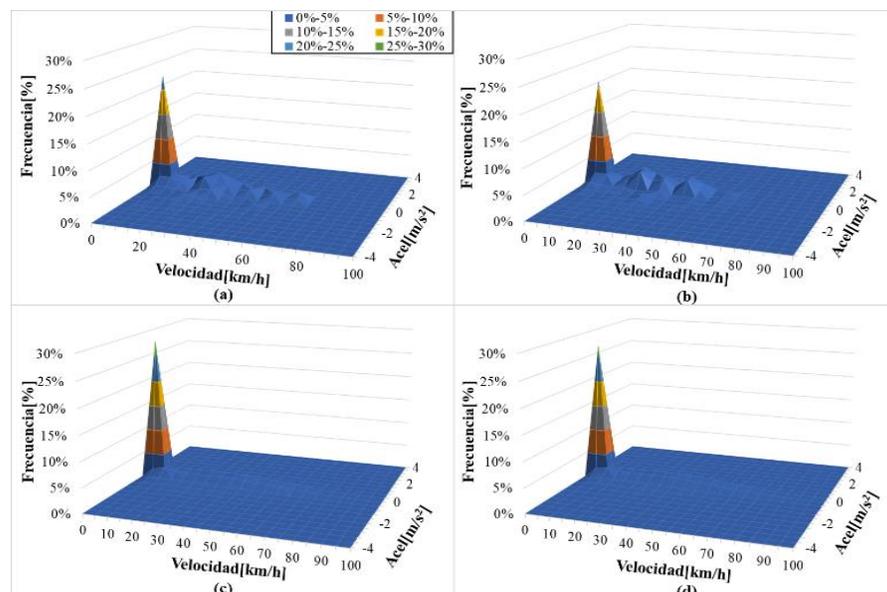


Figura 38. Diagrama SAFD (a) ciclo de conducción muestra de 16 vehículos, (b) ciclo de conducción muestra de 26 vehículos, (c) patrón de conducción de 16 muestras, (d) patrón de conducción muestra de 26 vehículos, [autores].

Como conclusión general, el patrón de conducción descrito a partir de los diagramas SAFD se asemejan en un gran porcentaje a velocidades bajas indicando de forma indirecta que la infraestructura vial del área metropolitana de Bucaramanga no permite en general alcanzar velocidades que corresponden a vías de alta velocidad como autopistas, también se puede suponer que el tráfico vehicular es alto.

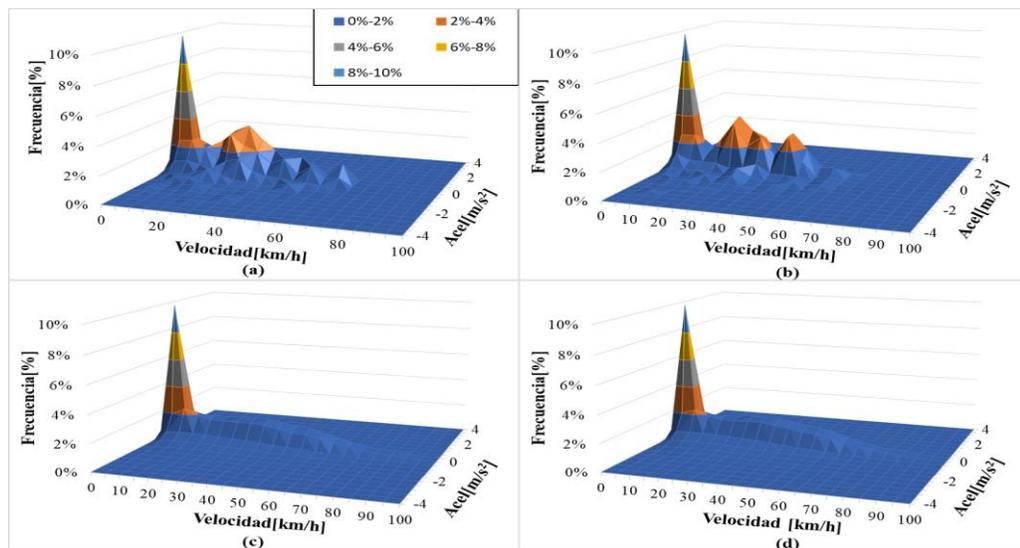


Figura 39. Acercamiento en frecuencia del diagrama SAFD, (a) ciclo de conducción muestra de 16 vehículos, (b) ciclo de conducción muestra de 26 vehículos, (c) patrón de conducción de 16 muestras, (d) patrón de conducción muestra de 26, [autores].

- Para realizar un análisis más profundo sobre los porcentajes de frecuencia menores al 5% es necesario hacer una reducción del límite de frecuencias como se observa en la figura 39, acá se verifica que en los ciclos de conducción desarrollados en la figura 39(a) y (b), no hay una frecuencia significativa mayor al 1% en donde se describan velocidades altas ($v > 80$ km/h).
- En la figura 43(c) y (d) se observa una pequeña superficie que corresponde a velocidades altas ($v > 80$ km/h), pero que escasamente supera la frecuencia del 1%.

5.5.2 Análisis de la variable de aceleración en los diagramas SAFD

- En el diagrama de frecuencia de velocidad y aceleración que se observa en la figura 40, los valores de aceleración oscilan entre -0.4m/s^2 y 0.4m/s^2 . La otra gran parte de frecuencia de datos en aceleración se distribuye entre las aceleraciones menores a -0.4m/s^2 y mayores a -1.2m/s^2 con una frecuencia del 12.5% y entre los valores mayores a 0.4m/s^2 y menores a 1.2m/s^2 con un valor

del 13.5% respectivamente. Finalmente, el otro 7% corresponde a los demás valores establecidos. El comportamiento descrito ocurre tanto en los ciclos de conducción mostrados en las figuras 40(a) y (b), como para los patrones de conducción de las figuras 40(c) y 40(d).

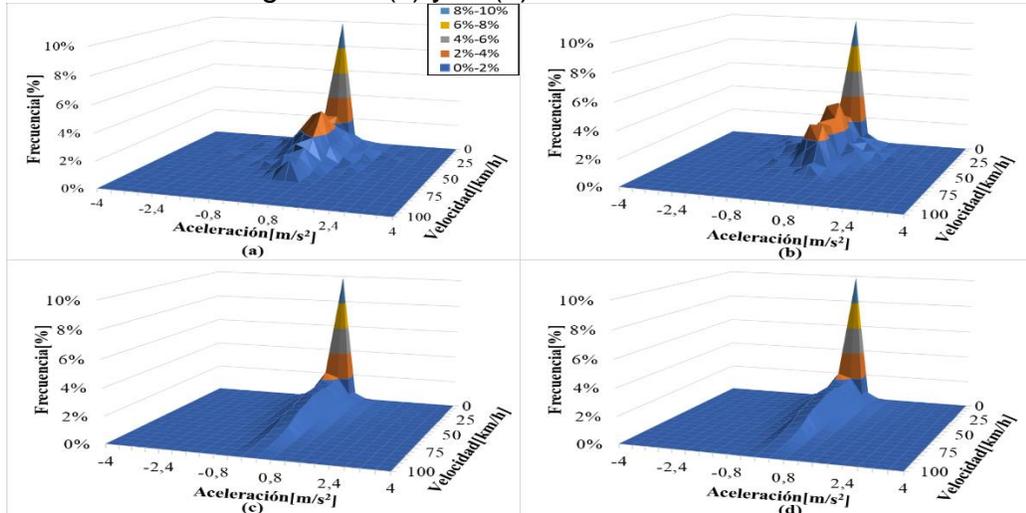


Figura 40. Acercamiento en frecuencia del diagrama SAFD aceleración, (a) ciclo de conducción muestra de 16 vehículos, (b) ciclo de conducción muestra de 26 vehículos, (c) PC de 16 muestras, (d) PC de 26 vehículos, [autores].

5.5.3 Análisis del diagrama SAFD de forma generalizada

Analizando en conjunto las dos variables de velocidad y aceleración de los diagramas SAFD de la figura 45, se puede establecer lo siguiente:

- De la figura 41(a) y 41(b) se puede resaltar que el pico observado con un valor cercano al 25% corresponde a datos que se encuentran entre 0m/s^2 y 0.4m/s^2 y entre valores de velocidades menores a 7km/h , estos mismos rangos establecidos en la figura 41(b) corresponden en frecuencia a un 21%, mientras que para los patrones de conducción de la figura 41(c) y (d) la frecuencia pico supera el 25%.
- El porcentaje de las velocidades bajas mostrado en la figura 41 corresponde en su mayoría a aceleraciones entre -0.4m/s^2 y 0.4m/s^2 . Mientras que el otro porcentaje restante se distribuye entre los valores menores a -0.4m/s^2 y mayores a -1.2m/s^2 y entre 0.8m/s^2 y 1.2m/s^2 .
- El otro segmento importante asociado a velocidades medias se distribuye entre las aceleraciones -0.4m/s^2 y 0.4m/s^2 .
- En conclusión, el patrón de conducción descrito en los diagramas SAFD se asocian en su porcentaje más alto a velocidades bajas y aceleraciones entre -0.4m/s^2 y 0.4m/s^2 , por otro lado, el otro porcentaje significativo corresponde a velocidades medias que se encuentran en los mismos rangos mencionados. El

estudio del diagrama SAFD se vuelve más significativo cuando se asocian las aceleraciones mencionadas con los estilos de conducción (agresivos, moderados o tranquilos).

También es importante resaltar que la validación del diagrama SAFD se realizó a partir de la ecuación 41 en la cual se obtiene la calidad de ajuste (Q_0F), entre los datos del ciclo de conducción de 16 vehículos y el patrón de conducción dicha muestra, este proceso también se validó para la muestra de 26 vehículos.

$$Q_0F_{SAFD} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P_{ij} - P_{ij}^*)^2 \quad (41)$$

Donde,

P_{ij}^* es la probabilidad de que el vehículo viaje a velocidad i y aceleración j según el CC obtenido, y P_{ij} es la misma variable para el patrón de conducción.

n y m son el número de intervalos utilizados para la discretización de la velocidad y la aceleración, respectivamente.

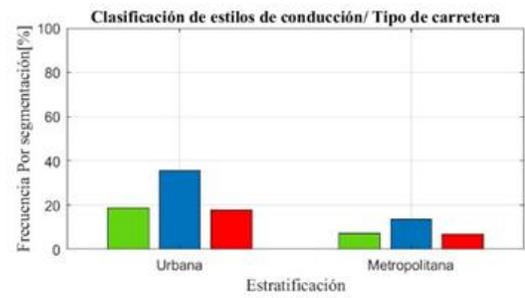
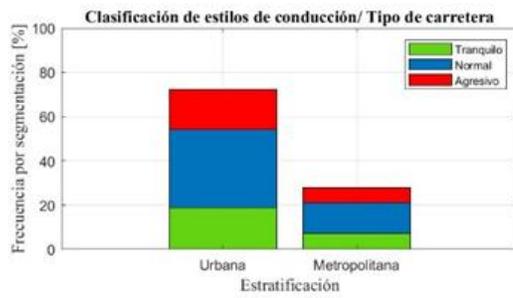
Los resultados obtenidos para la calidad de ajuste del SAFD tanto para la muestra de 16 vehículos y la muestra de 26 vehículos fueron de $Q_0F_{SAFD16} = 0.004$ y $Q_0F_{SAFD26} = 0.0063$, cabe resaltar que los valores obtenidos de la calidad de ajuste permiten demostrar la similitud de cada uno de los ciclos desarrollados y los patrones de conducción.

5.6 CLASIFICACIÓN DE ESTILOS DE CONDUCCIÓN MUESTRA DE 16 VEHÍCULOS

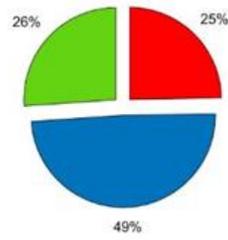
A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la clasificación de estilos de conducción para la muestra de 16 vehículos, tanto para el método de aceleración como para el método del jerk. También se muestra la correlación del consumo de combustible respecto a los estilos de conducción tranquilo, normal y agresivo.

5.6.1 Clasificación de estilos de conducción base de datos general

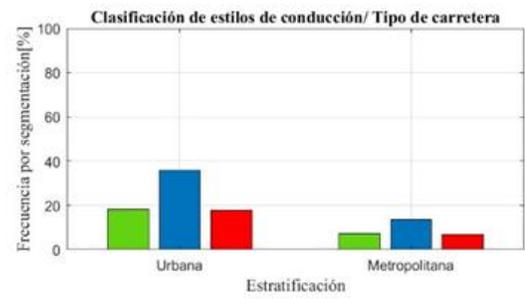
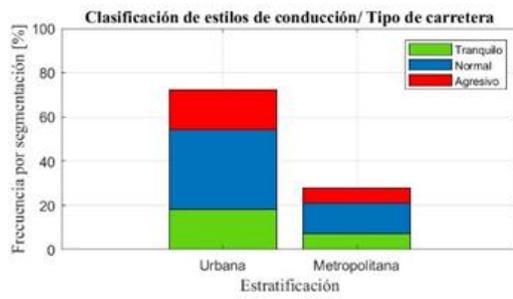
Cómo se mencionó anteriormente la clasificación de estilos de conducción se realizó a partir del rango intercuartílico, por ende, el 25% de los datos estarán asociados al estilo de conducción tranquilo y el otro 25% al estilo de conducción agresivo como se muestra en la figura 41, por ende, es necesario abarcar los estilos de conducción por cada uno de los conductores y correlacionar los resultados con el consumo de combustible cómo se realiza en la sección 5.6.3.



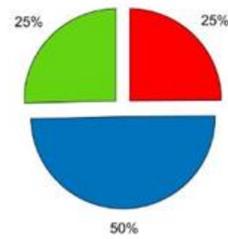
Clasificación de estilos de conducción en general



(a)



Clasificación de estilos de conducción en general



(b)

Figura 41. Estilos de conducción para la base de datos general, (a) método de la aceleración, (b) método del jerk, [autores].

5.6.2 Correlación del consumo de combustible y los estilos de conducción

Se puede observar en la figura 42, la correlación realizada entre los estilos de conducción clasificados y el consumo de combustible específico, cabe resaltar que esta relación se realizó para cada uno de los métodos de clasificación aplicados (aceleración y jerk) y se puede observar que la variable de aceleración tiene una relación más estrecha con el consumo, mientras que el método del jerk se relaciona mucho mejor a la clasificación de los estilos.

Por otra parte, se da validez a la clasificación realizada a partir del concepto que se estipula en la literatura en donde los estilos de conducción agresivos aumentan el consumo de combustible en más del 20% respectivamente. Para el caso del proyecto desarrollado, el aumento del consumo de combustible en los estilos de conducción agresivos respecto a un estilo de conducción normal se vio reflejado en un 47% del tipo de vía urbana y un 41.6% en vías metropolitanas con el método de aceleración. Mientras, que con el método del jerk el aumento se vio reflejado para las vías urbanas en un 23.5% y en metropolitana en un 19.8%.

En contraparte, los estilos de conducción tranquilo reducen el consumo de combustible respecto al estilo de conducción tranquilo, aunque normalmente el interés de los estudios realizados siempre tiende a centrar su interés en los estilos de conducción agresivos, por la relación que tiene con el rendimiento del combustible y la generación de emisiones.

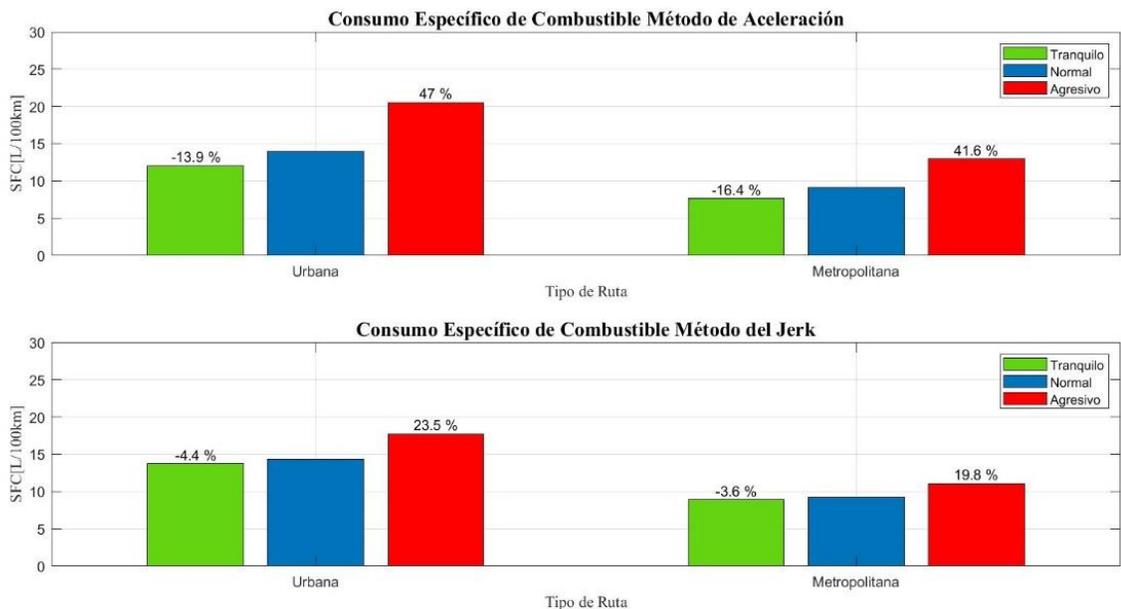


Figura 42. Consumo de combustible asociado al estilo de conducción y al tipo de carretera clasificada, [autores]

5.6.3 Consumo de combustible por tipo de carretera

De la figura 43, se puede observar que el tipo de vía puede influir bastante en el consumo de combustible, mientras que en promedio cada 100km se consumen en vías urbana alrededor de 12.5 litros, en una vía metropolitana con menos tráfico se consume en promedio 8 litros. Por ende, es importante referenciar que tener vías de flujo medio y alto permiten reducir el consumo de combustible y de forma indirecta las emisiones contaminantes.

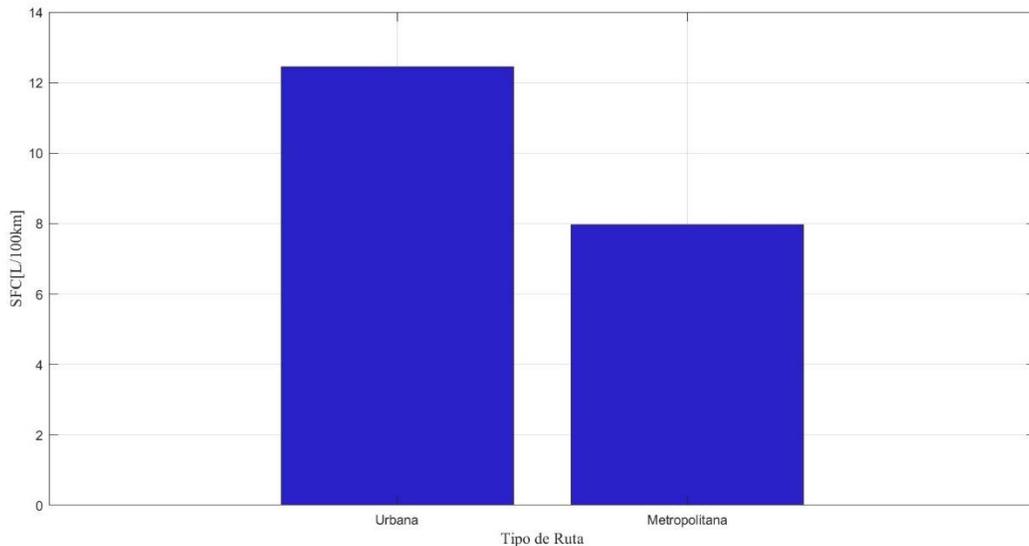


Figura 43. Consumo de combustible por vía clasificada, [autores].

5.7 CLASIFICACIÓN DE ESTILOS DE CONDUCCIÓN POR CONDUCTOR

Con el objetivo de mostrar la agresividad de cada conductor que colaboro en el proyecto desarrollado se clasificaron los estilos de conducción por conductor, estos resultados se pueden observar en la tabla 22, también con el fin de mostrar los resultados obtenidos se trajeron a contexto los resultados de 2 de los 16 conductores monitoreados. En este caso se analizaron los resultados del conductor 8 y 12 de la muestra de 16 conductores.

5.7.1 Clasificación de estilos de conducción por conductor

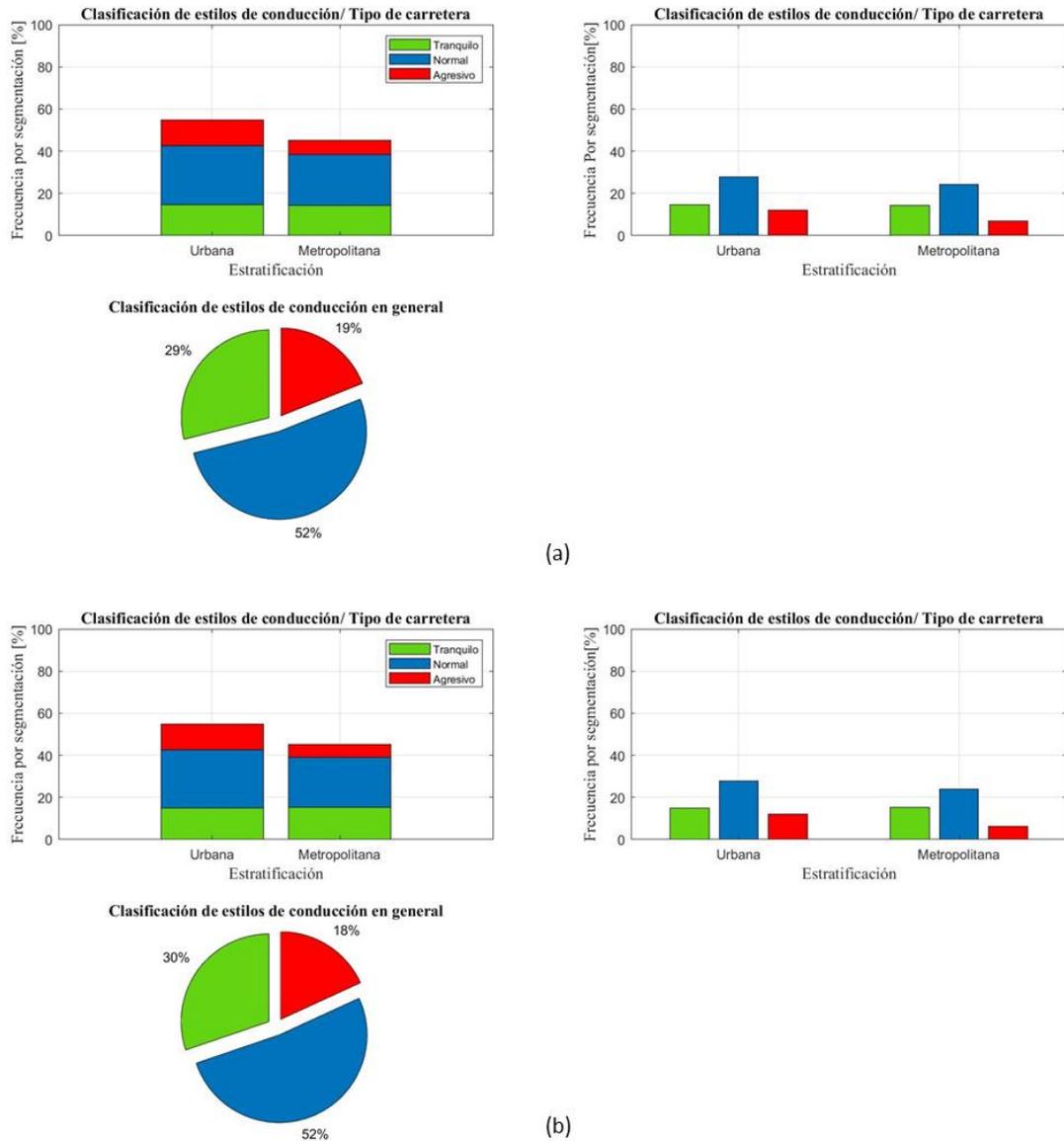


Figura 44. Estilos de conducción conductor 8, (a) método de la aceleración, (b) método del jerk, [autores].

El conductor 8 tiene una diferencia porcentual entre el estilo tranquilo y agresivo de 10% y 12% respecto al método de aceleración y del jerk, por ende, se puede decir que este conductor tiende a ser más tranquilo que agresivo. También, se puede observar que en el tipo de vía metropolitana el conductor reduce su estilo de conducción agresivo, por ende, el tipo de tráfico y vía es un factor que influye determinadamente al estilo de conducción.

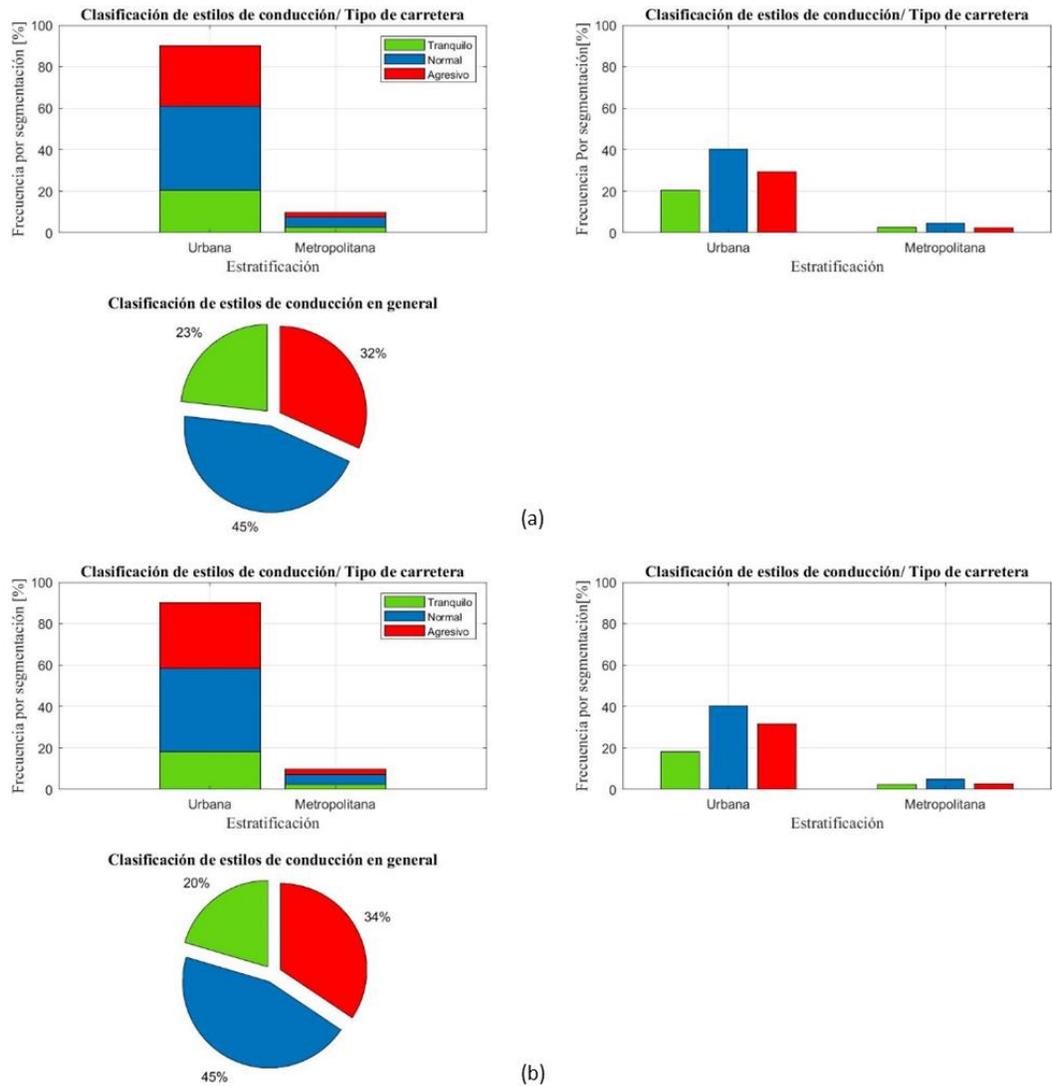


Figura 45. Estilos de conducción conductor 12, (a) método de la aceleración, (b) método del jerk, [autores].

El conductor 12 tiene una diferencia porcentual entre el estilo tranquilo y agresivo de 9% y 14% respecto al método de aceleración y del jerk, por ende, se puede decir que este conductor tiende a ser más agresivo que tranquilo. Esto también puede deberse a que la mayoría de los viajes realizados por el conductor se establecieron en vías del tipo urbano como se observa en la figura 45.

5.7.2 Correlación del consumo de combustible y los estilos de conducción

Cómo se observaba en la sección de los resultados de la base de datos general, el consumo de combustible para los estilos de conducción agresivos aumenta en un gran porcentaje. Para el conductor ocho (8) el aumento porcentual respecto al estilo de conducción normal en la vía urbana y metropolitana fueron de 60.7% y 31.8% respectivamente. Mientras que para el conductor doce (12) el aumento porcentual del consumo de combustible fue del 37% y 40.8%.

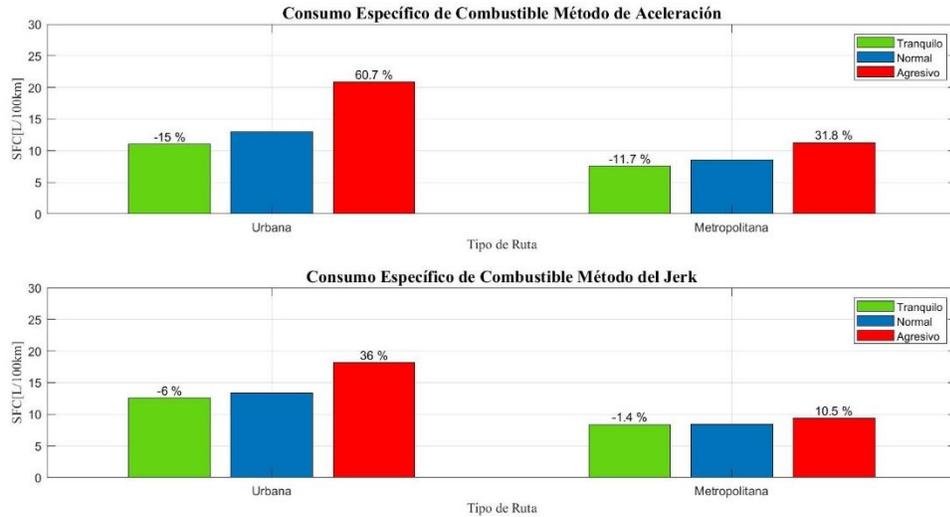


Figura 46. Correlación del consumo de combustible y los estilos de conducción conductor 8, [autores].

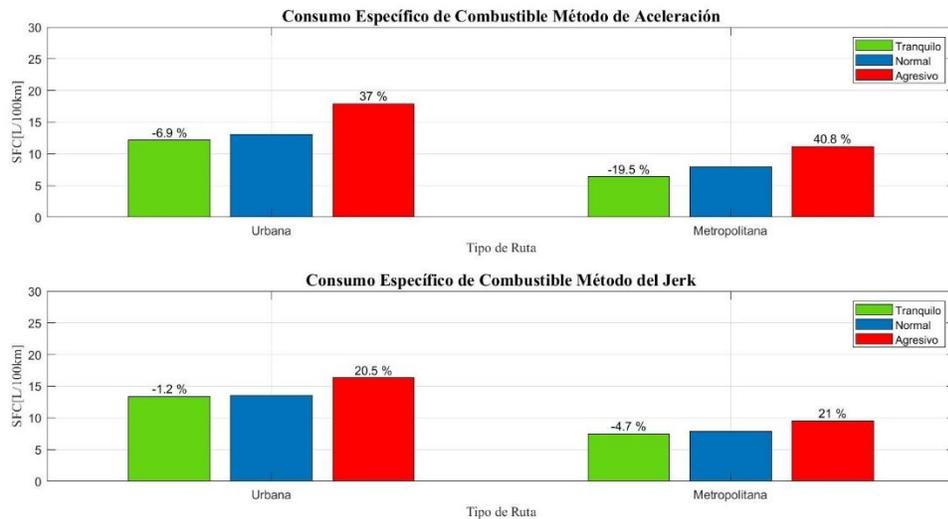


Figura 47. Correlación del consumo de combustible y los estilos de conducción conductor 12, [autores].

5.7.3 Clasificación de los estilos de conducción por conductor y correlación de la edad.

En la tabla 22, se presentan los resultados totales de la clasificación de los estilos de conducción tanto para el método de la aceleración, como para el método del jerk implementado, también resaltar que los resultados se organizaron de forma ascendente respecto a las edades de los conductores monitoreados, iniciando desde los más jóvenes hasta los conductores de mayor edad.

Es importante reconocer el código de colores que se utilizó en la tabla 22, en donde el color verde para el estilo de conducción tranquilo me define el mayor porcentaje de la muestra de los 16 conductores, mientras que el color verde me define en el estilo de conducción agresivo el menor porcentaje de los conductores en la muestra. Si los colores están en rojo quiere decir que tuvo una alta agresividad y bajo porcentaje de estilo tranquilo.

Tabla 22. Estilos de conducción clasificados por conductor, [autores].

Descripción			Método de la aceleración			Método del Jerk		
Conductor	Edad	Genero	Tranquilo	Normal	Agresivo	Tranquilo	Normal	Agresivo
1	19	F	27	53	20	25	51	24
12	21	F	23	45	32	20	45	34
13	22	M	27	51	22	28	53	19
6	25	M	19	45	36	19	45	36
7	28	M	24	48	27	23	49	28
5	32	M	24	44	32	20	45	35
11	34	M	27	49	24	28	51	21
10	35	M	28	48	25	28	45	27
9	38	M	32	43	25	28	46	25
2	41	F	25	50	25	24	49	27
4	47	M	31	52	17	31	53	16
3	50	M	24	47	29	23	50	28
15	51	F	31	55	14	37	53	10
16	52	M	28	52	20	27	55	18
14	53	F	27	48	25	25	51	24
8	61	M	29	52	18	30	52	18

Es interesante poder observar que los conductores que tienen un código de colores en verde son de una edad entre 47 y 61 años, mientras que el grupo de los jóvenes mantiene el código de colores en rojo y naranja respectivamente teniendo así un código de colores que me indica un nivel de agresividad mayor. Se trae a ejemplo el conductor 8 y 15 que tienen un porcentaje de estilo de conducción tranquilo de 31% y 29%, mientras que sus porcentajes de estilo de conducción agresivo son 18% y 14%. En comparación a los

conductores 6,5 y 12, que su porcentaje de estilo de conducción tranquilo son 19%, 24% y 23% respectivamente. Mientras, que los porcentajes de estilos de conducción agresivo tiene valores de 36%, 32% y 32%. Una diferencia porcentual en el estilo de conducción agresivo entre el 18% y 20%.

5.7.4 Correlación del consumo de combustible y los estilos de conducción por cada conductor.

En la tabla 23, se tienen los resultados individuales de la correlación del consumo de combustible y los estilos de conducción para cada conductor y método de clasificación. También las diferencias porcentuales entre el consumo de combustible entre el estilo de conducción tranquilo y normal, y agresivo y normal.

Tabla 23. Consumo de combustible y estilos de conducción por conductor, [autores].

Método	Conductor	URBANO					METROPOLITANA				
		SFC [L/100km]Tranquilo	SFC [L/100km] Normal	SFC [L/100km] Agresivo	Diferencia SFC T-N [%]	Diferencia SFC A-N [%]	SFC [L/100km] Tranquilo	SFC [L/100km] Normal	SFC [L/100km] Agresivo	Diferencia SFC T-N [%]	Diferencia SFC A-N [%]
Acel	1	14.94	16.13	20.44	-7.3	26.7	16.41	16.07	18.43	-15.1	14
Jerk	1	8.57	10.09	11.5	2.1	14.7	10.28	9.72	9.26	5.8	-4.7
Acel	2	11.22	13.68	20.94	-18	53.1	7.51	9.81	15.25	-23.5	55.4
Jerk	2	13.37	13.83	17.59	-3.4	27.2	9.29	10	12.92	-7.1	29.1
Acel	3	13.44	15.93	25.62	-15.6	60.8	8.27	9.81	15	-15.6	53
Jerk	3	16.17	16.97	21.81	-4.7	28.4	9.88	10.51	12.37	-5.9	17.7
Acel	4	13.11	13.91	19.03	-5.8	36.8	5.93	6.71	11.11	-11.6	65.4
Jerk	4	13.77	14.22	17.05	-3.1	20	6.64	6.84	9.04	-2.9	32.2
Acel	5	12.86	14.03	17.86	-8.3	27.2	7.11	8.6	12.05	-17.3	40.1
Jerk	5	13.91	14.4	16.14	-3.5	12.1	8.42	8.73	10.83	-3.6	24
Acel	6	15.64	17.87	23.91	-12.5	36.8	9.11	10.81	14.39	-15.8	33.1
Jerk	6	17.93	18.48	21.79	-3	17.9	11.03	11.27	12.68	-2.1	12.5
Acel	7	10.71	12.51	17.87	-14.4	42.8	7.27	8.46	9.97	-14	17.8
Jerk	7	12.43	12.82	15.61	-3.1	21.7	8.52	8.42	8.75	1.2	4
Acel	8	11.04	12.99	20.88	-15	60.7	7.53	8.53	11.25	-11.7	31.8
Jerk	8	12.56	13.35	18.17	-6	36	8.35	8.47	9.37	-1.4	10.5
Acel	9	11.99	13.18	21.57	-9.1	63.6	6.56	8.86	12.67	-25.9	43.1
Jerk	9	12.73	14.49	17.02	-12.1	17.4	8.44	9.14	10.32	-7.6	12.9
Acel	10	15.24	15.81	20.62	-3.6	30.5	9.19	10.68	13.36	-13.9	25.1
Jerk	10	16.17	16.62	18.01	-2.7	8.4	11.97	11.59	10.24	3.2	-11.7
Acel	11	14.61	15.54	19.36	-6	24.5	7.63	8.88	11.37	-14.1	28
Jerk	11	15.69	16.12	17.44	-2.7	8.2	8.86	8.87	10.02	-0.1	13
Acel	12	12.18	13.08	17.93	-6.9	37	6.38	7.92	11.16	-19.5	40.8
Jerk	12	13.39	13.55	16.33	-1.2	20.5	7.48	7.85	9.5	-4.7	21
Acel	13	12.41	14.09	21.84	-11.9	55	8.73	9.88	13.17	-11.6	33.3
Jerk	13	13.94	14.64	19.31	-4.7	31.9	9.57	10.11	10.74	-5.3	6.2
Acel	14	10.41	12.04	17.69	-13.5	46.9	6.45	7.59	10.41	-14.9	37.1
Jerk	14	11.89	12.4	15.28	-4.1	23.3	7.56	7.64	8.93	-1	16.9
Acel	15	10.75	15.16	27.46	-29.1	81.1	7.2	8.94	12.31	-19.5	37.6
Jerk	15	13.37	15.42	23.91	-13.3	55	8.21	8.52	9.84	-3.6	15.5
Acel	16	14.69	16.24	23.68	-9.5	45.8	5.97	6.51	9.23	-8.2	41.8
Jerk	16	15.72	16.61	21.3	-5.3	28.3	7.22	6.47	8.15	11.6	26
Acel	General	12.02	13.95	20.51	-8.1	57.4	7.63	9.13	12.93	-16.4	41.6
Jerk	General	13.73	14.37	17.74	-4.4	23.5	8.91	9.25	11.08	-3.6	19.8

6. VALIDACIÓN Y COMPARACIÓN DEL CICLO DE CONDUCCIÓN

6.1 COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS

Se compararon los siguientes ciclos de conducción desarrollados, tanto en condiciones reales de carretera como en ciclos estatales establecidos:

Tabla 24. Ciclos de conducción a comparar, [autores].

Nombre de ciclo	Descripción	Nombre de ciclo	Descripción
BMGA 2022	Ciclo de conducción de Bucaramanga año 2022	FTP-75	Ciclo de conducción americano
BMGA 2021-2022	Ciclo de conducción de Bucaramanga año 2021-2022	MDC	Mohammad - Mashhad (Iran)
BMGA 2021	Ciclo de conducción de Bucaramanga año 2021	HK	Hung- Hong Kong (china)
BMGA 2019	Ciclo de conducción de Bucaramanga año 2019	NYCC	The New York City Cycle
ECE 15+EUDC	Ciclo de conducción europeo		

Tabla 25. Comparación de ciclos de conducción estatales con los desarrollados, [autores].

Ciclo de conducción	BMGA 2022	BMGA 2021-2022	BMGA 2021	BMGA 2019	ECE 15+EUDC	FTP-75	MDC	NYCC	HK
Max. speed[m/s]	17.77	17.50	16.38	13.33	33.36	25.36		12.39	21.58
Average speed[m/s]	5.3	5.37	5.14	2.21	11.42	9.47	5.63	3.17	6.94
Std. Dev speed[m/s]	4.66	4.51	4.30	3.61	8.15				
Max + acc[m/s^2]	2.45	2.59	2.62	4.44					
Max - acc.[m/s^2]	-3	-2.91	-2.91	-5.00					
Average + acc[m/s^2]	0.56	0.55	0.56	1.03	0.32	0.61	0.54	0.71	0.59
Average - acc[m/s^2]	-0.6	-0.63	-0.62	-1.18	-0.40	-0.70	-0.53	-0.70	-0.60
Std. Dev + acc[m/s^2]	0.41	0.41	0.43	0.74	0.26				
Std. Dev - acc[m/s^2]	0.46	0.47	0.48	0.89					
% Idle	22.95%	23.39%	23.46%	62.50%	21.00%	17.90%	21.75%	36.20%	17.80%
% Acel	29.52%	30.45%	29.78%	5.98%	27.00%	32.40%	37.34%	27.90%	34.50%
% Des	28.26%	27.78%	27.13%	5.21%	20.00%	28.20%	37.69%	28.20%	34.20%
% Crus	19.26%	18.36%	19.63%	26.30%	32.00%	21.20%	3.22%	6.30%	12.00%
# Accel/Km [km^-1]	21.43	21.90	22.73	27.05	16	7		7	36.00
RMS[m^2/s^2]	0.55	0.56	0.56	0.45	0.13	0.76	0.63	0.91	0.73
PKE[m/s^2]	0.38	0.41	0.38	0.28		0.38	6.66	0.55	0.40
SFC[L/km]	0.12	0.13	0.13	0.22					
KI [km^-1]	1.83	2.10	2.23	1.91					

Algunas diferencias que se pueden establecer a partir de la tabla 25 se plasmaron en las figuras (48) y (49).

6.1.1 Comparación con los ciclos de conducción desarrollados en Bucaramanga

En esta sección se compararon 4 ciclos de conducción realizados en la región del área metropolitana de Bucaramanga, los mencionados en la tabla 24 como BMGA 2022 y BMGA 2021-2022 se desarrollaron en el proyecto actual, y los denominados BMGA 2021 [6] y BMGA 2019 [84] se construyeron en los años 2021 y 2019 respectivamente. Algunas de las diferencias más relevantes que se pueden observar entre los parámetros característicos establecidos en la tabla 25 y mostrados en la figura (48), se mencionan a continuación:

- El ciclo de conducción BMGA 2019 describió el CP de velocidad máxima más baja de los 4 ciclos, esto podría asociarse a que los vehículos utilizados en el desarrollo del proyecto hacen parte de la dirección de tránsito y transporte de la región. También, como causa de lo mencionado el parámetro de modo de operación en ralentí esta alrededor de un 40% por encima de los otros tres ciclos, posiblemente por las múltiples paradas que los conductores de dichos vehículos deben realizar por su trabajo. Así mismo como su porcentaje en ralentí es alto los otros modos de operación acelerando y desacelerando son los más bajos.
- Por otra parte, los demás ciclos de conducción en comparación mantienen en sus resultados unas diferencias mínimas que en esta sección no se puede diferenciar, por ende, se invita al lector leer la sección (6.2.1) en donde se validan los ciclos de conducción a partir de la diferencia relativa promedio.

6.1.2 Comparación con los ciclos de conducción desarrollados para la homologación

- El ciclo europeo tiene el parámetro de la velocidad máxima más alto con un valor de 33.36 m/s, mientras que los ciclos NYCC obtuvo las velocidades máximas más bajas con 12.39 m/s.
- En los parámetros de aceleración la mayoría de los ciclos se mantuvieron similares.
- Los dos ciclos desarrollados en este proyecto BMGA 2022 y BMGA 2021-2022, en los modos de operación se asimilan a los ciclos de conducción MDC, HK en donde el modo aceleración y desaceleración predominan y el ralentí y cruce se encuentran con porcentajes inferiores.
- Los ciclos de conducción que se desarrollaron en Bucaramanga son los que tienen más eventos de aceleración por kilómetro, esto se puede relacionar a la infraestructura vial de la región y la congestión vial.

- Cabe resaltar que ninguno de los ciclos de conducción estatales desarrollados, pueden representar todos los parámetros característicos que se estipulan en el patrón de conducción de la región estudiada, por ende, se ve la necesidad de establecer el ciclo de conducción que pueda representar el patrón de conducción de la ciudad.

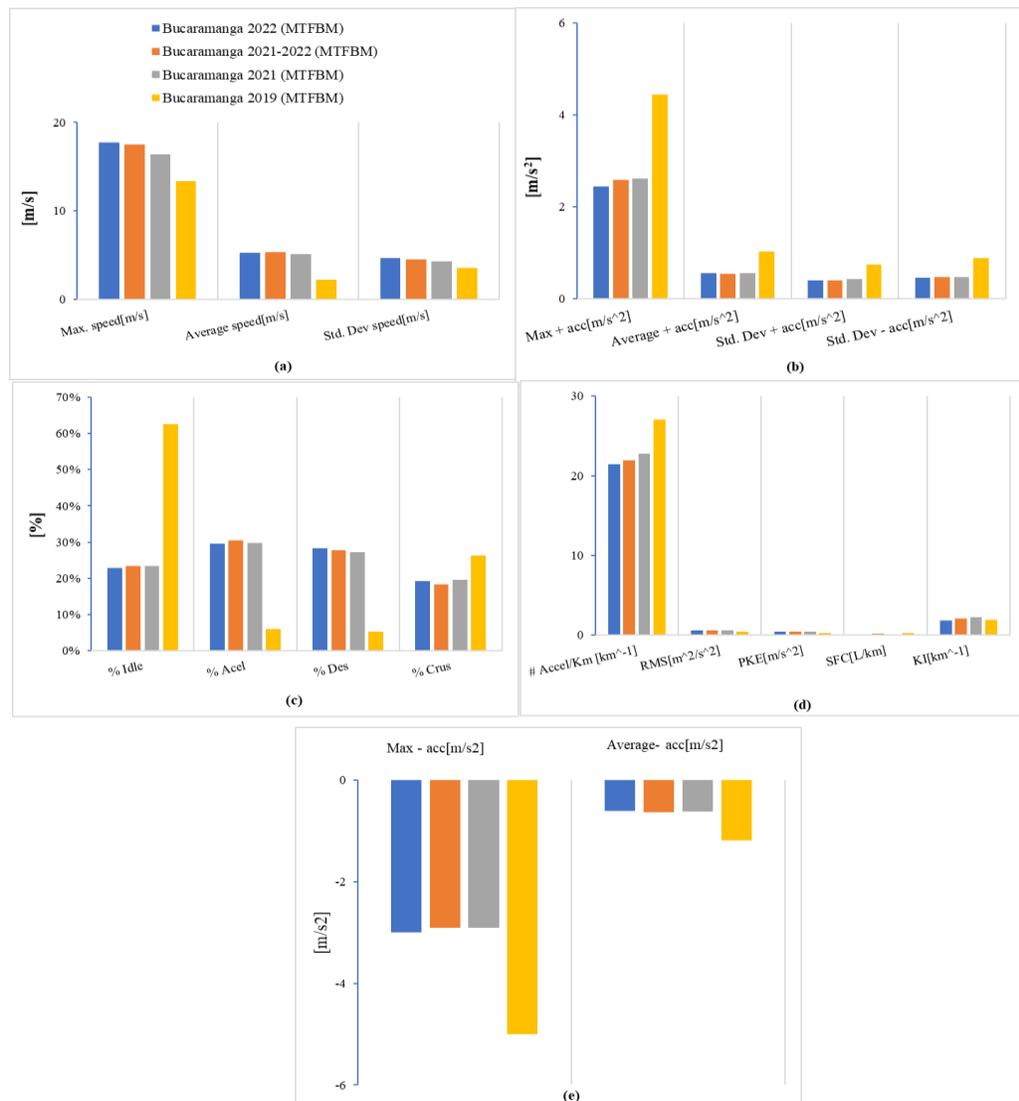


Figura 48. Comparación de los parámetros característicos obtenidos en los antecedentes desarrollados en la región del área metropolitana de Bucaramanga y los obtenidos en el proyecto actual, (a) velocidad, (b) aceleración, (c) modos de operación, (d) dinámica, (e) aceleración negativa, [autores].

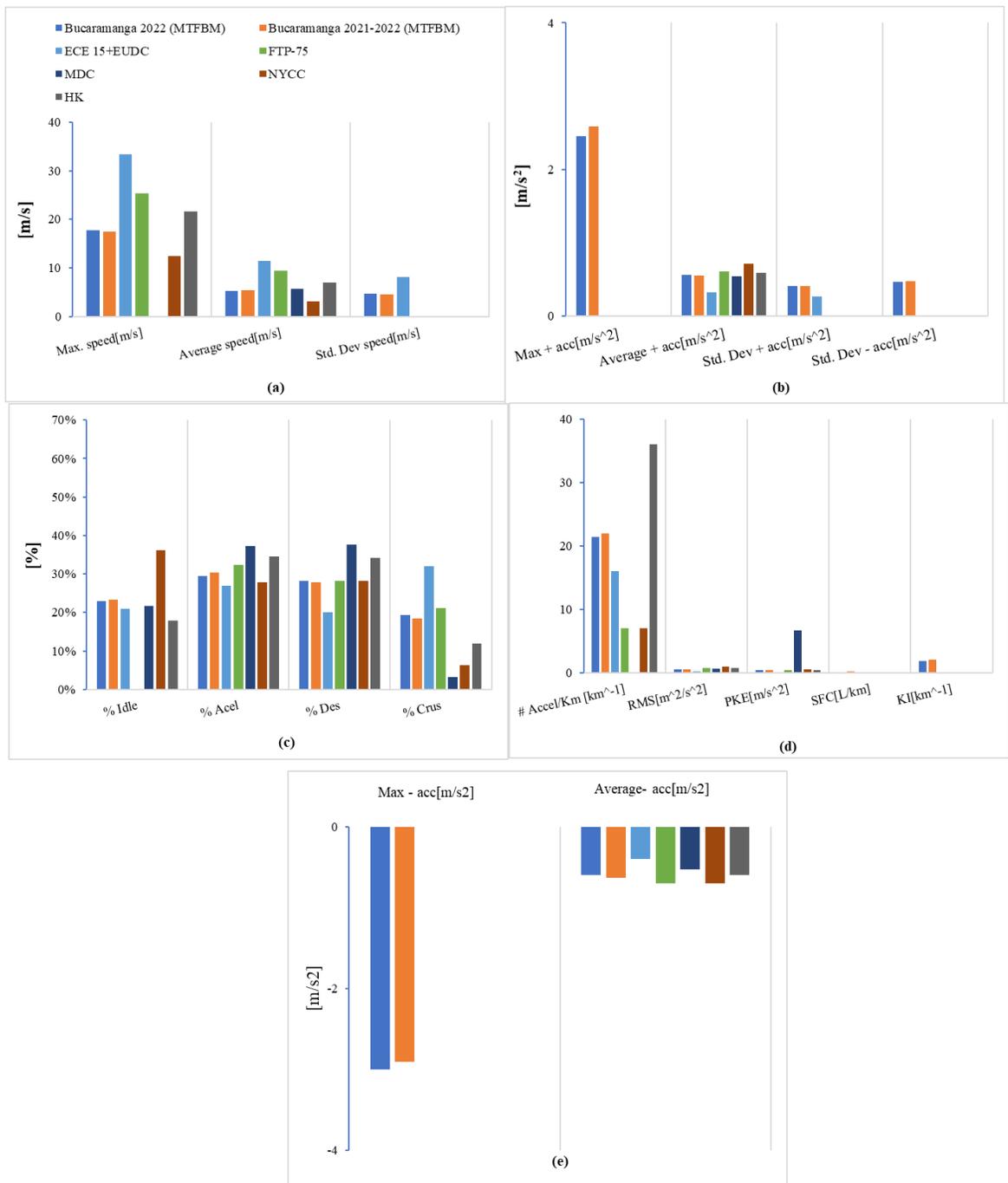


Figura 49. Comparación de los parámetros característicos obtenidos en el proyecto actual respecto a ciclos de conducción establecidos en otras regiones del mundo, (a) velocidad, (b) aceleración, (c) modos de operación, (d) dinámica, (e) desaceleraciones, [autores].

6.2 VALIDACIÓN DE LOS CICLOS DE CONDUCCIÓN

6.2.1 Validación del ciclo de conducción a partir de la diferencia relativa promedio

- Los ciclos de conducción obtenidos en Bucaramanga a partir del método MTFBM alcanza las diferencias relativas promedio más altas en los parámetros característicos de la variable de velocidad, pero sin superar los rangos que se establecen como representativos según la literatura siendo también un método que describe de forma precisa este CP.
- En cuanto a las diferencias relativas promedio de los parámetros de aceleración los ciclos de conducción obtenido en Bucaramanga a través del método MTFBM está por debajo del método MCMC y con valores similares que el método MT, el mejor método es el FB para describir los parámetros de aceleración.
- En los modos de operación el método MTFBM tiene las diferencias relativas promedio más bajas, por lo que es un método que describe de forma precisa los modos de operación del patrón de conducción.
- En los parámetros dinámicos se observa que los ciclos de conducción de Bucaramanga se asemejan a las diferencias relativas de los demás métodos, exceptuando en el CP de la intensidad cinética que tiene un valor desproporcional en su diferencia relativa, también describe de forma muy precisa el parámetro característico de consumo específico de combustible.

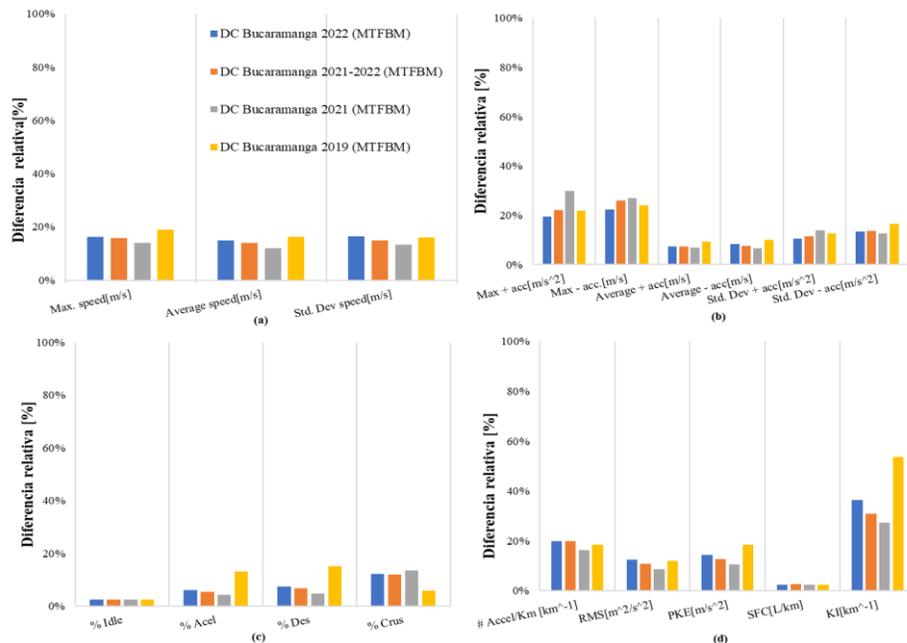


Figura 50. Comparación de las ARD% entre los antecedentes y el proyecto actual, (a) velocidad, (b) aceleración, (c), modos de operación, (d) dinámica, [autores].

De forma general se podría decir que el mejor método en cuanto a representatividad y precisión de los expuestos en las figuras, es el método *Fuel Based*(FB), sin discriminar los métodos *Micro-trip*(MT) Y el *Micro-trip Fuel Based Method*(MTFBM), ambos según las diferencias relativas describen de forma precisa a 16 parámetros de los 18 seleccionados. Dando validez a los ciclos de conducción BMGA 2022 Y BMGA 2021-2022 desarrollados en el proyecto actual.

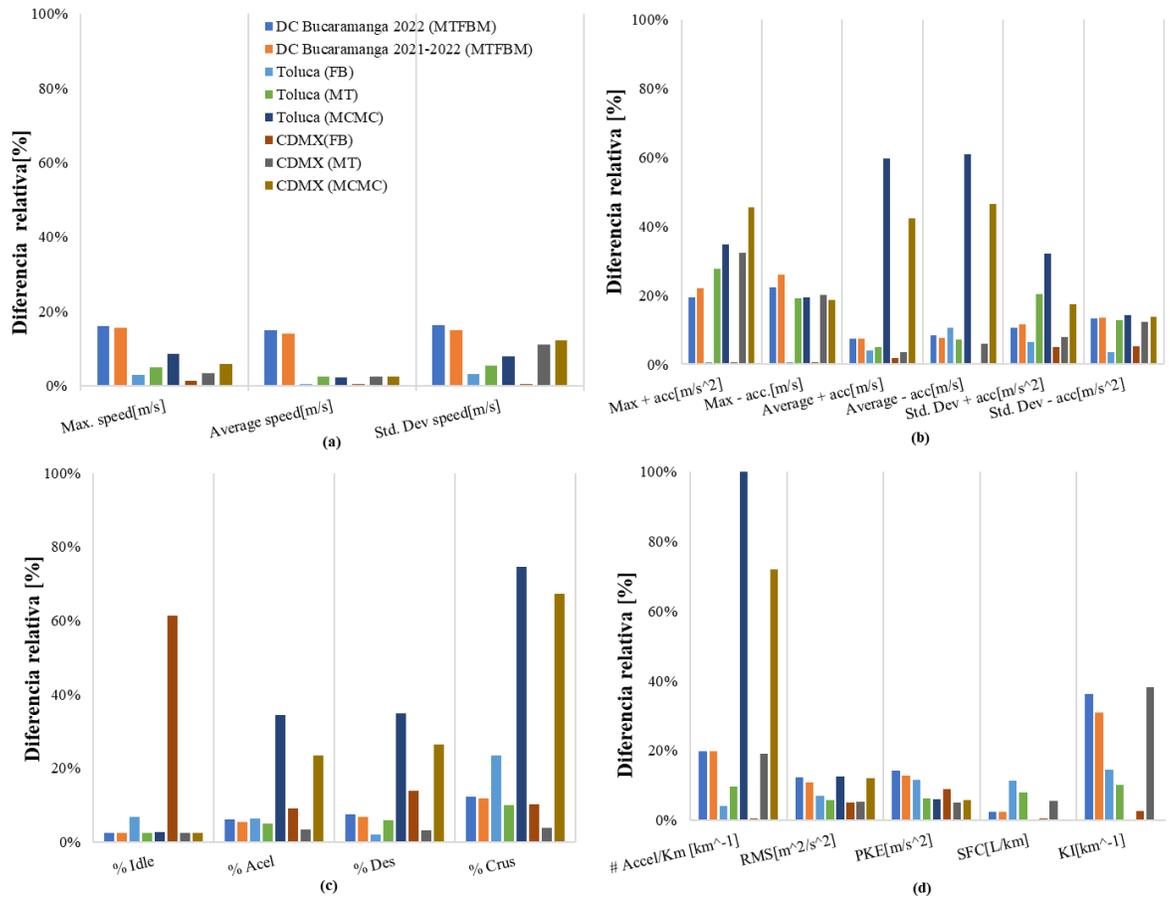


Figura 51. Comparación de las diferencias relativas entre distintos ciclos desarrollados en condiciones reales de carretera, (a) velocidad, (b) aceleración, (c) modos de operación, (d) dinámicas, [Autores].

También es muy importante resaltar que de los 18 parámetros característicos establecidos para la obtención de los ciclos de conducción los únicos que no cumplen con los rangos establecidos de ARD% [5%-20%] son los valores máximos de aceleración y desaceleración y la intensidad cinética, esto puede ser causado por algún valor atípico que se generó al momento de calcular las aceleraciones a partir de la ecuación establecida o por el contrario puede deberse a que el método implementado no es preciso para determinar estos CP's de máxima aceleración y desaceleración.

7. CONCLUSIONES

El dispositivo de monitoreo a bordo (OBD II) con conexión vía bluetooth utilizado en la adquisición de datos para la muestra de 17 vehículos, en comparación al dispositivo de monitoreo con conexión wifi permitió, una compatibilidad en la totalidad de los 17 vehículos seleccionados, el uso de todas las funciones del celular del conductor sin restricción alguna evitando inconformidad por parte de los colaboradores, y un ajuste adecuado a las diferentes ubicaciones del puerto OBDII por su tamaño, disminuyendo así la influencia en el estilo de conducción de los conductores al generar una posible invasión en los pedales del acelerador o freno.

La campaña de monitoreo establecida en el proyecto logró aumentar la cantidad de vehículos monitoreados en un **260%**, los viajes totales registrados en un **343%** y la cantidad de distancia recorrida en un **474.5%** en comparación a la base de datos establecida en el antecedente desarrollado por Navarro et al [6], mejoro la representatividad de los datos registrados en la base de datos construida para la región del área metropolitana de Bucaramanga.

El método de micro viajes basado en el consumo de combustible (*Micro Trips Fuel Based Method*) implementado para la construcción del ciclo de conducción para la base de datos de 16 vehículos, obtuvo una similitud de las diferencias relativas promedio menor al 15% de los 16 parámetros característicos que describen al patrón de conducción y al ciclo de conducción del **62.5%**, mientras que para la base de datos de 26 vehículos la similitud de las diferencias relativas promedio aumento al **68.75%**. Por otra parte, el método implementado para ninguna de las bases de datos desarrolladas logró tener una similitud aceptable de los parámetros característicos de máxima aceleración, máxima desaceleración e intensidad cinética.

El diagrama de distribución de frecuencia de velocidad-aceleración (SAFD) tanto para la base de datos de 16 y 26 vehículos describió las siguientes características del patrón de conducción para el área metropolitana de Bucaramanga; Las personas condujeron en un 78% a velocidades bajas del cual un 26% se asoció al modo de operación en ralentí lo que indica una alta densidad de tráfico, y una tipología de alta urbanización y sin acceso a vías de alta velocidad. Lo mencionado también se valida al observar la alta frecuencia de aceleraciones y desaceleraciones bajas.

El patrón de conducción descrito basado en la potencia específica del vehículo (VSP) permite validar lo analizado en el diagrama SAFD, en donde se observa una alta frecuencia de valores de VSP bajos, el cual son generados a partir de velocidades y aceleraciones bajas. También se relacionó el consumo específico (SFC) medido con la potencia específica vehicular observando que en dichos rangos de bajo VSP el consumo específico de combustible obtuvo su pico más alto.

Se clasificaron los estilos de conducción en tranquilo, normal y agresivo a partir del método de aceleración y del jerk, al comparar los resultados obtenidos de los estilos de conducción y la correlación realizada con el consumo específico de combustible para cada uno de los métodos se observó que el método de aceleración tiene una mejor correlación con el consumo de combustible, mientras que, el método del jerk se asocia mejor a la clasificación de los estilos de conducción.

La correlación realiza entre los estilos de conducción y la edad de los conductores, permitió observar que los conductores con edades superiores a los 40 años tendieron a tener estilos de conducción tranquilos, mientras que, los conductores con edades menores a los 30 años tendían a tener estilos de conducción más agresivos.

A partir de la descripción del patrón de conducción mediante ciclos de conducción, diagramas VSP, SAFD y estilos de conducción, se pueden conocer las necesidades en el entorno de movilidad y gestión de tráfico en el área metropolitana de Bucaramanga, en dónde se describió una alta densidad de tráfico y consumo específico de combustible cuando los conductores estaban expuestos a este entorno de conducción, por ende, las políticas públicas de movilidad se deberían sustentar en este tipo de estudios investigativos, para contrarrestar las diversas necesidades estipuladas.

8. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS A FUTURO

Implementar dispositivos de monitoreo a bordo como el Geotab GO que permiten gestionar todos los datos de interés como localización, aceleración, consumo de combustible, entre otros, en tiempo real en una plataforma establecida, sin la necesidad de la intervención del conductor.

Instalar sistemas de medición de emisiones portátil en algunos de los vehículos a monitorear con la finalidad de relacionar el VSP, y los ciclos de conducción con las emisiones generadas en condiciones reales de carretera.

Instrumentar el vehículo con un sistema de GPS para detectar de una forma más precisa las variables de pendiente, y localización satelital, para establecer segundo a segundo la tipología de la vía en la que se encuentra el vehículo con un sesgo menor en la estratificación de los datos.

Desarrollar ciclos de conducción a partir del método basado en el combustible (FB) debido a las bajas diferencias relativas promedios que han obtenido distintos estudios desarrollados y comparar con los ciclos de conducción construidos en la región estudiada.

Aplicar el método de micro viajes variando los parámetros característicos de construcción debido a que en las pruebas realizadas con velocidad promedio y % en ralentí se mejoró la representatividad de la mayoría de sus cp's establecidos.

Implementar algoritmos de aprendizaje automático que permitan asociar una mayor cantidad de features como, aceleración promedio, velocidad promedio, tiempo en ralentí, frenado, entre otros, para una mejor clasificación de los estilos de conducción.

Generar una aplicación móvil que permita puntuar los estilos de conducción de los conductores en tiempo real dependiendo de sus aceleraciones, frenadas, entre otras.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] GSD+, «Esquema de implantación de tecnologías inteligentes de transporte en América Latina: estudios de casos y recomendaciones.,» 2018.
- [2] Vanguardia, «Vanguardia,» 16 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/transitan-4053-automotores-nuevos-este-es-el-impacto-en-el-area-LG1190481>. [Último acceso: 11 Julio 2021].
- [3] Dirección de Tránsito de Bucaramanga, «Informe de gestión 1 trimestre,» Bucaramanga, 2019.
- [4] Alcaldía de Bucaramanga, «Bucaramanga ciudad de oportunidades,» Bucaramanga, 2020.
- [5] Filial de Isa, «Memoria de sostenibilidad sistemas inteligentes en red,» Medellín, 2014.
- [6] S. Navarro y R. García, Desarrollo de un ciclo de conducción bajo condiciones reales de carretera en el área metropolitana de Bucaramanga, Bucaramanga, 2021.
- [7] C. Martínez, M. Heucke, F.-y. Wang, B. Gao y D. Cao, «Driving Style Recognition for Intelligent Vehicle Control and Advanced Driver Assistance: A Survey,» *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, nº 19(3), pp. 666-676, 2017.
- [8] H. Deery, «Hazard and risk perception among young novice drivers,» *Safety Research*, nº 30, pp. 225-236, 1999.
- [9] F. Saad, «Behavioural adaptations to new driver support systems: Some critical issues,» *IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics*, pp. 288-293, 2004.
- [10] M. Rafael, M. Sanchez, V. Mucino, J. Cervantes y A. Lozano, «Impact of driving styles on exhaust emissions and fuel economy from a heavy-duty truck: Laboratory tests,» *International Journal of Heavy Vehicle System.*, nº 13, pp. 56-73, 2006.
- [11] L. Kleisen, The relationship between thinking and driving styles and their contribution to young driver road safety., Bruce, Australia: University of Canberra, 2011.
- [12] T. Lajunen y T. Özkan, «Self-report instruments and methods,» *Handbook of traffic psychology*, pp. 43-59, 2011.
- [13] D. Dörr, D. Grabengiesser y F. Gauterin, «Online driving style recognition using fuzzy logic,» *IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems*, nº 17, pp. 1021-1026, 2014.
- [14] E. Gilman, A. Keskinarkaus, S. Tamminen, S. Pirttikangas, J. Röning y J. Riekki, «Personalised assistance for fuel-efficient driving,» *Transportation Research Part C*, vol. 58, pp. 681 - 705, 2015.

- [15] F. Sagberg, Selpi, G. Bianchi y J. Engström, «A Review of Research on Driving Styles and Road Safety,» *Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 7, nº 57, pp. 1248-1275, 2015.
- [16] A. Aljaafreh, N. Alshabat y Al-Din, «Driving style recognition using fuzzy logic,» de *International Conference on Vehicular Electronics and Safety*, 2012.
- [17] Z. Constantinescu, C. Marinoiu y M. Vladioiu, «Driving style analysis using data mining techniques,» *International Journal of Computers Communications & Control*, vol. 5, nº 5, pp. 654-663, 2010.
- [18] J. Cordero, J. Aguilar, K. Aguilar, D. Chávez y E. Puerto, «Recognition of the driving style in vehicle drivers,» *Sensors*, vol. 20, nº 9, 2020.
- [19] C. Deng, C. Wu, N. Lyu y Z. Huang, «Driving style recognition method using braking characteristics based on hidden Markov model,» *PLOS ONE*, vol. 12, nº 8, 2017.
- [20] O. Derbel y R. Landry, «Driving style assessment based on the GPS data and fuzzy inference systems,» de *12th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices*, doi:10.1109/ssd.2015.7348214 , 2015.
- [21] A. Donkers, D. Yang y M. Viktorović, «Influence of driving style, infrastructure, weather and traffic on electric vehicle performance,» *Transportation research part D: transport and environment*, 2020.
- [22] F. Jiménez, J. C. Amarillo, J. E. Naranjo, F. Serradilla y A. Díaz, «Energy consumption estimation in electric vehicles considering driving style,» de *IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, 2015.
- [23] T. Felstead, M. McDonald y M. Fowkes, «Driving style extremes and potential vehicle emission effects,» *In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*, vol. 162, nº 3, pp. 141-148, 2009.
- [24] Y. Feng, S. Pickering, E. Chappell, P. Iravani y C. Brace, «Driving Style Modelling with Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System and Real Driving Data,» *In International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, pp. 481-490, 2018.
- [25] B. Gao, K. Cai, T. Qu, Y. Hu y H. Chen, «Personalized adaptive cruise control based on online driving style recognition technology and model predictive control,» *IEEE transactions on vehicular technology*, vol. 69, nº 11, pp. 12482-12496, 2020.
- [26] J. Guo, Y. Jiang, Y. Yu y W. Liu, «A novel energy consumption prediction model with combination of road information and driving style of BEVs,» *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 42, 100826, 2020.
- [27] D. Johnson y M. Trivedi, «Driving style recognition using a smartphone as a sensor platform,» *14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 1609-1615, 2011.
- [28] M. Karaduman y H. Eren, «Deep learning based traffic direction sign detection and determining driving style,» *2017 International Conference on Computer Science and Engineering*, pp. 1046-1050, 2017.

- [29] C. F. Lee y P. Öberg, «Classification of Road Type and Driving Style using OBD Data,» *SAE Technical Paper*, 2015.
- [30] K. Li, L. Jin, Y. Jiang, H. Xian y L. Gao, «Effects of driver behavior style differences and individual differences on driver sleepiness detection,» *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 7, nº 4, 2015.
- [31] R. Liessner, A. Dietermann, B. Bäker y K. Lüpkes, «Derivation of real-world driving cycles corresponding to traffic situation and driving style on the basis of Markov models and cluster analyses,» de *6th Hybrid and Electric Vehicles Conference (HEVC 2016)*, 2016.
- [32] Y. Liu, J. Wang, P. Zhao, D. Qin y Z. Chen, «Research on classification and recognition of driving styles based on feature engineering,» *IEEE Access*, vol. 7, pp. 89245-89255, 2019.
- [33] O. F. Ozgul, M. U. Cakir, M. Tan, M. F. Amasyali y H. T. Hayvaci, «Fully Unsupervised Framework for Scoring Driving Style,» de *2018 International Conference on Intelligent Systems (IS)*, 2018.
- [34] Y. Shi, N. Cui y Y. Du, «Energy Management Strategy based on Driving Style Recognition for Plug-in Hybrid Electric Bus,» de *2020 39th Chinese Control Conference*, pp. 5511-5516, 2020.
- [35] I. Silva y J. Eugenio Naranjo, «A systematic methodology to evaluate prediction models for driving style classification,» *Sensors*, vol. 20, nº 6, 2020.
- [36] M. M. Bejani y M. Ghatee, «Convolutional neural network with adaptive regularization to classify driving styles on smartphones,» *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, vol. 21, nº 2, pp. 543-552, 2019.
- [37] T. Colombo, G. Panzani, S. Savaresi y P. Paparo, «Absolute driving style estimation for ground vehicles,» *IEEE conference on control technology and applications*, pp. 2196-2201, 2017.
- [38] J. Gallus, U. Kirchner, R. Vogt y T. Benter, «Impact of driving style and road grade on gaseous exhaust emissions of passenger vehicles measured by a Portable Emission Measurement System (PEMS),» *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 52, 215-226, 2017.
- [39] P. Jardin, I. Moisisdis, S. S. Zetina y S. Rinderknecht, «Rule-Based Driving Style Classification Using Acceleration Data Profiles,» *23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2020.
- [40] G. Li, F. Zhu, X. Qu, B. Cheng, S. Li y P. Green, «Driving style classification based on driving operational pictures,» *IEEE Access*, 1-1, 2019.
- [41] J. E. Meseguer, C. K. Toh, C. T. Calafate, J. C. Cano y P. Manzoni, «Drivingstyles: a mobile platform for driving styles and fuel consumption characterization,» *Journal of Communications and networks*, vol. 19, nº 2, pp. 162-168, 2017.

- [42] A. Mohammadnazar, R. Arvin y A. Khattak, «Classifying travelers' driving style using basic safety messages generated by connected vehicles: Application of unsupervised machine learning,» *Transportation Research Part C*, n° 122, 2021.
- [43] G. Li, S. E. Li, B. Cheng y P. Green, «Estimation of driving style in naturalistic highway traffic using maneuver transition probabilities,» *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 74, pp. 113-125, 2017.
- [44] V. Nikulin, «Driving style identification with unsupervised learning,» de *In International Conference on Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition*, Springer, Cham, 2016.
- [45] K. M. Sentoff, L. Aultman-Hall y B. A. Holmén, «Implications of driving style and road grade for accurate vehicle activity data and emissions estimates,» *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 35, pp. 175-188, 2015.
- [46] F. Schockenhoff, H. Nehse y M. Lienkamp, «Maneuver-based objectification of user comfort affecting aspects of driving style of autonomous vehicle concepts,» *Applied Sciences*, vol. 10, n° 11, 2020.
- [47] O. Shouno, «Deep unsupervised learning of a topological map of vehicle maneuvers for characterizing driving styles,» de *In 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pp. 2917-2922, 2018.
- [48] M. Brambilla, P. Mascetti y A. Mauri, «Comparison of different driving style analysis approaches based on trip segmentation over GPS information,» de *IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 2017.
- [49] R. Wang y S. M. Lukic, «Review of Driving COnditions Prediction and Driving Style Recognition Based Control Algorithms for Hybrid Electric Vehicles,» de *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2011.
- [50] G. Castignani, T. Derrmann, R. Frank y T. Engel, «Driver Behavior Profiling Using Smartphones: A Low-Cost Platform for Driver Monitoring,» *IEEE Intelligent transportation systems magazine*, vol. 7, n° 1, pp. 91-102, 2015.
- [51] J. Barbé y G. Boy, «On-board system design to optimize energy management,» de *In Proceedings of the European Annual Conference on Human Decision-Making and Manual Control*, Valenciennes, France (pp. 27-29)., 2006.
- [52] O. H. Koskinen, «Improving vehicle fuel economy and reducing emissions by driving technique,» *15th World Congress on Intelligent Transport Systems and ITS America's*, 2008.
- [53] G. Priyadarshini y J. Femilda, «A comprehensive review of various data collection approaches, features, and algorithms used for the classification of driving style,» de *Materials Science and Engineering*, 2020.
- [54] S. Laapotti, E. Keskinen y S. Rajalin, «Comparison of young male and female drivers' attitude and self-reported traffic behaviour in Finland in 1978 and 2001,» *Journal of Safety Research*, vol. 34, n° 5, p. 579–587, 2002.

- [55] D. De Waard, C. Dijksterhuis y K. A. Brookhuis, «Merging into heavy motorway traffic by young and elderly drivers,» *Accident Analysis & Prevention*, vol. 41, nº 3, p. 588–597, 2009.
- [56] B. Reimer, B. Donmez, M. Lavallière, B. Mehler, J. F. Coughlin y N. Teasdale, «Impact of age and cognitive demand on lane choice and changing under actual highway conditions.,» *Accident Analysis & Prevention*, 52, p. 125–132, 2013.
- [57] F. M. Poó y R. D. Ledesma, «A Study on the Relationship Between Personality and Driving Styles,» *Traffic Injury Prevention*, vol. 14, nº 4, pp. 346-352, 2013.
- [58] N. Karginova, S. Byttner y M. Svensson, «Data-driven methods for classification of driving styles in buses,» *SAE Technical Paper Series*, 2012.
- [59] J. Rios-Torres, J. Liu y A. Khattak, «Fuel consumption for various driving styles in conventional and hybrid electric vehicles: Integrating driving cycle predictions with fuel consumption optimization,» *International Journal of Sustainable Transportation*, vol. 13, nº 2, pp. 123-137, 2019.
- [60] I. Del Campo, E. Asua, V. Martínez, Ó. Mata-Carballeira y J. Echanobe, «Driving style recognition based on ride comfort using a hybrid machine learning algorithm,» *21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pp. 3251-3258, 2018.
- [61] R. Stoichkov, Android smartphone application for driving style recognition, 2013.
- [62] H. Y. Tong y W. T. Hung, «A Framework for Developing Driving Cycles with On-Road Driving Data,» *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, vol. 30, nº 5, pp. 589-615, 2010.
- [63] A. Gomez Hurtado, «Desarrollo de ciclos de conducción para el área metropolitana centro occidente – AMCO,» Pereira, 2014.
- [64] T. L. S. Barlow, I. McCrae y P. Boulter, A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions, TRL Published Project Report: Tercera, 2009.
- [65] D. D. Espimbera, «Estudio de los ciclos de conducción para determinar parámetros de manejo en condiciones reales de operación mediante la metodología Micro-Trip.,» Santo Domingo de los Tsáchilas, 2018.
- [66] A. Alessandrini, F. Filippi y F. Ortenzi, «Consumption calculation of vehicles using OBD data,» de *In 20th International Emission Inventory Conference-" Emission Inventories-Meeting the Challenges Posed by Emerging Global, National, and Regional and Local Air Quality Issues*, 2012.
- [67] P. Nouri y C. Morency, «Evaluating Microtrip Definitions for Developing Driving Cycles,» de *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2627, 86-92, 2017.
- [68] J. Huertas, L. Quirama, M. Giraldo y J. Díaz, «Comparison of Three Methods for Constructing Real Driving Cycles,» *Energies*, vol. 12, nº 4, 2019.

- [69] J. I. Huertas, M. Giraldo, L. F. Quirama y J. Díaz, «Driving Cycles Based on Fuel Consumption,» *energies*, vol. 11, nº 11, 2018.
- [70] W. Wang, J. Xi, A. Chong y L. Li, «Driving Style Classification Using a Semisupervised Support Vector Machine,» *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol. 47, nº 5, pp. 650-660, 2017.
- [71] J. C. Ferreira, J. de Almeida y R. A. da Silva, «The Impact of Driving Styles on Fuel Consumption: A Data-Warehouse-and-Data-Mining-Based Discovery Process,» *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 16, nº 5, pp. 2653-2662, 2015.
- [72] J. Heywood, «Internal combustion engine fundamentals,» McGraw-hill, New York, 1998.
- [73] B. Shi, L. Xu, J. Hu, Y. Tang, H. Jiang, W. Meng y H. Liu, «Evaluating Driving Styles by Normalizing Driving Behavior Based on Personalized Driver Modeling,» *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 45, nº 12, pp. 1502-1508, 2015.
- [74] W. Wang y J. Xi, «A Rapid Pattern-Recognition Method for Driving Styles Using Clustering-Based Support Vector Machines,» de *American Control Conference (ACC)*, Boston, 2016.
- [75] G. Castignani, T. Derrmann, R. Frank y T. Engel, «Smartphone-Based Adaptive Driving Maneuver Detection: A Large-Scale Evaluation Study,» *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 18, nº 9, pp. 2330-2339, 2017.
- [76] F. Martinelli, F. Mercaldo, A. Orlando, V. Nardone, A. Santone y A. Sangaiah, «Human behavior characterization for driving style recognition in vehicle system,» *Computers and Electrical Engineering*, 2018.
- [77] I. S. Feraud y J. E. Naranjo, «Are you a good driver? A Data-driven Approach to Estimate Driving Style,» de *11th International Conference on Computer Modeling and Simulation (ICCMS)*, 2019.
- [78] J. Fan, Y. Li, Y. Liu, Y. Zhang y C. Ma, «Analysis of taxi driving behavior and driving risk based on trajectory data,» *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 2019.
- [79] P. Seers, G. Nachin y M. Glaus, «Development of two driving cycles for utility vehicles,» *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, pp. 377-385, 2015.
- [80] J. Brady y M. O'Mahony, «Development of a driving cycle to evaluate the energy economy of electric vehicles in urban areas,» *Applied Energy*, pp. 165-178, 2016.
- [81] N. H. Arun, S. Mahesh y G. Ramadurai, «Development of driving cycles for passenger cars and motorcycles in Chennai, India,» *Sustainable Cities and Society*, pp. 508-512, 2017.

- [82] J. Huertas, J. Díaz, D. Cordero y K. Cedillo, «A new methodology to determine typical driving cycles for the design of vehicles power trains,» *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, vol. 12, nº 1, pp. 319-326, 2017.
- [83] J. Zhang, Z. Wang, P. Liu, Z. Zhang, X. Li y C. Qu, «Driving cycles construction for electric vehicles considering road environment: A case study in Beijing,» *Applied Energy*, 253, 113514, 2019.
- [84] C. M. León, Estimación del consumo de combustible mediante la determinación de ciclos de conducción representativos en Bucaramanga, Santander., Bucaramanga, 2019.
- [85] L. F. Quirama, M. Giraldo, J. I. Huertas y M. Jallerd, «Driving cycles that reproduce driving patterns, energy consumptions and tailpipe emissions,» *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 82, 102294, 2020.
- [86] R. Yu, X. Long y J. Li, «Driving Style Analyses for Car-sharing Users Utilizing Low-frequency Trajectory Data,» de *5th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS)*, 2019.
- [87] Y. Feng, S. Pickering, E. Chappell, P. Iravani y C. Brace, «A support vector clustering based approach for driving style classification,» *International Journal of Machine Learning and Computing*, vol. 9, nº 3, pp. 344-350, 2019.
- [88] W. Han, W. Wang, X. Li y J. Xi, «Statistical-based approach for driving style recognition using Bayesian probability with kernel density estimation,» *IET Intelligent Transport Systems*, vol. 13, nº 1, pp. 22-30, 2019.
- [89] Universidad Industrial de Santander, «Plan maestro de movilidad, área metropolitana de Bucaramanga 2011-2030,» Bucaramanga.
- [90] J. Jiménez-Palacios, Understanding and Quantifying Motor Vehicle Emissions with Vehicle Specific Power and TILDAS Remote Sensing, Massachusetts, 1999.
- [91] W. Hung, H. Tong, C. Lee, K. Ha y L. Pao, «Development of a practical driving cycle construction methodology: A case study in Hong Kong,» *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 12, nº 2, pp. 115-128, 2007.
- [92] «Embitel,» [En línea]. Available: <https://www.embitel.com/automotive-insights/on-board-diagnostics-obd-ii-stack>. [Último acceso: 02 Agosto 2021].
- [93] «Sparkfun,» [En línea]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/accelerometer-basics>. [Último acceso: 02 Agosto 2021].
- [94] J. D. Molina Martínez y B. F. Acuña Olivar, Clasificación de estilos de conducción en el área metropolitana de Bucaramanga con monitoreo a bordo (OBD II) en condiciones reales de carretera, Bucaramanga: Universidad Autónoma de Bucaramanga, 2022.

9. ANEXOS

9.1 MANUAL DE CONFIGURACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN OBD II Y TORQUE PRO

<https://drive.google.com/file/d/1jYATyq1CYq6icQ4GCoTaTjRDF3utx7DB/view?usp=sharing>

Tabla de Contenidos

Introducción	1
I. Información del dispositivo de diagnóstico a bordo	2
1.1. Definición de sistema de diagnóstico a bordo (OBD).....	2
1.2. Evolución del diagnóstico a bordo en vehículos.....	2
1.3. Aplicación del diagnóstico a bordo (OBD).....	3
1.4. Interfaz ELM327 - OBDII.....	6
1.5. Puerto OBD II (Terminales del conector y ubicación en vehículo).....	6
1.6. Características de dispositivos investigados.	8
II. Selección del dispositivo de diagnóstico a bordo.....	10
2.1. Selección de la instrumentación para implementar el sistema de monitoreo en los vehículos:	11
2.2. Características relevantes en la selección del dispositivo OBD II:.....	11
2.3. Criterios de selección para el dispositivo OBD II:.....	12
2.4. Scanner Automotriz Elm327 Advanced Obd2 Bluetooth Android Pc, marca CMALL MARKET	13
2.5. Scanner Automotriz Nexas Nexlink Obd2 Bluetooth	13
2.6. Observaciones y recomendaciones:	14
III. Configuración de dispositivo de diagnóstico a bordo – Aplicativo Torque Pro.	15
3.1. Configuración de la aplicación Torque Pro.....	15
3.2. Fallas y soluciones.	27
3.3. Observaciones.	30
IV. Registro y envío de datos	31
4.1. Envío de datos acumulados.	31
4.2. Envío de datos al final del día.	34
4.3. Observaciones.	38
V. Bibliografía.....	39

9.2 ANEXOS BASE DE DATOS DESARROLLADAS

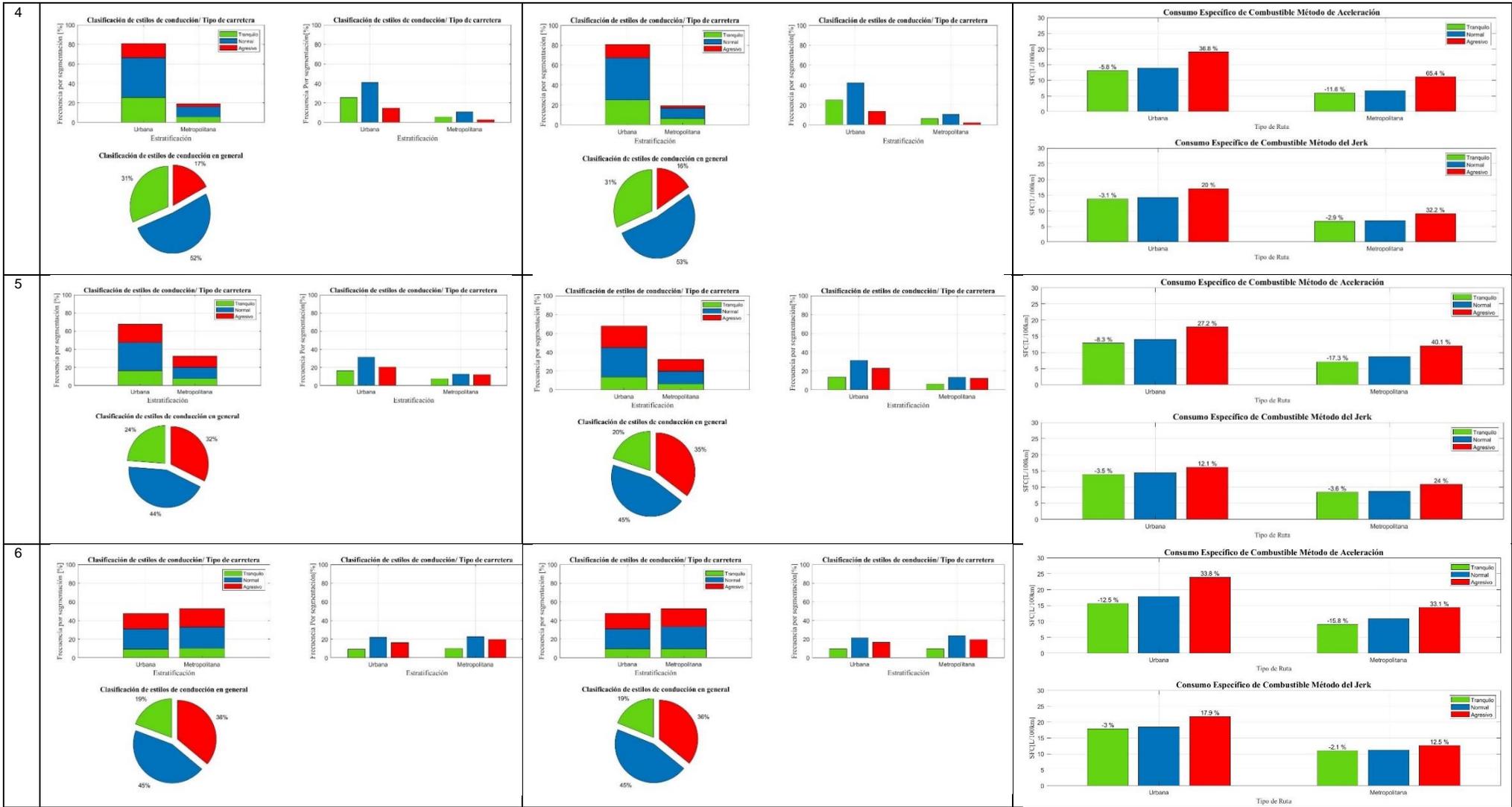
<https://drive.google.com/drive/folders/17Y2GOYQJrr9UK4R8FWRqBj93d1RdYG10?usp=sharing>

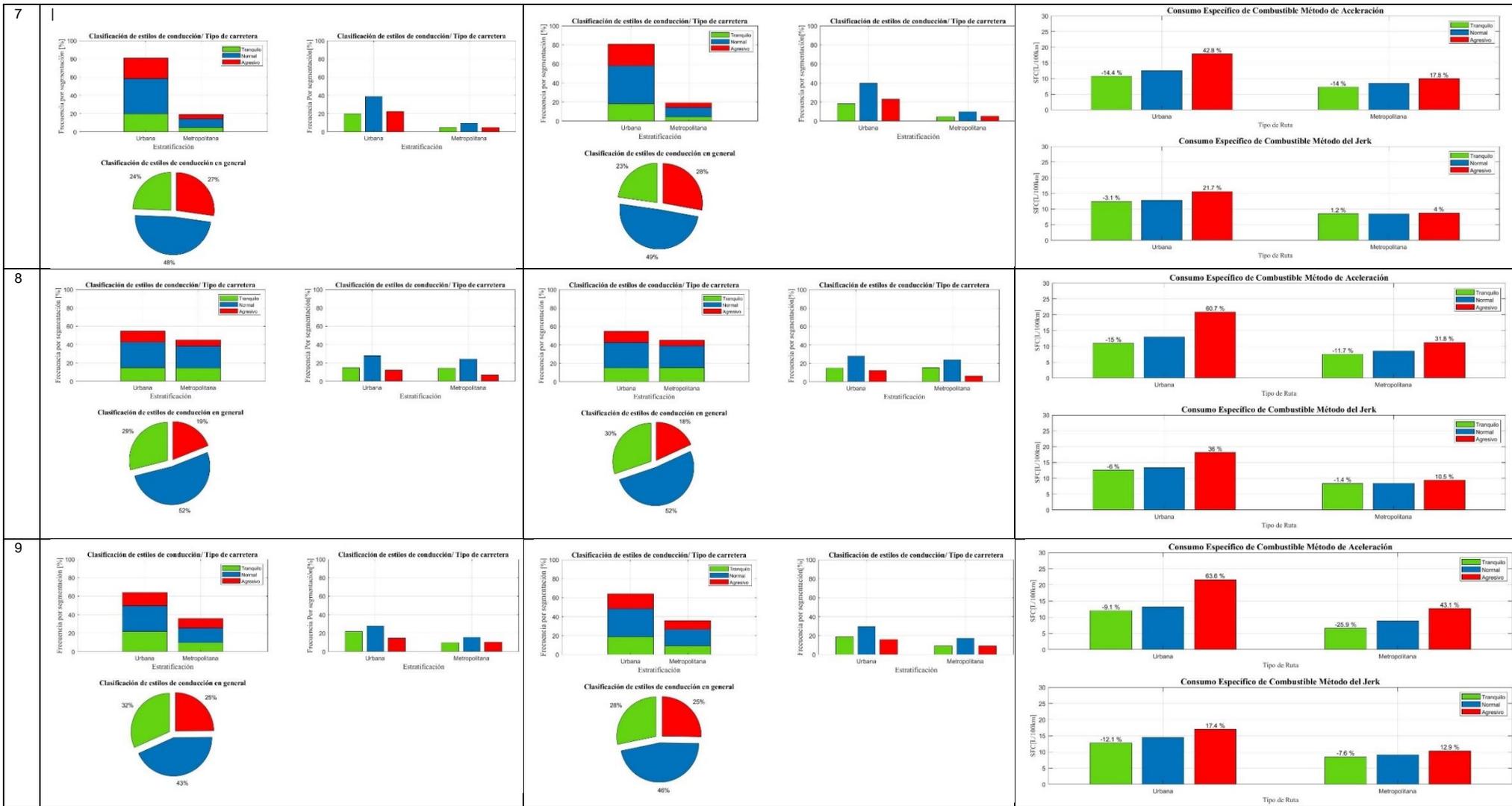
9.3 CARPETA CON TODA LA INFORMACIÓN DEL PROYECTO

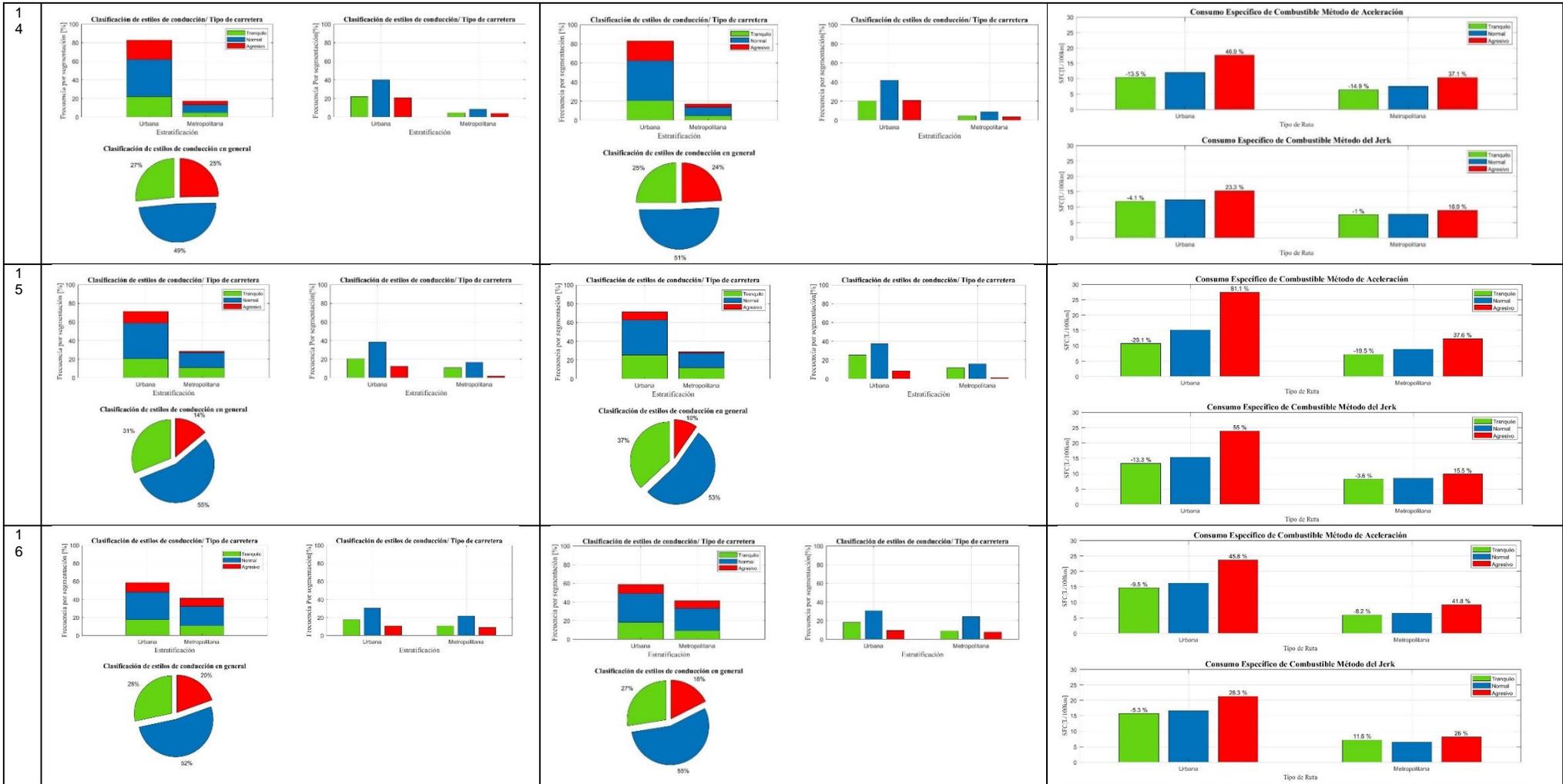
https://drive.google.com/drive/folders/1Bh4A0WngXa3ngBkF1Bzho9O_xH149MD5?usp=sharing

9.4 GRÁFICAS DE LOS ESTILOS DE CONDUCCIÓN

C	Método de clasificación de la aceleración	Método de clasificación del jerk	Correlación entre consumo de combustible SFC y estilos de conducción
1	<p>Clasificación de estilos de conducción/ Tipo de carretera</p> <p>Clasificación de estilos de conducción/ Tipo de carretera</p> <p>Clasificación de estilos de conducción en general</p> <p>Clasificación de estilos de conducción en general</p>	<p>Consumo Especifico de Combustible Método de Aceleración</p> <p>Consumo Especifico de Combustible Método del Jerk</p>	
2	<p>Clasificación de estilos de conducción/ Tipo de carretera</p> <p>Clasificación de estilos de conducción/ Tipo de carretera</p> <p>Clasificación de estilos de conducción en general</p> <p>Clasificación de estilos de conducción en general</p>	<p>Consumo Especifico de Combustible Método de Aceleración</p> <p>Consumo Especifico de Combustible Método del Jerk</p>	
3	<p>Clasificación de estilos de conducción/ Tipo de carretera</p> <p>Clasificación de estilos de conducción/ Tipo de carretera</p> <p>Clasificación de estilos de conducción en general</p> <p>Clasificación de estilos de conducción en general</p>	<p>Consumo Especifico de Combustible Método de Aceleración</p> <p>Consumo Especifico de Combustible Método del Jerk</p>	







9.5 CÓDIGO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL CICLO DE CONDUCCIÓN BASE CONCATENADA

```

%Driving cycle construction program
%Microtrips Fuel Based Method
%Elimina las variables creadas
tic
clear all
clc
tam=20;
num_iter = 500;
Diff=[];
%Lee archivos de excel de la hoja 1
trips1_1 = xlsread('DataU2022','Data1'); %Leer la hoja 1
del archivo de excel
trips1_2=xlsread('DataU2022','Data2'); %Leer la hoja 2
del archivo de excel
trips=[trips1_1;trips1_2];
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=[];
mveldmtra=[];
% Aceleración
macelmaxmtrap=[];
macelpmtrap=[];
macelsdmtrap=[];
% Desaceleración
macelmaxmtran=[];
macelpmtran=[];
macelsdmtran=[];

% Porcentaje de Tiempo
mperidle=[];
mperacelp=[];
mperaceln=[];
mpercruzero=[];
% 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];
mveldmtra = [mveldmtra;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);
pertacelpviajep = 100*(tacelp/tviaje);
pertacelnviajen = 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(accelviaje);

fviaje=zeros(lviaje,1);
for yy=1:lviaje-1
if accelviaje(yy+1)>0&&accelviaje(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: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));
Klpviaje =
nansum(trips(posxviaje,23))*1000/sum(trips(posxviaje,22
));

mVSP = [mVSP;VSPpviaje];

mKI = [mKI;Klpviaje];
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
peridlemtra = median(mperidle,'omitnan');
peracelmtrap = median(mperacelp,'omitnan');
peracelmtran = median(mperaceln,'omitnan');
percruzeromtra = median(mpercruzero,'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');
%Iniciación 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);
Diffacelpp = 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);
DiffSAFD = 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);
%-----Iniciación 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);
%-----Iniciación 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 demicro_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);
velsdCDC = std(DC);
%Aceleración
acelxCDCp = find(A>=apref);
acelmaxCDCp = max(A(acelxCDCp));
acelpCDCp = mean(A(acelxCDCp));
acelsdCDCp = std(A(acelxCDCp));
%Desaceleración
acelxCDCn = find(A<=anref);
acelmaxCDCn = min(A(acelxCDCn));
acelpCDCn = mean(A(acelxCDCn));
acelsdCDCn = 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: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: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(velpmtra-
velpCDC)/velpmtra>er)||abs(peridlemtra-
pertidCDC)/peridlemtra>er)||len_DC>tiempo+120)
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(acelmaxmtrap-
acelmaxCDCp)/acelmaxmtrap);
%3. Diferencia desaceleración máxima
Diffacelmaxn(oo) = 100*(abs((acelmaxmtran-
acelmaxCDCn)/acelmaxmtran));
%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(percrueromtra-
pertcruCDC)/percrueromtra);
%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(acelxkmtra-
acelxkmCDC)/acelxkmtra);

%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
```

```
%Criterios de construcción Micro Trips Fuel Based
Method
```

```
%DiffCiclos(oo)=(Diffacelmaxn(oo)+Diffacelmaxp(oo)+Dif
facelpn(oo)+Diffacelpp(oo)+Diffacelsdn(oo)+Diffacelsdp(
oo)+Diffacelxkm(oo)+Diffan(oo)+Diffap(oo)+DiffKI(oo)+Di
ffperaceln(oo)+Diffperacelp(oo)+Diffpercru(oo)+Diffperidl
e(oo)+Diffpke(oo)+Diffrms(oo)+DiffSFC(oo)+Diffetid(oo)+
Diffvel(oo)+Diffvelmax(oo)+Diffvelp(oo)+Diffvelsd(oo)+Dif
fVSP(oo))/100;
```

```
%Criterios de construcción Micro Trips
```

```
DiffCiclos(oo)=(Diffacelmaxn(oo)+Diffacelmaxp(oo)+Dif
facelpn(oo)+Diffacelpp(oo)+Diffacelsdn(oo)+Diffacelsdp(oo
)+Diffacelxkm(oo)+Diffan(oo)+Diffap(oo)+DiffKI(oo)+Diffp
eraceln(oo)+Diffperacelp(oo)+Diffpercru(oo)+Diffperidle(
oo)+Diffpke(oo)+Diffrms(oo)+DiffSFC(oo)+Diffetid(oo)+Dif
fvel(oo)+Diffvelmax(oo)+Diffvelp(oo)+Diffvelsd(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_sele_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
```

```
validRDC = find(DC_RDC<=validmin);
```

```
tRDC = length(DC_RDC);
```

```
tidRDC = length(validRDC);
```

```
tacelRDCp = length(acelxRDCp);
```

```
tacelRDCn = length(acelxRDCn);
```

```
peridRDC = 100*(tidRDC/tRDC);
```

```
pertacelRDCp = 100*(tacelRDCp/tRDC);
```

```
pertacelRDCn = 100*(tacelRDCn/tRDC);
```

```
pertcruRDC = 100-pertidRDC-pertacelRDCp-
```

```
pertacelRDCn;
```

```
% No. de aceleraciones/km
```

```
IRDC = length(A_RDC);
```

```
fRDC=zeros(IRDC,1);
```

```
for cc=1:1:IRDC-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);

%CP's DC Candidato
A_CPSDC
=[velmaxRDC;velpRDC;velsdRDC;acelmaxRDCp;acelm
axRDCn;acelpRDCp;acelpRDCn;acelsdRDCp;acelsdR
Dn;pertidRDC;pertacelRDCp;pertacelRDCn;pertcruRDC;
acelxkmRDC;rmsRDC;pkeRDC;SFCrealRDC;KIRDC]
%Obtención del promedio de las RD
Diff2=[Diffvelmax,Diffvelp,Diffvelsd,Diffacelmaxp,Diffacel
maxn,Diffacelpp,Diffacelpn,Diffacelsdp,Diffacelsdn,Diffpe
ridle,Diffperacelp,Diffperaceln,Diffpercru,Diffacelxkm,Diff
ms,Diffpke,DiffSFC,DiffKI];
promedio2 = mean(Diff2,'omitnan');
%Diferencias relativas promedio CP's
A_ADRR =transpose(promedio2)

%% Gráficas
%Figura del perfil de velocidad o DC candidato
figure (1)
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 NewRoman')

%Obtención de los rangos intercuartiles
Diff=[Diffvelmax,Diffvelp,Diffvelsd,Diffacelmaxp,Diffacelm
axn,Diffacelpp,Diffacelpn,Diffacelsdp,Diffacelsdn,Diffperi
dle,Diffperacelp,Diffperaceln,Diffpercru,Diffacelxkm,Diff
ms,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;varian
za;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"];

%Diagrama de caja visualización de las Diferencias
relativas promedio (ARD%)
figure (2)
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','TimesNew Roman')
hold on
scatter(promedio.',1:1:size(Diff,2),'MarkerEdgeColor',[0
0], 'MarkerFaceColor','g')
hold off
toc

```

9.6 CÓDIGO CLASIFICACIÓN DE ESTILOS DE CONDUCCIÓN

```

%% -----Borra el workspace y Command Window--
-----
%Elimina las variables creadas
tic %%cuenta el tiempo de simulación
clear %% borra todas las variables del workspace
clc %%Limpia el command window
tinal=1; %%Tiempo inicial para gráficar velocidad vs
tiempo
tfinal=1230; %%Tiempo final para gráficar velocidad vs
tiempo
%Velocidad en idle minima [km/h]
velidmin = 0.036;
%Velocidades de referencia

```

```

vmin =40;
% vmax =70;
%Aceleración positiva de referencia
apref =0;
%Aceleración negativa de referencia
anref =-0;
%Aceleración de referencia;
aref=0;
%Pedal del acelerador de referencia
PedAcelmin=15;
PedAcelmax=85;

%% -----Lee los archivos de excel Muestra de 16
vehiculos-----

```

```

tripsv1 = xlsread('BaseDSInd','DataDS1'); %Lee base de
datos vehiculo 1
tripsv1(isnan(tripsv1))=0;
tripsv2 = xlsread('BaseDSInd','DataDS2'); %Lee base de
datos vehiculo 2
tripsv2(isnan(tripsv2))=0;
tripsv3 = xlsread('BaseDSInd','DataDS3'); %Lee base de
datos vehiculo 3
tripsv3(isnan(tripsv3))=0;
tripsv4 = xlsread('BaseDSInd','DataDS4'); %Lee base de
datos vehiculo 4
tripsv4(isnan(tripsv4))=0;
tripsv5 = xlsread('BaseDSInd','DataDS5'); %Lee base de
datos vehiculo 5
tripsv5(isnan(tripsv5))=0;
tripsv6 = xlsread('BaseDSInd','DataDS6'); %Lee base de
datos vehiculo 6
tripsv6(isnan(tripsv6))=0;
tripsv7 = xlsread('BaseDSInd','DataDS7'); %Lee base
de datos vehiculo 7
tripsv7(isnan(tripsv7))=0;
tripsv8 = xlsread('BaseDSInd','DataDS8'); %Lee base de
datos vehiculo 8
tripsv8(isnan(tripsv8))=0;
tripsv9 = xlsread('BaseDSInd','DataDS9'); %Lee base de
datos vehiculo 9
tripsv9(isnan(tripsv9))=0;
tripsv10 = xlsread('BaseDSInd','DataDS10');%Lee base
de datos vehiculo 10
tripsv10(isnan(tripsv10))=0;
tripsv11 = xlsread('BaseDSInd','DataDS11');%Lee base
de datos vehiculo 11
tripsv11(isnan(tripsv11))=0;
tripsv12 = xlsread('BaseDSInd','DataDS12');%Lee base
de datos vehiculo 12
tripsv12(isnan(tripsv12))=0;
tripsv13 = xlsread('BaseDSInd','DataDS13');%Lee base
de datos vehiculo 13
tripsv13(isnan(tripsv13))=0;
tripsv14 = xlsread('BaseDSInd','DataDS14');%Lee base
de datos vehiculo 14
tripsv14(isnan(tripsv14))=0;
tripsv15 = xlsread('BaseDSInd','DataDS15');%Lee base
de datos vehiculo 15
tripsv15(isnan(tripsv15))=0;
tripsv16 = xlsread('BaseDSInd','DataDS16');%Lee base
de datos vehiculo 16
tripsv16(isnan(tripsv16))=0;
trips=[tripsv1;tripsv2;tripsv3;tripsv4;tripsv5;tripsv6;tripsv7;
tripsv8;tripsv9;tripsv10;tripsv11;tripsv12;tripsv13;tripsv14;
tripsv15;tripsv16];

%% ----- Estratificación método de la velocidad -----
-----%

%%-----paso 1 Límites de velocidad-----
-----%

%v<=40km/h "Urbana(U)"%
%v>40km/h "Metropolitana"%
VectorVel=trips(:,6);
%Longitud del viaje Base de datos individual
lon=numel(trips(:,1));

for i=1:lon
    if VectorVel(i)<=vmin;

```

```

U(i)=1;
A(i)=0;
    elseif VectorVel(i)>vmin;
        A(i)=2;
        U(i)=0;
end
end

%-----Concatenar tipos de ruta y Base de datos
principal-----%
TipoRuta=[A+U];
TipoRutaT=TipoRuta;
%% -----Segmentación del tipo de ruta eliminación de
intersecciones-----
indices = [];
indices = [indices;1];
for c=2:length(trips)
    if trips(c,1) ~= trips(c-1,1)
        indices = [indices;c];
    end
end
indices = [indices:length(trips)+1];
TipoRutaTT2 = [];
TipoRutaTT = TipoRutaT;
for b=2:length(indices)
    TipoRutaT = TipoRutaTT(indices(b-1):indices(b)-1);
    for x=1:2
        TipoRutaT1 = zeros(length(TipoRutaT),1);
        TipoRutaT2 = TipoRutaT1;
        valor = 1;
        for a=2:length(TipoRutaT)
            if a == length(TipoRutaT)
                if TipoRutaT(a-1) == 1
                    if (a-valor+1) >= 40
                        TipoRutaT1(valor:a) = TipoRutaT(a);
                    else
                        TipoRutaT2(valor:a) = TipoRutaT(a);
                    end
                elseif TipoRutaT(a-1) == 2
                    if (a-valor+1) >= 40
                        TipoRutaT1(valor:a) = TipoRutaT(a);
                    else
                        TipoRutaT2(valor:a) = TipoRutaT(a);
                    end
                end
            else
                if (a-valor+1) >= 90
                    TipoRutaT1(valor:a) = TipoRutaT(a);
                else
                    TipoRutaT2(valor:a) = TipoRutaT(a);
                end
            end
        end
    elseif TipoRutaT(a) ~= TipoRutaT(a-1)
        if TipoRutaT(a-1) == 1
            if (a-valor) >= 40
                TipoRutaT1(valor:a-1) = TipoRutaT(a-1);
            else
                TipoRutaT2(valor:a-1) = TipoRutaT(a-1);
            end
        elseif TipoRutaT(a-1) == 2
            if (a-valor) >= 40
                TipoRutaT1(valor:a-1) = TipoRutaT(a-1);
            else
                TipoRutaT2(valor:a-1) = TipoRutaT(a-1);
            end
        end
    else
        if (a-valor) >= 90
            TipoRutaT1(valor:a-1) = TipoRutaT(a-1);

```

```

else
    TipoRutaT2(valor:a-1) = TipoRutaT(a-1);
end
end
valor = a;
end
end
% codigo complejo
valor = 1; %% posicion del ultimo cambio
% a-valor = tamaño segmento futuro
valor2 = 0; %% tamaño del segmento del
intermedio
valor3 = 0; %% tamaño del segmento pasado
valor4 = 0; %% tamaño del segmento anterior al
pasado
% a-1 = numero del segmento futuro
dato_anterior = 0; %% numero del segmento
intermedio
dato_anteanterior = 0; % numero del segmento
pasado
dato_anteanteanterior = 0; % numero del segmento
anterior al pasado
estado = 0;
contador = 0;
for a=2:length(TipoRutaT)
    if a == length(TipoRutaT)
        estado = 0;
        if dato_anterior == 1 && valor2 < 40 &&
contador >= 2
            if TipoRutaT2(a-1) == dato_anteanterior &&
TipoRutaT2(a-1) == 2 && valor3 > 20
                TipoRutaT2((valor-valor2):(valor-1)) =
TipoRutaT2(a-1);
                estado = 1;
            elseif TipoRutaT2(a-1) == dato_anteanterior
&& TipoRutaT2(a-1) == 2 && (a - valor) > 20
                TipoRutaT2((valor-valor2):(valor-1)) =
TipoRutaT2(a-1);
                estado = 1;
            elseif TipoRutaT2(a-1) == 0 &&
TipoRutaT1(a-1) == 2
                TipoRutaT2((valor-valor2):(valor-1)) =
TipoRutaT1(a-1);
                estado = 3;
            elseif TipoRutaT2(valor-valor2-1) == 0 &&
TipoRutaT1(valor-valor2-1) == 2
                TipoRutaT2((valor-valor2):(valor-1)) =
TipoRutaT1(valor-valor2-1);
                estado = 3;
            end
            elseif dato_anterior == 2 && valor2 < 30 &&
contador >= 2
                if TipoRutaT2(a-1) == 0 && TipoRutaT1(a-1)
== 1
                    TipoRutaT2((valor-valor2):(valor-1)) =
TipoRutaT1(a-1);
                    estado = 3;
                elseif TipoRutaT2(valor-valor2-1) == 0 &&
TipoRutaT1(valor-valor2-1) == 1
                    TipoRutaT2((valor-valor2):(valor-1)) =
TipoRutaT1(valor-valor2-1);
                    estado = 3;
                end
            end
            elseif dato_anterior == 2 && valor2 < 30 &&
contador >= 2
                if TipoRutaT2(a-1) == 0 && TipoRutaT1(a-1)
== 1
                    TipoRutaT2((valor-valor2):(valor-1)) =
TipoRutaT1(a-1);
                    estado = 3;
                elseif TipoRutaT2(valor-valor2-1) == 0 &&
TipoRutaT1(valor-valor2-1) == 1
                    TipoRutaT2((valor-valor2):(valor-1)) =
TipoRutaT1(valor-valor2-1);
                    estado = 3;
                end
            end
        end
        elseif TipoRutaT2(a) ~= TipoRutaT2(a-1)
            estado = 0;

```

```

        if dato_anterior == 1 && valor2 < 40 &&
contador >= 2
            if TipoRutaT2(a-1) == dato_anteanterior &&
TipoRutaT2(a-1) == 2 && valor3 > 20
                TipoRutaT2((valor-valor2):(valor-1)) =
TipoRutaT2(a-1);
                estado = 1;
            elseif TipoRutaT2(a-1) == dato_anteanterior
&& TipoRutaT2(a-1) == 2 && (a - valor) > 20
                TipoRutaT2((valor-valor2):(valor-1)) =
TipoRutaT2(a-1);
                estado = 1;
            elseif TipoRutaT2(a-1) == 0 &&
TipoRutaT1(a-1) == 2
                TipoRutaT2((valor-valor2):(valor-1)) =
TipoRutaT1(a-1);
                estado = 3;
            elseif TipoRutaT2(valor-valor2-1) == 0 &&
TipoRutaT1(valor-valor2-1) == 2
                TipoRutaT2((valor-valor2):(valor-1)) =
TipoRutaT1(valor-valor2-1);
                estado = 3;
            end
            elseif dato_anterior == 2 && valor2 < 30 &&
contador >= 2
                if TipoRutaT2(a-1) == 0 && TipoRutaT1(a-1)
== 1
                    TipoRutaT2((valor-valor2):(valor-1)) =
TipoRutaT1(a-1);
                    estado = 3;
                elseif TipoRutaT2(valor-valor2-1) == 0 &&
TipoRutaT1(valor-valor2-1) == 1
                    TipoRutaT2((valor-valor2):(valor-1)) =
TipoRutaT1(valor-valor2-1);
                    estado = 3;
                end
            end
            if estado == 1
                valor2 = a - valor + valor3 + valor2;
                valor3 = valor4;
                dato_anteanterior = dato_anteanteanterior;
                dato_anterior = TipoRutaT2(valor-1);
                valor = a;
            end
            if estado == 0
                valor4 = valor3;
                valor3 = valor2;
                valor2 = a-valor;
                dato_anteanteanterior = dato_anteanterior;
                dato_anteanterior = dato_anterior;
                dato_anterior = TipoRutaT2(a-1);
                valor = a;
            end
            if estado == 3
                valor4 = valor3;
                valor3 = valor2;
                valor2 = a-valor;
                dato_anteanteanterior = dato_anteanterior;
                dato_anteanterior = TipoRutaT2(valor-1);
                dato_anterior = TipoRutaT2(a-1);
                valor = a;
            end
            contador = contador + 1;
        end
    end
    TipoRutaT = TipoRutaT2+TipoRutaT1;
end

```

```

TipoRutaTT2 = [TipoRutaTT2;TipoRutaT];
end
TipoRutaT = TipoRutaTT2;

%% -----Paso 3 Identificación de los valores en
ralentí-----
for vectoridl=1:lon
    if VectorVel(vectoridl)<=velidmin;
        TipoRutaTidl(vectoridl)=8;
    elseif VectorVel(vectoridl)>velidmin;
        TipoRutaTidl(vectoridl)=TipoRutaT(vectoridl);
    end
end
TipoRutaT=TipoRutaTidl';

%% -----Paso 4 Tipo de Ruta establecido en la
columna (22)-----
tripsFinal=[trips,TipoRutaT]; %Matriz BDatos con Tipo
Ruta
tripsFinalgeneral=tripsFinal;
%% -----Obtención de las posiciones para cada tipo de
Ruta-----
Urbana=find(tripsFinal(:,22)==1);
Metropolitana=find(tripsFinal(:,22)==2);
Ralenti=find(tripsFinal(:,22)==8);

%% -----Cálculos de las métricas estadísticas/Valores de
referencia-----%
%%-----Utilizar cuando se usa la base de datos de 16
vehículos-----%
%Aceleración Urbana
acelUrb = tripsFinal(Urbana,8);
acelUrbpos = find(acelUrb>apref);
acelUrbposmax = max(acelUrb(acelUrbpos));
acelUrbposprom =
mean(acelUrb(acelUrbpos),'omitnan');
acelUrbposdpos = std(acelUrb(acelUrbpos),'omitnan');

acelUrbposmed=median(acelUrb(acelUrbpos),'omitnan');
QacelUrbPos = quantile(acelUrb(acelUrbpos),[0.25 0.50
0.75]);
Q1acelUrbPos=QacelUrbPos(1,1);
Q3acelUrbPos=QacelUrbPos(1,3);
IQRacelUrbpos=QacelUrbPos(1,3)-QacelUrbPos(1,1);

%Aceleración Metropolitana
acelRur = tripsFinal(Metropolitana,8);
acelRurpos = find(acelRur>apref);
acelRurposmax = max(acelRur(acelRurpos));
acelRurposprom =
mean(acelRur(acelRurpos),'omitnan');
acelRurposdpos = std(acelRur(acelRurpos),'omitnan');

acelRurposmed=median(acelRur(acelRurpos),'omitnan');
QacelRurPos = quantile(acelRur(acelRurpos),[0.25 0.50
0.75]);
Q1acelRurPos=QacelRurPos(1,1);
Q3acelRurPos=QacelRurPos(1,3);
IQRacelRurpos=QacelRurPos(1,3)-QacelRurPos(1,1);

%Desaceleración Urbana
acelUrbneg = find(acelUrb<anref);
acelUrbnegmax = min(acelUrb(acelUrbneg));
acelUrbnegprom =
mean(acelUrb(acelUrbneg),'omitnan');
acelUrbnegdneg = std(acelUrb(acelUrbneg),'omitnan');

acelUrbnegmed=median(acelUrb(acelUrbneg),'omitnan');
QacelUrbneg = quantile(acelUrb(acelUrbneg),[0.25 0.50
0.75]);
Q1acelUrbneg=QacelUrbneg(1,1);
Q3acelUrbneg=QacelUrbneg(1,3);
IQRacelUrbneg=QacelUrbneg(1,3)-QacelUrbneg(1,1);

%Desaceleración Metropolitana
acelRurneg = find(acelRur<anref);
acelRurnegmax = min(acelRur(acelRurneg));
acelRurnegprom =
mean(acelRur(acelRurneg),'omitnan');
acelRurdsneg = std(acelRur(acelRurneg),'omitnan');

acelRurnegmed=median(acelRur(acelRurneg),'omitnan');
QacelRurneg = quantile(acelRur(acelRurneg),[0.25 0.50
0.75]);
Q1acelRurneg=QacelRurneg(1,1);
Q3acelRurneg=QacelRurneg(1,3);
IQRacelRurneg=QacelRurneg(1,3)-QacelRurneg(1,1);

%Velocidad
%Velocidad Urbana
velUrbmax = max(tripsFinal(Urbana,6));
velUrbprom = mean(tripsFinal(Urbana,6));
velUrbstd = std(tripsFinal(Urbana,6));
velUrbmed=median(tripsFinal(Urbana,6));
QvelUrb = quantile(tripsFinal(Urbana,6),[0.25 0.50
0.75]);
Q1velUrb=QvelUrb(1,1);
Q3velUrb=QvelUrb(1,3);
IQRvelUrb=QvelUrb(1,3)-QvelUrb(1,1);

%Velocidad Metropolitana
velRurmax = max(tripsFinal(Metropolitana,6));
velRurprom = mean(tripsFinal(Metropolitana,6));
velRurstd = std(tripsFinal(Metropolitana,6));
velRurmed=median(tripsFinal(Metropolitana,6));
QvelRur = quantile(tripsFinal(Metropolitana,6),[0.25 0.50
0.75]);
Q1velRur=QvelRur(1,1);
Q3velRur=QvelRur(1,3);
IQRvelRur=QvelRur(1,3)-QvelRur(1,1);

%Pedal del acelerador
%Posición del pedal del acelerador Urbana
PedalAcelUrb=tripsFinal(Urbana,17);
PedalAcelrefUrb=find(PedalAcelUrb>=PedAcelmin);
PedalAcelUrbmax =
max(PedalAcelUrb(PedalAcelrefUrb));
PedalAcelUrbprom =
mean(PedalAcelUrb(PedalAcelrefUrb),'omitnan');
PedalAcelUrbstd =
std(PedalAcelUrb(PedalAcelrefUrb),'omitnan');

PedalAcelUrbmed=median(PedalAcelUrb(PedalAcelrefU
rb),'omitnan');
QPedalAcelUrb =
quantile(PedalAcelUrb(PedalAcelrefUrb),[0.25 0.50
0.75]);
Q1PedalAcelUrb=QPedalAcelUrb(1,1);
Q3PedalAcelUrb=QPedalAcelUrb(1,3);
IQRPedalAcelUrb=QPedalAcelUrb(1,3)-
QPedalAcelUrb(1,1);

%Posición del pedal del acelerador Metropolitana

```

```

PedalAcelRur=tripsFinal(Metropolitana,17);
PedalAcelrefRur=find(PedalAcelRur>=PedAcelmin);
PedalAcelRurmax =
max(PedalAcelRur(PedalAcelrefRur));
PedalAcelRurprom =
mean(PedalAcelRur(PedalAcelrefRur),'omitnan');
PedalAcelRursd =
std(PedalAcelRur(PedalAcelrefRur),'omitnan');

PedalAcelRurmed=median(PedalAcelRur(PedalAcelrefRur),'omitnan');
QPedalAcelRur =
quantile(PedalAcelRur(PedalAcelrefRur),[0.25 0.50
0.75]);
Q1PedalAcelRur=QPedalAcelRur(1,1);
Q3PedalAcelRur=QPedalAcelRur(1,3);
IQRPedalAcelRur=QPedalAcelRur(1,3)-
QPedalAcelRur(1,1);

%Jerk absoluto Urbana
JerkAbsUrb=tripsFinal(Urbana,21);
JerkAbsUrbmax = max(JerkAbsUrb(accelUrbpos));
JerkAbsUrbprom =
mean((JerkAbsUrb(accelUrbpos)),'omitnan');
JerkAbsUrbstd = std(JerkAbsUrb(accelUrbpos),'omitnan');

JerkAbsUrbmed=median(JerkAbsUrb(accelUrbpos),'omitnan');
QJerkAbsUrb = quantile(JerkAbsUrb(accelUrbpos),[0.25
0.50 0.75]);
Q1JerkAbsUrb=QJerkAbsUrb(1,1);
Q3JerkAbsUrb=QJerkAbsUrb(1,3);
IQRJerkAbsUrb=QJerkAbsUrb(1,3)-QJerkAbsUrb(1,1);

ResJerkAbsUrb=[JerkAbsUrbmax;JerkAbsUrbprom;JerkAbsUrbstd;JerkAbsUrbmed;Q1JerkAbsUrb;Q3JerkAbsUrb;IQRJerkAbsUrb];

%Jerk absoluto Metropolitana
JerkAbsRur = tripsFinal(Metropolitana,21);
JerkAbsRurmax = max(JerkAbsRur(accelRurpos));
JerkAbsRurprom =
mean(JerkAbsRur(accelRurpos),'omitnan');
JerkAbsRursd = std(JerkAbsRur(accelRurpos),'omitnan');

JerkAbsRurmed=median((JerkAbsRur(accelRurpos)),'omitnan');
QJerkAbsRur = quantile(JerkAbsRur(accelRurpos),[0.25
0.50 0.75]);
Q1JerkAbsRur=QJerkAbsRur(1,1);
Q3JerkAbsRur=QJerkAbsRur(1,3);
IQRJerkAbsRur=QJerkAbsRur(1,3)-QJerkAbsRur(1,1);

ResJerkAbsRur=[JerkAbsRurmax;JerkAbsRurprom;JerkAbsRursd;JerkAbsRurmed;Q1JerkAbsRur;Q3JerkAbsRur;IQRJerkAbsRur];

%% -----Métricas estadísticas Resultantes-----
-----

ResultEstadUrb=[accelUrbposmax,accelUrbnegmax,velUrbmax,PedalAcelUrbmax;

accelUrbposmed,accelUrbnegmed,velUrbmed,PedalAcelUrbmed;

Q1accelUrbPos,Q1accelUrbneg,Q1velUrb,Q1PedalAcelUrb;

Q3accelUrbPos,Q3accelUrbneg,Q3velUrb,Q3PedalAcelUrb;

IQRaccelUrbpos,IQRaccelUrbneg,IQRvelUrb,IQRPedalAcelUrb];
ResultEstadUrb=[ResultEstadUrb,ResJerkAbsUrb];

ResultEstadRur=[accelRurposmax,accelRurnegmax,velRurmax,PedalAcelRurmax;

accelRurposprom,accelRurnegprom,velRurprom,PedalAcelRurprom;

accelRursdpos,accelRursdneg,velRursd,PedalAcelRursd;

accelRurposmed,accelRurnegmed,velRurmed,PedalAcelRurmed;

Q1accelRurPos,Q1accelRurneg,Q1velRur,Q1PedalAcelRur;

Q3accelRurPos,Q3accelRurneg,Q3velRur,Q3PedalAcelRur;

IQRaccelRurpos,IQRaccelRurneg,IQRvelRur,IQRPedalAcelRur];
ResultEstadRur=[ResultEstadRur,ResJerkAbsRur];

ResultadosEst=[ResultEstadUrb;ResultEstadRur];
ResultadosEst(isnan(ResultadosEst))=0

%% -----Selección del Conductor a clasificar-----
--
%-----Clasificar una base de datos de algún vehículo en especial-----
VectorVehiculo=tripsFinal(:,3);
%PosicionVeh1=find(VectorVehiculo==1);
%PosicionVeh2=find(VectorVehiculo==2);
%PosicionVeh3=find(VectorVehiculo==3);
%PosicionVeh4=find(VectorVehiculo==4);
%PosicionVeh5=find(VectorVehiculo==5);
%PosicionVeh6=find(VectorVehiculo==6);
%PosicionVeh7=find(VectorVehiculo==7);
%PosicionVeh8=find(VectorVehiculo==8);
%PosicionVeh9=find(VectorVehiculo==9);
%PosicionVeh10=find(VectorVehiculo==10);
%PosicionVeh11=find(VectorVehiculo==11);
%PosicionVeh12=find(VectorVehiculo==12);
%PosicionVeh13=find(VectorVehiculo==13);
%PosicionVeh14=find(VectorVehiculo==14);
%PosicionVeh15=find(VectorVehiculo==15);
%PosicionVeh16=find(VectorVehiculo==16);
%TipoRutaT=tripsFinal(PosicionVeh16,22);
%tripsFinal=tripsFinal(PosicionVeh16,:);

```

```

%% -----Clasificar la base de datos total-----
TripsFinal=tripsFinal;
TipoRutaT=TipoRutaT;

%% -----Tipo de ruta estratificada para el viaje-----
Urbanaviaje=find(tripsFinal(:,22)==1);
Metropolitanaviaje=find(tripsFinal(:,22)==2);
Ralentiviaje=find(tripsFinal(:,22)==8);
%% -----Método por Aceleración-----
%%
%-----Paso 1 identifica los DS por el Método de la
aceleración-----%
contUrb=0;
contRur=0;
contUrbind=0;
contRurind=0;
contUrbT=0;
contUrbN=0;
contUrbA=0;
contRurT=0;
contRurN=0;
contRurA=0;
conNoMovilTotal=0;

for ds=1:length(tripsFinal)
    if TipoRutaT(ds)==1 && tripsFinal(ds,8)>=aref;
        contUrb=contUrb+1;
        if tripsFinal(ds,8)<=Q1acelUrbPos;
            DS(ds)=1;
            contUrbT=contUrbT+1;
        elseif tripsFinal(ds,8)>=Q3acelUrbPos;
            DS(ds)=3;
            contUrbA=contUrbA+1;
        elseif tripsFinal(ds,8)<Q3acelUrbPos &&
tripsFinal(ds,8)>Q1acelUrbPos;
            DS(ds)=2;
            contUrbN=contUrbN+1;
        end
    end

    if TipoRutaT(ds)==2 && tripsFinal(ds,8)>=aref;
        contRur=contRur+1;
        if tripsFinal(ds,8)<=Q1acelRurPos;
            DS(ds)=1;
            contRurT=contRurT+1;
        elseif tripsFinal(ds,8)>=Q3acelRurPos;
            DS(ds)=3;
            contRurA=contRurA+1;
        elseif tripsFinal(ds,8)<Q3acelRurPos &&
tripsFinal(ds,8)>Q1acelRurPos;
            DS(ds)=2;
            contRurN=contRurN+1;
        end
    end

    if TipoRutaT(ds)==1 && tripsFinal(ds,8)<aref;
        contUrbind=contUrbind+1;
        DS(ds)=9;
    end

    if TipoRutaT(ds)==2 && tripsFinal(ds,8)<aref;
        DS(ds)=9;
        contRurind=contRurind+1;
    end

    if TipoRutaT(ds)==8;
        DS(ds)=8;
        conNoMovilTotal=conNoMovilTotal+1;
    end
end

DS=DS';           %Vector con los eventos clasificados
de DS
TripsDS=[tripsFinal,DS]; %Vector DS concatenado con
la base principal

%% -----Conteo de los eventos de los DS por método
de la acel-----%
conTraTotal=0;
conNorTotal=0;
conAgrTotal=0;
conIndTotal=0;
for mm=1:length(tripsFinal)
    if TripsDS(mm,23)==1;
        conTraTotal=conTraTotal+1;

        elseif TripsDS(mm,23)==2;
            conNorTotal=conNorTotal+1;

        elseif TripsDS(mm,23)==3;
            conAgrTotal=conAgrTotal+1;

        elseif TripsDS(mm,23)==9;
            conIndTotal=conIndTotal+1;
        end
    end

%% -----Resultados clasificación de estilos de
conducción Met Acel-----

%Total de datos
TotalDatos=conTraTotal+conNorTotal+conAgrTotal+con
NoMovilTotal+conIndTotal;
%Total de datos sin indefinidos, ni movil
TotalDatosNoInd=conTraTotal+conNorTotal+conAgrTota
l;
%Total datos sin movil
TotalDatos3=conTraTotal+conNorTotal+conAgrTotal+co
nIndTotal;

%-----Resultados teniendo en cuenta los datos
indefinidos y no móvil-----

%-----Porcentaje de estilo de conducción tranquilo/tipo
ruta-----%
%Tranquilo Urbano
PorcTUrb2=(contUrbT*100)/(TotalDatos);
%Tranquilo Rural
PorcTRur2=(contRurT*100)/(TotalDatos);

%-----Porcentaje de estilo de conducción Normal/tipo
ruta-----%
% Normal Urbano
PorcNUrb2=(contUrbN*100)/(TotalDatos);
%Normal Rural
PorcNRur2=(contRurN*100)/(TotalDatos);

%-----Porcentaje de estilo de conducción agresivo/tipo
ruta-----%
% Agresivo Urbano
PorcAUrb2=(contUrbA*100)/(TotalDatos);
%Agresivo Rural
PorcARur2=(contRurA*100)/(TotalDatos);

```

```

%-----Porcentaje indefinido/ Tipo ruta-----
-----%
%Porcentaje indefinido Urbano
PorcUrbInd=contUrbInd*100/TotalDatos;
%Porcentaje indefinido Rural
PorcRurInd=contRurInd*100/TotalDatos;

%-----Porcentaje total de eventos(DS, No movil,
Indefinidos)-----%
%DS Tranquilo total viaje
PorcTT=(conTraTotal*100)/(TotalDatos);
%DS Normal total viaje
PorcNT=(conNorTotal*100)/(TotalDatos);
%DS agresivo total viaje
PorcAT=(conAgrTotal*100)/(TotalDatos);
%DS indefinido vehiculo no movimiento total viaje
PorcNoMovilT=(conNoMovilTotal*100)/TotalDatos;
%Ds indefinido aceleracion negativa total viaje
PorcIndT=(conIndTotal*100)/TotalDatos;

%-----Resultados sin tener en cuenta los datos
indefinidos y no móvil-----
%-----Porcentaje de estilo de conducción tranquilo/tipo
ruta (NIND)-----%
PorcUrbTranquilo=(contUrbT*100)/TotalDatosNoInd;
PorcRurTranquilo=(contRurT*100)/TotalDatosNoInd;

%-----Porcentaje de estilo de conducción Normal/tipo
ruta (NIND)-----%
PorcUrbNormal=(contUrbN*100)/TotalDatosNoInd;
PorcRurNormal=(contRurN*100)/TotalDatosNoInd;

%-----Porcentaje de estilo de conducción Agresivo/tipo
ruta (NIND)-----%
PorcUrbAgresivo=(contUrbA*100)/TotalDatosNoInd;
PorcRurAgresivo=(contRurA*100)/TotalDatosNoInd;

%-----Porcentaje total de eventos(DS, Sin
indefinidos)-----%
%DS Tranquilo total viaje
PorcTTNoInd=(conTraTotal*100)/(TotalDatosNoInd);
%DS Normal total viaje
PorcNTNoInd=(conNorTotal*100)/(TotalDatosNoInd);
%DS agresivo total viaje
PorcATNoInd=(conAgrTotal*100)/(TotalDatosNoInd);

%% -----Tabla de resultados DS Método de la
Aceleración-----
%---TABLA 1 CLASIFICACIÓN DE EVENTOS/TIPO DE
RUTA (CON DS INDEFINIDOS)---%

DSDCTotal1=[PorcTUrb2, PorcNUrb2, PorcAUrb2, PorcUrbInd;
PorcTRur2, PorcNRur2, PorcARur2, PorcRurInd];
DSDCTotal1(isnan(DSDCTotal1))=0

%-----TABLA 2 TOTAL DE EVENTOS CON
INDEFINIDOS-----%
DSDCTotal2=[PorcTT; PorcNT; PorcAT; PorcNoMovilT; PorcIndT];
DSDCTotal2(isnan(DSDCTotal2))=0

%--TABLA 3 CLASIFICACIÓN DE EVENTOS/TIPO DE
RUTA (SIN DS INDEFINIDOS)----%
DSDCTotal3=[PorcUrbTranquilo, PorcUrbNormal, PorcUrbAgresivo;

```

```

PorcRurTranquilo, PorcRurNormal, PorcRurAgresivo];
DSDCTotal3(isnan(DSDCTotal3))=0

%-----TABLA 4 TOTAL DE EVENTOS SIN
INDEFINIDOS-----%
DSTotal4=[PorcTTNoInd; PorcNTNoInd; PorcATNoInd];
DSTotal4(isnan(DSTotal4))=0

%% -----Método del Jerk-----
-----%
contUrbJ=0;
contRurJ=0;
contUrbIndJ=0;
contRurIndJ=0;
contUrbTJ=0;
contUrbNJ=0;
contUrbAJ=0;
contRurTJ=0;
contRurNJ=0;
contRurAJ=0;
conNoMovilTotalJ=0;
for dsj=1:length(tripsFinal)
    if TipoRutaT(dsj)==1 && tripsFinal(dsj,8)>=aref;
        contUrbJ=contUrbJ+1;
        if tripsFinal(dsj,21)<=Q1JerkAbsUrb;
            DSJerk(dsj)=1;
            contUrbTJ=contUrbTJ+1;
        elseif tripsFinal(dsj,21)>=Q3JerkAbsUrb;
            DSJerk(dsj)=3;
            contUrbAJ=contUrbAJ+1;
        elseif tripsFinal(dsj,21)<Q3JerkAbsUrb &&
tripsFinal(dsj,21)>Q1JerkAbsUrb;
            DSJerk(dsj)=2;
            contUrbNJ=contUrbNJ+1;
        end
    end

    if TipoRutaT(dsj)==2 && tripsFinal(dsj,8)>=aref;
        contRurJ=contRurJ+1;
        if tripsFinal(dsj,21)<=Q1JerkAbsRur;
            DSJerk(dsj)=1;
            contRurTJ=contRurTJ+1;
        elseif tripsFinal(dsj,21)>=Q3JerkAbsRur;
            DSJerk(dsj)=3;
            contRurAJ=contRurAJ+1;
        elseif tripsFinal(dsj,21)<Q3JerkAbsRur &&
tripsFinal(dsj,21)>Q1JerkAbsRur;
            DSJerk(dsj)=2;
            contRurNJ=contRurNJ+1;
        end
    end

    if TipoRutaT(dsj)==1 && tripsFinal(dsj,8)<aref;
        contUrbIndJ=contUrbIndJ+1;
        DSJerk(dsj)=9;
    end
    if TipoRutaT(dsj)==2 && tripsFinal(dsj,8)<aref;
        DSJerk(dsj)=9;
        contRurIndJ=contRurIndJ+1;
    end
    if TipoRutaT(dsj)==8;
        DSJerk(dsj)=8;
        conNoMovilTotalJ=conNoMovilTotalJ+1;
    end
end
DSJerk=DSJerk';

```

```

TripsDSJerk=[tripsFinal,DSJerk];

%% -----Cuento de los eventos de los DS por método
del Jerk abs-----%
conTraTotalJ=0;
conNorTotalJ=0;
conAgrTotalJ=0;
conIndTotalJ=0;
for mmj=1:length(tripsFinal)
    if TripsDSJerk(mmj,23)==1;
        conTraTotalJ=conTraTotalJ+1;

        elseif TripsDSJerk(mmj,23)==2;
            conNorTotalJ=conNorTotalJ+1;

        elseif TripsDSJerk(mmj,23)==3;
            conAgrTotalJ=conAgrTotalJ+1;

        elseif TripsDSJerk(mmj,23)==9;
            conIndTotalJ=conIndTotalJ+1;
    end
end

%% -----Resultados clasificación de estilos de
conducción Met Jerk Abs-----

%Total de datos
TotalDatosJ=conTraTotalJ+conNorTotalJ+conAgrTotalJ+
conNoMovilTotalJ+conIndTotalJ;
%Total de datos sin indefinidos
TotalDatosNoIndJ=conTraTotalJ+conNorTotalJ+conAgrT
otalJ;
%Total datos sin movil
TotalDatos3J=conTraTotalJ+conNorTotalJ+conAgrTotalJ
+conIndTotalJ;

%-----Porcentaje de estilo de conducción tranquilo/tipo
ruta-----%
%Tranquilo Urbano
PorcTUrb2J=(contUrbTJ*100)/(TotalDatosJ);
%Tranquilo Rural
PorcTRur2J=(contRurTJ*100)/(TotalDatosJ);

%-----Porcentaje de estilo de conducción Normal/tipo
ruta-----%
% Normal Urbano
PorcNUrb2J=(contUrbNJ*100)/(TotalDatosJ);
%Normal Rural
PorcNRur2J=(contRurNJ*100)/(TotalDatosJ);

%-----Porcentaje de estilo de conducción agresivo/tipo
ruta-----%
% Agresivo Urbano
PorcAUrb2J=(contUrbAJ*100)/(TotalDatosJ);
%Agresivo Rural
PorcARur2J=(contRurAJ*100)/(TotalDatosJ);

%-----Porcentaje indefinido/ Tipo ruta-----
-----%
%Porcentaje indefinido Urbano
PorcUrbInd2J=contUrbIndJ*100/TotalDatosJ;
%Porcentaje indefinido Rural
PorcRurInd2J=contRurIndJ*100/TotalDatosJ;

%-----Porcentaje total de eventos(DS, No movil,
Indefinidos)-----%
%DS Tranquilo total viaje
PorcTTJ=(conTraTotalJ*100)/(TotalDatosJ);
%DS Normal total viaje
PorcNTJ=(conNorTotalJ*100)/(TotalDatosJ);
%DS agresivo total viaje
PorcATJ=(conAgrTotalJ*100)/(TotalDatosJ);
%DS indefinido vehiculo no movimiento total viaje
PorcNoMovilTJ=(conNoMovilTotalJ*100)/TotalDatosJ;
%Ds indefinido aceleracion negativa total viaje
PorcIndTJ=(conIndTotalJ*100)/TotalDatosJ;

%-----Resultados DS sin valores indefinidos, no
moviles-----
%-----Porcentaje de estilo de conducción tranquilo/tipo
ruta (NIND)-----%
PorcUrbTranquiloJ=(contUrbTJ*100)/TotalDatosNoIndJ;
PorcRurTranquiloJ=(contRurTJ*100)/TotalDatosNoIndJ;

%-----Porcentaje de estilo de conducción Normal/tipo
ruta (NIND)-----%
PorcUrbNormalJ=(contUrbNJ*100)/TotalDatosNoIndJ;
PorcRurNormalJ=(contRurNJ*100)/TotalDatosNoIndJ;

%-----Porcentaje de estilo de conducción Agresivo/tipo
ruta (NIND)-----%
PorcUrbAgresivoJ=(contUrbAJ*100)/TotalDatosNoIndJ;
PorcRurAgresivoJ=(contRurAJ*100)/TotalDatosNoIndJ;

%-----Porcentaje total de eventos(DS, Sin
indefinidos)-----%
%DS Tranquilo total viaje
PorcTTNoIndJ=(conTraTotalJ*100)/(TotalDatosNoIndJ);
%DS Normal total viaje
PorcNTNoIndJ=(conNorTotalJ*100)/(TotalDatosNoIndJ);
%DS agresivo total viaje
PorcATNoIndJ=(conAgrTotalJ*100)/(TotalDatosNoIndJ);

%% -----Tabla de resultados DS Método del Jerk
Abs-----

%---TABLA 1 CLASIFICACIÓN DE EVENTOS/TIPO DE
RUTA (CON DS INDEFINIDOS)---%

DSDCTotal1J=[PorcTUrb2J,PorcNUrb2J,PorcAUrb2J,Po
rcUrbInd2J;
    PorcTRur2J,PorcNRur2J,PorcARur2J,PorcRurInd2J];
DSDCTotal1J(isnan(DSDCTotal1J))=0

%-----TABLA 2 TOTAL DE EVENTOS CON
INDEFINIDOS-----%
DSDCTotal2J=[PorcTTJ;PorcNTJ;PorcATJ;PorcNoMovil
TJ;PorcIndTJ];
DSDCTotal2J(isnan(DSDCTotal2J))=0

%--TABLA 3 CLASIFICACIÓN DE EVENTOS/TIPO DE
RUTA (SIN DS INDEFINIDOS)---%
DSDCTotal3J=[PorcUrbTranquiloJ,PorcUrbNormalJ,Porc
UrbAgresivoJ;

    PorcRurTranquiloJ,PorcRurNormalJ,PorcRurAgresivoJ];
DSDCTotal3J(isnan(DSDCTotal3J))=0

%-----TABLA 4 TOTAL DE EVENTOS SIN
INDEFINIDOS-----%
DSTotal4J=[PorcTTNoIndJ;PorcNTNoIndJ;PorcATNoInd
J];
DSTotal4J(isnan(DSTotal4J))=0

```

```

%% ----Base de Datos final con la clasificación de DS
Met Accl y Met Jerk--
TripsComp=[TripsDS,DSJerk];

%% -----Análisis del consumo específico de
combustible Real(SFC)-----
%-----Método aceleración-----
-----%
SumFuelUrbTran=0;
SumDistUrbTran=0;
SumFuelUrbNorm=0;
SumDistUrbNorm=0;
SumFuelUrbAgres=0;
SumDistUrbAgres=0;
SumFuelRurTran=0;
SumDistRurTran=0;
SumFuelRurNorm=0;
SumDistRurNorm=0;
SumFuelRurAgres=0;
SumDistRurAgres=0;

for sfc=1:length(tripsFinal)
    if TipoRutaT(sfc)==1
        if TripsDS(sfc,23)==1;

SumFuelUrbTran=SumFuelUrbTran+TripsDS(sfc,13);
    SumDistUrbTran=SumDistUrbTran+TripsDS(sfc,9);
        elseif TripsDS(sfc,23)==2;

SumFuelUrbNorm=SumFuelUrbNorm+TripsDS(sfc,13);

SumDistUrbNorm=SumDistUrbNorm+TripsDS(sfc,9);
        elseif TripsDS(sfc,23)==3;

SumFuelUrbAgres=SumFuelUrbAgres+TripsDS(sfc,13);

SumDistUrbAgres=SumDistUrbAgres+TripsDS(sfc,9);
        end
    end
    if TipoRutaT(sfc)==2
        if TripsDS(sfc,23)==1;

SumFuelRurTran=SumFuelRurTran+TripsDS(sfc,13);
    SumDistRurTran=SumDistRurTran+TripsDS(sfc,9);
        elseif TripsDS(sfc,23)==2;

SumFuelRurNorm=SumFuelRurNorm+TripsDS(sfc,13);

SumDistRurNorm=SumDistRurNorm+TripsDS(sfc,9);
        elseif TripsDS(sfc,23)==3;

SumFuelRurAgres=SumFuelRurAgres+TripsDS(sfc,13);

SumDistRurAgres=SumDistRurAgres+TripsDS(sfc,9);
        end
    end
end

PromSFCUrbTran=100*((SumFuelUrbTran)/(SumDistUrb
Tran));
PromSFCUrbNorm=100*((SumFuelUrbNorm)/(SumDistU
rbNorm));
PromSFCUrbAgres=100*((SumFuelUrbAgres)/(SumDist
UrbAgres));

PromSFCRurTran=100*((SumFuelRurTran)/(SumDistRur
Tran));

PromSFCRurNorm=100*((SumFuelRurNorm)/(SumDistR
urNorm));
PromSFCRurAgres=100*((SumFuelRurAgres)/(SumDist
RurAgres));

PromTotal=[PromSFCUrbTran,PromSFCUrbNorm,Prom
SFCUrbAgres;

PromSFCRurTran,PromSFCRurNorm,PromSFCRurAgre
s]

%-----Análisis del método de Jerk-----
-----%
SumFuelUrbTranJ=0;
SumDistUrbTranJ=0;
SumFuelUrbNormJ=0;
SumDistUrbNormJ=0;
SumFuelUrbAgresJ=0;
SumDistUrbAgresJ=0;

SumFuelRurTranJ=0;
SumDistRurTranJ=0;
SumFuelRurNormJ=0;
SumDistRurNormJ=0;
SumFuelRurAgresJ=0;
SumDistRurAgresJ=0;

for sfcj=1:length(tripsFinal)
    if TipoRutaT(sfcj)==1
        if TripsDSJerk(sfcj,23)==1;

SumFuelUrbTranJ=SumFuelUrbTranJ+TripsDSJerk(sfcj,
13);

SumDistUrbTranJ=SumDistUrbTranJ+TripsDSJerk(sfcj,9
);
        elseif TripsDSJerk(sfcj,23)==2;

SumFuelUrbNormJ=SumFuelUrbNormJ+TripsDSJerk(sf
cj,13);

SumDistUrbNormJ=SumDistUrbNormJ+TripsDSJerk(sfcj
,9);
        elseif TripsDSJerk(sfcj,23)==3;

SumFuelUrbAgresJ=SumFuelUrbAgresJ+TripsDSJerk(sf
cj,13);

SumDistUrbAgresJ=SumDistUrbAgresJ+TripsDSJerk(sfc
j,9);
        end
    end
    if TipoRutaT(sfcj)==2
        if TripsDSJerk(sfcj,23)==1;

SumFuelRurTranJ=SumFuelRurTranJ+TripsDSJerk(sfcj,
13);

SumDistRurTranJ=SumDistRurTranJ+TripsDSJerk(sfcj,9
);
        elseif TripsDSJerk(sfcj,23)==2;

SumFuelRurNormJ=SumFuelRurNormJ+TripsDSJerk(sf
cj,13);

SumDistRurNormJ=SumDistRurNormJ+TripsDSJerk(sfcj
,9);

```

```

elseif TripsDSJerk(sfcj,23)==3;

SumFuelRurAgresJ=SumFuelRurAgresJ+TripsDSJerk(sfcj,13);

SumDistRurAgresJ=SumDistRurAgresJ+TripsDSJerk(sfcj,9);
end
end
end

PromSFCUrbTranJ=100*((SumFuelUrbTranJ)/(SumDistUrbTranJ));
PromSFCUrbNormJ=100*((SumFuelUrbNormJ)/(SumDistUrbNormJ));
PromSFCUrbAgresJ=100*((SumFuelUrbAgresJ)/(SumDistUrbAgresJ));

PromSFCRurTranJ=100*((SumFuelRurTranJ)/(SumDistRurTranJ));
PromSFCRurNormJ=100*((SumFuelRurNormJ)/(SumDistRurNormJ));
PromSFCRurAgresJ=100*((SumFuelRurAgresJ)/(SumDistRurAgresJ));

PromTotalJ=[PromSFCUrbTranJ,PromSFCUrbNormJ,PromSFCUrbAgresJ;

PromSFCRurTranJ,PromSFCRurNormJ,PromSFCRurAgresJ]

%% ---Diferencias entre DS por Tipo de Ruta y Consumo SFC Real medido---
%-----Diferencias por el Método de aceleración-----
SigPorc='%';
DiffUrbT=round(100*((PromSFCUrbTran-PromSFCUrbNorm)/PromSFCUrbNorm),1)
DiffUrbA=round(100*((PromSFCUrbAgres-PromSFCUrbNorm)/PromSFCUrbNorm),1)
DiffRurT=round(100*((PromSFCRurTran-PromSFCRurNorm)/PromSFCRurNorm),1)
DiffRurA=round(100*((PromSFCRurAgres-PromSFCRurNorm)/PromSFCRurNorm),1)

%-----Diferencias por el Método Jerk Absoluto-----
DiffUrbTJ=round(100*((PromSFCUrbTranJ-PromSFCUrbNormJ)/PromSFCUrbNormJ),1)
DiffUrbAJ=round(100*((PromSFCUrbAgresJ-PromSFCUrbNormJ)/PromSFCUrbNormJ),1)
DiffRurTJ=round(100*((PromSFCRurTranJ-PromSFCRurNormJ)/PromSFCRurNormJ),1)
DiffRurAJ=round(100*((PromSFCRurAgresJ-PromSFCRurNormJ)/PromSFCRurNormJ),1)

%% ----Cálculo del consumo promedio SFC por Tipo de Ruta-----
ConsumoUrbana=sum(tripsFinal(Urbanaviaje,13));
DistanciaUrbana=sum(tripsFinal(Urbanaviaje,9));
promedioSFCUrbTotal=100*(ConsumoUrbana/DistanciaUrbana);

ConsumoRural=sum(tripsFinal(Metropolitanaviaje,13));
DistanciaRural=sum(tripsFinal(Metropolitanaviaje,9));
promedioSFCRurTotal=100*(ConsumoRural/DistanciaRural);

```

```

PromedioTotalSFC=[promedioSFCUrbTotal,promedioSFCRurTotal]

```

```

%% -----Gráficas o figuras con los resultados-----

```

```

% -----Resultados de la clasificación del DS Método Aceleración-----%
figure(1)
subplot(2,2,1)
fig21=bar(DSDCTotal3,'stacked'),title('Clasificación de estilos de conducción/ Tipo de carretera','FontSize',12,'FontName','Times New Roman');
fig21(1).FaceColor=[.39 .83 .07];
fig21(2).FaceColor=[0 .45 .74];
fig21(3).FaceColor=[1 0 0];
xlabel('Estratificación','FontName','Times New Roman','FontSize',12)
xticklabels({'Urbana','Metropolitana','FontSize',10,'FontName','Times New Roman'})
ylabel('Frecuencia por segmentación [%]','FontName','Times New Roman','FontSize',12)
ylim([0 100])
legend({'Tranquilo','Normal','Agresivo'],'FontSize',8)
grid on

subplot(2,2,2)
fig22=bar(DSDCTotal3),title('Clasificación de estilos de conducción/ Tipo de carretera','FontSize',12,'FontName','Times New Roman');
fig22(1).FaceColor=[.39 .83 .07];
fig22(2).FaceColor=[0 .45 .74];
fig22(3).FaceColor=[1 0 0];
xlabel('Estratificación','FontName','Times New Roman','FontSize',12)
xticklabels({'Urbana','Metropolitana','FontSize',10,'FontName','Times New Roman'})
ylabel('Frecuencia Por segmentación[%]','FontName','Times New Roman','FontSize',12)
ylim([0 100])
grid on

subplot(2,2,3)
explode=[1 1 1]
fig24=pie(DSTotal4,explode),title('Clasificación de estilos de conducción en general','FontSize',12,'FontName','Times New Roman');
fig24(1).FaceColor=[.39 .83 .07];
fig24(3).FaceColor=[0 .45 .74];
fig24(5).FaceColor=[1 0 0];

%% -----Figura con las diferentes variables-----
%
Temporizador=[];
for at=1:length(tripsFinal)
Temporizador(at)=at;
end
figure(2)
subplot(4,1,1)
plot(Temporizador(tinicial:tfinal),TripsDS((tinicial:tfinal),6),'Color',[0 0 0],'LineWidth',0.1)
ylabel('Vel[km/h]','FontName','Times New Roman','FontSize',10)
grid on

subplot(4,1,2)

```

```

plot(Temporizador(tinicial:tfinal),TripsDS((tinicial:tfinal),1
3),'Color',[0 0 0],'LineWidth',0.1)
ylabel('Acel[m/s^2]','FontName','Times New
Roman','FontSize',10)
grid on

subplot(4,1,3)
plot(Temporizador(tinicial:tfinal),TripsDS((tinicial:tfinal),2
0),'Color',[0 0 0],'LineWidth',0.1)
ylabel('Jerk[m/s^3]','FontName','Times New
Roman','FontSize',10)
grid on

subplot(4,1,4)
plot(Temporizador(tinicial:tfinal),TripsDS((tinicial:tfinal),1
7),'Color',[0 0 0],'LineWidth',0.1)
ylabel('Pedal Acel[%]','FontName','Times New
Roman','FontSize',10)
grid on

%% -----Figura con sombreado Tipo De
carretera-----%
figure(3)
x2=[];
v1=[];
v2=[];
v4=[];
subplot(2,1,1)
for gv1=tinicial:tfinal
    x2(gv1)=gv1;
    if TripsDS(gv1,22)==1;
        v1(gv1)=TripsDS(gv1,6);
        v2(gv1)=0;
        v4(gv1)=0;

        elseif TripsDS(gv1,22)==2;
            v2(gv1)=TripsDS(gv1,6);
            v1(gv1)=0;
            v4(gv1)=0;

            elseif TripsDS(gv1,22)==8;
                v4(gv1)=TripsDS(gv1,6);
                v1(gv1)=0;
                v2(gv1)=0;

                fill(x2,v1,'g',x2,v2,'b')
            end
            legend({'Urbana','Metropolitana'},'FontSize',5)
        end
    grid on
    subplot(2,1,2)
    plot(Temporizador(tinicial:tfinal),TripsDS((tinicial:tfinal),8)
    , 'Color',[0 0 0],'LineWidth',0.1)
    ylabel('Acel[m/s^2]','FontName','Times New
    Roman','FontSize',10)
    grid on

    %% -----Figura con sombreado clasificación DS
    Método Acel-----%
    figure(4)
    x1=[];
    y1=[];
    y2=[];
    y3=[];
    y4=[];
    y5=[];

    for gr1=tinicial:tfinal
        x1(gr1)=gr1;
        if TripsDS(gr1,23)==1;
            y1(gr1)=TripsDS(gr1,6);
            y2(gr1)=0;
            y3(gr1)=0;
            y4(gr1)=0;
            y5(gr1)=0;

            elseif TripsDS(gr1,23)==2;
                y2(gr1)=TripsDS(gr1,6);
                y1(gr1)=0;
                y3(gr1)=0;
                y4(gr1)=0;
                y5(gr1)=0;

            elseif TripsDS(gr1,23)==3;
                y3(gr1)=TripsDS(gr1,6);
                y2(gr1)=0;
                y1(gr1)=0;
                y4(gr1)=0;
                y5(gr1)=0;

            elseif TripsDS(gr1,23)==8;
                y4(gr1)=TripsDS(gr1,6);
                y1(gr1)=0;
                y3(gr1)=0;
                y2(gr1)=0;
                y5(gr1)=0;

            elseif TripsDS(gr1,23)==9;
                y5(gr1)=TripsDS(gr1,6);
                y2(gr1)=0;
                y1(gr1)=0;
                y4(gr1)=0;
                y3(gr1)=0;
            end
            grid on
            fill(x1,y1,'g',x1,y2,'b',x1,y3,'r',x1,y5,['.8 .8 .8])

        legend({'Tranquilo','Normal','Agresivo','indefinido'},'Fontsi
        ze',5)
        end

        %% -----Resultados clasificación DS Método Jerk
        Abs-----%
        figure(5)
        title('Clasificación de estilos de
        conducción','FontName','Times New Roman')
        subplot(2,2,1)
        fig31=bar(DSDCTotal3J,'stacked'),title('Clasificación de
        estilos de conducción/ Tipo de
        carretera','FontSize',12,'FontName','Times New Roman');
        fig31(1).FaceColor=[.39 .83 .07];
        fig31(2).FaceColor=[0 .45 .74];
        fig31(3).FaceColor=[1 0 0];
        xlabel('Estratificación','FontName','Times New
        Roman','FontSize',12)
        xticklabels({'Urbana','Metropolitana','FontSize',10,'FontNa
        me','Times New Roman'})
        ylabel('Frecuencia por segmentación
        [%]','FontName','Times New Roman','FontSize',12)
        ylim([0 100])
        legend({'Tranquilo','Normal','Agresivo'},'FontSize',8)
        grid on

        subplot(2,2,2)

```

```

fig32=bar(DSDCTotal3J),title('Clasificación de estilos de
conducción/ Tipo de
carretera','FontSize',12,'FontName','Times New Roman');
fig32(1).FaceColor=[.39 .83 .07];
fig32(2).FaceColor=[0 .45 .74];
fig32(3).FaceColor=[1 0 0];
xlabel('Estratificación','FontName','Times New
Roman','FontSize',12)
xticklabels({'Urbana','Metropolitana','FontSize',10,'FontNa
me','Times New Roman'})
ylabel('Frecuencia por
segmentación[%]','FontName','Times New
Roman','FontSize',12)
ylim([0 100])
grid on

```

```

subplot(2,2,3)
explode=[1 1 1]
fig34=pie(DSTotal4J,explode),title('Clasificación de
estilos de conducción en
general','FontSize',12,'FontName','Times New Roman');
fig34(1).FaceColor=[.39 .83 .07];
fig34(3).FaceColor=[0 .45 .74];
fig34(5).FaceColor=[1 0 0];

```

```

%% -----Figura sombreado Clasificación DS Método
del Jerk Abs-----

```

```

figure(6)
xj1=[];
yj1=[];
yj2=[];
yj3=[];
yj4=[];
yj5=[];

```

```

for grj1=1:9
    xj1(grj1)=grj1;
    if TripsDSJerk(grj1,23)==1;
        yj1(grj1)=TripsDSJerk(grj1,6);
        yj2(grj1)=0;
        yj3(grj1)=0;
        yj4(grj1)=0;
        yj5(grj1)=0;

    elseif TripsDSJerk(grj1,23)==2;
        yj2(grj1)=TripsDSJerk(grj1,6);
        yj1(grj1)=0;
        yj3(grj1)=0;
        yj4(grj1)=0;
        yj5(grj1)=0;

    elseif TripsDSJerk(grj1,23)==3;
        yj3(grj1)=TripsDSJerk(grj1,6);
        yj2(grj1)=0;
        yj1(grj1)=0;
        yj4(grj1)=0;
        yj5(grj1)=0;

    elseif TripsDSJerk(grj1,23)==8;
        yj4(grj1)=TripsDSJerk(grj1,6);
        yj1(grj1)=0;
        yj3(grj1)=0;
        yj2(grj1)=0;
        yj5(grj1)=0;

    elseif TripsDSJerk(grj1,23)==9;

```

```

        yj5(grj1)=TripsDSJerk(grj1,6);
        yj2(grj1)=0;
        yj1(grj1)=0;
        yj4(grj1)=0;
        yj3(grj1)=0;
    end
    grid on
    fill(xj1,yj1,'g',xj1,yj2,'b',xj1,yj3,'r',xj1,yj5,[.8 .8 .8])

```

```

legend({'Tranquilo','Normal','Agresivo','indefinido'),'Fontsi
ze',5)
end

```

```

%% -----Diagrama Caja/Bigotes base general
inicial-----

```

```

%Aceleracion
AceleracionUrbana=(acelUrb(acelUrbpos));
AceleracionRural=(acelRur(acelRurpos));
VectorAceleracion=[AceleracionUrbana;AceleracionRura
l];
longacel1=numel(AceleracionUrbana);
longacel2=numel(AceleracionRural);
gacel1= repmat({'Urbana'},longacel1,1);
gacel2= repmat({'Metropolitana'},longacel2,1);
gapos=[gacel1;gacel2];

```

```

%Desaceleración

```

```

DesaceleracionUrbana=(acelUrb(acelUrbneg));
DesaceleracionRural=(acelRur(acelRurneg));
VectorDesaceleracion=[DesaceleracionUrbana;Desacele
racionRural];
longdes1=numel(DesaceleracionUrbana);
longdes2=numel(DesaceleracionRural);
gdes1= repmat({'Urbana'},longdes1,1);
gdes2= repmat({'Metropolitana'},longdes2,1);
ganeg=[gdes1;gdes2];

```

```

% Velocidad

```

```

VelocidadUrbana=(tripsFinalgeneral(Urbana,6));
VelocidadRural=(tripsFinalgeneral(Metropolitana,6));
VectorVelocidad=[VelocidadUrbana;VelocidadRural];
longv1=numel(VelocidadUrbana);
longv2=numel(VelocidadRural);
gv1= repmat({'Urbana'},longv1,1);
gv2= repmat({'Metropolitana'},longv2,1);
gvvel=[gv1;gv2];

```

```

%Jerk Absoluto

```

```

JerkAbsUrbana=(tripsFinalgeneral(Urbana,21));
JerkAbsRural=(tripsFinalgeneral(Metropolitana,21));
VectorJerkAbs=[JerkAbsUrbana;JerkAbsRural];
longJerk1=numel(JerkAbsUrbana);
longJerk2=numel(JerkAbsRural);
gJerk1= repmat({'Urbana'},longJerk1,1);
gJerk2= repmat({'Metropolitana'},longJerk2,1);
gJerk=[gJerk1;gJerk2];

```

```

%Jerk[m/s^3]

```

```

JerkUrbana=(tripsFinalgeneral(Urbana,20));
JerkRural=(tripsFinalgeneral(Metropolitana,20));

```

```

%Aceleración general[m/s^2]

```

```

AceleracionGeneralUrbana=(tripsFinalgeneral(Urbana,8)
);
AceleracionGeneralRural=(tripsFinalgeneral(Metropolitan
a,8));

```

```

%consumo instantaneo[m/s]
ConsumoUrbana=(tripsFinalgeneral(Urbana,13));
ConsumoRural=(tripsFinalgeneral(Metropolitana,13));

%Figuras Caja de bigotes
figure(7)
subplot(2,2,1)
boxplot(VectorAceleracion,gapos)
ylim([0 4])
yticks([0 1 2 3 4])
ylim([0 4])
xlabel('Tipo de Ruta', 'FontSize',12,'FontName','Times
New Roman')
ylabel('Acel [m/s^2]', 'FontSize',12,'FontName','Times
New Roman')

subplot(2,2,2)
boxplot(VectorDesaceleracion,ganeg)
xlabel('Tipo de Ruta', 'FontSize',12,'FontName','Times
New Roman')
ylabel('Desac [m/s^2]', 'FontSize',12,'FontName','Times
New Roman')

subplot(2,2,3)
boxplot(VectorVelocidad,gvel)
xlabel('Tipo de Ruta', 'FontSize',12,'FontName','Times
New Roman')
ylabel('Veloc [km/h]', 'FontSize',12,'FontName','Times
New Roman')

subplot(2,2,4)
boxplot(VectorJerkAbs,gJerk)
xlabel('Tipo de Ruta', 'FontSize',12,'FontName','Times
New Roman')
ylabel('Jerk Abs[m/s^3]', 'FontSize',12,'FontName','Times
New Roman')
ylim([0 4])

%% ----- Histograma de tiempo en residencia/para cada
variable-----
figure(8)
subplot(3,2,1)
histogram(AceleracionGeneralUrbana,35,'Normalization',
'probability')
xticks([-4 -2 0 2 4])
xlim([-4 4])
ylim([0 0.6])
ylabel('Probabilidad', 'FontSize',12,'FontName','Times
New Roman')
xlabel('Aceleración[m/s^2]',
'FontSize',12,'FontName','Times New Roman')
grid on

subplot(3,2,2)
histogram(AceleracionGeneralRural,35,'Normalization','p
robability')
xticks([-4 -2 0 2 4])
xlim([-4 4])
ylim([0 0.6])
ylabel('Probabilidad', 'FontSize',12,'FontName','Times
New Roman')
xlabel('Aceleración[m/s^2]',
'FontSize',12,'FontName','Times New Roman')
grid on

subplot(3,2,3)
histogram(JerkUrbana,35,'Normalization','probability')
xticks([-4 -2 0 2 4])
xlim([-4 4])
ylim([0 0.6])
ylabel('Probabilidad', 'FontSize',12,'FontName','Times
New Roman')
xlabel('Jerk Abs[m/s^3]', 'FontSize',12,'FontName','Times
New Roman')
grid on

subplot(3,2,4)
histogram(JerkRural,35,'Normalization','probability')
xticks([-4 -2 0 2 4])
xlim([-4 4])
ylim([0 0.6])
ylabel('Probabilidad', 'FontSize',12,'FontName','Times
New Roman')
xlabel('Jerk Abs[m/s^3]', 'FontSize',12,'FontName','Times
New Roman')
grid on

subplot(3,2,5)
histogram(VelocidadUrbana,15,'Normalization','probabilit
y')
xticks([0 20 40 60 80 100 120])
xlim([0 120])
ylim([0 0.6])
ylabel('Probabilidad', 'FontSize',12,'FontName','Times
New Roman')
xlabel('Velocidad [km/h]', 'FontSize',12,'FontName','Times
New Roman')
grid on

subplot(3,2,6)
histogram(VelocidadRural,15,'Normalization','probability')
xticks([0 20 40 60 80 100 120])
xlim([0 120])
ylim([0 0.6])
ylabel('Probabilidad', 'FontSize',12,'FontName','Times
New Roman')
xlabel('Velocidad [km/h]', 'FontSize',12,'FontName','Times
New Roman')
grid on

%% --Figura de diferencia del consumo de combustible
vs DS Tipo Ruta----

figure(9)
subplot(2,1,1)
fig61=bar(PromTotal),title('Consumo Específico de
Combustible Método de Aceleración','FontName','Times
New Roman','FontSize',14)
fig61(1).FaceColor=[.39 .83 .07];
fig61(2).FaceColor=[0 .45 .74];
fig61(3).FaceColor=[1 0 0];
xlabel('Tipo de Ruta','FontName','Times New Roman')
xticklabels({'Urbana','Metropolitana'})
ylabel('SFC[L/100km]','FontName','Times New Roman')
legend({'Tranquilo','Normal','Agresivo'})
PosxDifUrbT = fig61(1).XEndPoints(1);
PosyDifUrbT = fig61(1).YEndPoints(1);
DifUrbT_N = sprintf('%g %s',DifUrbT,SigPorc);
text(PosxDifUrbT,PosyDifUrbT,DifUrbT_N,'HorizontalAlig
nment','center',...
'VerticalAlignment','bottom')
PosxDifUrbA = fig61(3).XEndPoints(1);

```

```

PosyDifUrbA = fig61(3).YEndPoints(1);
DifUrbA_N = sprintf('%g %s',DifUrbA,SigPorc);
text(PosxDifUrbA,PosyDifUrbA,DifUrbA_N,'HorizontalAlig
nment','center',...
'VerticalAlignment','bottom')

PosxDifRurT = fig61(1).XEndPoints(2);
PosyDifRurT = fig61(1).YEndPoints(2);
DifRurT_N = sprintf('%g %s',DifRurT,SigPorc);
text(PosxDifRurT,PosyDifRurT,DifRurT_N,'HorizontalAlig
nment','center',...
'VerticalAlignment','bottom')
PosxDifRurA = fig61(3).XEndPoints(2);
PosyDifRurA = fig61(3).YEndPoints(2);
DifRurA_N = sprintf('%g %s',DifRurA,SigPorc);
text(PosxDifRurA,PosyDifRurA,DifRurA_N,'HorizontalAlig
nment','center',...
'VerticalAlignment','bottom')
ylim([0 30])
grid on

subplot(2,1,2)
fig62=bar(PromTotalJ),title('Consumo Especifico de
Combustible Metodo del Jerk','FontName','Times New
Roman','FontSize',14)
fig62(1).FaceColor=[.39 .83 .07];
fig62(2).FaceColor=[0 .45 .74];
fig62(3).FaceColor=[1 0 0];
xlabel('Tipo de Ruta','FontName','Times New Roman')
xticklabels({'Urbana','Metropolitana','FontSize',10})
ylabel('SFC[L/100km]','FontName','Times New Roman')
legend({'Tranquilo','Normal','Agresivo'})
ylim([0 30])
PosxDifUrbTJ = fig62(1).XEndPoints(1);
PosyDifUrbTJ = fig62(1).YEndPoints(1);
DifUrbT_NJ = sprintf('%g %s',DifUrbTJ,SigPorc);
text(PosxDifUrbTJ,PosyDifUrbTJ,DifUrbT_NJ,'Horizontal
Alignment','center',...
'VerticalAlignment','bottom')
PosxDifUrbAJ = fig62(3).XEndPoints(1);
PosyDifUrbAJ = fig62(3).YEndPoints(1);
DifUrbA_NJ = sprintf('%g %s',DifUrbAJ,SigPorc);
text(PosxDifUrbAJ,PosyDifUrbAJ,DifUrbA_NJ,'Horizontal
Alignment','center',...
'VerticalAlignment','bottom')

PosxDifRurTJ = fig62(1).XEndPoints(2);
PosyDifRurTJ = fig62(1).YEndPoints(2);
DifRurT_NJ = sprintf('%g %s',DifRurTJ,SigPorc);
text(PosxDifRurTJ,PosyDifRurTJ,DifRurT_NJ,'Horizontal
Alignment','center',...
'VerticalAlignment','bottom')
PosxDifRurAJ = fig62(3).XEndPoints(2);
PosyDifRurAJ = fig62(3).YEndPoints(2);
DifRurA_NJ = sprintf('%g %s',DifRurAJ,SigPorc);
text(PosxDifRurAJ,PosyDifRurAJ,DifRurA_NJ,'Horizontal
Alignment','center',...
'VerticalAlignment','bottom')
grid on

%% -----Diagrama Consumo SFC/ Tipo
Ruta-----
figure(10)
subplot(1,1,1)
title({'Consumo Carretera'});
bar(PromedioTotalSFC,'FaceColor',[.17 .13 .79])

xlabel('Tipo de Ruta','FontName','Times New
Roman','FontSize',12)
xticklabels({'Urbana','Metropolitana','FontSize',10})
ylabel('SFC[L/100km]','FontName','Times New
Roman','FontSize',12)
grid on

%% Velocidad promedio
%-----Validación datos aceleración-----
-----
%-----Método aceleración-----
-----%
SumVelUrbTran=0;
SumVelUrbNorm=0;
SumVelUrbAgres=0;
SumVelRurTran=0;
SumVelRurNorm=0;
SumVelRurAgres=0;

for validar=1:length(tripsFinal)
if TipoRutaT(validar)==1
if TripsDS(validar,23)==1;

SumVelUrbTran=SumVelUrbTran+TripsDS(validar,6);
elseif TripsDS(validar,23)==2;

SumVelUrbNorm=SumVelUrbNorm+TripsDS(validar,6);
elseif TripsDS(validar,23)==3;

SumVelUrbAgres=SumVelUrbAgres+TripsDS(validar,6);
end
end
if TipoRutaT(validar)==2
if TripsDS(validar,23)==1;

SumVelRurTran=SumVelRurTran+TripsDS(validar,6);
elseif TripsDS(validar,23)==2;

SumVelRurNorm=SumVelRurNorm+TripsDS(validar,6);
elseif TripsDS(validar,23)==3;

SumVelRurAgres=SumVelRurAgres+TripsDS(validar,6);
end
end
end

PromVelUrbValTran=SumVelUrbTran/contUrbT;
PromVelUrbValNorm=SumVelUrbNorm/contUrbN;
PromVelUrbValAgres=SumVelUrbAgres/contUrbA;
VelocidadUrbValidacion=[PromVelUrbValTran,PromVelU
rbValNorm,PromVelUrbValAgres]

PromVelRurValTran=SumVelRurTran/contRurT;
PromVelRurValNorm=SumVelRurNorm/contRurN;
PromVelRurValAgres=SumVelRurAgres/contRurA;
VelocidadRuralValidacion=[PromVelRurValTran,PromVel
RurValNorm,PromVelRurValAgres]

%-----Metodo de validación Jerk Abs-----
-----
SumVelUrbTranj=0;
SumVelUrbNormj=0;
SumVelUrbAgresj=0;
SumVelRurTranj=0;
SumVelRurNormj=0;
SumVelRurAgresj=0;

```

```

for validarj=1:length(tripsFinal)
    if TipoRutaT(validarj)==1
        if TripsDSJerk(validarj,23)==1;

SumVelUrbTranj=SumVelUrbTran+TripsDSJerk(validarj,
6);
        elseif TripsDSJerk(validarj,23)==2;

SumVelUrbNormj=SumVelUrbNorm+TripsDSJerk(validar
j,6);
        elseif TripsDSJerk(validarj,23)==3;

SumVelUrbAgresj=SumVelUrbAgres+TripsDSJerk(valida
rj,6);
        end
    end
    if TipoRutaT(validarj)==2
        if TripsDSJerk(validarj,23)==1;

SumVelRurTranj=SumVelRurTranj+TripsDSJerk(validarj,
6);
        elseif TripsDSJerk(validarj,23)==2;

SumVelRurNormj=SumVelRurNormj+TripsDSJerk(valida
rj,6);
        elseif TripsDSJerk(validarj,23)==3;

SumVelRurAgresj=SumVelRurAgresj+TripsDSJerk(valid
arj,6);
        end
    end
end

PromVelUrbValTranj=SumVelUrbTranj/contUrbTJ;
PromVelUrbValNormj=SumVelUrbNormj/contUrbNJ;
PromVelUrbValAgresj=SumVelUrbAgresj/contUrbAJ;
VelocidadUrbValidacionj=[PromVelUrbValTranj,PromVel
UrbValNormj,PromVelUrbValAgresj]

PromVelRurValTranj=SumVelRurTranj/contRurTJ;
PromVelRurValNormj=SumVelRurNormj/contRurNJ;
PromVelRurValAgresj=SumVelRurAgresj/contRurAJ;
VelocidadRuralValidacionj=[PromVelRurValTranj,PromV
elRurValNormj,PromVelRurValAgresj]

%% PROMEDIO SFC L/100km MEDIDO
%Valores de SFC POR RUTA
SFCURB=TripsComp(Urbanaviaje,16);
SFCRUR=TripsComp(Metropolitanaviaje,16);

%Urbana SFC
TranUrb = TripsComp(Urbanaviaje,23);
PosTranquiUrb = find(TranUrb==1);
PROMURBTRANSFC =
mean(SFCURB(PosTranquiUrb),'omitnan');
NormUrb = TripsComp(Urbanaviaje,23);
PosNormUrb = find(NormUrb==2);
PROMURBNORMSFC =
mean(SFCURB(PosNormUrb),'omitnan');
AgresUrb = TripsComp(Urbanaviaje,23);
PosAgresUrb = find(AgresUrb==3);
PROMURBAGRESFC =
mean(SFCURB(PosAgresUrb),'omitnan');

TranUrbj = TripsComp(Urbanaviaje,24);
PosTranquiUrbj = find(TranUrbj==1);

```

```

PROMURBTRANSFCj =
mean(SFCURB(PosTranquiUrbj),'omitnan');
NormUrbj = TripsComp(Urbanaviaje,24);
PosNormUrbj = find(NormUrbj==2);
PROMURBNORMSFCj =
mean(SFCURB(PosNormUrbj),'omitnan');
AgresUrbj = TripsComp(Urbanaviaje,24);
PosAgresUrbj = find(AgresUrbj==3);
PROMURBAGRESFCj =
mean(SFCURB(PosAgresUrbj),'omitnan');

```

%Rural SFC

```

TranRur = TripsComp(Metropolitanaviaje,23);
PosTranquiRur = find(TranRur==1);
PROMRURTRANSFC =
mean(SFCRUR(PosTranquiRur),'omitnan');
NormRur = TripsComp(Metropolitanaviaje,23);
PosNormRur = find(NormRur==2);
PROMRURNORMSFC =
mean(SFCRUR(PosNormRur),'omitnan');
AgresRur = TripsComp(Metropolitanaviaje,23);
PosAgresRur = find(AgresRur==3);
PROMRURAGRESFC =
mean(SFCRUR(PosAgresRur),'omitnan');

```

```

TranRurj = TripsComp(Metropolitanaviaje,24);
PosTranquiRurj = find(TranRurj==1);
PROMRURTRANSFCj =
mean(SFCRUR(PosTranquiRurj),'omitnan');
NormRurj = TripsComp(Metropolitanaviaje,24);
PosNormRurj = find(NormRurj==2);
PROMRURNORMSFCj =
mean(SFCRUR(PosNormRurj),'omitnan');
AgresRurj = TripsComp(Metropolitanaviaje,24);
PosAgresRurj = find(AgresRurj==3);
PROMRURAGRESFCj =
mean(SFCRUR(PosAgresRurj),'omitnan');

```

```

PromTotal2=[PROMURBTRANSFC,PROMURBNORMS
FC,PROMURBAGRESFC;

```

```

PROMRURTRANSFC,PROMRURNORMSFC,PROMRU
RAGRESFC]

```

```

PromTotalj2=[PROMURBTRANSFCj,PROMURBNORM
SFCj,PROMURBAGRESFCj;

```

```

PROMRURTRANSFCj,PROMRURNORMSFCj,PROMR
URAGRESFCj]

```

%% Diferencias

```

SigPorc='%';
DiffUrbT2=round(100*((PROMURBTRANSFC-
PROMURBNORMSFC)/PROMURBNORMSFC),1);
DiffUrbA2=round(100*((PROMURBAGRESFC-
PROMURBNORMSFC)/PROMURBNORMSFC),1);
DiffRurT2=round(100*((PROMRURTRANSFC-
PROMRURNORMSFC)/PROMRURNORMSFC),1);
DiffRurA2=round(100*((PROMRURAGRESFC-
PROMRURNORMSFC)/PROMRURNORMSFC),1);

```

```

%-----Diferencias por el Método Jerk Absoluto-----

```

```

DiffUrbTJ2=round(100*((PROMURBTRANSFCj-
PROMURBNORMSFCj)/PROMURBNORMSFCj),1);

```

```

DiffUrbAJ2=round(100*((PROMURBAGRESFCj-
PROMURBNORMSFCj)/PROMURBNORMSFCj),1);
DiffRurTJ2=round(100*((PROMRURTRANSFCj-
PROMRURNORMSFCj)/PROMRURNORMSFCj),1);
DiffRurAJ2=round(100*((PROMRURAGRESFCj-
PROMRURNORMSFCj)/PROMRURNORMSFCj),1);

%% Figura Con SFC MEDIDO
figure(11)
subplot(2,1,1)
fig111=bar(PromTotal2),title('Consumo Específico de
Combustible Método de Aceleración','FontName','Times
New Roman','FontSize',14)
fig111(1).FaceColor=[.39 .83 .07];
fig111(2).FaceColor=[0 .45 .74];
fig111(3).FaceColor=[1 0 0];
xlabel('Tipo de Ruta','FontName','Times New Roman')
xticklabels({'Urbana','Metropolitana'})
ylabel('SFC[L/100km'],'FontName','Times New Roman')
legend({'Tranquilo','Normal','Agresivo'})
PosxDifUrbT2 = fig111(1).XEndPoints(1);
PosyDifUrbT2 = fig111(1).YEndPoints(1);
DifUrbT_N2 = sprintf('%g %s',DifUrbT2,SigPorc);
text(PosxDifUrbT2,PosyDifUrbT2,DifUrbT_N2,'Horizontal
Alignment','center',...
'VerticalAlignment','bottom')
PosxDifUrbA2 = fig111(3).XEndPoints(1);
PosyDifUrbA2 = fig111(3).YEndPoints(1);
DifUrbA_N2 = sprintf('%g %s',DifUrbA2,SigPorc);
text(PosxDifUrbA2,PosyDifUrbA2,DifUrbA_N2,'Horizontal
Alignment','center',...
'VerticalAlignment','bottom')

PosxDifRurT2 = fig111(1).XEndPoints(2);
PosyDifRurT2 = fig111(1).YEndPoints(2);
DifRurT_N2 = sprintf('%g %s',DifRurT2,SigPorc);
text(PosxDifRurT2,PosyDifRurT2,DifRurT_N2,'Horizontal
Alignment','center',...
'VerticalAlignment','bottom')
PosxDifRurA2 = fig111(3).XEndPoints(2);
PosyDifRurA2 = fig111(3).YEndPoints(2);
DifRurA_N2 = sprintf('%g %s',DifRurA2,SigPorc);
text(PosxDifRurA2,PosyDifRurA2,DifRurA_N2,'Horizontal
Alignment','center',...
'VerticalAlignment','bottom')

'VerticalAlignment','bottom')
ylim([0 40])
grid on

subplot(2,1,2)
fig112=bar(PromTotalj2),title('Consumo Específico de
Combustible Método del Jerk','FontName','Times New
Roman','FontSize',14)
fig112(1).FaceColor=[.39 .83 .07];
fig112(2).FaceColor=[0 .45 .74];
fig112(3).FaceColor=[1 0 0];
xlabel('Tipo de Ruta','FontName','Times New Roman')
xticklabels({'Urbana','Metropolitana'})
ylabel('SFC[L/100km'],'FontName','Times New Roman')
legend({'Tranquilo','Normal','Agresivo'})
ylim([0 40])
PosxDifUrbTJ2 = fig112(1).XEndPoints(1);
PosyDifUrbTJ2 = fig112(1).YEndPoints(1);
DifUrbT_NJ2 = sprintf('%g %s',DifUrbTJ2,SigPorc);
text(PosxDifUrbTJ2,PosyDifUrbTJ2,DifUrbT_NJ2,'Horizo
ntalAlignment','center',...
'VerticalAlignment','bottom')
PosxDifUrbAJ2 = fig112(3).XEndPoints(1);
PosyDifUrbAJ2 = fig112(3).YEndPoints(1);
DifUrbA_NJ2 = sprintf('%g %s',DifUrbAJ2,SigPorc);
text(PosxDifUrbAJ2,PosyDifUrbAJ2,DifUrbA_NJ2,'Horizo
ntalAlignment','center',...
'VerticalAlignment','bottom')

PosxDifRurTJ2 = fig112(1).XEndPoints(2);
PosyDifRurTJ2 = fig112(1).YEndPoints(2);
DifRurT_NJ2= sprintf('%g %s',DifRurTJ2,SigPorc);
text(PosxDifRurTJ2,PosyDifRurTJ2,DifRurT_NJ2,'Horizo
ntalAlignment','center',...
'VerticalAlignment','bottom')
PosxDifRurAJ2 = fig112(3).XEndPoints(2);
PosyDifRurAJ2 = fig112(3).YEndPoints(2);
DifRurA_NJ2 = sprintf('%g %s',DifRurAJ2,SigPorc);
text(PosxDifRurAJ2,PosyDifRurAJ2,DifRurA_NJ2,'Horizo
ntalAlignment','center',...
'VerticalAlignment','bottom')
grid on

```