



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRÍZ

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRÍZ

TEMA: CARACTERIZACIÓN DE LOS PERFILES DE CONDUCCIÓN Y LA OPERACIÓN DEL MOTOR EN TAXIS CON EL USO DE EQUIPOS ON-BOARD

**AUTORES: ISIZÁN BOLAÑOS KEVIN FABRICIO
VALLEJO PINCHAO DAVID ESTEBAN**

DIRECTOR: FREDY ALEXANDER ROSERO OBANDO, PhD

Ibarra, 2023

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es **"CARATERIZACIÓN DE LOS PERFILES DE CONDUCCIÓN Y LA OPERACIÓN DEL MOTOR EN TAXIS CON EL USO DE EQUIPOS ON – BOARD"** presentado por los señores: Isizán Bolaños Kevin Fabricio con el número de cédula 040181400-9 y, Vallejo Pinchao David Estebán con el número de cédula 040187171-0, respectivamente, MSc. Fredy Rosero PhD. doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 27 días del mes julio del 2023.



MSc. Fredy Rosero PhD
C.D. 100264174-2
DIRECTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD:	040181400-9	
APELLIDOS Y NOMBRES:	ISIZÁN BOLAÑOS KEVIN FABRICIO	
DIRECCIÓN:	Ibarra, Jesús de Yerovi y Ulpiano Navarro	
EMAIL:	kfisizanb@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL: 0993936324
DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD:	040187171-0	
APELLIDOS Y NOMBRES:	VALLEJO PINCHAO DAVID ESTEBAN	
DIRECCIÓN:	Ibarra, Jesús de Yerovi y Ulpiano Navarro	
EMAIL:	devallejop@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL: 0999481265

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"CARACTERIZACIÓN DE LOS PERFILES DE CONDUCCIÓN Y LA OPERACIÓN DEL MOTOR EN TAXIS CON EL USO DE EQUIPOS ON-BOARD"
AUTOR (ES):	ISIZÁN BOLAÑOS KEVIN FABRICIO VALLEJO PINCHAO DAVID ESTEBAN
FECHA: DD/MM/AAAA	1 DE AGOSTO DE 2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Msc. FREDY ROSERO PhD

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 2 días del mes de agosto de 2023

EL AUTOR:


Firma:
Nombre: Isizán Bolafios Kevin Fabricio
Cédula de Identidad: 0401814009


Firma:
Nombre: Vallejo Pinchao David Esteban
Cédula de Identidad: 0401871710

DEDICATORIA

De una manera muy especial dedico este proyecto a las personas que son el pilar fundamental en mi vida; a mis abuelos maternos Emilio (q.e.p.d) y Zoila, mis padres Wiston y Ximena y a mis hermanos ya que gracias a su apoyo, amor incondicional y múltiples consejos he podido culminar mi carrera profesional. Para todos ellos va dedicado este proyecto con el amor y la humildad que siempre me ha caracterizado.

Kevin Isizán

Querida Familia: Iván, María, Mayra, Valeria, Jesús

Con gran emoción y satisfacción, dedico estas palabras a Uds. Quienes depositaron la confianza en mí, que con apoyo y animo incondicional. Sus palabras alentadoras y comprensión durante los momentos más difíciles han sido el aliento impulsador para que pueda culminar este importante logro. Muchas gracias por creer en mí, incluso cuando dude de mis propias habilidades y cada intercambio de ideas hizo que pueda superar cada obstáculo con vigor y valentía.

David Vallejo

AGRADECIMIENTO

Mi gratitud al Gran Espíritu por la vida y bendiciones recibidas en mi existencia, el cual me ha guiado con la sabiduría necesaria hacia el sendero correcto para permitirme apreciar este momento tan especial en mi vida.

Deseo agradecer a mis padres y abuelos que me dieron el apoyo para estudiar y no rendirme. En especial a mi abuela materna que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y a mi mamá que a pesar de la distancia siempre me motivo con su buena energía.

Agradezco a la Universidad Técnica del Norte y a todos los docentes de esta prestigiosa institución que con la calidad humana que los representa me han ofrecido su ayuda.

Un agradecimiento especial al Ing. Fredy Rosero PhD tutor de este trabajo, por ser un guía de calidad y paciente, que, al compartir sus conocimientos, permitió culminar esta investigación. Por último, agradezco a todas las personas que de algún modo hicieron posible este trabajo, siempre gracias.

Kevin Isizán

Al llegar a culminar esta etapa académica, quiero extender un grato agradecimiento a cada una de las personas que han perseverado conmigo en esta realización de tesis.

En primer lugar y parte fundamental de este trabajo, deseo agradecer al Ing. Fredy Rosero docente y director de esta tesis, que con paciencia supo estar a lo largo del proceso y conseguir la meta propuesta con satisfacción, así mismo el agradecimiento es para todos los docentes que estuvieron en mi formación académica y compartieron sus conocimientos conmigo.

Mi gratitud a mi compañero de tesis Kevin, que logramos hacer un buen equipo de trabajo y sabemos lo que nos ha costado conseguir esta meta que nos hemos propuesto desde un principio.

David Vallejo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	x
CAPÍTULO I	1
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 Objetivos.....	1
1.1.1 Objetivo general	1
1.1.2 Objetivos específicos	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Situación actual.....	2
1.4 Prospectiva.....	4
1.5 Planteamiento del problema.....	4
1.6 Contexto.....	5
1.7 Alcance	6
1.8 Justificación	6
CAPÍTULO II	9
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 Servicio de taxis en la ciudad de Ibarra	9
2.2 Cinemática del vehículo.....	10
2.3 Magnitudes cinemáticas.....	10
2.3.1 Posición y desplazamiento	10
2.3.2 Velocidad.....	11
2.3.3 Aceleración.....	12
2.4 Estados de conducción.....	14
2.4.1 Ralentí.....	14
2.4.2 Velocidad crucero.....	15
2.4.3 Desaceleración.....	15
2.5 Patrones de conducción	16
2.5.1 Tipo de vía.....	16
2.5.2 Tipo de vehículo	17
2.5.3 Modo de conducción	17
2.6 Ciclos de conducción	18
2.6.1 Ciclo FTP y su evolución	18
2.6.2 Ciclo de conducción NEDC	20
2.6.3 Ciclo modo 10-15	21
2.6.4 Ciclo de conducción en Hong Kong- hk	22
2.6.5 Conducción eficiente	23
2.7 Vehículos propulsados por MEP	24
2.7.1 Mecanismo de operación y componentes principales	24
2.7.2 La gasolina en el Ecuador	30
2.7.3 Consumo de combustible vehículos livianos	31
2.7.4 Formación de emisiones MEP.....	31
2.7.5 Curvas de un motor de combustión interna.....	33
2.7.6 Par motor	33
2.7.7 Potencia del motor	33

2.8	Equipos de medición On- board	34
2.8.1	Equipos GPS logger	35
2.8.2	Equipo OBD-II	35
2.9	Software y aplicaciones procesamiento de datos.....	36
2.9.1	Tipos de software	37
2.9.2	Tipos de aplicaciones.....	38
CAPÍTULO III		39
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	39
3.1	Caracterización flota de taxis y tipos de rutas	40
3.1.1	Caracterización de la flota de taxis de Ibarra	40
3.1.2	Caracterización de tipo de rutas en Ibarra.	40
3.2	Determinación de variables de estudio	46
3.2.1	Distancia	46
3.2.2	Tiempo.....	46
3.2.3	Velocidad.....	46
3.2.4	Aceleración.....	47
3.2.5	Estados de conducción.....	48
3.2.6	Análisis Pids necesarios para prueba de consumo	49
3.3	Selección de equipos y herramientas digitales.....	50
3.3.1	Selección de equipos	50
3.3.2	Selección de herramientas digitales.....	54
3.4	Pruebas piloto de los equipos.....	60
3.4.1	Pruebas piloto del dispositivo GPS	61
3.4.2	Pruebas piloto con el interfaz OBD-II.....	62
3.5	Diseño de campaña experimental	63
3.5.1	Registro de pruebas con los equipos GPS	63
3.5.2	Registro de pruebas con interfaz OBD-II.....	63
3.5.3	Organización de vehiculos de evaluación	64
3.6	Selección de vehículos de prueba para este estudio.....	66
3.7	Ejecución de campaña experimental.....	72
3.7.2	Instalación y montaje de equipos de monitoreo	72
3.7.3	Registro datos campañas experimentales	73
3.8	Pre procesamiento de datos.....	74
3.8.2	Datos campaña experimental de ciclos de conducción: GPS	75
3.8.3	Datos campaña experimental consumo de combustible: OBD-II	79
3.9	Procesamiento de datos.....	82
3.9.1	Construcción ciclo de conducción propuesto: GPS.....	82
3.9.2	Determinación del consumo de combustible: OBD-II	94
CAPÍTULO IV.....		100
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	100
4.1	Análisis ciclos de conducción datos: GPS	100
4.2	Análisis tramo urbano mediante GPS	104
4.2.1	Resultados cinemáticos ciclo urbano completo.....	104
4.2.2	Determinación del micro ciclo urbano	106
4.2.3	Obtención del micro ciclo urbano	110
4.2.4	Resultados y comparación micro ciclo urbano.....	113
4.3	Análisis tramo autopista mediante GPS.....	113
4.3.1	Resultados cinemáticos ciclo autopista completo	113

4.3.2	Determinación del micro ciclo autopista.....	115
4.3.3	Obtención del micro ciclo autopista.....	119
4.3.4	Resultados y comparación del micro ciclo autopista.....	121
4.4	Análisis tramo extraurbano mediante GPS.....	122
4.4.1	Resultados cinemáticos ciclo extraurbano completo.....	122
4.4.2	Determinación del micro ciclo extraurbano	124
4.4.3	Obtención del micro ciclo extraurbano	128
4.4.4	Resultados y comparación micro ciclo extraurbano.....	130
4.5	Análisis ciclo de conducción total de la ciudad.....	131
4.5.1	Construcción total ciclo de conducción Ibarra	131
4.5.2	Comparación del ciclo obtenido y otros estudios.....	133
4.6	Análisis consumo de combustible y emisiones de CO ₂ : OBD-II	135
4.6.1	Consumo y emisión de CO ₂ tramo urbano	136
4.6.2	Consumo y emisión de CO ₂ tramo extraurbano	138
4.6.3	Consumo y emisión de CO ₂ tramo autopista.....	140
4.6.4	Comparación de consumo y emisión con otros ciclos.....	142
CAPÍTULO V	145
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	145
5.1	Conclusiones.....	145
5.2	Recomendaciones	147
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Circulación de taxis en Ibarra	9
Figura 2.2	Latitud y longitud en el espacio	11
Figura 2.3	Velocidad del automóvil	12
Figura 2.4	Aceleraciones para distintas condiciones de la carretera	13
Figura 2.5	Etapas de operación del motor	14
Figura 2.6	Consumo en función a los cambios de velocidad	15
Figura 2.7	Patrones de conducción para Sao Paulo, Nairobi y Santiago	16
Figura 2.8	Ciclo de conducción FTP (Obando, 2009, pág. 10).....	18
Figura 2.9	Ciclo de conducción FTP-75.....	19
Figura 2.10	Ciclo de conducción NEDC.....	20
Figura 2.11	Ciclo MODO 10-15	21
Figura 2.12	Ciclos de conducción Hong Kong-HK	22
Figura 2.13	Beneficios de la conducción eficiente.....	24
Figura 2.14	Ciclo Otto motor de combustión interna.....	25
Figura 2.15	Esquema interno motor de cuatro tiempos.....	26
Figura 2.16	Embarque y sus partes	27
Figura 2.17	Esquema interno caja de velocidades.....	28
Figura 2.18	Eje de transmisión y sus partes	29
Figura 2.19	Conjunto diferencial convencional y sus partes.....	29
Figura 2.20	Evolución de Parque Automotor.....	30
Figura 2.21	Emisiones vehículos MEP	32
Figura 2.22	Graficas típicas de curvas de par y potencia de un motor.....	34
Figura 2.23	Equipos GPS	35
Figura 2.24	Equipos OBD II	36
Figura 3.1	Flujograma de la metodología	39
Figura 3.2	Rutas de la ciudad de Ibarra.....	41
Figura 3.3	Tramo Urbano	43
Figura 3.4	Tramo Extraurbano	44
Figura 3.5	Tramo Autopista	45
Figura 3.6	PIDs seleccionados en la aplicación Torque.....	50
Figura 3.7	GPS Recorder GL – 770	51
Figura 3.8	Dispositivo OBD II.....	53
Figura 3.9	Interfaz TSI LogView	55
Figura 3.10	Aplicación Torque Pro	56
Figura 3.11	Licencia de Software R-Studio	58
Figura 3.12	Interfaz Google earth	59
Figura 3.13	Ubicación de los equipos de monitoreo.....	60
Figura 3.14	Ventana de configuración del módulo GPS.....	61
Figura 3.15	Ventana configuración Par.....	62
Figura 3.16	Parada de taxis de la Cooperativa German Grijalva	65
Figura 3.17	Entrega y montaje de dispositivos de monitoreo	73
Figura 3.18	Nombres de las carpetas de la base de datos.....	75
Figura 3.19	Extracción de información del GPS a TSI LogView	76
Figura 3.20	Selección del tramo	78
Figura 3.21	Registro de los perfiles de taxis de pruebas de consumo de combustible.....	80
Figura 3.22	Base de datos pruebas seccionadas consumo.....	81
Figura 3.23	Selección del tramo OBD-II	81

Figura 3.24	Flujograma ciclos de conducción.....	83
Figura 3.25	Selección de librerías	84
Figura 3.26	Remover registros del vehículo apagado	85
Figura 3.27	Código para determinar el porcentaje de permanencia de ralentí.....	86
Figura 3.28	Código para determinar el conteo de tiempo de ralentí	87
Figura 3.29	Suavizar la velocidad	87
Figura 3.30	Cálculo aceleración	88
Figura 3.31	Definición de criterios de estado de marcha	88
Figura 3.32	Datos para micro ciclos.....	89
Figura 3.33	Código para obtener el clustering	90
Figura 3.34	Calculo general micro ciclos.....	91
Figura 3.35	Ensamble micro ciclos	91
Figura 3.36	Código cálculo de los datos del ciclo final	92
Figura 3.37	Código para graficar datos	93
Figura 3.38	Unión de ensamble de micro ciclos	94
Figura 3.39	Flujograma para determinar el consumo de combustible	95
Figura 3.40	Lectura y unión de base de datos del OBD-II.....	96
Figura 3.41	Método para calcular el flujo de combustible.....	97
Figura 3.42	Método para calcular el factor de emisión CO ₂	98
Figura 3.43	Valores promedios de emisión CO ₂ y consumo combustible	99
Figura 4.1	Perfil velocidad vs tiempo tramo urbano	106
Figura 4.2	Zoom velocidad suavizada; tramo urbano	107
Figura 4.3	Número ideal clusters; tramo urbano	108
Figura 4.4	Grupos de cluster; tramo urbano	109
Figura 4.5	Resultados clustering K-means; tramo urbano	110
Figura 4.6	Micro ciclos de cada grupo cluster del tramo urbano	111
Figura 4.7	Ensamble micro ciclo de conducción Urbano.....	112
Figura 4.8	Perfil velocidad vs tiempo; tramo Autopista	115
Figura 4.9	Zoom velocidad suavizada; Autopista	116
Figura 4.10	Número ideal clusters; Autopista.....	117
Figura 4.11	Grupos de cluster Autopista.....	118
Figura 4.12	Resultados clustering K-means Autopista	119
Figura 4.13	Micro ciclos tramo Autopista.....	120
Figura 4.14	Ensamble micro ciclo de conducción Autopista	121
Figura 4.15	Perfil velocidad vs tiempo; tramo Extraurbano	124
Figura 4.16	Zoom velocidad suavizada; Extraurbano	125
Figura 4.17	Número ideal clusters; Extraurbano.....	126
Figura 4.18	Grupos de cluster; tramo Extraurbano	127
Figura 4.19	Resultados clustering K-means, Extraurbano	128
Figura 4.20	Micro ciclos tramo Extraurbano	129
Figura 4.21	Micro ciclo de conducción Extraurbano	130
Figura 4.22	Ciclo de conducción completo ciudad de Ibarra.....	132
Figura 4.23	Interfaz de la aplicación Torque Pro sección consumo.....	136
Figura 4.24	Consumo de combustible por unidad de taxi ruta Urbana	137
Figura 4.25	Emisión de CO ₂ por unidad de taxi ruta urbana.....	138
Figura 4.26	Consumo de combustible por unidad de taxi ruta Extraurbana	139
Figura 4.27	Emisión de CO ₂ por unidad de taxi ruta extraurbana.....	140
Figura 4.28	Consumo de combustible por unidad de taxi ruta Autopista	141
Figura 4.29	Emisión de CO ₂ por unidad de taxi ruta autopista	142

Figura 4.30	Comparación de consumo de combustible por tipo de ruta.....	143
Figura 4.31	Comparación valores de factor de emisión de CO ₂ con otros ciclos.....	144

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Características del ciclo FTP-75.....	20
Tabla 2.2	Características del ciclo NEDC	21
Tabla 2.3	Características del ciclo MODO 10-15	21
Tabla 2.4	Características del ciclo Hong Kong (HK).....	23
Tabla 2.5	Tipos de software y sus especificaciones	37
Tabla 2.6	Tipos de aplicaciones y sus especificaciones	38
Tabla 3.1	Total de unidades de taxis de la ciudad	40
Tabla 3.2	Caracterización de las rutas de Ibarra.....	42
Tabla 3.3	Características técnicas del GPS.....	52
Tabla 3.4	Características y funciones del ELM 327.....	54
Tabla 3.5	Registro datos campaña experimental GPS.....	63
Tabla 3.6	Registro datos consumo de combustible OBD-II.....	64
Tabla 3.7	Detalles de las unidades de seguimiento	66
Tabla 3.8	Información de la Unidad de taxi #1	67
Tabla 3.9	Información de la Unidad de taxi #2	68
Tabla 3.10	Información de las Unidades de taxi #3,4,5	69
Tabla 3.11	Información de la Unidad de taxi #6	70
Tabla 3.12	Información de la Unidad de taxi #7	71
Tabla 3.13	Información de la Unidad de taxi #8	72
Tabla 3.14	Datos generales de la campaña experimental	74
Tabla 3.15	Registro datos de perfiles de conducción con dispositivo GPS	77
Tabla 3.16	Número total de datos por cada evaluación con GPS.....	78
Tabla 3.17	Registro datos de pruebas de consumo con interfaz OBD II.....	82
Tabla 4.1	Registro de evaluación con GPS	101
Tabla 4.2	Estadísticas campaña experimental GPS: tramo urbano	103
Tabla 4.3	Estadísticas campaña experimental GPS: tramo autopista.....	103
Tabla 4.4	Estadísticas campaña experimental GPS: tramo extraurbano	104
Tabla 4.5	Fichero completo ciclo urbano	105
Tabla 4.6	Comparación Ciclo Urbano Completo vs Micro ciclo Urbano	113
Tabla 4.7	Fichero completo ciclo Autopista.....	114
Tabla 4.8	Comparación Ciclo Autopista Completo vs Micro ciclo Autopista.....	122
Tabla 4.9	Fichero completo ciclo Extraurbano	123
Tabla 4.10	Comparación Ciclo Extraurbano Completo vs Micro ciclo Extraurbano ...	131
Tabla 4.11	Fichero completo ciclo conducción completo	132
Tabla 4.12	Parámetros Ciclo Conducción Completo Ibarra.....	133
Tabla 4.13	Comparación de datos entre rutas.....	134
Tabla 4.14	Comparación con ciclos internacionales	135
Tabla 4.15	Datos de consumo ruta urbana.....	137
Tabla 4.16	Datos de consumo ruta extraurbana.....	139
Tabla 4.17	Datos de consumo ruta autopista	141

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de caracterizar los perfiles de conducción y la operación del motor en taxis de la ciudad de Ibarra. Mediante el análisis estadístico de datos obtenidos de dos dispositivos, uno de georreferenciación GPS, que permitió obtener los datos para generar los ciclos de conducción, y el otro equipo una Interfaz OBD-II para monitoreo de la ECU del vehículo, el cual generó un archivo de datos para determinar el consumo de combustible.

En la ciudad de Ibarra, los vehículos más utilizados para el servicio de taxi son el Chevrolet Aveo, Hyundai Accent y Kia Rio. Se registraron un total de 59 cooperativas de taxis, con 1033 taxis convencionales y 391 taxis ejecutivos activos. Los datos recolectados se dividieron en tres tramos: urbano, extraurbano y autopista, para su posterior procesamiento. Para el análisis de los datos se utilizó el software estadístico de programación R-Studio, lo que permitió determinar los ciclos de conducción, emisión de CO₂ y consumo de combustible en las unidades de taxi. Los ciclos de conducción obtenidos se compararon con ciclos internacionales como el ciclo Hong Kong, FTP 75, NEDC, MODO 10-15 y se encontraron diferencias significativas en algunos parámetros de los ciclos (velocidad promedio, aceleración, tiempo, etc.), lo que evidenció la importancia de caracterizar los ciclos de conducción adecuados para cada ciudad. El intervalo de grabación de datos por prueba con el GPS fue de 30 a 47 horas y el tiempo de grabación de datos con la interfaz OBD-II fue de 2 a 4 horas.

En cuanto a los porcentajes obtenidos en las variables más relevantes de los ciclos de conducción, para los tramos urbano, extraurbano y autopista, respectivamente, se observaron los siguientes valores: el porcentaje de permanencia de tiempo en ralentí fue de 34.89%, 22.03% y 14.12%; la permanencia de tiempo en aceleración fue de 31.44%, 35.66% y 38.63%; la permanencia de tiempo en desaceleración fue de 25.78%, 30.43% y 29.74%; la permanencia de tiempo en cruceo fue de 7.89%, 11.87% y 17.52%; y la velocidad promedio [km/h] fue de 17.68, 31.89 y 43.01, respectivamente. Finalmente, se obtuvieron los valores de consumo de combustible en gramos por kilómetro para cada ruta de la ciudad: en la zona urbana considerada de mayor consumo se registró un valor de 89.44 g/km, seguido de la ruta autopista con 69.92 g/km y la ruta extraurbana con 63.19 g/km.

ABSTRACT

The present study was carried out with the aim of characterizing driving profiles and engine operation in taxis within the city of Ibarra. Through the statistical analysis of data obtained from two devices, one being a GPS georeferencing device that enabled the collection of data for generating driving cycles, and the other being an OBD-II Interface for vehicle ECU monitoring, which generated a data file for determining fuel consumption.

In the city of Ibarra, the most commonly used vehicles for taxi service are the Chevrolet Aveo, Hyundai Accent, and Kia Rio. A total of 59 taxi cooperatives were registered, with 1033 conventional taxis and 391 active executive taxis. The collected data was divided into three segments: urban, extra-urban, and highway, for subsequent processing. For data analysis, the statistical programming software R-Studio was employed, enabling the determination of driving cycles, CO₂ emissions, and fuel consumption in taxi units. The obtained driving cycles were compared with international cycles such as the Hong Kong cycle, FTP 75, NEDC, MODO 10-15, revealing significant differences in some cycle parameters (average speed, acceleration, time, etc.), underscoring the importance of characterizing suitable driving cycles for each city. The data recording interval per GPS test ranged from 30 to 47 hours, and the data recording time with the OBD-II interface was 2 to 4 hours.

Regarding the percentages obtained for the most relevant variables in the driving cycles, for urban, extra-urban, and highway segments, respectively, the following values were observed: the percentage of time spent idling was 34.89%, 22.03%, and 14.12%; the percentage of time spent on acceleration was 31.44%, 35.66%, and 38.63%; the percentage of time spent on deceleration was 25.78%, 30.43%, and 29.74%; the percentage of time spent on cruising was 7.89%, 11.87%, and 17.52%; and the average speed [km/h] was 17.68, 31.89, and 43.01, respectively. Lastly, fuel consumption values in grams per kilometer were obtained for each route in the city: in the urban zone with the highest consumption, a value of 89.44 g/km was recorded, followed by the highway route with 69.92 g/km, and the extra-urban route with 63.19 g/km.

INTRODUCCIÓN

Los vehículos son un factor importante dentro de las cadenas de producción, por lo que existe una relación directa con el consumo de combustible y la emisión de gases de efecto invernadero que se generan en el ecosistema. En nuestro medio, el parque automotriz está incrementando cada vez más, según datos del INEC. Hasta el año 2000, se estimaba que había de 30 a 40 vehículos por cada mil personas, mientras que en la actualidad se tienen alrededor de 80 unidades cada mil habitantes. Se estima que para 2026 en adelante se tendrán alrededor de 90 a 100 vehículos por cada mil personas, lo que representa un incremento aproximado del 20% en la demanda dentro de 5 años.

En la ciudad de Ibarra, al ser una urbe de mediana extensión, no existe una ley como la que tiene la capital metropolitana acerca de la restricción vehicular, que especifica un intervalo de horas pico restringidas día a día basándose en el número de placas. Esto permite que disminuya la cantidad de vehículos que circulan diariamente y de esta forma reduzcan en cierto grado el consumo y las emisiones. No obstante, implementar regulaciones para el tráfico y mejorar la calidad de los combustibles serán medidas efectivas para reducir significativamente el problema de la contaminación. Las emisiones de dióxido de carbono generadas por el transporte terrestre en la ciudad han experimentado un aumento del 6.54% en los últimos años. A pesar de este hecho, en comparación con Quito, se observa una menor presencia de contaminación atmosférica en la ciudad de Ibarra (Chiriboga, 2018, pág. 25).

De este modo, se pretende contribuir con información de los datos técnicos específicos de los ciclos de conducción y consumo de combustible en los taxis en la ciudad. Esta información de acceso libre puede ser usada por las diferentes cooperativas de taxis para determinar la manera correcta de conducir sus autos, generando conciencia en todos los operarios de los impactos que dan las buenas prácticas de conducción, tanto a nivel económico como a nivel de reducción de consumo de recursos naturales. De este modo, se puede usar menor cantidad de combustible para realizar un mismo recorrido en un intervalo de tiempo establecido. Por ende, este proyecto será de gran ayuda para que las futuras generaciones tengan en cuenta los datos estadísticos de consumo de combustible de manera coherente, para que los modos de conducción ecológicos sean normalizados posteriormente.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 OBJETIVOS

Los objetivos de este proyecto son los siguientes:

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar los perfiles de conducción y la operación del motor en taxis con el uso de equipos On- Board para establecer el consumo y desempeño del motor.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener ciclos de conducción típicos de los taxis de la ciudad de Ibarra mediante el uso de dispositivos GPS.
- Estimar los factores de consumo de combustible de los taxis usando datos del sistema OBD-II del vehículo.

1.2 ANTECEDENTES

El sector energético mayormente expulsa gases contaminantes, especialmente el sector del transporte, que genera un 45% del total de las emisiones en el país. Debido a esto, se considera que el sistema de movilidad es demasiado contaminante y es uno de los principales causantes del cambio climático. Ecuador el transporte es el principal emisor de GEI con el 50% de emisiones dentro del sector energético y el transporte terrestre emite el 90% de las emisiones por tipo de transporte (Guayanlema, 2013, pág. 11).

El gremio de taxistas en la ciudad Ibarra ha crecido constantemente, esto es evidente al transitar en horas de mayor afluencia vehicular, donde un gran número de estos vehículos circulan por las calles centrales de la ciudad. Los vehículos utilizados para este servicio tienen una cilindrada baja que beneficia positivamente al consumo y al desempeño del motor. El vehículo con mayor ahorro de combustible es el Hyundai Accent, llegando a consumir hasta 4,55 galones por día con una diferencia del 15% en comparación al vehículo con mayor consumo que es el Chevrolet Aveo activo que llega a consumir hasta 5,36 galones diarios. Esto se debe a que el motor 1400cc del primer modelo brinda mayor mejor rendimiento de combustible, par motor, potencia y un mayor ahorro económico (Ochoa & Salazar, 2018, pág. 74).

La comisión europea ha establecido proyectos de investigación que tienen gran importancia como el HyZEM, ARTEMIS Y MODEM, cuyo objetivo principal es determinar un conjunto de ciclos de conducción que represente la manera de conducir real. Asimismo, se confirma la autenticidad de la base de datos y los patrones de conducción al incorporar tres variedades de ciclos (urbano, carretera y autopista) que abarcan una amplia gama de condiciones de manejo. Para llevar a cabo este proceso, se ha contado con la colaboración de diversas instituciones y países pertenecientes a la Unión Europea.

El desarrollo de los ciclos de conducción en todo el mundo ha sido un modelo de gran importancia, cuyas metodologías son diferentes, pero el propósito principal es el mismo: contribuir a la reducción de emisiones contaminantes y estimar el consumo de combustible de los automotores. De este modo, casi siempre se aplican modelos internacionales en el país y la falta de información de ciclos de conducción en el medio permite desarrollar esta investigación a fin de establecer una metodología confiable que represente resultados reales de perfiles de conducción en la ciudad. La secuencia velocidad-tiempo del vehículo moviéndose en la ruta se llama patrón de conducción, cuyas características se constituyen por las variables cinemáticas. Según su comportamiento, afecta o no gravemente al medio ambiente, ya que genera contaminantes (Caballero, 2011, pág. 17).

Por otra parte, en Latinoamérica, un grupo de trabajo del laboratorio de control de emisiones de la facultad de ingeniería de México propuso al gobierno un proyecto para diseñar y construir un banco de motocicletas y el desarrollo de ciclos de manejo para dichas motocicletas y vehículos ligeros usando el sistema de adquisición de datos a bordo (SADAB), que fue desarrollado en el mismo laboratorio para dicho fin. En la Universidad de los Andes de Colombia, se desarrollaron dos tesis de pregrado, en una de las cuales se determinó el primer ciclo de conducción bajo condiciones Bogotanas, y la otra fue de ayuda para determinar el desempeño mecánico del automóvil (Obando, 2009, pág. 4).

1.3 SITUACIÓN ACTUAL

El Federal Test Procedure es considerado uno de los primeros ciclos normados que se desarrollaron a mitad de los 60's, y ha sufrido constantes cambios para estar vigente hoy en día, ya que comúnmente suele ser usado como un ciclo referencial. Por lo tanto, para poder reflejar las condiciones reales de conducción principalmente en la zona urbana de la ciudad, el ciclo de manejo europeo, no contiene muchas aceleraciones o etapas transitorias. El ciclo repite la parte urbana 4 veces, y la mayor aceleración que registra es de velocidad 0 hasta 50

km/h en 28 segundos. Por lo tanto, es escasamente representativo de las condiciones de manejo normales puesto que dichas metodologías se hicieron bajo condiciones totalmente diferentes a las que el motor estará expuesto y puede originar variaciones al momento de medir y como resultado obtener datos erróneos.

Los ciclos de conducción son empleados para medir la eficiencia y desempeño de los automotores bajo ciertos criterios y con normas establecidas. El desarrollo de perfiles de conducción es un tema de gran interés en la actualidad, sobretodo en diferentes países del primer mundo como Estados Unidos, Alemania, Japón entre otros. Ellos han generado varios ciclos de conducción adaptados a las condiciones específicas de su territorio y sus sub-regiones, los cuales tienen en cuenta variables como las condiciones de tráfico, carreteras, velocidad y aceleración, entre los principales aspectos para determinar con mayor exactitud los datos obtenidos. Los investigadores de diferentes países que trabajan en este tema, han reportado cambios significativos a través del tiempo en los perfiles de conducción, donde la altura es una variable primordial a las que se enfrenta un MCI A en condiciones de conducción real y en este sentido, puede suceder que la reducción en las emisiones contaminantes obtenida en el ciclo de homologación no se traduzca necesariamente en una mejora durante la operación del motor en la vida real.

Anteriormente, se requerían costosos equipos para la adquisición de los parámetros necesarios para evaluar los perfiles de conducción. Hoy en día, el amplio uso del sistema de posicionamiento global (GPS), que es de fácil acceso e incluso puede descargarse en los teléfonos celulares, así como también el creciente uso de herramientas inalámbricas como el interfaz OBD (On Board Diagnostics), son dispositivos de bajo costo que permiten un acceso sencillo a las condiciones de funcionamiento del motor y el vehículo para conocer información durante la conducción a tiempo real en carretera. La interfaz permite acceder de manera directa a ciertos parámetros de funcionamiento de la Unidad de Control Electrónico (ECU), por otra parte, el GPS ayuda a registrar directamente la posición referencial de un vehículo. Después de la recopilación de datos, se realiza un análisis que se centra en dos aspectos principales. En primer lugar, el conjunto de actividades está relacionado con el análisis de los ciclos de conducción obtenidos con el dispositivo GPS y en segundo lugar se analiza el consumo de combustible con datos obtenidos a través la interfaz OBD-II.

1.4 PROSPECTIVA

La utilización de equipos de seguimiento y diagnóstico de bajo costo para determinar los perfiles de conducción aplicados en taxis es un proceso referente para la obtención de información en condiciones reales de manejo. La inversión mínima para obtener estos equipos hace que el estudio pueda ser base para muchas entidades interesadas en obtener una estadística general del consumo de sus motores y de las formas de conducir de sus operarios que influyen en los malos hábitos de manejo. Por ejemplo, la agresividad afecta el exceso de consumo de combustible que a largo plazo se refleja en costos operativos que pueden ser ahorrados si se establece un ciclo de conducción estándar que pueda ser avalado por los conductores al ser concientizados y que sin necesidad de vigilancia extra se dé cumplimiento, lo que beneficiaría notablemente a cualquier organización de transporte. El propósito de un ciclo de conducción es simular la condición de tráfico real para probar las emisiones de escape del vehículo y el consumo de combustible, cubriendo las principales características de la corriente de tráfico en ciertas regiones y construyéndose mediante el análisis de datos (Jing, Wang, Zhang y Qui, 2017, pág. 78-87).

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Cantón Ibarra, con una altitud de 2.225 m.s.n.m, posee un clima seco templado y durante el año la temperatura generalmente varía de 13°C a 24°C. El censo legal realizado al parque automotor en 2020 arroja como resultado que existen en total 59 cooperativas de taxis, con 1033 taxis convencionales y 391 taxis ejecutivos que conjuntamente corresponden al total de taxis autorizados.

En nuestro medio aún no existen estudios registrados sobre una metodología específica que caracterice los ciclos de conducción aplicados en ciudades de mediano tamaño. Por lo tanto, nos permite abrir un nuevo estudio para establecer los ciclos de conducción más representativos de acuerdo con las diferentes condiciones presentadas en nuestro medio. No obstante, la caracterización de los perfiles de conducción puede ser una tarea compleja, especialmente si se quiere separar la agresividad del conductor de la agresividad de la conducción. La agresividad de la conducción se podría definir de manera absoluta mientras que la agresividad del conductor sería relativa a la mostrada por otros conductores en la misma situación. Finalmente, a pesar de los avances en los sistemas del motor, el modo de conducción del operario determina el comportamiento final de un motor (Hernandez, 2016, pág. 23).

El inconveniente del consumo de combustible en relación a las condiciones operacionales del motor está mejorando junto al desarrollo constante de sus mecanismos de accionamiento y metodologías de comprobación. Sin embargo, las condiciones reales de operación se dan después de ensayos en ruta y en ellos interfiere directamente el conductor, la carretera y el tráfico, pero existen variaciones en dichas condiciones al aplicarlas a diferentes zonas del mundo. Los fabricantes, con sus nuevas tecnologías, buscan que el motor sea lo más eficiente posible en cualquier campo con el fin de estar por encima de la competencia y que sus modelos recientes tengan una demanda aceptable. De este modo, las condiciones en las que opera un motor vienen determinadas por el fabricante después de ensayar en laboratorio, pero existen diferencias notables al realizar ensayos en ruta real.

1.6 CONTEXTO

Existen varios análisis y propuestas sobre políticas sostenibles de transporte que se han desarrollado en todo el mundo, tanto a nivel de gobierno como de instituciones de investigación. Ninguna opción brinda la solución, por lo que es obligatorio actuar de manera simultánea en aspectos como la mejora de la tecnología de los vehículos, lo que conlleva a un aumento en su rendimiento. Las técnicas europeas de ciclos de conducción son la base para las demás metodologías. El proyecto ARTEMIS surge para valorar y calcular la confiabilidad en los modelos de transporte usados por los fabricantes, el cual mezcla prácticas de diferentes modelos de perfiles de conducción para plantear un patrón de segmentación de rutas en micro-ciclos. De esta forma, se determina el comportamiento dinámico del tránsito en un área específica y se organizan secuencialmente los micro ciclos para llegar a la determinación del mejor ciclo de conducción (Aguirre, 2014, pág. 6).

En nuestro medio, será de gran utilidad el desarrollo de la metodología de recolección de información de bajo costo debido a la ausencia de estudios técnicos para caracterizar los perfiles de conducción en el país. Este proceso se puede aplicar en cualquier organización pública o privada que esté interesada en mejorar las buenas prácticas de manejo. Los análisis más detallados son de interés para evaluar costos operacionales y consumo de combustible, generando criterios sustentados para emitir gráficas de ciclos de conducción reales y determinar la más adecuada basándose en las condiciones reales tanto del motor como del conductor. Esto depende del tipo de conductor y el tipo de motor, tomando en cuenta las rutas y los terrenos por donde circule el vehículo que porte los dispositivos datalogger GPS e interfaz OBD-II, utilizados para la medición y recolección de información que es la base

de este estudio. Los datos serán desarrollados e interpretados en el software estadístico de programación R-Studio para poder determinar los ciclos de conducción, consumo de combustible y emisiones de CO2 reales de los vehículos.

1.7 ALCANCE

La presente investigación tiene como objetivo definir ciclos de conducción típicos y factores de emisión, integrando información de dispositivos GPS Y OBD del vehículo. Un ciclo de conducción se define como un conjunto de secuencias de tiempos y velocidades que proviene de información estadísticamente representativa, de un área de estudio previamente determinada. La recolección de datos a tiempo real con estos dispositivos electrónicos ayuda a especificar con mayor precisión los valores de los perfiles de conducción y la operación del motor (Araya, 2008, pág. 4).

Este proceso busca obtener una respuesta técnica sobre cómo se conduce un vehículo en un intervalo de tiempo. Esto puede tener diferentes variables si nos enfocamos en el consumo, el confort y la seguridad, entre otras. Sin embargo, es importante considerar el parámetro de agresividad, el cual se puede determinar en función de las variaciones en el vector de velocidad del automotor. Es evidente que el comportamiento debe tender a bajas revoluciones para consumir menos energía del combustible y reducir el riesgo de posibles accidentes. Los autos livianos dedicados a la actividad comercial, como los taxis convencionales o ejecutivos, se benefician especialmente de este estudio, ya que pueden ahorrar en combustible al conocer las condiciones operacionales tanto del automotor como del conductor, variables que influyen directamente en los perfiles de conducción, el consumo de combustible y la producción de emisiones, que pueden mejorarse mediante la aplicación de ciclos de conducción adecuados.

1.8 JUSTIFICACIÓN

El creciente uso de los dispositivos GPS en los vehículos de transporte público contribuye a mejorar la calidad del servicio. Las aplicaciones más comunes para los GPS van desde la localización de vehículos, la verificación de rutas, la navegación y orientación, la telefonía celular, la cartografía, la robótica hasta la sincronización de relojes. Este módulo sirve principalmente para estimar con la mayor precisión posible la posición geográfica de un punto en tiempo real, razón por la cual se ha convertido en un elemento ampliamente utilizado.

La disponibilidad en el mercado de dispositivos para leer la información del sistema OBD del vehículo ha aumentado con el paso de los años, lo que ha generado una reducción en su valor comercial. La interfaz inalámbrica On Board permite realizar mediciones de gases (CO, CO₂, O₂, HC y NO_x) en tiempo real durante el funcionamiento. Esto nos ayuda a caracterizar los perfiles de conducción con la información de operación del motor que se muestra en una pantalla con conexión Bluetooth. En este caso, a través del uso de dispositivos electrónicos de bajo costo, se busca determinar los principales factores que intervienen directamente en los ciclos de conducción en un día habitual de trabajo en la zona urbana de la ciudad (Romero, 2017, pág. 61).

Existe la necesidad de establecer ciclos de conducción que representen las condiciones de tráfico, así como el estilo de conducción propio de la ciudad de Ibarra. En nuestro medio se han realizado estudios de ciclos de conducción en transporte pesado y escolar, pero no se dispone de información específica para vehículos livianos como los taxis. La evaluación energética vehicular se lleva a cabo mediante pruebas de ciclos de conducción que proporcionan información relevante sobre el rendimiento del motor en diferentes condiciones del entorno en el que opera. Las metodologías para verificar el rendimiento mecánico y ambiental de un vehículo han estado en constante desarrollo. Para lograr esto, inicialmente se establece un procedimiento y se analiza la efectividad de la caracterización de un ciclo de conducción para determinar, con fundamentos técnicos, que los resultados obtenidos en nuestra ciudad son reales.

Las entidades encargadas de gestionar y controlar el tráfico y transporte deben contar con factores de emisión estimados para el servicio de taxis. La Ley de Transporte Terrestre y Seguridad Vial de 2012, en su artículo 5, establece que los taxis deben cumplir con ciertos requisitos para aprobar la revisión técnica. El crecimiento del parque automotor en la ciudad ha provocado una alta afluencia de autos en las calles debido a la falta de calidad en el servicio de transporte público y la falta de un sistema alternativo como ciclo vías. La gestión de la movilidad y el transporte es llevada a cabo por MOVILDELNOR EP, quienes son responsables de la revisión técnica de los vehículos. Actualmente, los taxis se someten a dos controles al año que evalúan el estado general del vehículo, neumáticos, frenos, dirección, luces y emisiones. El mismo procedimiento se aplica a todos los vehículos livianos, sin que exista una norma especial que estime la cantidad de gases que los taxis deben emitir (Lopez, 2018, pág. 27).

Por otro lado, esta investigación se correlaciona con el Plan Nacional para el Buen Vivir 2017-2021, en relación con el Objetivo General 3, que busca garantizar los derechos de la naturaleza para las generaciones actuales y futuras, y con el Objetivo Específico 3.4, que promueve buenas prácticas para reducir la contaminación, conservar el medio ambiente, mitigar y adaptarse a los efectos del cambio climático, impulsando estas prácticas a nivel global (CNP, 2017, pág. 58).

Debido a estas razones, la investigación apoya directamente el objetivo mencionado al promover buenas prácticas para reducir el consumo y las emisiones que se aplicarán a los conductores de taxis en la ciudad de Ibarra. No se ha evaluado el desempeño de los vehículos de transporte público en ciudades con altitud, como ocurre en Ecuador. En este sentido, el motivo del estudio se desarrolla debido a la falta de información sobre los ciclos de conducción aplicados por los vehículos livianos en ese medio. El objetivo es identificar los perfiles de conducción más utilizados de acuerdo con la altitud o zona por la que circulan, el tráfico, el estado del motor y el estado del conductor, ya que estos factores influyen directamente en los costos operacionales del vehículo.

Los avances tecnológicos son importantes para mejorar la eficiencia energética de la movilidad y reducir costos, pero solo constituyen una parte de la ecuación. Por tanto, es importante trabajar en la promoción de cambios hacia modos de transporte más eficientes y formas de conducción más conscientes, con el objetivo de adoptar un enfoque más holístico para mejorar el rendimiento de todo el sistema.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 SERVICIO DE TAXIS EN LA CIUDAD DE IBARRA

En la ciudad de Ibarra, los taxis brindan un servicio constante y se puede evidenciar el incremento de estos vehículos al recorrer las principales calles de la ciudad. La población Imbabureña suele hacer uso de este medio de transporte por diversos motivos, como disminuir el tiempo de llegada en casos de emergencia al no tener una ruta fija, la facilidad de llevar carga a un destino o por el confort del usuario. El principal objetivo de un sistema de transporte público es ofrecer un traslado eficaz, cómodo, seguro y rápido de individuos entre los diferentes lugares donde se ubican y desenvuelven sus actividades (Tejada, 2002, pág. 290).



Figura 2.1 Circulación de taxis en Ibarra

En la Figura 2.1 se muestran una variedad de modelos de taxis que circulan por la ciudad y la afluencia que existe en ciertas zonas a determinadas horas. Los vehículos más utilizados actualmente para servicio de taxi en Ibarra son el Chevrolet Aveo, que rinde 17km por litro promedio, también es de gran uso el Hyundai Accent, al tener el mejor rendimiento con un promedio de 21.7km por litro y el Kia Rio, con rendimiento promedio de 18km por litro.

La movilidad de las personas depende principalmente del transporte público y privado. Sin embargo, los taxis, debido a su tamaño, son considerados automóviles de uso público, lo que marca la principal diferencia con el automóvil privado. La accesibilidad para cualquier

individuo que quiera usar un automóvil de estos hace que el taxi se convierta en una alternativa de transporte muy utilizada en las zonas urbanas de una ciudad, donde se reflejan como una alternativa de uso para llegar a rutas donde el transporte público, como los autobuses, no tenga conexión, y para situaciones donde se necesite llegar en menor tiempo a un destino (Bestard Luciano, 2011, pág. 6).

2.2 CINEMÁTICA DEL VEHÍCULO

La cinemática es una rama de la física que estudia el movimiento de los cuerpos, designados, de manera general, como partículas. De este modo, se puede puntualizar la partícula como cualquier cuerpo que tiene una posición en el espacio, sin suponer sus dimensiones ni cuestionar las fuerzas que producen un movimiento. Todas las partículas se encuentran en reposo o en movimiento de acuerdo a un sistema de referencia que, por lo general, es el punto de inicio de un sistema de coordenadas (Olmedo, 2017, pág. 3).

Esta parte de la física, aplicada en la mecánica, permite realizar estudios del movimiento de partículas omitiendo las fuerzas provocadoras del movimiento, y cuando esas variables son tomadas en consideración, la dinámica se encarga de resolver los problemas. Esta rama se aplica para relacionar la velocidad, aceleración, tiempo y desplazamiento de las partículas en un sistema sin tener en cuenta las fuerzas generadoras de movimiento (Johnston, Beer y Eiserberg, 2007, pág. 2).

2.3 MAGNITUDES CINEMÁTICAS

Las principales magnitudes que se tienen en cuenta en los estudios de cinemática son la posición, el desplazamiento, la velocidad y la aceleración. Cada una de estas variables informa datos específicos de una partícula que se puede encontrar en movimiento o reposo en el espacio.

2.3.1 POSICIÓN Y DESPLAZAMIENTO

La posición es una magnitud que nos da a conocer la ubicación de un lugar en el espacio en un intervalo de tiempo. Para obtener una ubicación más precisa, la posición utiliza como referencia dos dimensiones relacionadas con las coordenadas geográficas, denominadas longitud y latitud. Consideremos un sistema de referencia en el cual el suelo en el que se encuentra la partícula no tiene movimiento. Para conocer su ubicación en el espacio, se utiliza un reloj y un sistema de coordenadas para determinar cómo cambia la posición de una partícula en función del tiempo.

El desplazamiento es la sucesión de puntos ocupados por las partículas en el espacio, que aumentan progresivamente a medida que pasa el tiempo. Cuando el recorrido de un objeto sigue una línea recta, se clasifica como movimiento rectilíneo, mientras que si el recorrido presenta curvas, se asocia con el movimiento curvilíneo (Prodanoff, 2014, pág. 4).

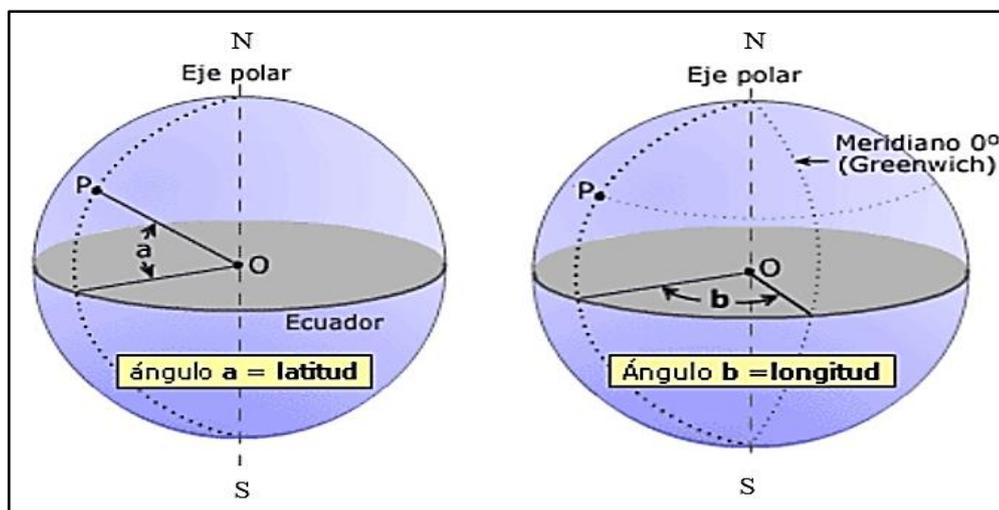


Figura 2.2 Latitud y longitud en el espacio

(Ibañez, Gisbert y Moreno, 2010, pág. 4-5)

En la Figura 2.2 se muestra una referencia de latitud y longitud, donde podemos analizar cómo se determina la posición de un objeto en el espacio. La latitud se refiere al arco meridiano que se encuentra y se mide desde el Ecuador, que tiene una latitud de 0° , hasta un punto específico donde se encuentra el observador o la ubicación geográfica. Se expresa en grados sexagesimales de 0° a 90° . Por otro lado, la longitud es el arco que va desde el Meridiano de Greenwich, con una longitud de 0° , hasta el paralelo que atraviesa un punto determinado, y se mide de 0° a 180° . Los puntos que se encuentran en el mismo paralelo tienen la misma latitud, pero pueden estar en diferentes hemisferios. Del mismo modo, si hay puntos que se encuentran en el mismo meridiano, comparten la misma longitud. En resumen, el Ecuador tiene una latitud de 0° y el Meridiano de Greenwich tiene una longitud de 0° , mientras que los polos Norte y Sur tienen una latitud de 90° N y 90° S, respectivamente, y no tienen longitud (Ibañez, Gisbert y Moreno, 2010, pág. 4-5).

2.3.2 VELOCIDAD

La velocidad de un objeto es la rapidez con la que cambia de posición en un instante de tiempo dado, y en el ámbito automotriz se utiliza esta variable para conocer la velocidad de cualquier partícula, la cual se obtiene dividiendo el vector desplazamiento, para obtener el

valor de esta variables se utilizó la ecuación que se indica a continuación (Carrasco y Quinones, 2007, pág. 145).

$$\vec{V} = \frac{\vec{\Delta r}}{\Delta t}; \left[\frac{L}{T} \right]; \left[\frac{m}{s} \right] \quad [2.1]$$

Donde:

\vec{v} = velocidad

$\vec{\Delta r}$ = variación del vector posición

Δt = variación del tiempo

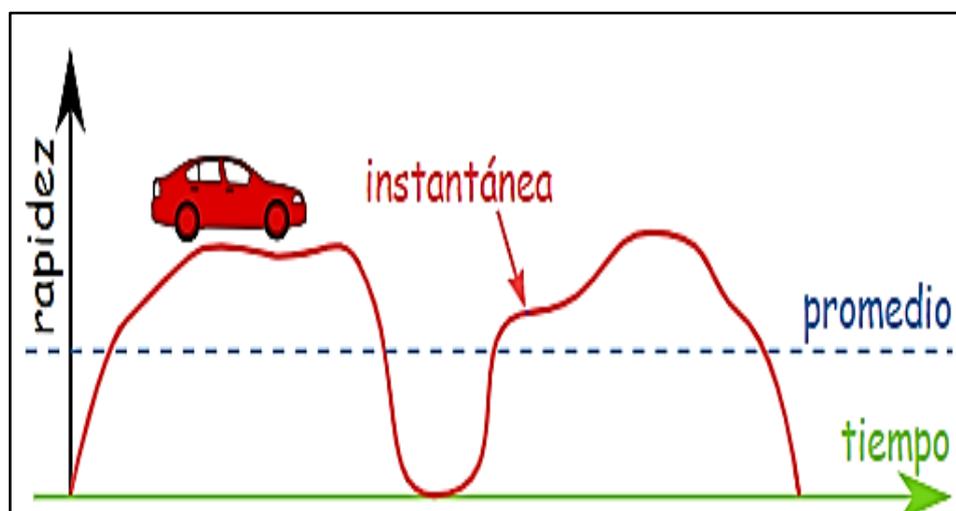


Figura 2.3 Velocidad del automóvil

En la Figura 2.3 se muestra la velocidad de un vehículo en relación al tiempo. La velocidad representa el cambio de posición de una partícula en un intervalo de tiempo y se mide en metros por segundo. Esta variable es un vector, ya que para ser completamente caracterizada debe especificar su dirección, magnitud y sentido.

2.3.3 ACELERACIÓN

La aceleración se refiere al cambio generado por la velocidad en un tiempo dado y se mide en metros por segundo al cuadrado. Esta variable es un vector que se puede obtener derivando la variable de la velocidad respecto al tiempo, lo que da valores positivos y negativos.

El estado de aceleración es cuando una partícula aumenta su velocidad en un cierto tiempo, lo cual implica un cambio positivo. En el ámbito automotriz, cuando un vehículo acelera,

requiere un mayor porcentaje de combustible para suministrar la energía necesaria para acelerar. Como resultado, aumenta el consumo de combustible y, por ende, las emisiones contaminantes. La aceleración de una partícula en el espacio en relación a un sistema de referencia se denota mediante un vector como:

$$\vec{a} = \frac{\overrightarrow{\Delta v}}{\Delta t}; \vec{a} = \frac{\overrightarrow{dv}}{dt}; \left[\frac{L}{T^2} \right]; \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad [2.2]$$

Donde:

\vec{a} = aceleración.

$\overrightarrow{\Delta v}$ = variación del vector velocidad.

Δt = variación del tiempo.

\overrightarrow{dv} = derivada de la velocidad.

dt = derivada del tiempo.

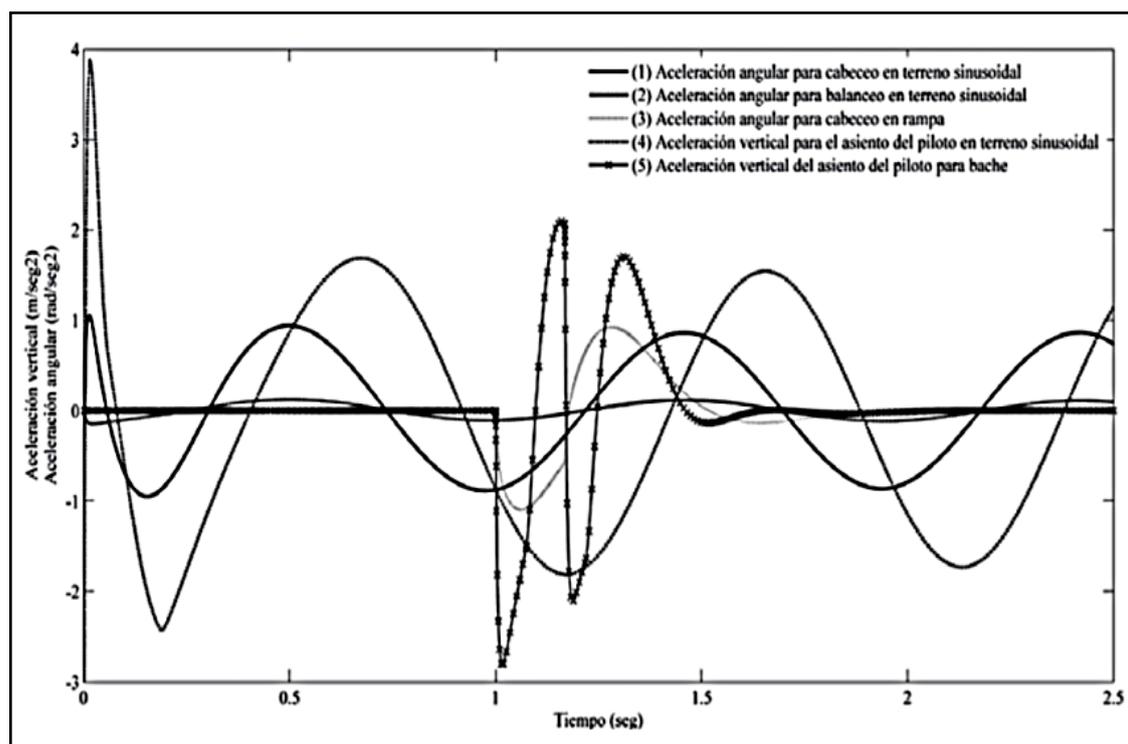


Figura 2.4 Aceleraciones para distintas condiciones de la carretera

(CUSCO, 2019, pág. 7)

En la Figura 2.4 se pueden observar las diferentes curvas de aceleración angular y vertical según el tipo de carretera por la que circula el vehículo. La aceleración angular es un vector que se expresa en unidades de rad/s^2 y la aceleración vertical en unidades de m/s^2 ya que es una magnitud escalar.

2.4 ESTADOS DE CONDUCCIÓN

Los estados de conducción son modelos establecidos para la conducción en carretera de algún prototipo de vehículo. Se conocen cuatro modos de conducción: ralentí, velocidad crucero, aceleración y desaceleración. Este estudio se centra en determinar los factores de consumo de combustible de los taxis en condiciones de manejo real. Por lo tanto, es importante calcular el consumo en cada uno de los modos de conducción mencionados anteriormente para estimar con mayor precisión el comportamiento real de los taxis en la ciudad.

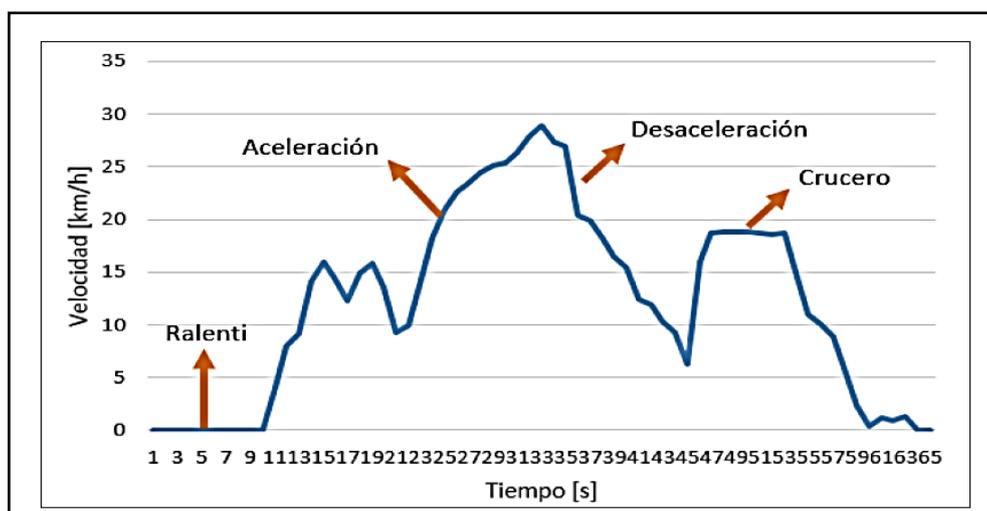


Figura 2.5 Etapas de operación del motor

(Ochoa & Salazar, 2018, pág. 19)

En la Figura 2.5 se muestran los picos de señal según las condiciones de operación del automotor. Las curvas de las etapas de operación del motor varían constantemente y, en cuanto al consumo de combustible, los modos de conducción a velocidad constante son menos contaminantes que los modos de conducción transitorios (aceleración y desaceleración (Tong, Hung, Cheung, 2000, pág. 551).

2.4.1 RALENTÍ

En la fase de ralentí, las variables de velocidad y aceleración tienen un valor de 0. En este punto, el taxi funciona con el mínimo número de revoluciones necesarias para que el motor esté encendido, pero en reposo. Esto significa que el taxi no puede moverse, pero puede permanecer encendido hasta que se agote el combustible. En esta fase, el consumo y las emisiones son menores que en las otras fases de funcionamiento del motor, debido a que se

requiere una mínima inyección de combustible para mantenerlo encendido a bajas revoluciones.

2.4.2 VELOCIDAD CRUCERO

Se considera que un taxi se encuentra en velocidad crucero cuando ocurren cambios de velocidad incrementales absolutos iguales o menores a 0,1 m/s durante un segundo. En la fase de conducción a velocidad crucero, se genera el menor consumo de combustible en comparación con la fase de conducción transitoria, ya que el motor del taxi se mantiene funcionando a una velocidad constante durante un período de tiempo mayor, sin cambios bruscos que aumenten el consumo.

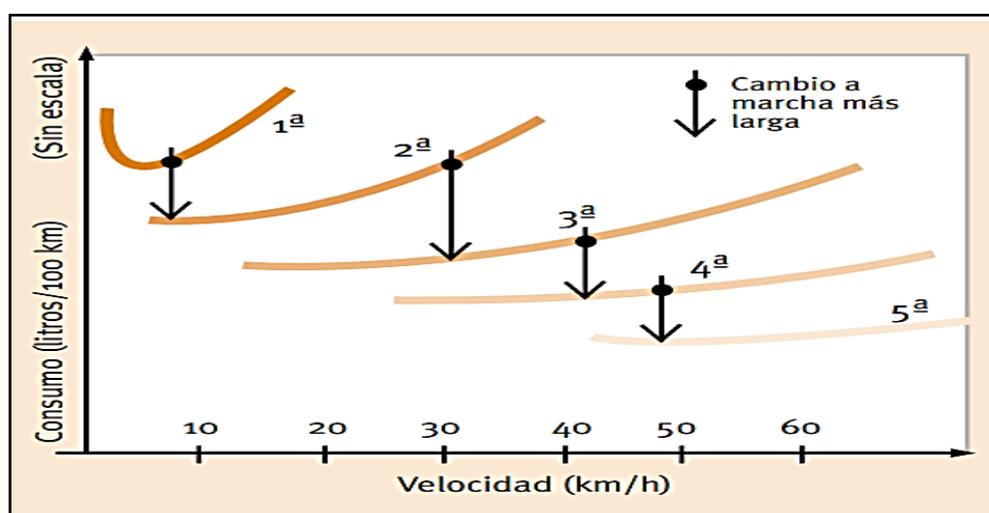


Figura 2.6 Consumo en función a los cambios de velocidad

(IDAE, 2002, pág. 10)

En la Figura 2.6 se indica el consumo en función de la velocidad para las diferentes marchas de la caja de cambios. El motor de un taxi funciona en las mejores condiciones cuando se encuentra en el estado de conducción conocido como velocidad crucero. En este estado, el taxi no realiza cambios bruscos y recorre trayectos largos consumiendo menos combustible.

2.4.3 DESACELERACIÓN

En la fase de desaceleración, el motor reduce su velocidad en un intervalo de tiempo, lo que resulta en una variación negativa. En este modo, se producen cambios de velocidad incrementales negativos superiores a 0,1 m/s durante un segundo. Durante la desaceleración, el vehículo requiere menos energía en comparación con la aceleración, pero el flujo de combustible se mantiene constante, al cambiar de velocidad crucero a una aceleración de mayor velocidad el flujo aumenta.

2.5 PATRONES DE CONDUCCIÓN

Los patrones de conducción se basan en la velocidad-tiempo que lleva recorrer un trayecto en un vehículo. Utilizando esta información, se puede determinar las condiciones de trabajo a las que se somete el motor, lo cual está directamente relacionado con las emisiones generadas por el parque automotor de una ciudad. Además, las variables dinámicas como el tiempo de operación, el ralentí, la desaceleración, las frenadas, las aceleraciones y las paradas son parte de las características de un patrón de conducción (Gonzalez, 2017, pág. 33).

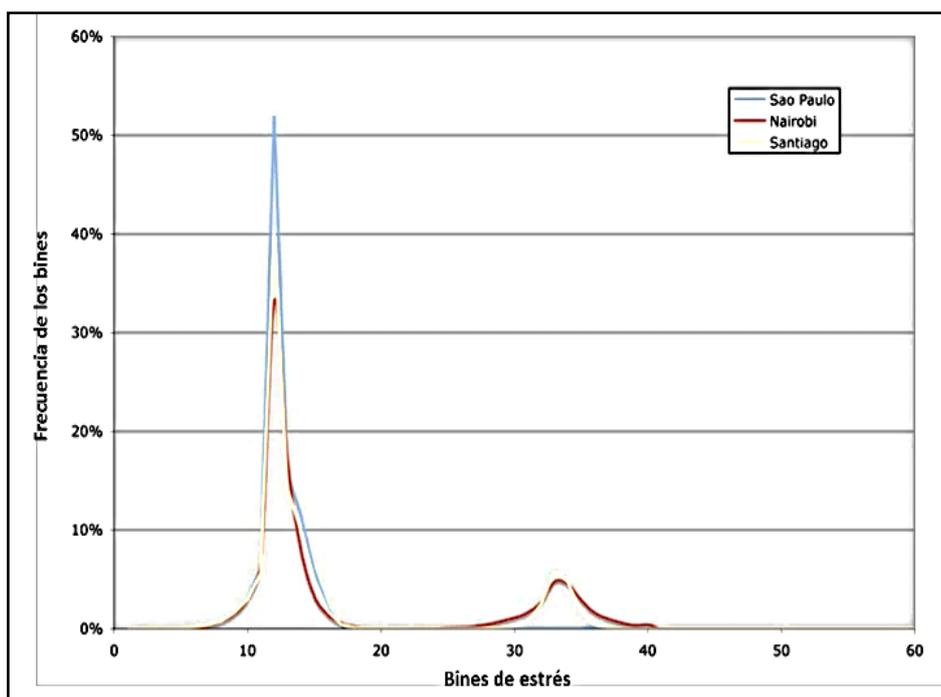


Figura 2.7 Patrones de conducción para Sao Paulo, Nairobi y Santiago

(Gonzalez, 2017, pág. 34)

En la Figura 2.7 se muestran ciclos de conducción representativos en ciudades extensas como Santiago de Chile, Sao Paulo y Nairobi. Los patrones de conducción son una representación de cómo se conducen los vehículos en una zona. En este caso los patrones se determinan mediante frecuencia de bins.

2.5.1 TIPO DE VÍA

La elección del tipo de ruta tiene un impacto directo en el consumo de combustible y las emisiones generadas. Las carreteras en mal estado, mal señalizadas, congestionadas y con pendientes pronunciadas aumentan el consumo de combustible debido a que la resistencia a la rodadura es mayor, lo que reduce la velocidad del vehículo y obliga a utilizar marchas

bajas. Si el conductor realiza cambios con frecuencia, acelera o frena bruscamente, el consumo se verá afectado. Las vías con mayor flujo vehicular también generan un aumento en el consumo de combustible y mayor impacto ambiental (Granda, 2021, pág. 16).

2.5.2 TIPO DE VEHÍCULO

El tipo de vehículo es una variable que influye en los patrones de conducción, ya que cada modelo tiene diferencias en la entrega de par y potencia. Por lo tanto, es importante conocer bien las especificaciones de un modelo para obtener el máximo rendimiento. Por ejemplo, si un vehículo tiene una alta cilindrada, también tendrá un mayor consumo, lo que aumenta los factores de consumo y emisiones. Se deben tener en cuenta aspectos como los regímenes de trabajo del motor, la carga del motor y un plan de mantenimiento preventivo para lograr una conducción eficiente (Davila & Vasquez, 2005, pág. 14).

El horario en el que los taxis circulan por vías de tráfico intenso afecta los patrones de conducción. En la ciudad, existen muchos puntos de congestión vehicular debido a la mala organización territorial y otros aspectos, lo que resulta en largas filas de vehículos en ciertas horas y un mayor consumo de combustible al recorrer trayectos muy cortos. Las diferencias entre conducir de noche o de día por la misma ruta se pueden observar en el consumo de combustible. Actualmente, se puede utilizar la tecnología para seleccionar rutas con menor tráfico con el fin de reducir el consumo y las emisiones contaminantes. La congestión genera diversos problemas que afectan la movilidad, el medio ambiente, la calidad de vida de las personas y su entorno (Rodríguez, 2021, pág. 14-15).

2.5.3 MODO DE CONDUCCIÓN

El modo de conducir del taxi es un aspecto de interés para el desarrollo de los ciclos de conducción. Actualmente, existen diferentes tipos de conductores según su estilo de conducción, que puede ser pasivo, agresivo, normal o ecológico. Un conductor pasivo evita aceleraciones y cambios de velocidad bruscos, mientras que un conductor agresivo no lo hace. Los conductores normales mantienen velocidades y aceleraciones promedio, lo que resulta en un consumo de combustible moderado. Los conductores más eficientes suelen ser los ecológicos, ya que garantizan un régimen de revoluciones constante que mejora notablemente el rendimiento del vehículo.

2.6 CICLOS DE CONDUCCIÓN

Los ciclos de conducción difieren según la tecnología del vehículo, el tipo de vías, las características climáticas, geográficas y las condiciones reales de tráfico del lugar donde se desarrolla el estudio. Debido a esto, los patrones de conducción de cada lugar son diferentes, lo que ocasiona que los ciclos de conducción no tengan un referente fijo para todas las ciudades. Además, el crecimiento en la demanda del transporte genera formas de conducción dinámicas. Actualmente, se han estudiado varios ciclos de conducción, a continuación, se detallan los más utilizados.

2.6.1 CICLO FTP Y SU EVOLUCIÓN

Este procedimiento emplea un ciclo de conducción obtenido en la Ciudad de Los Ángeles, California, en un recorrido típico desde casa al trabajo por la mañana. Fue creado en la mitad de los años 60. En ese momento, el vehículo utilizado fue un Chevrolet 1964, y se midieron parámetros como la velocidad del vehículo, la presión en el múltiple de admisión y el régimen de giro del motor. La ruta seleccionada fue de 12 millas y se denominó "LA4" (Quinchimbla y Solís, 2015, p. 3).

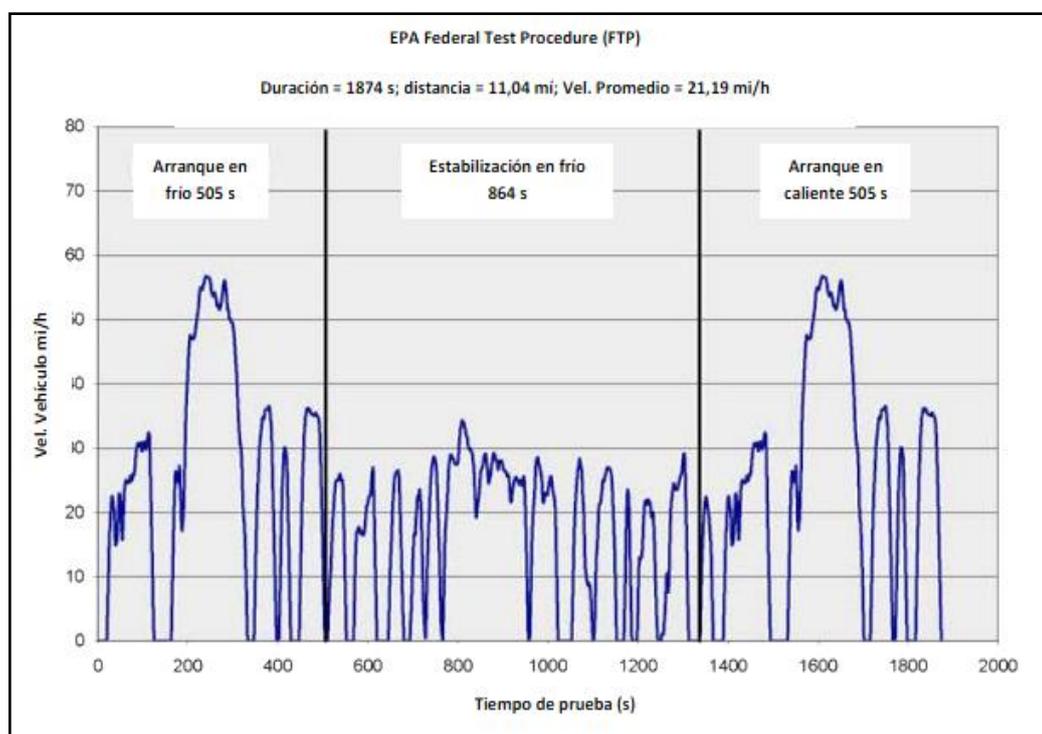


Figura 2.8 Ciclo de conducción FTP

(Obando, 2009, pág. 10)

En la Figura 2.8 se muestra un ciclo de referencia basado en las condiciones de tráfico de los Estados Unidos, conocido como FTP (Federal Test Procedure). El tráfico cambia constantemente debido al aumento de la población o los cambios en el transporte público, lo que provoca variaciones en los ciclos de conducción. Estos ciclos se obtienen a partir de información considerada estadísticamente representativa para un área urbana particular. Actualmente, este ciclo se conoce como LA4 o Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS) y se utiliza como referencia para certificar los valores de emisiones de vehículos y camiones ligeros de modelo 1972 en adelante.

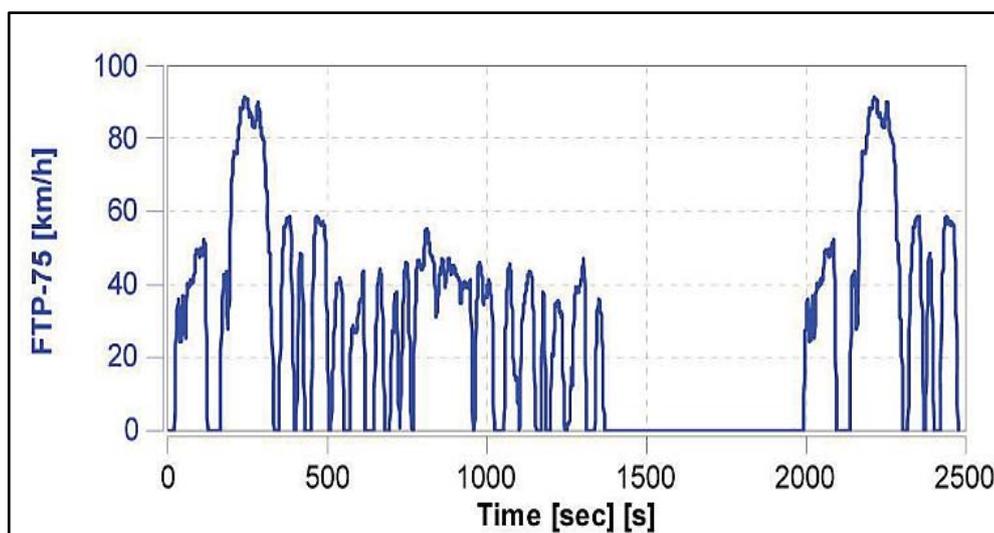


Figura 2.9 Ciclo de conducción FTP-75

(Quinchimbla & Solís, 2015, pág. 4)

A partir de 1975, el ciclo utilizado sufrió algunas modificaciones, como se muestra en la curva presentada en la Figura 2.9, donde se repite una etapa inicial que dura 505 segundos, seguida de un período de 10 minutos de reposo del vehículo. Este ciclo se ha utilizado como procedimiento de prueba FTP 75. Desde el año 2002, el ciclo de prueba FTP 75 ha sido adoptado en Ecuador en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204 (Quinchimbla y Solís, 2015, p. 4).

Este ciclo fue creado por la agencia Environmental Protection Agency (EPA) para representar un ciclo de viajes diarios desde casa al trabajo. Este método tiene un diseño que representa un modo de conducción urbano, incluyendo paradas y tráfico, y otro modo de conducción en autopista para determinar el consumo y las emisiones contaminantes. Las características principales del ciclo se indican en la Tabla 2.1.

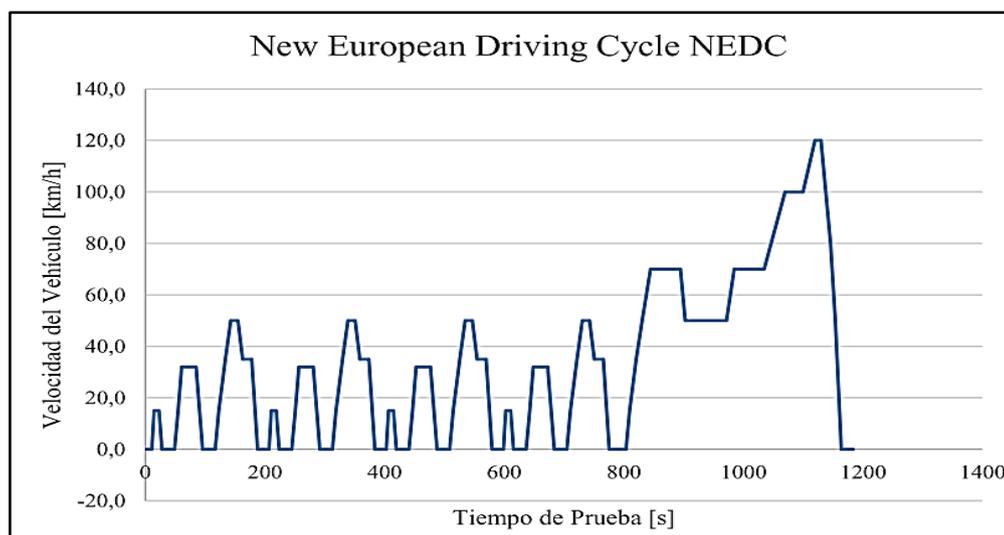
Tabla 2.1 Características del ciclo FTP-75

Velocidad Promedio [km/h]	34,1
Duración [s]	1 874
Distancia [km]	17,77

Fuente: (Autores)

2.6.2 CICLO DE CONDUCCIÓN NEDC

Este ciclo ha recibido críticas por parte de los expertos, ya que no representa las condiciones reales de conducción. Las aceleraciones son muy suaves, hay una gran cantidad de tramos a velocidad constante y muchos momentos de inactividad. Por estas razones, las autoridades europeas están buscando una solución para reemplazar el ciclo NEDC.

**Figura 2.10** Ciclo de conducción NEDC

(Astudillo Bravo, 2016, pág. 18)

El ciclo NEDC (New European Driving Cycle) se indica en la Figura 2.10 y se utiliza como ciclo de referencia para homologar vehículos hasta la norma Euro6 en Europa y otros países. Está compuesto por una parte urbana llamada ECE, que se repite cuatro veces, y una parte extraurbana llamada EUDC. Las características principales del ciclo se muestran en la Tabla 2.2. Se espera que el nuevo ciclo, denominado Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure (WLTP), aparezca para la próxima norma Euro7 (Quinchimbla et al., 2015, pág. 7).

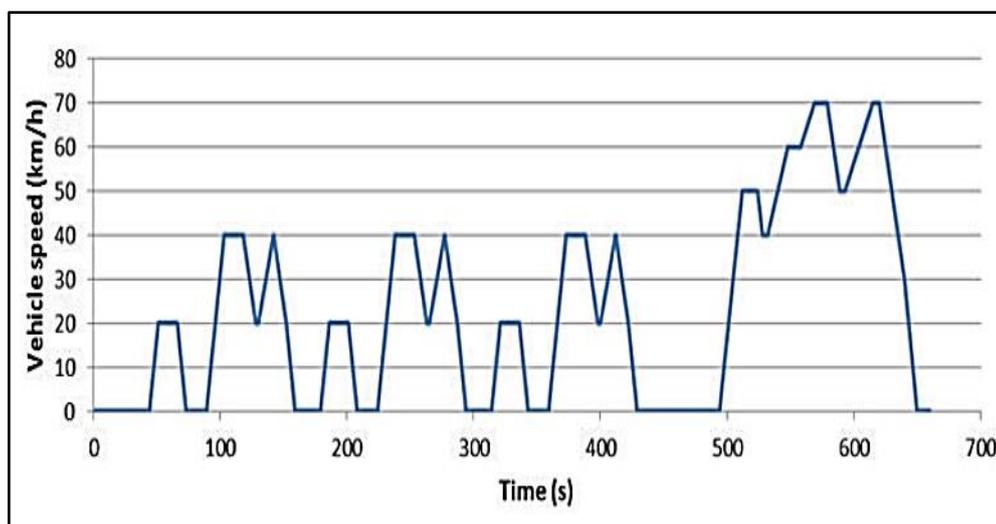
Tabla 2.2 Características del ciclo NEDC

Velocidad Promedio [km/h]	33,6
Duración [s]	1 180
Distancia [km]	11,02

Fuente: (Autores)

2.6.3 CICLO MODO 10-15

El ciclo japonés MODO 10-15 se utiliza para la certificación de emisiones y consumo de combustible en Japón. Este ciclo simula la conducción en entornos urbanos y en carretera, incluyendo tiempo de ralentí, aceleraciones, desaceleraciones, entre otros. Se realiza la medición con el motor caliente después de un procedimiento estándar de calentamiento

**Figura 2.11** Ciclo MODO 10-15

(Pintos, 2011, pág. 16)

En la Figura 2.11 se muestran los perfiles de velocidad de este ciclo. Al finalizar el desarrollo del ciclo MODO 10-15, se obtuvieron varios resultados importantes para evaluar los ciclos de conducción en Japón. En la Tabla 2.3 se indican las características principales de este modelo. En este ciclo la distancia es menor que en los ciclos FTP-75 y en ciclo NEDC.

Tabla 2.3 Características del ciclo MODO 10-15

Velocidad Promedio [km/h]	22,7
Duración [s]	660
Distancia [km]	4,16

Fuente: (Autores)

2.6.4 CICLO DE CONDUCCIÓN EN HONG KONG- HK

En Hong Kong, se sigue un patrón de conducción típico para áreas urbanas, suburbanas y de autopistas. Se recopilieron los datos mediante la instalación de instrumentos en un vehículo y se realizaron recorridos en dos rutas predefinidas ubicadas en dos distritos urbanos de Hong Kong. Los datos obtenidos se analizaron y se compararon con otros patrones de conducción en diversas regiones del mundo. (Tong, Hung, Cheung, 2000, pág. 1433).

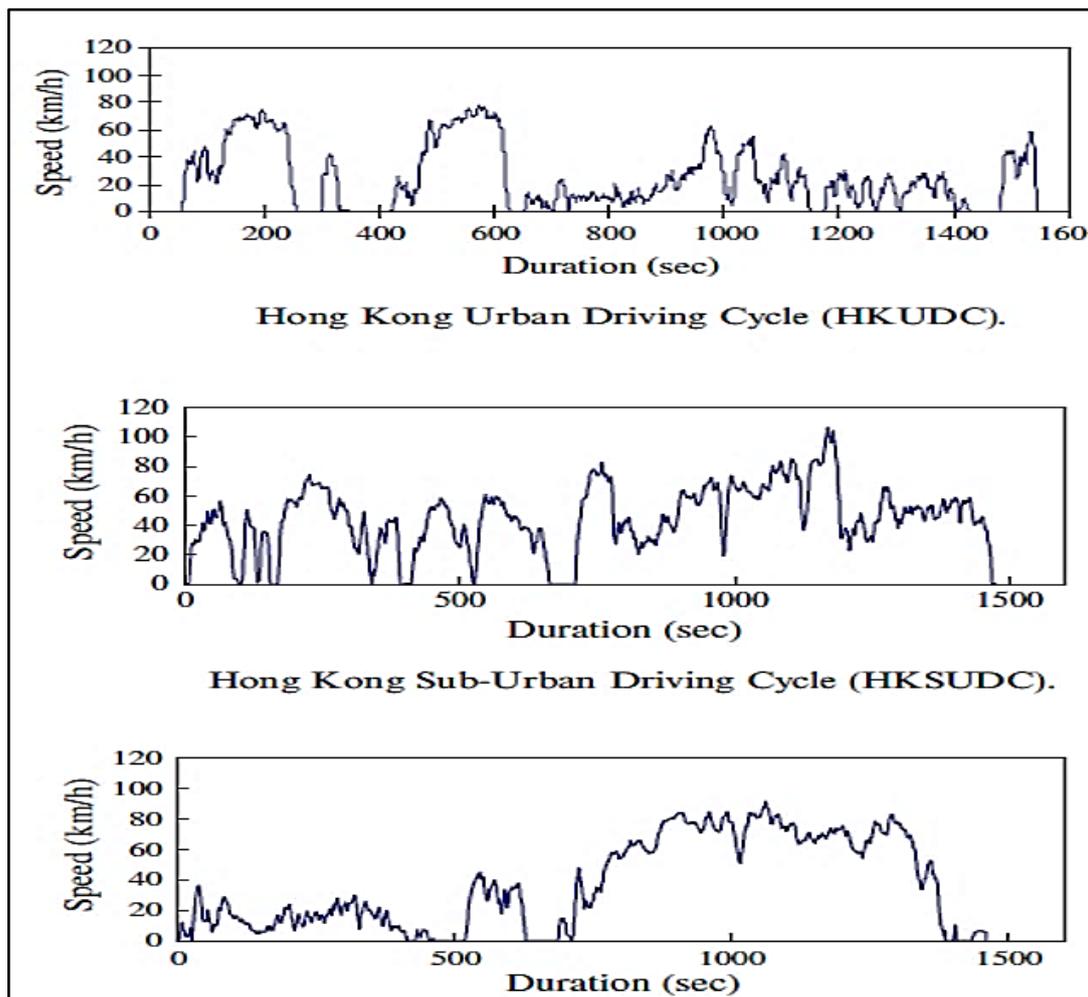


Figura 2.12 Ciclos de conducción Hong Kong-HK

(Hung, Tong y Lee, 2007, pág. 122)

Este ciclo se muestra en la Figura 2.12. Se consideraron nueve parámetros, como la velocidad promedio, la velocidad promedio del trayecto, la aceleración promedio, la desaceleración promedio, la longitud, las paradas y el promedio de aceleraciones y desaceleraciones. Se utilizó un sensor infrarrojo para medir la velocidad del motor y la rotación de la transmisión, y un microordenador Pentium para almacenar los datos.

Como resultado, se realizaron un total de doce recorridos, seis en el área de la península de Kowloon y seis en la isla de Hong Kong. Luego, se calculó el promedio de los parámetros mencionados para ambas áreas, así como un promedio por separado para cada una de ellas. Para que los valores del ciclo de conducción sean aceptados, no deben diferir en más del 5% de los valores promedio. Cada período de recorrido tiene una duración de 1 minuto y un ciclo está compuesto por 20 períodos, lo que suma un total de 20 minutos. Los datos más importantes del ciclo se indican en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Características del ciclo Hong Kong (HK)

Variables	Ciclos		
	Urbano	Extraurbano	Autopista
Velocidad Promedio [km/h]	25,0	44,4	38,3
Duración [s]	1 548	7 147	1 401
Distancia [km]	10,30	18,28	14,9

Fuente: (Autores)

2.6.5 CONDUCCIÓN EFICIENTE

El término conducción eficiente se refiere al modo de conducir un vehículo con el objetivo de minimizar el consumo de combustible y reducir el impacto ambiental. Esto proporciona a los ocupantes una mayor comodidad al conducir y también reduce los riesgos de tráfico. Se rige por reglas efectivas y sencillas que buscan aprovechar las características que ofrecen los vehículos actuales. Por ejemplo, mantener una velocidad constante de conducción ayuda a reducir el consumo de combustible.

Actualmente, la eficiencia en la conducción se ha descuidado en nuestro país. Según las estadísticas, el transporte ecuatoriano consume más del 50% del petróleo que se quema. El aumento del número de automóviles influye directamente en la contaminación. Debido a esto, los fabricantes se valen de la tecnología para mejorar los vehículos y hacerlos menos nocivos para el medio ambiente. Esto se evidencia en modelos modernos que registran datos de consumo de menos de 3 litros por cada 100 kilómetros recorridos, lo que fomenta la tendencia a consumir menos combustible y obtener un mayor rendimiento. Sin embargo, esto no es absoluto, ya que el mal uso del vehículo por parte del conductor anularía la eficiencia generada.

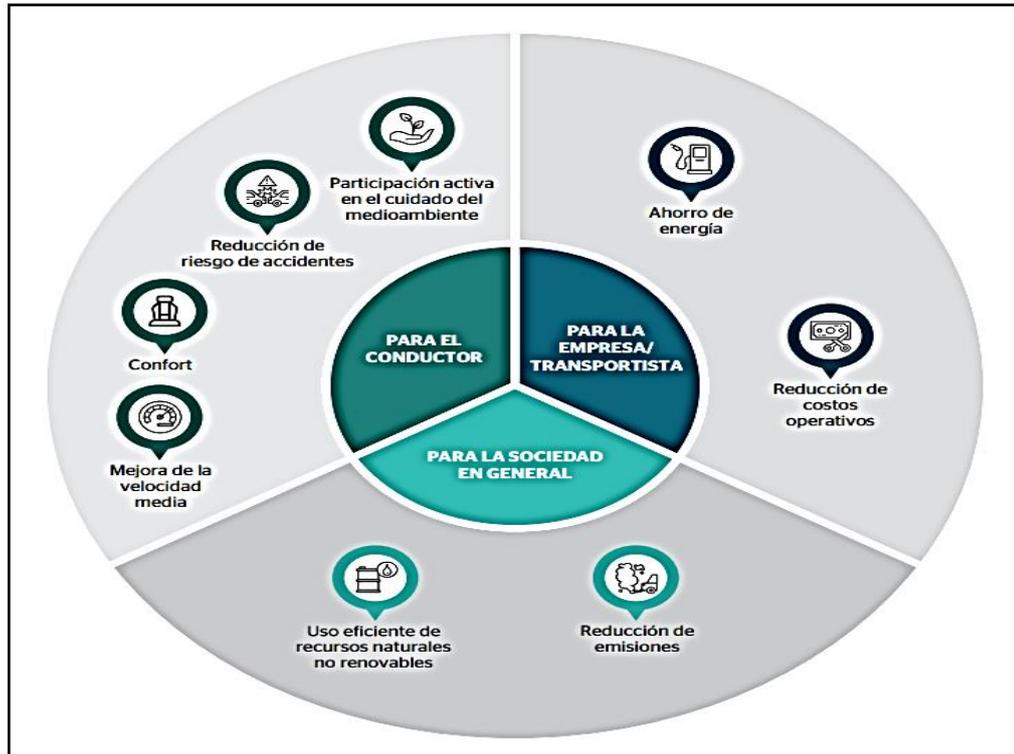


Figura 2.13 Beneficios de la conducción eficiente

(Davila & Vasquez, 2005, pág. 15)

En la Figura 2.13 se indican algunos beneficios de la conducción eficiente. En general, el estilo de conducción en una ciudad está relacionado con el crecimiento económico, los patrones de desarrollo y la calidad de vida de las personas. Se identifican tres aspectos en los que los beneficios son tanto para el conductor, la empresa y la sociedad en general. Para garantizar la movilidad de las personas, es fundamental contar con una buena cobertura de rutas y una gestión de transporte de calidad, con el fin de reducir la congestión y fortalecer ciudades más eficientes (Ortega, 2018, pág. 1-2).

2.7 VEHÍCULOS PROPULSADOS POR MEP

El rendimiento térmico de un MEP varía entre el 25% y el 30% en su punto óptimo. Además, los motores MEP se distinguen por tener una relación de compresión r que tiende a ser baja, oscilando entre 8:1 y 12:1. Como resultado, su eficiencia térmica suele ser menor en comparación con los motores diésel (Iglesias, 2019, pág. 36)

2.7.1 MECANISMO DE OPERACIÓN Y COMPONENTES PRINCIPALES

Los vehículos propulsados por motores de combustión interna funcionan según el principio de los motores a gasolina, también conocidos como motores de cuatro tiempos Otto. Estos motores utilizan la termodinámica para convertir la energía química de ignición, provocada

por una pequeña cantidad de aire/combustible, en energía mecánica, proporcionando al vehículo la energía necesaria para su movimiento (Granell, 2015, pág. 1)

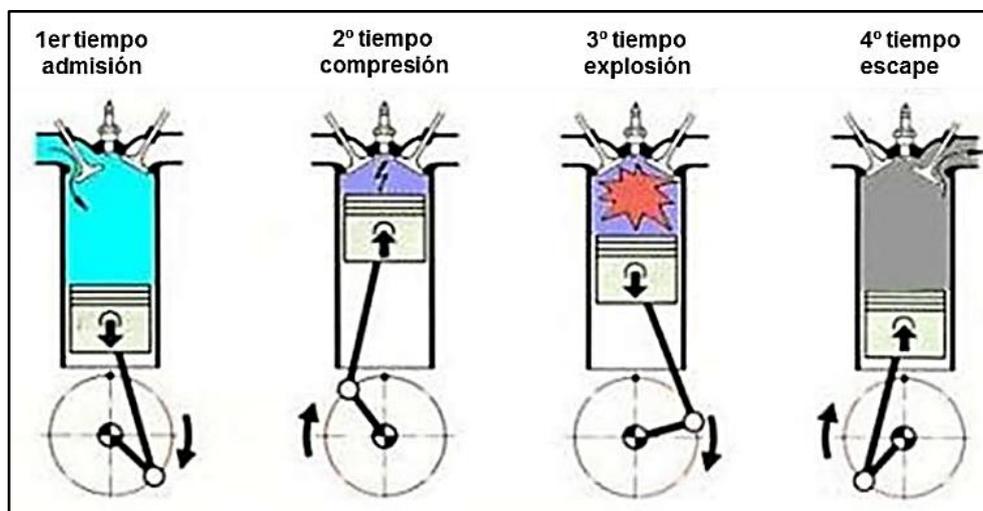


Figura 2.14 Ciclo Otto motor de combustión interna

(Morales & Hernández, 2014, pág. 12)

Los motores de cuatro tiempos constan de cuatro fases: admisión, compresión, explosión y escape ver Figura 2.14. La mayoría de los vehículos en movimiento utilizan un motor de cuatro tiempos, independientemente de si tienen 2, 3, 4, 5, 6, 8 o más cilindros. El ciclo comienza con la admisión, donde la mezcla de aire y combustible ingresa al cilindro mientras el pistón desciende y la válvula de admisión permanece abierta. Luego, la válvula de admisión se cierra y se inicia una compresión adiabática, donde no se intercambia calor con el exterior, aunque existen factores de irreversibilidad como la fricción. Justo antes de que el pistón alcance su punto más alto, se produce una chispa de la bujía, lo que provoca la combustión de la mezcla durante la compresión a volumen constante. A partir de ahí, el gas resultante de la combustión se expande adiabáticamente, empujando el pistón hacia abajo y generando trabajo. Finalmente, cuando el pistón llega a su punto más bajo, se abre la válvula de escape y los gases de combustión son expulsados. (Iglesias, 2019, pág. 35)

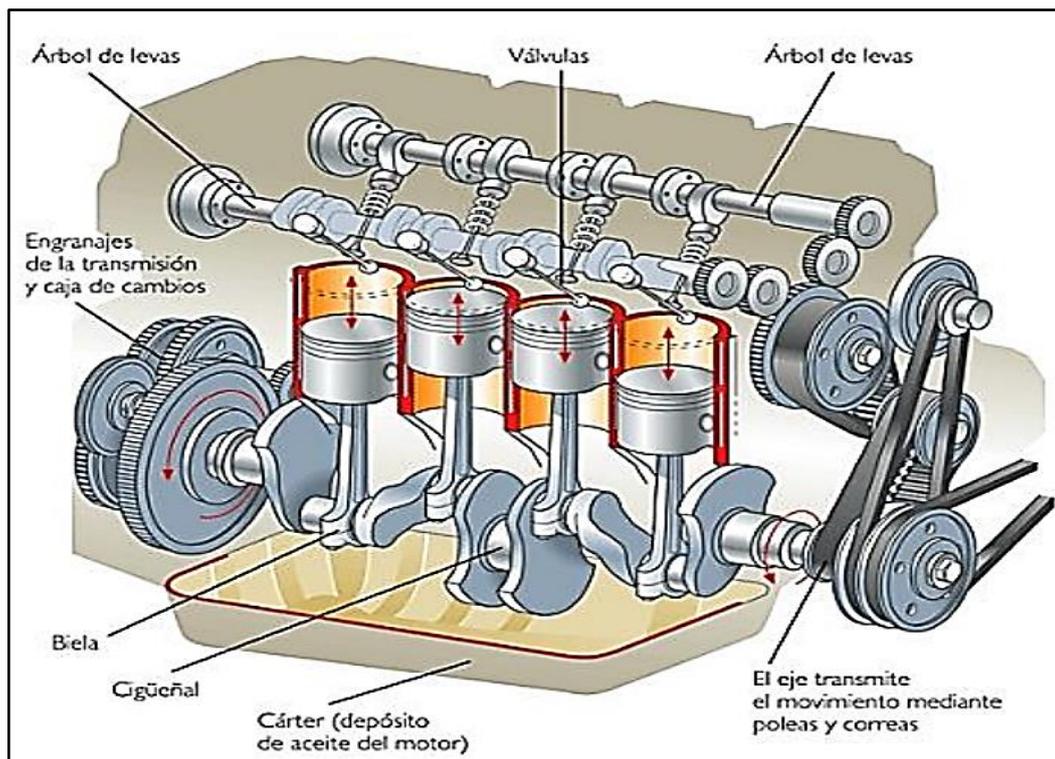


Figura 2.15 Esquema interno motor de cuatro tiempos

(Molina, 2020, pág. 5)

La Figura 2.15 muestra los componentes principales de un motor de cuatro tiempos. Los motores de combustión interna (MCI) son mecanismos que convierten la energía térmica contenida en un fluido compresible en energía mecánica. Esta conversión ocurre a través del inicio de la combustión, que se logra mediante una chispa generada entre los electrodos de una bujía. En estos motores, la combustión se produce mediante un avance de un frente de llama que recorre la cámara de combustión, dividiendo constantemente el espacio en dos zonas distintas: una zona de gases frescos y otra de gases quemados. Esta característica es fundamental en los MCI.

2.7.1.1 Embrague

El mecanismo de embrague se localiza entre la caja de cambios y el motor del vehículo. Este elemento permite acoplar y desacoplar el par motor y las revoluciones según la voluntad o necesidad del conductor hacia los demás componentes de la transmisión. Debido a su uso habitual se requiere constante manteniendo este sistema. (Camarena, 2010, pág. 3)

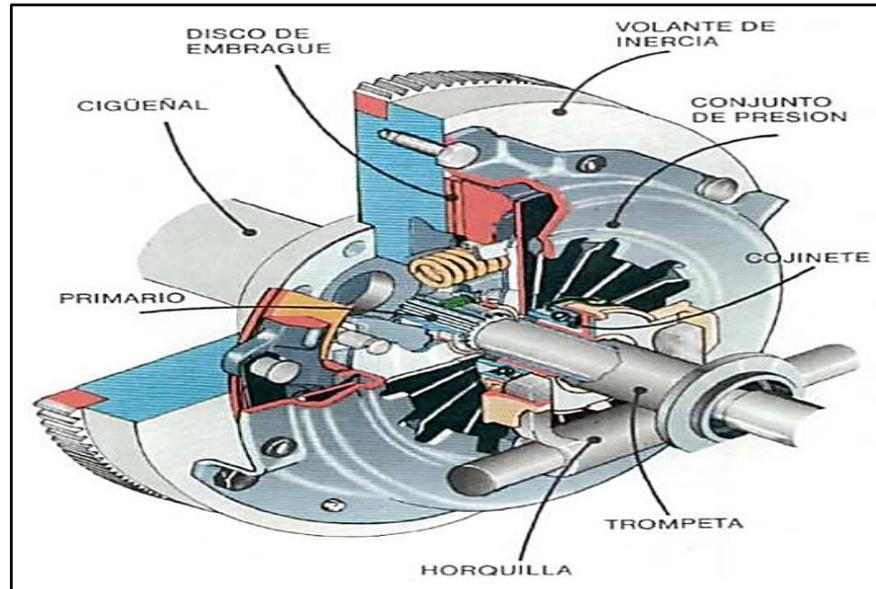


Figura 2.16 Embrague y sus partes

(Camarena, 2010, pág.11)

La Figura 2.16 muestra las partes del embrague y su posición de embrague y desembrague. Su función principal es controlar la transmisión de la potencia del motor a las ruedas, permitiendo al conductor realizar cambios de marcha o iniciar el movimiento del automóvil según su voluntad

2.7.1.2 Caja de velocidades

Este componente es de gran tamaño y se conecta lateralmente al motor, dejando un espacio para el acoplamiento del embrague, que, a su vez, está montado en el volante de inercia. Dentro de la caja de cambios se encuentran diversos mecanismos que permiten transformar las revoluciones por minuto y el par motor, adaptándose a las necesidades de conducción en cada momento.

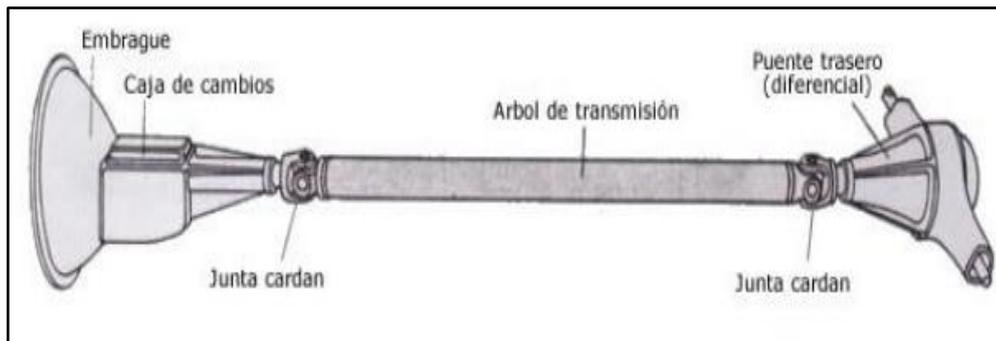


Figura 2.18 Eje de transmisión y sus partes

(López, 2015, pág. 38)

La Figura 2.18 muestra el conjunto completo con el eje de transmisión. La transferencia del movimiento desde la caja de cambios hacia las ruedas requiere de componentes específicos para cumplir con esta función. Estos componentes dependen principalmente de la ubicación del motor en el vehículo y de la posición de las ruedas motrices. Estos elementos de transmisión están constantemente sometidos a fuerzas de torsión y, por lo tanto, deben ser diseñados para resistir estas fuerzas sin deformarse, además de ser capaces de transmitir todo el par motor a las ruedas.

2.7.1.4 Diferencial

La función del diferencial es dividir de manera equitativa el par motor hacia ambas ruedas, permitiendo que giren a diferentes velocidades. De modo que cada una de las ruedas gire de manera independiente, de acuerdo con el recorrido que realice cada una de ellas. Esto garantiza un mejor giro del vehículo y su estabilidad en trayectorias curvas.

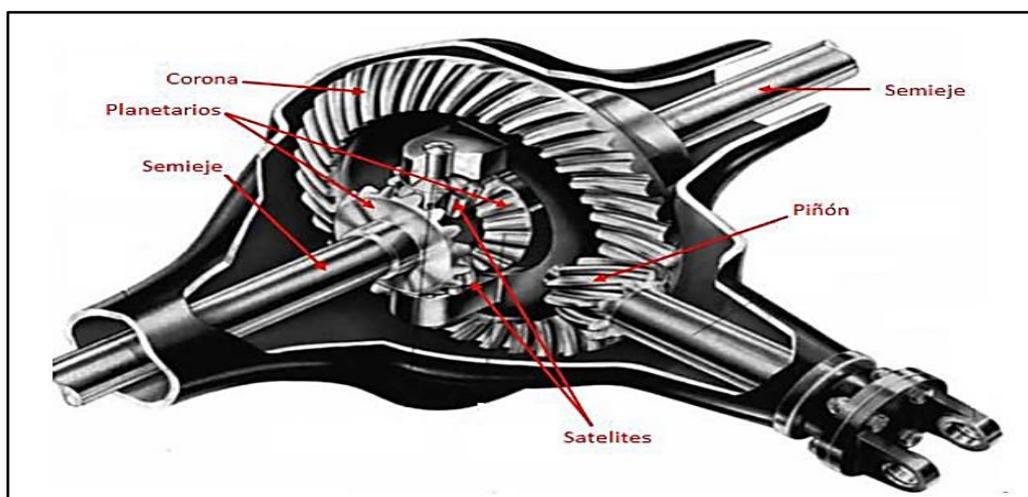


Figura 2.19 Conjunto diferencial convencional y sus partes

(López, 2015, pág. 40)

La Figura 2.19 ilustra los giros de cada componente dentro del diferencial mientras está en funcionamiento. En el mecanismo, los engranajes se encuentran dispuestos en forma de "U" en el eje. Cuando las dos ruedas del vehículo recorren el mismo camino, en una línea recta, los engranajes se mantienen en una posición neutral. Sin embargo, al tomar una curva, los engranajes se desplazan ligeramente para compensar las diferentes velocidades de giro de las ruedas. (Hidalgo y Tenelanda, 2013, pág. 14)

2.7.2 LA GASOLINA EN EL ECUADOR

En cuanto a la gasolina en Ecuador, según Petroecuador, en 2011 se importó gasolina de 95 octanos que se mezcló con la gasolina existente, lo que resultó en un aumento de 81 a 87 octanos en la gasolina Extra y de 90 a 92 octanos en la Súper. Estos incrementos en el octanaje representan una contribución ambiental al reducir las emisiones de gases de los vehículos y mejorar el rendimiento del combustible.

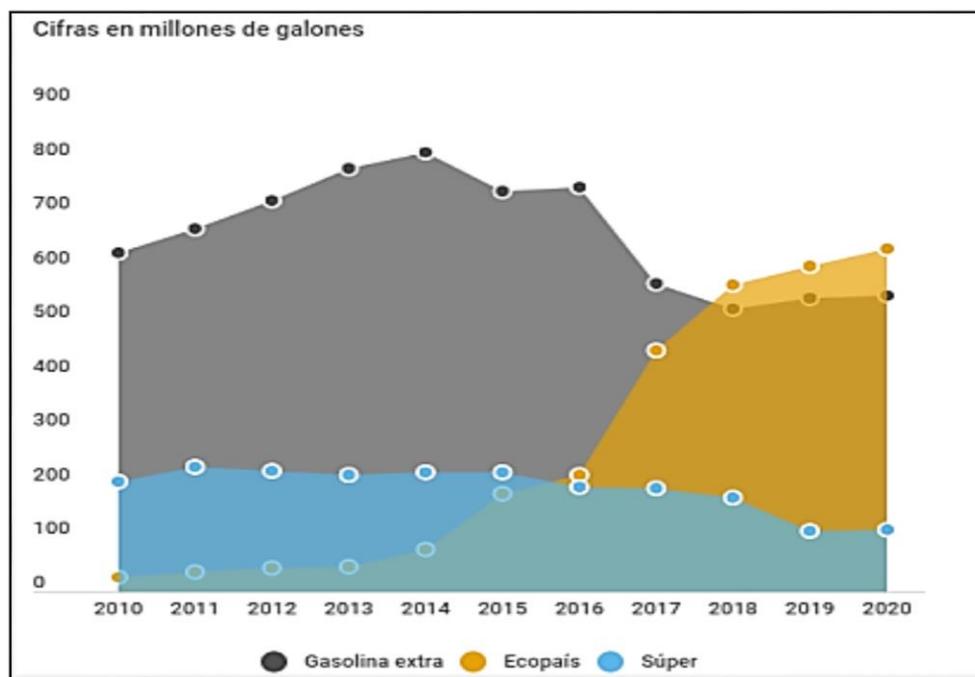


Figura 2.20 Evolución de Parque Automotor

(Granda, 2021, pág. 10)

La Figura 2.20 muestra estos datos anuales y refleja el crecimiento y la caída en ventas del combustible hasta el año 2020. El consumo de derivados del petróleo, como la gasolina, el diésel y el GLP, representa aproximadamente el 82% de la matriz energética en Ecuador. El país tiene uno de los mayores subsidios en combustibles. En el sector automotor, el consumo

de gasolina Extra, Eco país y Súper experimentó una caída en 2019, por primera vez en la última década, según datos de la empresa pública Petroecuador. (Granda, 2021, pág. 8-9)

En esta sección también se encuentra involucrado un factor que destaca de manera espontánea, que son las técnicas de conducción, las cuales se basan principalmente en la economía y el mantenimiento del vehículo. Esto forma parte de los diferentes estilos de conducción, y el avance tecnológico se refleja en un alto consumo de combustible en vehículos de trabajo, especialmente en el caso de la flota de taxis.

2.7.3 CONSUMO DE COMBUSTIBLE VEHICULOS LIVIANOS

El consumo de combustible va influenciado proporcionalmente al tipo de vehículo, como también las condiciones de la carretera y el estilo de conducción de los operarios del vehículo a su cargo. El consumo de combustible en el automóvil se puede dar por el mal uso de algunos elementos que lo componen como:

- Aire acondicionado o climatizador: Este accesorio tiene un gran impacto en el consumo de combustible. Se recomienda mantener la temperatura entre 21-22 °C.
- Ventanillas: Conducir con las ventanillas abierta en altas velocidades provoca una mayor resistencia al movimiento del vehículo, aumentando la fuerza de rozamiento con el aire. Es mejor utilizar los dispositivos de aireación para ventilar el vehículo.
- Mantenimiento del vehículo: El consumo de combustible y las emisiones contaminantes pueden reducirse mediante el diagnóstico del motor, que permite detectar averías ocultas que aumentan el consumo y las emisiones.
- Conducir de manera constante es una forma de ahorrar combustible. Además de circular con precaución en el entorno del tráfico, conducir de forma suave, evitando acelerones y no revolucionando el motor en exceso, también beneficia a otros sistemas, como los frenos y el confort de los pasajeros

2.7.4 FORMACIÓN DE EMISIONES MEP

En cuanto a las emisiones generadas por los vehículos propulsados por MEP, de manera general se dividen en tres tipos de contaminantes: emisiones de gases por el tubo de escape, emisiones evaporativas del combustible y emisiones de partículas al entrar en contacto con los frenos y las llantas. La contaminación ambiental representa un riesgo considerable para la salud del ecosistema y de las personas que lo habitan, tanto en países en vías de desarrollo como en países desarrollados.

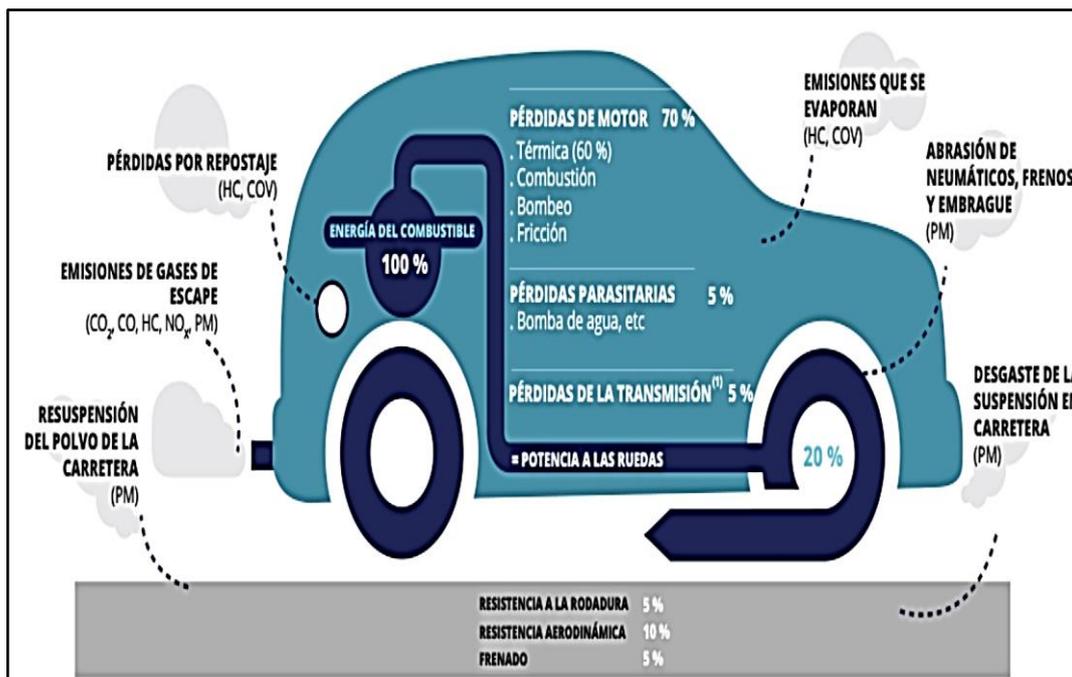


Figura 2.21 Emisiones vehículos MEP

(EEA, 2016, s.f.)

La Figura 2.21 muestra los contaminantes que se liberan de un vehículo propulsado por gasolina extra. Las emisiones de escape incluyen CO₂ (dióxido de carbono), CO (monóxido de carbono), HC (hidrocarburos), NO_x (óxidos de nitrógeno) y PM (material particulado). Las emisiones evaporativas incluyen HC y COV (compuestos orgánicos volátiles), y las emisiones de partículas incluyen la abrasión de neumáticos, frenos y embrague, desgaste de la suspensión en carretera, suspensión del polvo de la carretera y emisiones por pérdida de repostaje (HC, COV).

Establece los requisitos de las emisiones contaminantes para pruebas estáticas y dinámicas. Las pruebas estáticas se hacen con el vehículo en marcha mínima o ralentí, mientras que las pruebas dinámicas se realizan en un dinamómetro utilizando el ciclo de conducción americano FTP-75 y el ciclo de conducción europeo ECE + EUDC (Pérez, 2006, pág. 2).

La normativa contiene los límites que cada tipo de vehículo debe cumplir en los ensayos estáticos y dinámicos. En las pruebas estáticas solo se controla el CO y los HC. El CO se mide en porcentaje de volumen y los HC en partes por millón. Por otro lado, en las pruebas dinámicas cuando se emplea el FTP-75 se monitorean el CO, los hidrocarburos (THC), los hidrocarburos diferentes al metano (NMHC) y el NO_x. De manera similar, cuando se emplea el ECE + EUDC se verifican el CO, los HC y el NO_x. Los límites se expresan en g/mi en el

caso del FTP-75, mientras que en g/km en el caso del ECE + EUDC. (Narváez Espinoza, y Narváez Sosa, 2023, pág. 21).

2.7.5 CURVAS DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

Las curvas de un motor representan la capacidad de trabajo que tiene un modelo. Estas son las características esenciales de un motor de combustión interna expresadas de forma gráfica, tales como: el par motor, la potencia del motor y el consumo específico, con parámetros en distintos regímenes de giro del motor.

2.7.6 PAR MOTOR

El par motor es un valor caracterizado por la fuerza de torsión que ejerce el motor de combustión interna en cada momento que está en funcionamiento. Este valor es determinado por la fuerza de explosión de los gases dentro de la cámara de combustión con dirección a la biela, multiplicado por la distancia entre el eje de la biela y el cigüeñal. La variación de este par puede presentarse debido a que los gases dentro del cilindro también son variables. Es importante destacar que existe la probabilidad de que este valor sea nulo debido a la distancia entre la biela y el cigüeñal, como ocurre en el caso del PMS (punto muerto superior) y el PMI (punto muerto inferior). El par motor se calcula algebraicamente de la siguiente manera:

$$M = F \cdot r \quad [2.3]$$

Donde:

M = par motor [Nm]

F = fuerza [Nm]

r = radio de giro [rad/seg]

2.7.7 POTENCIA DEL MOTOR

El concepto de potencia se refiere a la frecuencia con la que el par motor está disponible en un período de tiempo, es decir, la velocidad a la que se puede acceder al par. La potencia generada por un motor depende de la relación de compresión y del tamaño del cilindro, ya que valores más altos en estas variables resultan en una mayor explosión y una mayor fuerza aplicada al pistón. (Castillo, Rojas y Martínez, 2017, pág. 2).

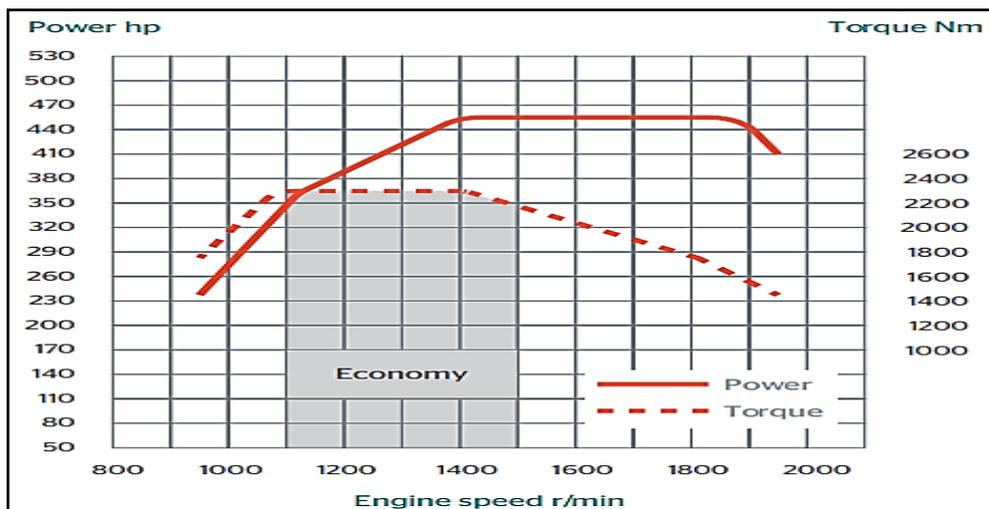


Figura 2.22 Graficas típicas de curvas de par y potencia de un motor

(Davila & Vasquez, 2005, pág. 21)

La potencia de un motor se puede representar de forma puntual con respecto a rpm específicas o a un rango de revoluciones. Cuando este rango de revoluciones determina un par máximo, la gráfica nos indica un incremento para después descender, como se muestra en la Figura 2.22. Para ejecutar el cálculo algebraico, es necesario realizarlo en función de revoluciones por minuto por la velocidad angular del motor. En este caso las unidades de la potencia del motor se expresan en hp, el par del motor en Nm. La fórmula para obtener la potencia del motor se expresa de la siguiente manera:

$$P = M * n \quad [2.4]$$

Donde:

P = potencia del motor [hp]

T = par motor [Nm]

N = revoluciones por minuto de giro del motor (r.p.m.)

2.8 EQUIPOS DE MEDICIÓN ON- BOARD

Los dispositivos de medición on-board para este estudio son dos: el GPS logger y la interfaz OBD-II. Ambos equipos recolectan datos de posición del vehículo, pero el GPS tiene mayor precisión y es específico para esta función. Por lo tanto, el dispositivo OBD-II se encarga de transmitir información sobre la operación del motor.

2.8.1 EQUIPOS GPS LOGGER

El GPS conocido como Sistema de Posicionamiento Global, tiene sus raíces en el sistema de posicionamiento espacial anterior de la Marina de los Estados Unidos llamado "TRANSIT". El propósito original de este sistema era localizar submarinos con misiles balísticos y buques militares.



Figura 2.23 Equipos GPS

La Figura 2.23 muestra varios GPS que registran datos en un punto exacto con hora y posición, trazando un recorrido. El GPS se fundamenta en el principio de triangulación utilizando la posición de los satélites que conforman la constelación de NAVSTAR y el tiempo de recorrido.

2.8.2 EQUIPO OBD II

La interfaz a bordo es el núcleo del sistema de control computarizado, donde la computadora contiene varios programas con valores referenciados y preestablecidos para la relación de mezcla aire/combustible, el ajuste de chispa o encendido, la anchura de impulsos de los inyectores, la velocidad del motor, entre otros parámetros que influyen en el óptimo funcionamiento del motor.



Figura 2.24 Equipos OBD II

En la Figura 2.24, podemos apreciar varios dispositivos para la lectura de estos datos, los cuales ofrecen valores reales para los distintos tipos de conducción, como el ralenti (marcha en vacío), la conducción a bajas y altas velocidades, así como con cargas bajas y elevadas. La interfaz a bordo suministra datos de entrada de todos los sensores y actuadores ubicados en todo el motor. De esta manera, estos dispositivos están en constante monitoreo y analizan las condiciones del motor, como la temperatura del refrigerante, la velocidad del motor, la carga del motor, la posición del estrangulador, la relación de mezcla aire/combustible, entre otras. Debido a las distintas características de transmisión de información de cada protocolo, es necesario contar con interfaces de conexión específicas para cada uno de ellos. (Ortega y Arévalo, 2016, pág. 7)

2.9 SOFTWARE Y APLICACIONES PROCESAMIENTO DE DATOS

Un software es una herramienta que combina las capacidades de un hardware y la potencialidad de un individuo ejecutando procesos para cumplir con un objetivo estadístico. El sistema operativo es funcional en: Windows, Mac, Android, iOS, etc. Cada programa está diseñado para cumplir con trabajos específicos, entre ellos se pueden mencionar la programación, simulación, bases de datos, edición de videos y escritura.

Las aplicaciones cumplen una función específica. Estos son programas totalmente diferentes al software de programación o sistemas operativos, ya que están diseñadas para ser de uso común. Por ejemplo, aplicaciones que permiten enviar mensajes, visualizar ubicaciones, escuchar o ver videos, etc.

2.9.1 TIPOS DE SOFTWARE

En la web podemos encontrar diferentes tipos de software que realizan el procesamiento de datos. Para elegir el que mejor se ajuste a las necesidades de nuestro estudio, es necesario diferenciar las características de cada uno. En la Tabla 2.5 se indican las características de algunos softwares utilizados para el procesamiento de datos. En este caso la mayoría de softwares son de acceso libre.

Tabla 2.5 Tipos de software y sus especificaciones

Tipos de software y sus especificaciones				
Software	Ventajas	Desventajas	Libre/privado	Usos
Excel	Fácil, visual y flexible	Grandes conjuntos de datos	Privado	Negocios
Matlab	Elegante soporte de matriz, visualización	Costoso, soporte de estadísticas incompletas		Ingeniería
Stata	Fácil análisis estadístico	No puede leer directamente de manejadores de bases de datos,		Investigación y ciencias aplicadas
SPSS	Fácil análisis estadístico	Costoso		Investigación de mercado
R	Soporte de biblioteca, visualización	Curva de aprendizaje difícil	Libre	Estadística financiera
Google Earth Pro	Alta resolución de imágenes 4800 píxeles	Demora en la lectura de fichero grandes		Visualización satelital
TSI LogView	Fácil manipulación e instalación	No permite visualizar el perfil de velocidades		Extracción de datos del GPS
GPS Photo Tagger	Fácil manipulación e instalación	Permite visualizar perfil de velocidades		Extracción de datos del GPS

Fuente: (Autores)

2.9.2 TIPOS DE APLICACIONES

Existen una vasta cantidad de aplicaciones para todos los sistemas operativos, como se indica en la Tabla 2.6. En este caso, para las pruebas on-board de consumo de combustible generadas por el OBD II, descargamos varias aplicaciones para visualizar su interfaz y elegir la adecuada. Cabe resaltar que todas las aplicaciones se pueden descargar gratuitamente, pero tienen algunas limitaciones que se desbloquean solo con la versión pagada.

Tabla 2.6 Tipos de aplicaciones y sus especificaciones

Tipos de aplicaciones y sus especificaciones				
Aplicación	Ventajas	Desventajas	Libre/privado	Usos
Car Scanner	Ayuda a resolver problemas menores, fácil manipulación	Pagar para acceder a todos los PIDS	Todas las aplicaciones tienen una versión libre y una pagada.	Leer y borrar códigos de fallos ECU
Torque Pro	Diagnostico en tiempo real, permite diseño del tablero interfaz con widgets que se necesiten	Solo permite lectura de vehículos a partir del año 2 000.		Leer y borrar códigos de fallo ECU
ScanMaster	Monitores rendimiento del auto, indica parámetros como CVN, VIN y estado mil en su versión gratuita	Pagar para acceder a todas las funciones.		Leer y borrar códigos de fallo ECU

Fuente: (Autores)

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En el siguiente capítulo se establecieron las etapas utilizadas para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos de esta investigación. Las etapas fueron ordenadas cronológicamente lo cual permitió que el desarrollo de la etapa experimental y el procesamiento de datos se realicen de manera eficiente.

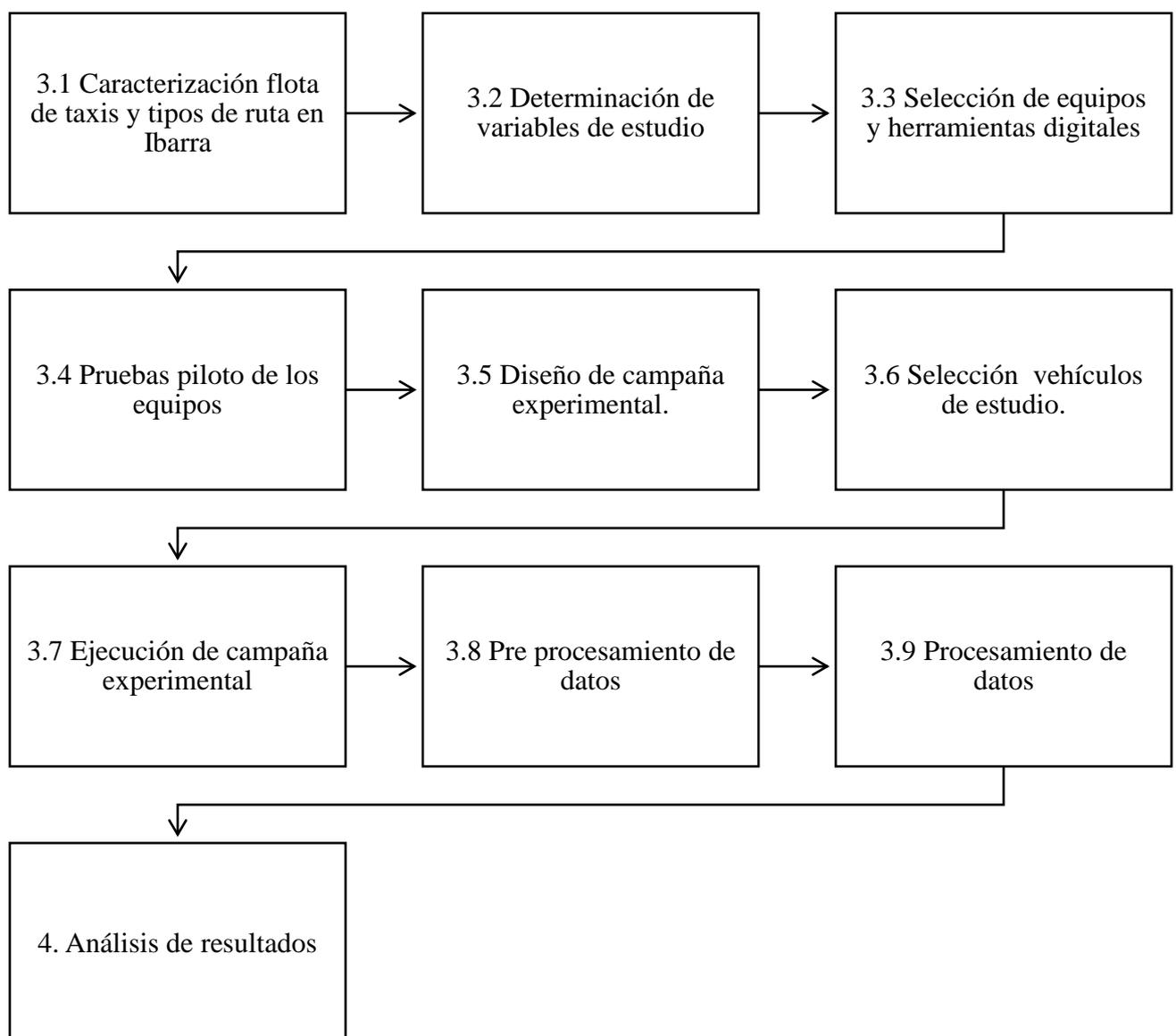


Figura 3.1 Flujograma de la metodología

Las primeras 9 etapas de la Figura 3.1 se relacionan con cada subtítulo del capítulo actual, y la última etapa de análisis de resultados se desarrolló en el capítulo tres. En todas las fases se realizaron varios análisis y ensayos para obtener resultados adecuados a al tráfico real y determinar de manera precisa los perfiles de conducción en la ciudad de Ibarra.

3.1 CARACTERIZACIÓN FLOTA DE TAXIS Y TIPOS DE RUTAS

En la ciudad de Ibarra existen variedades de cooperativas de taxis que circulan por todo el área urbana y suburbana de la ciudad. Las rutas que transitan los vehículos presentan diferentes geografías y composiciones. En los barrios de la zona central la mayoría de calles tiene adoquín como material relevante y en los barrios de zonas norte y sur es una mezcla de calles adoquinadas y empedradas, en la panamericana y en las periferias de la ciudad como el anillo vial se encuentra la mayor parte de vía asfaltada de la ciudad.

3.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LA FLOTA DE TAXIS DE IBARRA

La caracterización del parque automotor de taxis en la ciudad de Ibarra se realizó con la ayuda de información obtenida de la agencia Movidelnor EP. Esta información nos indicó el modelo y año de los vehículos que se encontraban en circulación. En la Tabla 3.1 se indican datos del censo realizado en el 2020, el cual arrojó como resultados que existen un total 59 cooperativas de taxis, con 1033 taxis convencionales y 391 taxis ejecutivos, que en conjunto corresponden al total de taxis autorizados en Ibarra.

Tabla 3.1 Total de unidades de taxis de la ciudad

Tipo de taxis	Número de cooperativas	Total taxis
Convencionales	46	1 033
Ejecutivos	13	391
TOTAL	59	1 424

Fuente: (GAD Ibarra, 2020, pág. 318)

3.1.2 CARACTERIZACIÓN DE TIPO DE RUTAS EN IBARRA

En la ciudad de Ibarra encontramos una variedad de rutas para la circulación de los vehículos. Algunas rutas resultaron más favorables tanto para los usuarios de taxi como para los taxistas, ya que eran más rápidas y presentaban menos congestión vehicular, lo que implicaba un menor consumo de combustible. Esto se realizó con el objetivo de optimizar el tiempo en comparación con las rutas establecidas para los autobuses.

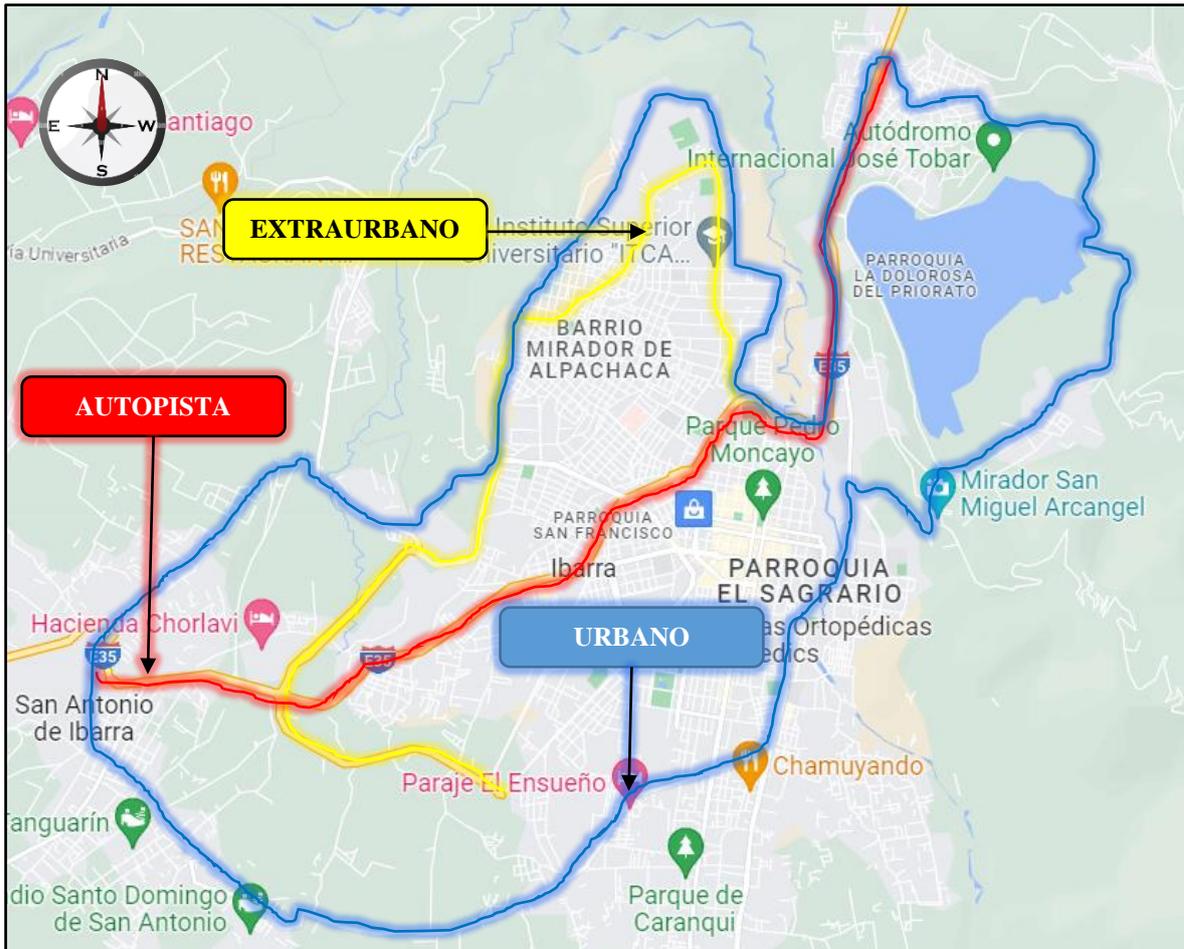


Figura 3.2 Rutas de la ciudad de Ibarra

En la Figura 3.2 se indican las zonas que identificamos como tramo urbano, extraurbano y autopista en el mapa de la ciudad. En general la mayoría de taxis circula por la zona urbana de la ciudad. En la Tabla 3.2 se detallan las características de las rutas de la ciudad, las cuales fueron obtenidas de forma experimental.

La cobertura vial en la ciudad de Ibarra, según el Departamento de Avalúos y Catastros del IMI, fue de 429 km de líneas. Entre ellos, el material de mayor relevancia fue el adoquín de cemento, que abarca una extensión de 210 km en la zona central de la ciudad, seguido por el empedrado con 144 km. El adoquín de piedra, ubicado en el centro histórico, tenía una extensión de 4.7 km y era el material de menor relevancia. El asfalto cubría 70.5 km en la ciudad.

Tabla 3.2 Caracterización de las rutas de Ibarra

CARACTERIZACIÓN DE LAS RUTAS DE IBARRA	
TRAMO	DETALLE
Urbano	Es toda la zona urbana de la ciudad considerada en el plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Ibarra
Extraurbano	Este inicia en el anillo vial desde los huertos familiares y termina en el redondel del corredor periférico sur del barrio 10 de agosto.
Autopista	Inicia desde la entrada norte en la parroquia La Dolorosa de Priorato y termina en la salida sur en San Antonio.

Fuente: (Autores)

3.1.2.1 Definición de tramo urbano

Las áreas urbanas engloban las ciudades, los pueblos grandes y las metrópolis. En comparación con las zonas rurales, estas áreas presentan una densidad de población más alta. Además, en estas zonas se encuentra una mayor diversidad demográfica. Las áreas urbanas se caracterizan por estar altamente industrializadas y contar con una amplia variedad de infraestructuras.

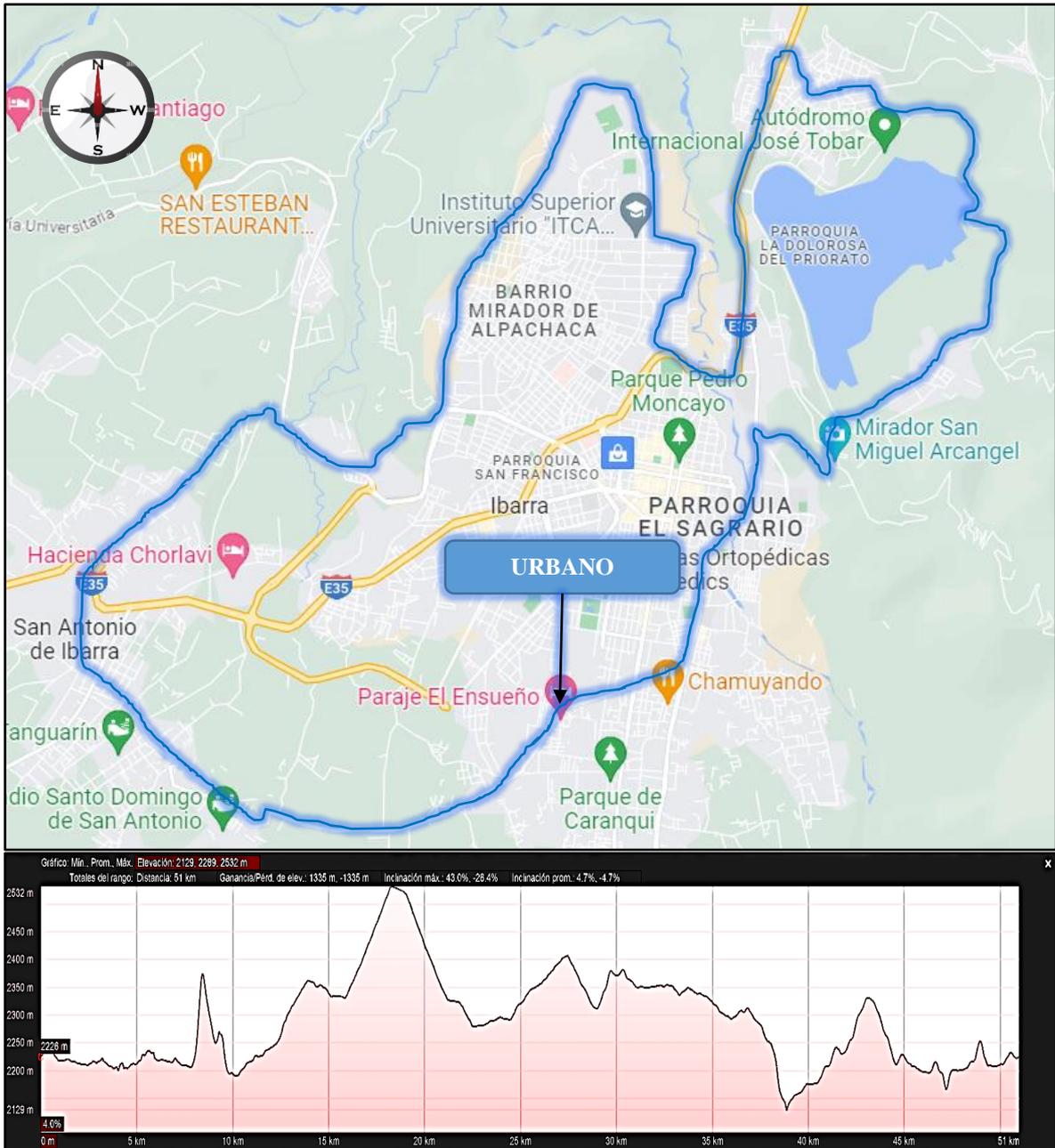


Figura 3.3 Tramo Urbano

En la Figura 3.3 se define la zona urbana de la ciudad. Esta comprendía cinco parroquias urbanas con más de 138 barrios registrados. Las parroquias Priorato, Sagrario, Alpachaca, San Francisco y Caranqui se encontraban a una altitud de aproximadamente 2225 m. Para este estudio, se consideró la parroquia rural de San Antonio como parte del mismo tramo debido a su alta afluencia vehicular.

3.1.2.2 Definición de tramo Extraurbano

Los lugares fuera de las áreas urbanas se ubican en zonas rurales o en las periferias de la ciudad. El tramo extraurbano considerado en el estudio abarcó todo el anillo vial que iniciaba desde el sector de los huertos familiares y terminaba en el corredor periférico sur, en el redondel que conectaba con la avenida Eugenio Espejo,

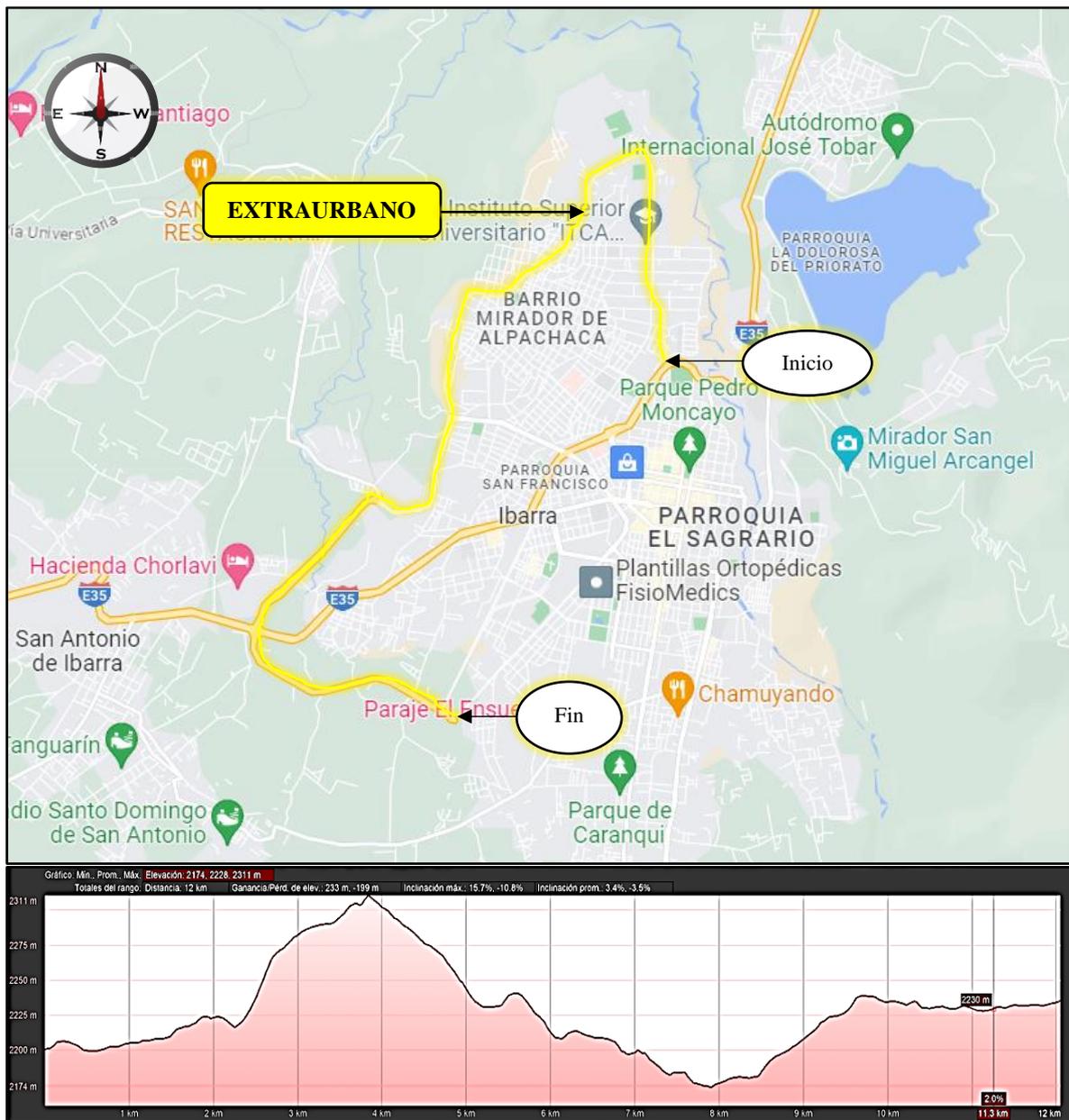


Figura 3.4 Tramo Extraurbano

En la Figura 3.4. se indica este tramo el cual tenía aproximadamente 12 km de longitud y presentaba un perfil de elevación máxima de 2311 m en el km 3.85, y una elevación mínima

de 2200 m al inicio del tramo. Estas medidas se obtuvieron utilizando la función en la aplicación Google Earth.

3.1.2.3 Definición de tramo Autopista

La autopista es reconocida como una de las construcciones urbanas más complicadas, asombrosas y beneficiosas para las personas. Se podría definir como una vía de transporte que se destaca por recibir un gran flujo de vehículos de diferentes tipos y por conectar las áreas internas de una ciudad con otras ciudades o con las rutas rurales.

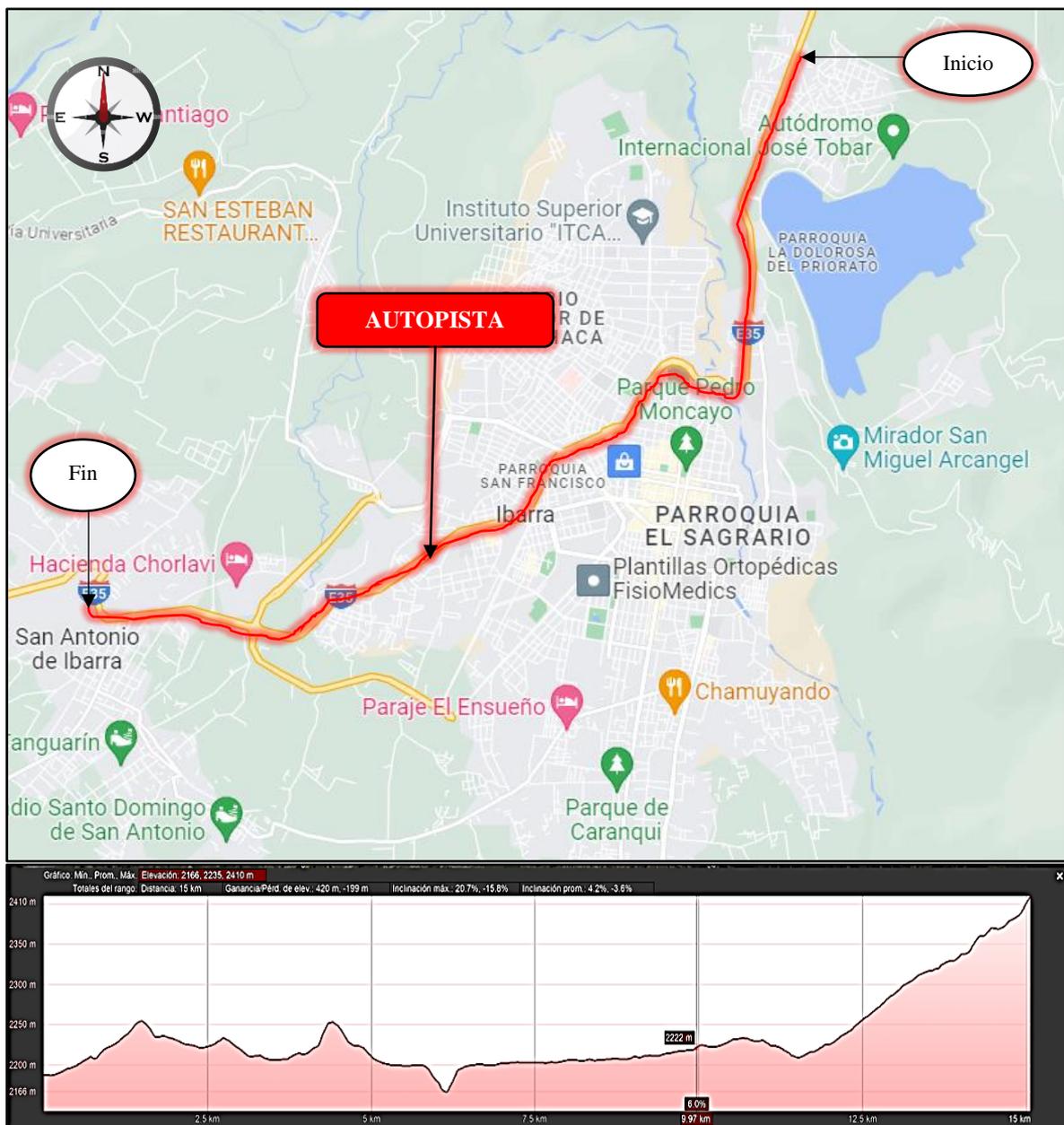


Figura 3.5 Tramo Autopista

La zona de autopista comprendía toda la carretera E35 que cruzaba los límites norte y sur de la ciudad, como se indica en la Figura 3.5. En la zona norte, el tramo de entrada iniciaba en la parroquia Priorato y finalizaba en la parroquia San Antonio, al sur de la ciudad. La longitud total del tramo era de aproximadamente 15 km, con un perfil de elevación que oscilaba entre 2200 m en la entrada norte y 2410 m en la entrada sur de la ciudad.

3.2 DETERMINACIÓN DE VARIABLES DE ESTUDIO

En la definición de las variables se tomaron en cuenta fórmulas y variables específicas para los cálculos realizados en este estudio, que permitieron conocer la cinemática del vehículo y el consumo de combustible. A continuación, se detallan las variables utilizadas en los cálculos de la cinemática del vehículo.

3.2.1 DISTANCIA

La distancia (d), expresada en metros (m), indicó la distancia total recorrida por los taxis durante el seguimiento, desde el inicio hasta el final. Esta variable se utilizó para determinar la posición del taxi, considerando la latitud (norte o sur), la longitud (este u oeste), ambas medidas en grados decimales (GD), y la altitud (h) expresada en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m).

3.2.2 TIEMPO

La variable de tiempo fue importante en este estudio para estimar el intervalo de horas de registro. El tiempo (t), expresado en segundos (s), se utilizó para conocer la duración total del recorrido de los taxis durante el monitoreo. Este tiempo dependía directamente de las horas de trabajo de cada conductor y también de la duración de la batería del dispositivo GPS.

3.2.3 VELOCIDAD

La velocidad instantánea (v) expresada en (km/h) determinó el estado del vehículo durante cada segundo. Las velocidades fueron relativas debido a que cada conductor tiene un estilo de manejo. Por lo tanto, en cada tramo de estudio se registraron los datos para estimar su diferencia y además para calcular la velocidad instantánea de los taxis de Ibarra, se utilizó la siguiente ecuación 3.1:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\overline{\Delta r}}{\Delta t} \quad [3.1]$$

Donde:

v = velocidad instantánea del taxi.

$\vec{\Delta r}$ = posición instantánea del vector posición.

Δt = variación del tiempo; ($\Delta t = 1$ s).

La velocidad promedio de los taxis por ruta se calculó para conocer la velocidad máxima en cada tramo. Para el cálculo de la velocidad promedio de cada tramo se utilizó la ecuación 3.2, la cual se encuentra en función de la sumatoria de la velocidad promedio en cada tramo que recorren los taxis de la ciudad.

$$V_{\text{prom tramo taxis}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{t_i} \quad [3.2]$$

Donde:

$V_{\text{prom tramo taxis}}$ = velocidad promedio de cada tramo recorrido por los taxis

d_i = distancia

t_i = tiempo

i = número de taxi

3.2.4 ACELERACIÓN

La aceleración (a), expresada en (m/s^2), se utilizó para determinar los estados de conducción de los conductores, tomados en intervalos de un segundo para disminuir el margen de error. A partir de la velocidad instantánea y la aceleración, se calcularon los porcentajes de permanencia que los conductores ejecutan en los diferentes estados de marcha del vehículo que son ralentí, aceleración, cruceo y desaceleración. La ecuación 3.3 se utilizó para el cálculo de la aceleración instantánea de los taxis.

$$a = \frac{V_f - V_o}{\Delta t} \quad [3.3]$$

Donde:

a = aceleración instantánea del taxi.

v_f = velocidad final.

v_o = velocidad inicial.

Δt = variación del tiempo ($\Delta t = 1$ s).

La aceleración y desaceleración promedio del taxi fue un dato requerido para la comparación de resultados. Mediante las ecuaciones 3.4 y 3.5, se realizó el cálculo de la aceleración y desaceleración promedio por tramo que experimentaron los taxis evaluados. En este caso el resultado de la aceleración fue un dato positivo y de la desaceleración un dato negativo.

$$a_{\text{prom tramo taxis}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a \quad [3.4]$$

Donde:

$a_{\text{prom tramo taxis}}$ = aceleración promedio diaria del taxi.

a = aceleración instantánea de viaje.

n = número de datos

j = número de taxi

$$d_{\text{prom tramo taxis}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d \quad [3.5]$$

Donde:

$d_{\text{prom tramo taxis}}$ = desaceleración promedio diaria del taxi.

d = desaceleración instantánea de viaje.

j = número de taxi

3.2.5 ESTADOS DE CONDUCCIÓN

Los estados de conducción permitieron determinar el comportamiento o estilo de conducción que experimentan los conductores de los taxis amarillos de Ibarra. Los estados de conducción de ralentí (E_R), cruceo (E_C), aceleración (E_A) y desaceleración (E_D) se calcularon porcentualmente a partir de las Ecuaciones 3.6, 3.7, 3.8, y 3.9, respectivamente.

$$E_R = \sum_{i=1}^n \frac{T_{RI}}{T_{Ti}} * 100\% \quad [3.6]$$

Donde:

E_R = porcentaje de permanencia en ralentí.

T_{RI} = tiempo de permanencia en estado ralentí.

T_{Ti} = tiempo total de viaje.

$$E_A = \sum_{i=1}^n \frac{T_{Ai}}{T_{Ti}} * 100\% \quad [3.7]$$

Donde:

E_A = porcentaje de permanencia en aceleración

T_{AI} = tiempo de permanencia en aceleración

T_{Ai} = tiempo total de viaje.

$$E_C = \sum_{i=1}^n \frac{T_{Ci}}{T_{Ci}} * 100\% \quad [3.8]$$

Donde:

E_C = porcentaje de permanencia en crucero

T_{CI} = tiempo de permanencia en estado en crucero

T_{Ci} = tiempo total de viaje.

$$E_D = \sum_{i=1}^n \frac{T_{Di}}{T_{Di}} * 100\% \quad [3.9]$$

Donde:

E_D = porcentaje de permanencia en desaceleración

T_{DI} = tiempo de permanencia en desaceleración

T_{Di} = tiempo total de viaje.

3.2.6 ANÁLISIS PIDS NECESARIOS PARA PRUEBA DE CONSUMO

La interfaz ELM 327 se conectó al puerto DLC y permitió la transferencia de datos entre el usuario y las computadoras del automóvil. Se utilizó este dispositivo debido a su versatilidad y compatibilidad con las normas internacionales de comunicación, como ISO 9141, J1850 (VPW y PWM), CAN (ISO 15765-4) y KWP2000 (ISO 14230-4). Esto lo hace compatible con la mayoría de las marcas de automóviles en la región (Toyota, Nissan, Chrysler, Honda, Ford, Seat, Chevrolet, entre otros).

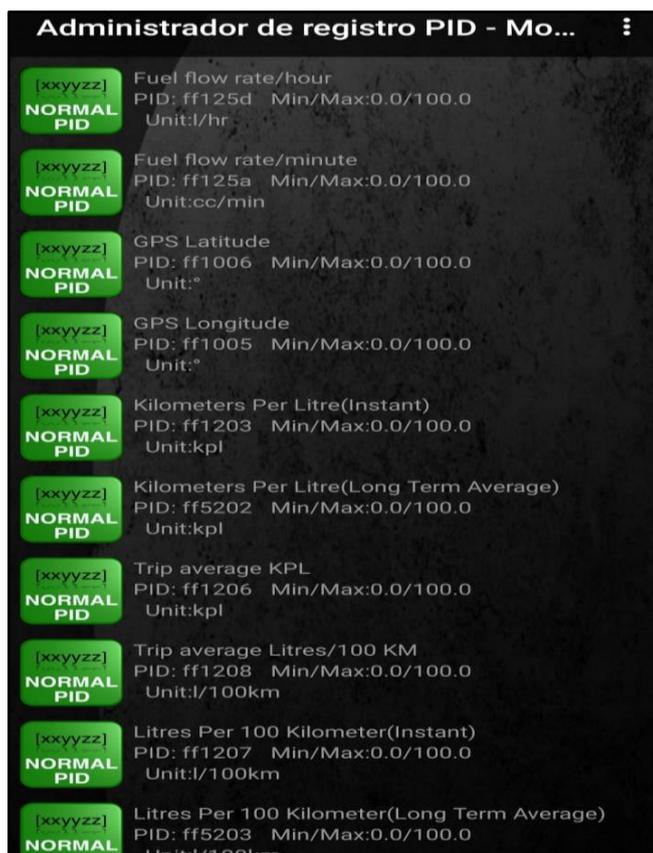


Figura 3.6 PIDs seleccionados en la aplicación Torque

En la Figura 3.6 se indican algunos PIDs que tiene la aplicación Torque para su monitoreo. Mediante la selección de estos parámetros, se logró obtener la lectura de consumo de combustible. Esta prueba se realizó utilizando el protocolo de comunicación OBD-II y un conector ELM 327. Mediante este conector, fue posible adquirir y registrar los datos utilizando una interfaz de pago como Torque Pro, con una frecuencia de muestreo de 1 Hz.

3.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS DIGITALES

Los equipos y herramientas digitales necesarios para realizar las pruebas de este estudio fueron un GPS datalogger, un interfaz OBD-II inalámbrico, la aplicación Torque Pro, el software de extracción de datos TSI LogView y el software estadístico R Studio. Estos equipos se seleccionaron minuciosamente para obtener los datos requeridos y llevar a cabo los ciclos de conducción.

3.3.1 SELECCIÓN DE EQUIPOS

Para registrar los datos cinemáticos de las rutas en los taxis de la ciudad de Ibarra, se decidió utilizar el dispositivo GPS Recorder GL-770, de origen comercial y funciona de manera efectiva en el campo para realizar las pruebas de ruta. Este dispositivo refleja datos que

contribuyen directamente a las variables requeridas. Además, se utilizó el interfaz ELM 327 CAN, el cual se conectó mediante Bluetooth con Torque Pro para la lectura del motor.

Los equipos se seleccionaron después de una exhaustiva búsqueda y cuidadosa selección para adquirir dispositivos de calidad que cumplieran con las características adecuadas para este estudio, con el fin de generar resultados confiables. Fue necesario analizar detenidamente las características de cada equipo antes de adquirirlo.

3.3.1.1 GPS Recorder GL – 770

Los datos que registra este dispositivo se pueden configurar con una frecuencia de 1 a 5 Hz, según nuestras necesidades, y tiene una duración aproximada de grabación de hasta 40 horas continuas. Para recopilar los datos, se utilizó un puerto USB conectado a una computadora y programas como TSI LogView o GPS Photo Tagger.



Figura 3.7 GPS Recorder GL – 770

El dispositivo que se indica en la Figura 3.7 se utiliza en negocios o empresas del área industrial y transporte pesado. Tiene retroalimentación audible y un sensor de movimiento que proporciona una duración máxima de la batería. A continuación, se describen las principales recomendaciones para el buen manejo de este equipo GPS:

- No utilizar el GL-770 en temperaturas inferiores a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ o superiores a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, para evitar que la capacidad de la batería Li-Polymer reduzca.
- Es importante no utilizar el dispositivo dentro de un hospital, ya que el GPS inalámbrico puede interferir con los equipos médicos que utilizan la radiofrecuencia.

- Se recomienda tener cuidado con el dispositivo cuando se encuentre en zonas que afecten la recepción de la señal GPS, como vehículos que usan un revestimiento protector solar metálico en los parabrisas, en las calles con edificios altos, túneles, garajes cubiertos y en condiciones meteorológicas adversas como lluvia o nieve.
- Para el dispositivo que no esté en uso durante varios días, se debe esperar de 1 a 3 minutos para poder adquirir información de la constelación satelital, a esto se le denomina "arranque en frío".

En la Tabla 3.3 se indican algunas de las especificaciones técnicas que posee el dispositivo GPS GL – 770 que elegimos para la obtención de datos. Aquí se describieron las características del número de equipos adquiridos, los formatos soportados, el tipo de conexión, la frecuencia de trabajo y los parámetros de registro.

Tabla 3.3 Características técnicas del GPS

Características técnicas del GPS	
GPS + GLONASS	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia: GPS: 1575.42 ±1.023 MHz, GLONASS: 1602±5 MHz
NMEA	<ul style="list-style-type: none"> • Soporte: GGA, GSA, GSV, RMC
DATOS DE REGISTRO	<ul style="list-style-type: none"> • Fecha/Hora/ Latitud/Longitud/Altura/Velocidad/Tiempo/RCR
Bluetooth inteligente	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia: 2402 – 2480 MHz, 40 canales, modulación Bluetooth 4.0 GFSK • Tasa de salida: 1 o 5 Hz • Id de Bluetooth: igual que el número de serie
Servicio LNS	<ul style="list-style-type: none"> • Salida predeterminada: velocidad, distancia, latitud, longitud, elevación, rumbo, tiempo de rodadura, hora UTC.
Defecto modo normal	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre de usuario: igual que el número de serie • Registro por tiempo: 5 (se puede programar por software) • Registro por distancia: 0 (se puede programar por software) • Registro por velocidad: 0 (se puede programar por software)
Numero de dispositivos usados	<ul style="list-style-type: none"> • 8

Fuente: (Manual del dispositivo GL - 770.)

3.3.1.2 Interfaz OBD: ELM 327

Es un dispositivo de transmisión de datos que conecta el puerto DLC con la ECU (Unidad de control electrónico) del vehículo, para la lectura de datos del motor. Este dispositivo tiene la funcionalidad de conectarse por medio de bluetooth y wifi con un dispositivo portátil (smartphone o pc), lo que facilita la lectura de datos sin necesidad de utilizar cables brindando facilidad de movilidad.



Figura 3.8 Dispositivo OBD II

En la Figura 3.8 se indica el modelo del dispositivo usado en este estudio para la lectura del consumo de combustible. Los interfaces tienen protocolos de comunicación que son compatibles solo con ciertos vehículos. Los protocolos de comunicación soportados por firmware v1.5, que se emplearon en diferentes librerías para interactuar con el escáner mediante comandos AT utilizando un microprocesador, fueron los siguientes.

- SAE J1850 PWM
- SAE J1850 VPW
- ISO 14230-4 KWP
- ISO 9141-2
- ISO 15765-4 CAN

En la Tabla 3.4 se describen algunos datos y características que se obtuvieron de este dispositivo. El tipo de conexión de este dispositivo con el teléfono donde se instaló la aplicación Torque Pro fue de tipo bluetooth debido a que en este modo de conexión no perdía señal en ciertos lugares de la ciudad como el dispositivo con conexión wifi.

Tabla 3.4 Características y funciones del ELM 327

CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONES DEL OBD-II ELM 327	
Tipo de conexión	Conexión mediante Bluetooth o wifi: compatible con SAE J1850 y CAN bus.
	Conexión inalámbrica ISO9141, KWP2000: Software incluido para PC.
Funciones principales	<ul style="list-style-type: none"> • Estado del sistema de combustible • Cálculo del valor de carga • Ajuste de combustible a largo plazo • Temperatura del refrigerante • Velocidad del motor en RPM • Velocidad del vehículo en km/h
Número de dispositivos usados	<ul style="list-style-type: none"> • 2

Fuente: (Manual digital del dispositivo)

3.3.2 SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS DIGITALES

Las herramientas digitales ayudaron en este estudio a extraer, visualizar, monitorear y procesar los datos obtenidos con cada dispositivo utilizado en la evaluación de los taxis. A continuación, se detallan los software y aplicaciones seleccionadas para el análisis de datos de este estudio.

3.3.2.1 Software de lectura y extracción de datos TSI LogView

El programa utilizado para la descarga de los datos almacenados fue TSI LogView. Este es un software de uso libre que se puede obtener descargando los drivers desde la página oficial de Transystem Inc. Esta aplicación está orientada a objetos y utiliza un espacio de trabajo para almacenar uno o más proyectos. Se pueden crear y compartir una cantidad casi infinita de espacios de trabajo entre los usuarios.

LogView fue diseñado para facilitar y agilizar las tareas de configurar el registrador de datos, monitorear sensores, recopilar datos, administrar archivos de datos y aplicar correcciones.

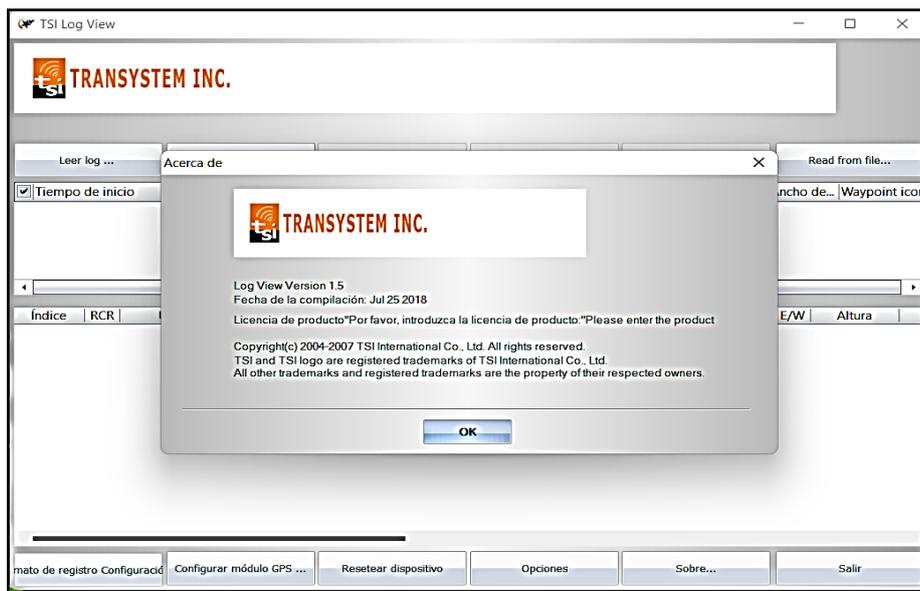


Figura 3.9 Interfaz TSI LogView

En la Figura 3.9 se muestra la interfaz de inicio del software para extraer los datos obtenidos con el GPS. Los datos se recopilaban y almacenaban con solo hacer clic en el botón "salvar". Todos los datos almacenados se pueden exportar a una carpeta elegida por el usuario. Estos datos se pudieron monitorear en tiempo real usando LogView y se pudieron copiar directamente desde la vista de matriz de texto al portapapeles de Windows. Una vez en el portapapeles, los datos se pueden copiar y pegar en cualquier otro documento, como una hoja de cálculo de Excel.

Las gráficas se pueden guardar o imprimir en cualquier momento y la vista del gráfico se puede personalizar para adaptarse a las preferencias del usuario. Todas las vistas de LogView están diseñadas para proporcionar la máxima utilidad y se pueden configurar para su uso en pantalla dividida o pantalla completa. En conclusión, el software nos permitió ver los datos almacenados en una tabla e indicó los trazados recorridos por el vehículo en una ventana de Google Maps. Este programa nos indicó un registro grabado en tiempo real. Además, permitió definir tres grupos de líneas de registro, filtrarlos y mostrarlos en diferentes colores. También abría y cerraba archivos de registro automáticamente en función de la marca de fecha y hora del archivo o el nombre del archivo.

Características del software TSI logview

- Está disponible para: Windows XP, Windows 7, Windows vista, macOS y Linux.
- Pertenece a la categoría de Gestión de datos.

- Tiene una licencia comercial.
- Su tamaño es: 1.4 MB (apk).
- Permite abrir múltiples archivos en pestañas.
- Realiza cambios en el archivo de cola.
- Permite filtrar niveles de registro.
- Asigna colores a las entradas de registro
- Personaliza el patrón de niveles de registro.
- Personaliza el color de los niveles de registro.

3.3.2.2 Aplicación Torque Pro

La aplicación Torque Pro es una interfaz que permitió monitorear y diagnosticar la operación del motor conectando un dispositivo celular. Con esta útil herramienta se lograron obtener los datos de operación de varios sensores del motor y del vehículo. Además, se pudieron detectar errores, comprobar el nivel de emisiones, etc.

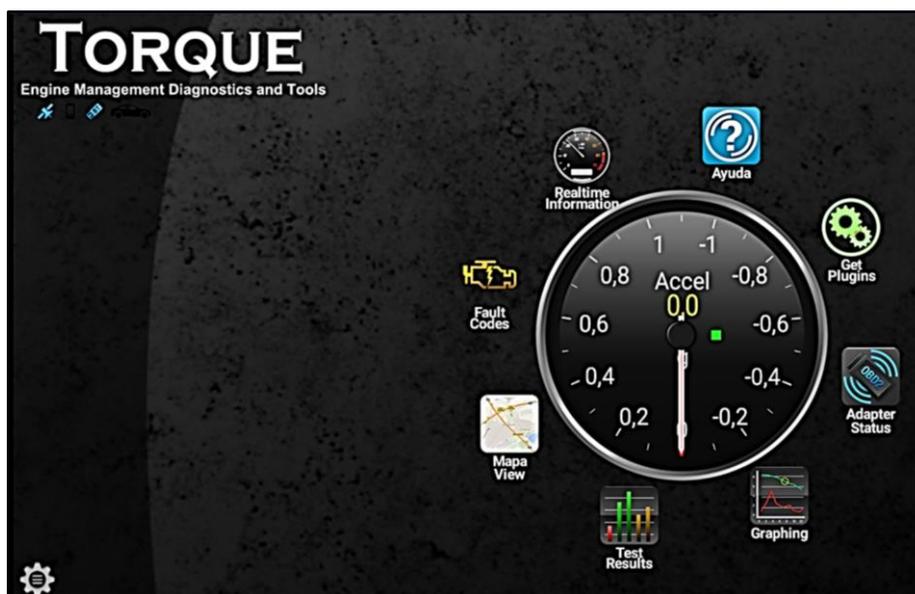


Figura 3.10 Aplicación Torque Pro

En la Figura 3.10 se indica la interfaz de la aplicación de conexión con la interfaz para leer los datos de operación del motor en tiempo real. El funcionamiento de Torque Pro fue el siguiente: al iniciar la aplicación, se debía encontrar el modelo de coche buscando en una extensa lista en la que solo se encontraban los modelos compatibles con este tipo de herramientas. Una vez encontrado el modelo, se procedió a conectarlo al móvil a través del

Bluetooth. Cuando el smartphone se conectó a la aplicación, se tuvo acceso a todas las funcionalidades que ofrece la aplicación.

Entre los distintos aspectos que se lograron analizar con Torque Pro, se encontraba la lectura del autodiagnóstico de la unidad de control del motor (ECU), el borrado de códigos de problemas, los Diagnóstical Trouble Codes (DTC) y obtienen lectura de datos en vivo como la velocidad, las RPM, la temperatura del refrigerante del motor, la carga del motor, la compensación de combustible a corto-largo plazo, la presión de combustible, el aire, entre otros.

Características de Torque Pro

- Se leyeron y resetearon las fallas. Torque Pro incluyó una amplia base de desciframientos de fallas.
- Se leyeron los cuadros congelados (estado de los sensores en el momento de la grabación de la falla).
- Se observaron los resultados del autodiagnóstico del ECU.
- Se verificó si el vehículo estaba listo para las pruebas de sostenibilidad ecológica del escape.
- Se observaron las indicaciones de todos los sensores en una pantalla.
- Torque Pro soportó todos los vehículos compatibles con el estándar OBD2 (visite carinterfaz.info para obtener más información).
- Torque Pro incluyó perfiles de conexión previamente ajustados para una amplia variedad de vehículos. Estos perfiles de conexión ofrecieron capacidades adicionales, especialmente para los vehículos Toyota, Mitsubishi, GM, Opel, Vauxhal, Chevrolet, Nissan, Infinity, Renault, Dacia, Hyundai, Kia, Mazda, Volkswagen, Audi, Skoda, Seat, BMW.
- Se pudo utilizar el modo de tablero de instrumentos como proyector en el parabrisas del vehículo.
- Se pudieron realizar mediciones precisas de aceleración con la ayuda de Torque Pro.
- Torque se pudo utilizar como una computadora de viaje. Además, la aplicación pudo mostrar estadísticas de consumo de combustible.

- Para los automóviles del grupo VAG (Volkswagen, Audi, Skoda, Seat) construidos en las plataformas MQB y PQ26, se ofrecieron funciones de codificación que permitieron cambiar los parámetros ocultos del automóvil.
- Tamaño: 247.6 MB
- Compatible con: Android, iOS, iPadOS, Mac, Windows

3.3.2.3 Software de procesamiento de datos R Studio

El software de procesamiento R Studio contiene un lenguaje de programación R utilizado para realizar procedimientos estadísticos y gráficos de alto nivel. R está disponible bajo la licencia GNU GPL para los sistemas operativos Windows, Macintosh y las distribuciones Unix/Linux.

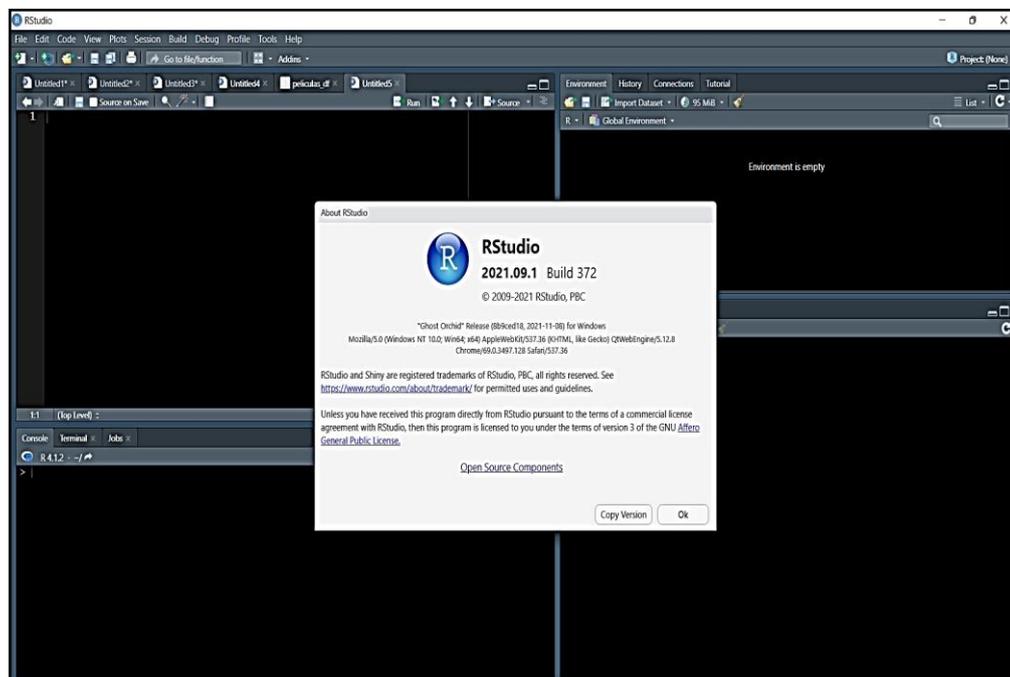


Figura 3.11 Licencia de Software R-Studio

En la Figura 3.11 se muestra la interfaz del programa. Los productos R Studio Professional se ejecutaron en servidores Linux y requirieron que R se instalara primero. Por defecto, R era un proceso de un solo subproceso que contenía todos sus datos en la memoria. El fabricante recomendó disponer de más núcleos y más memoria para un mejor uso del programa y evitar problemas.

Este software ocupó un espacio relativamente pequeño, por lo que los requisitos mínimos para ejecutar los productos R Studio dependieron principalmente de R. Una instancia mínima

con 2 núcleos y 4 GB de memoria fue suficiente para admitir varios procesos R simultáneos, así como nuestros productos. A continuación, se presentan las características y requisitos del sistema para su instalación y ejecución.

Características y requisitos de R Studio

- Una plataforma compatible con Intel que ejecute Windows 11, 10/8.1/8/7/Vista/XP/2000 Windows Server 2022, 2019/2016/2012/2008/2003
- Se requiere al menos 256 MB de RAM, un mouse y suficiente espacio en disco para archivos recuperados, archivos de imágenes, etc.
- Los privilegios administrativos son necesarios para instalar y ejecutar las utilidades de R-Studio.
- Se necesita una conexión de internet para la recuperación de datos a través de la red.

3.3.2.4 Software Google Earth

La interfaz de Google Earth se utilizó para la georreferenciación de los vehículos de prueba en el procesamiento de información, ya que ayudó a leer los datos en formato csv y visualizar el recorrido que cada taxi hizo en aproximadamente dos días de grabación. El software se sincronizó con los datos del GPS para la visualización.

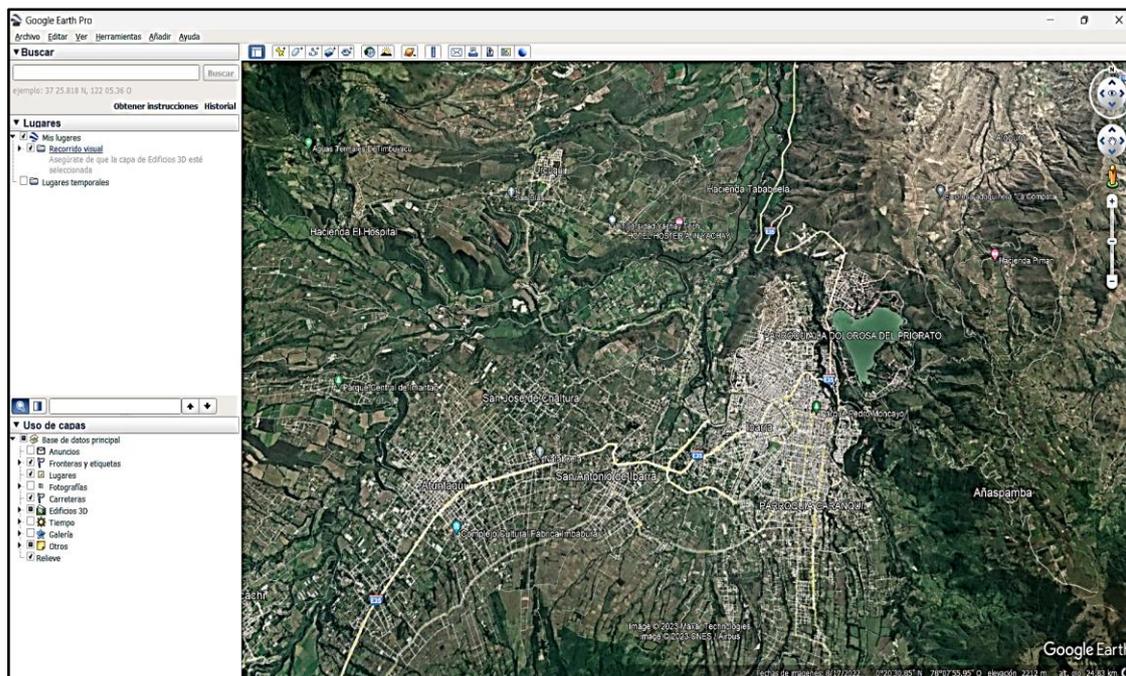


Figura 3.12 Interfaz Google earth

En la Figura 3.12 se muestra la interfaz mencionada. Aquí se reflejaban mediante puntos seguidos segundo a segundo del trayecto recorrido de cada vehículo. Esto permitió reconocer el intervalo de tiempo que cada taxi recorría en los tres diferentes tipos de rutas seleccionados previamente para el análisis de este estudio.

3.4 PRUEBAS PILOTO DE LOS EQUIPOS

Una vez seleccionados los equipos GPS y la interfaz OBD II, se realizaron pruebas piloto con los dispositivos para comprobar que el funcionamiento fuera correcto. Estos se colocaron dentro de los vehículos, el OBD II se conectó al puerto de diagnóstico del vehículo y el GPS se ubicó en un lugar donde no hubiera interferencia de señal, en este caso, la guantera de los vehículos.



Figura 3.13 Ubicación de los equipos de monitoreo

En la Figura 3.13 se indica la posición de los equipos para registrar los datos en tiempo real del vehículo. Los dispositivos se configuraron previamente para que pudieran sincronizarse mediante la codificación de los datos y obtener ciclos de conducción piloto. Luego de verificar que dichas pruebas fueran correctas los equipos están listos para registrar los datos reales de conducción de los taxis.

3.4.1 PRUEBAS PILOTO DEL DISPOSITIVO GPS

Las pruebas piloto sirvieron para manipular y comprender el funcionamiento de cada uno de los dispositivos, revisar que tuvieran almacenamiento interno disponible y estimar la duración de la batería del GPS y del celular, que son los dispositivos de monitoreo constante. Todas estas verificaciones se realizaron antes de ejecutar la campaña experimental con las pruebas reales.

3.4.1.1 Configuración del dispositivo GPS

El GPS se registró y configuró previamente en el programa recomendado por los fabricantes denominado LogView. Además, se aseguró que la batería estuviera completamente cargada y que hubiera suficiente memoria disponible para la grabación. Una vez encendido, se ubicó en la guantera del vehículo.

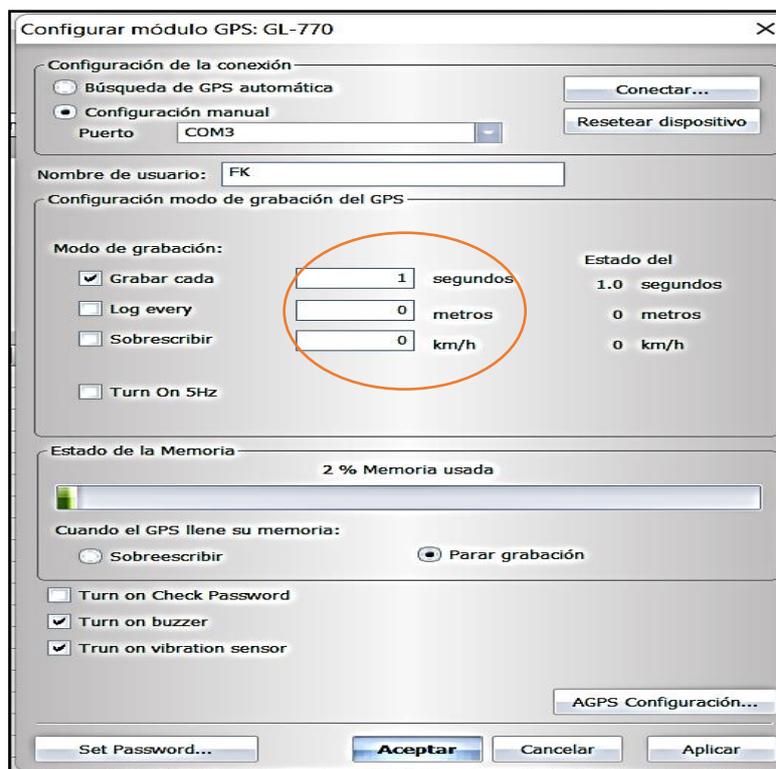


Figura 3.14 Ventana de configuración del módulo GPS

En la ventana de opciones, como se muestra en la Figura 3.14, se cambió el intervalo de tiempo predeterminado a 1 segundo. La duración de la prueba piloto fue de 4 para confirmar el funcionamiento del dispositivo, pero la duración aproximada por carga de la batería fue de 48 horas. Por lo tanto, después de varias pruebas piloto, los dispositivos se volvieron a cargar. Las pruebas se realizaron en rutas de primer a tercer orden dentro del perímetro

urbano de la ciudad. Del mismo modo, los horarios de ensayo eran variables con el fin de obtener datos más precisos.

3.4.2 PRUEBAS PILOTO CON EL INTERFAZ OBD II

Se realizaron pruebas piloto con el escáner inalámbrico OBD II, en un principio se realizaron mediante conexión wifi y bluetooth para determinar qué tipo de conexión mantenía el monitoreo constante, ya que se detectó que mediante conexión wifi había lugares donde se perdía la conexión. Esta interfaz se conectó directamente a un celular para la visualización de la información emitida por el escáner.

3.4.2.1 Configuración de la aplicación

La aplicación se configuró para visualizar las gráficas a una frecuencia de 1 segundo y que se guardaran los datos al momento de iniciar la aplicación. Además, existen otras opciones donde se pudieron configurar varios parámetros del vehículo, así como también las unidades de medida.

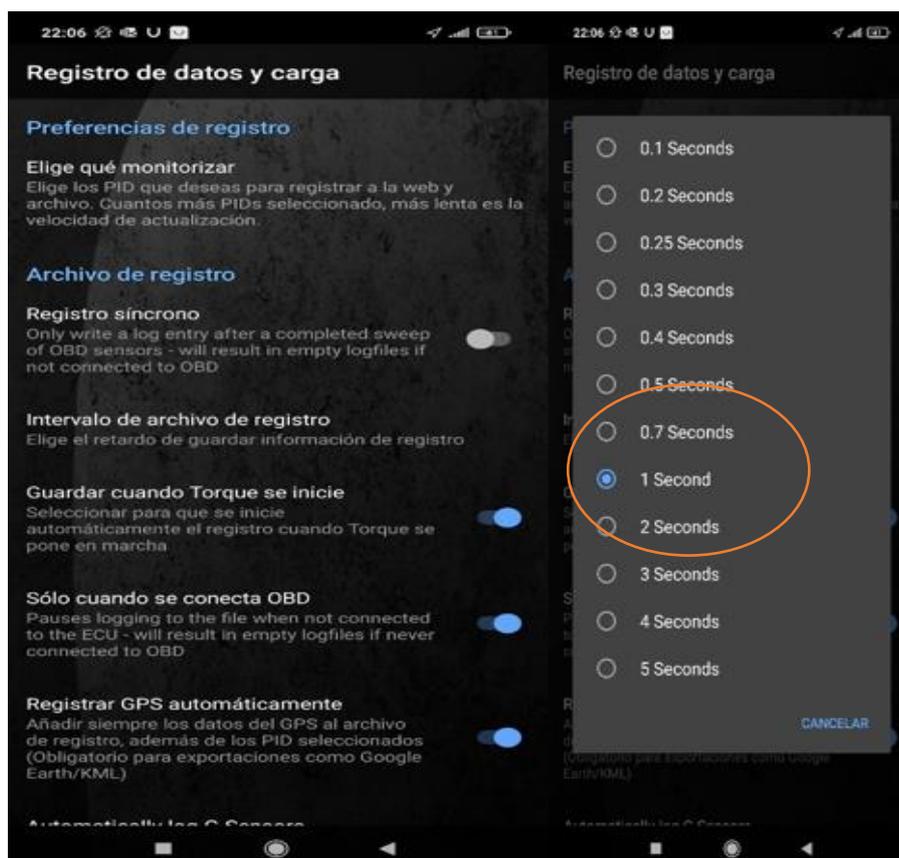


Figura 3.15 Ventana configuración Par

En la Figura 3.15 se muestra una ventana de la aplicación Torque Pro que permite configurar algunos PID para el registro de datos del consumo de combustible. La duración de la prueba en este caso se determinó con el tanque de combustible lleno, de este modo se logró determinar el porcentaje de combustible que se había consumido en un recorrido diario similar al de un taxi.

3.5 DISEÑO DE CAMPAÑA EXPERIMENTAL

En la presente investigación se desarrollaron dos tipos de ensayos, en la primera campaña experimental se registraron los perfiles de velocidad con el dispositivo GPS y en la segunda campaña experimental se registraron datos del consumo de combustible con la interfaz OBD-II. El diseño de la campaña experimental para este estudio se realizó con la asistencia de los dispositivos GPS GL-770 y OBD-II mencionados. Estos equipos fueron necesarios para obtener la información requerida en este estudio, con el fin de fundamentar de manera concisa todos los datos recolectados.

3.5.1 REGISTRO DE PRUEBAS CON LOS EQUIPOS GPS

En la Tabla 3.5 se indica una tabla referencial utilizada para registrar las pruebas realizadas por los conductores de taxis con los GPS. Mediante estas tablas se logró la interpretación de los datos obtenidos con el GPS, al dar lectura mediante las aplicaciones TSI LogView y Google Earth y en conjunto con R Studio, se desarrollaron los ciclos de conducción de la localidad.

Tabla 3.5 Registro datos campaña experimental GPS

Datos campaña experimental con dispositivo GPS		
Nº Vehículo	Modelo / año vehículo	Nº de datos registrados

Fuente: (Autores)

3.5.2 REGISTRO DE PRUEBAS CON INTERFAZ OBD-II

En la Tabla 3.6 se indican las variables utilizadas para el registro del consumo de combustible de los vehículos. Con estos valores se puede estimar la cantidad promedio de combustible consumido de los taxis cada día, semana, mes, año en unidades de gramos por kilómetro (g/km).

Tabla 3.6 Registro datos consumo de combustible OBD-II

Datos campaña consumo con interfaz OBD II			
Nº Vehículo	Modelo / año vehículo	Experiencia del conductor	Nº de datos registrados

Fuente: (Autores)

3.5.3 ORGANIZACIÓN DE VEHICULOS DE EVALUACIÓN

En las dos campañas experimentales mencionadas se entregaron los dispositivos GPS a los conductores de los vehículos seleccionados de forma individual en la parada oficial de la cooperativa German Grijalva o en un lugar acorde a la ubicación del conductor. Los dispositivos se colocaron en un lugar seguro de cada vehículo para garantizar una buena conexión satelital.

Los horarios de grabación variaron según el conductor y el flujo vehicular. Cuando se entregó el dispositivo por la mañana, la hora de inicio de grabación fue desde las 06:30 hasta las 11:00, y cuando se entregó por la tarde, fue desde las 16:00 hasta las 20:00. Esto se debió a que los conductores tenían un reglamento interno que les permitía firmar la asistencia de trabajo en la parada de taxis hasta el mediodía por la mañana y en la tarde cuando ya se retiraban de la jornada laboral. Por eso no fue posible reunirlos todos a una misma hora para entregarles los dispositivos, pero esto nos aseguró que los valores fueran más reales para analizar los resultados. En otros casos, se acordaron lugares de entrega con los conductores.

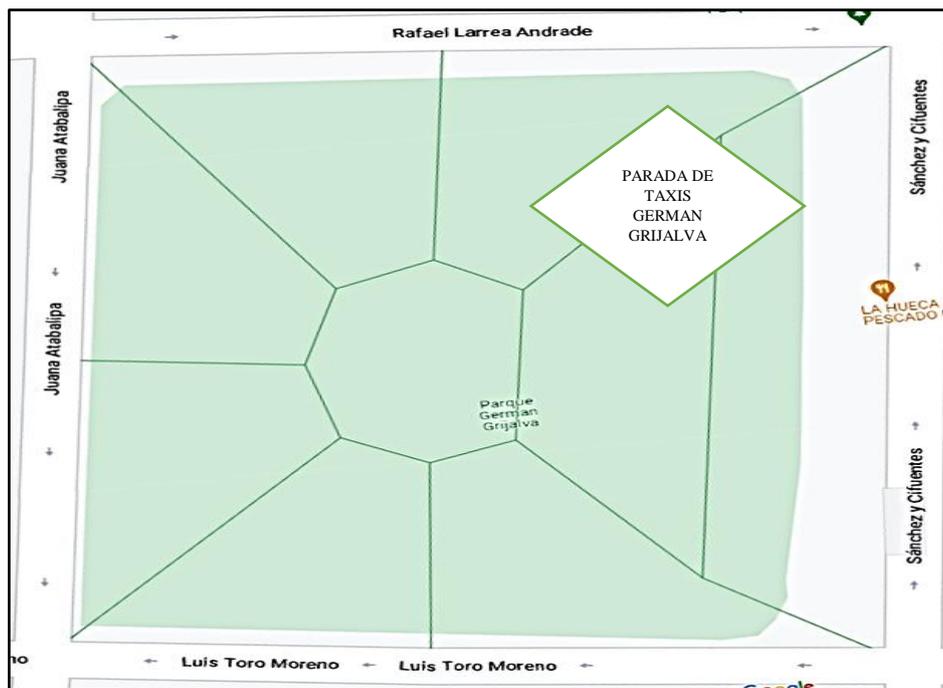


Figura 3.16 Parada de taxis de la Cooperativa German Grijalva

En la Figura 3.16 se muestra un croquis de la dirección de dicha parada. Después de entregar el GPS para la jornada laboral del conductor, se les informó que se les retiraría el dispositivo cuando se apagara, es decir, cuando la grabación se detuviera después de aproximadamente 40 horas de registro ininterrumpido, lo cual equivalía a dos días de trabajo aproximadamente. Luego, se procedió a cargar la batería del equipo para volver a registrar datos del día siguiente. Los dispositivos se entregaron totalmente cargados, configurados y encendidos, de modo que los conductores de taxis no tuvieran que manipular el dispositivo. Se colocaron en la gaveta del taxi, ya que ahí estaba libre de interferencia de señal dentro de la unidad de trabajo.

Para los dispositivos OBD-II y el celular, se consideró que, por motivos de seguridad de la ECU del vehículo y aparatos de medición, el monitoreo se realizaría durante cuatro horas, registrando segundo a segundo. Además, dado que solo se contaba con dos dispositivos para realizar estas pruebas, se establecieron diferentes horarios de monitoreo y se realizó una prueba en cada uno de los cuatro vehículos seleccionados.

3.6 SELECCIÓN DE VEHÍCULOS DE PRUEBA PARA ESTE ESTUDIO

En la Tabla 3.7 se detallan los vehículos de seguimiento utilizados. Los modelos de taxis seleccionados para el estudio fueron vehículos tipo sedán de gasolina con capacidad para 5 pasajeros. Entre las tres marcas de taxis más comunes se encuentran Hyundai, Chevrolet y Kia. Para el desarrollo de la investigación, se obtuvieron los datos técnicos de cada modelo, como el par, la potencia, el peso, el cilindraje, etc. Además, se realizó enumeración de los taxis evaluados de forma secuencial para la interpretación de los resultados.

Tabla 3.7 Detalles de las unidades de seguimiento

Marca	Modelo	Año	Número de vehículos	Número de registro de la operadora de taxi	Enumeración de taxis evaluados
Chevrolet	Aveo activo 1.4	2007	1	1	1
	Sail 1.4	2018	1	19	2
Kia	Rio Xcite 1.4	2011	3	(3,5,11)	(3,4,5)
	Rio R 1.4	2015	1	16	6
	Cerato forte 1.6	2014	1	2	7
Hyundai	Accent 1.4	2011	1	12	8

Fuente: (Autores)

La información técnica del modelo del vehículo taxi número 1 utilizado en este estudio se muestra en la siguiente Tabla 3.8. El Chevrolet es un automóvil de turismo producido por GM-DAEWOO Motors para el mercado sudamericano, introducido en el año 2002. En 2008, se incluyó en el parque automotor como uno de los vehículos más solicitados para el transporte público. Cuenta con un motor de combustión interna de gasolina de 1.4 cc, una caja de cambios de 6 velocidades de tracción delantera y está disponible en modelos sedán de 4 puertas y hatchback de 3 y 5 puertas.

Tabla 3.8 Información de la Unidad de taxi #1

Información General del vehículo #1	
Marca	Chevrolet
Modelo	Aveo Activo
Modificación (motor)	1.4 i 16V (94 CV)
Año	2008
Arquitectura de unidad de potencia	Motor de combustión interna
Número de puertas	4
Rendimiento	
Consumo de combustible urbano	9.1 l/100 km
Consumo de combustible extraurbano	6 l/100 km
Consumo de combustible combinado	7.1 l/100 km
Emisión CO ponderada	-
Combustible	Gasolina
Clasificación de los gases de escape	-
Relación peso/potencia	11.4 kg/CV, 87.9 CV/tonelada
Relación peso/par	8.2 kg/Nm, 122.4 Nm/tonelada
Motor	
Potencia máxima	94 CV @ 6300rpm
Par máximo	131 Nm @ 4400rpm
Numero de cilindros	4
Volumen y peso	
Peso en orden de marcha	1 070 kg
Capacidad deposito	45 l
Peso de remolque frenado (12%)	-
Peso del remolque no frenado	-
Tracción	Tracción delantera
Dirección, tipo	Cremallera de dirección
Dirección asistida	-

Fuente: (Autores)

La información técnica del modelo de vehículo del taxi número 2 usado para este estudio se muestra en la siguiente Tabla 3.9. El Chevrolet Sail es un automóvil de segmento B (compacto pequeño o subcompacto). Es un automóvil derivado originalmente de la mecánica y diseño del Opel Corsa. Su primera generación fue fabricada por General Motors en 2016. En el año 2018, se creó un vehículo de motor de combustión interna a gasolina con una capacidad de 1.4 cc y un par motor de 127 Nm a 4000 rpm. Tenía una dirección de cremallera y de asistencia eléctrica, y fue utilizado para el trabajo de servicio público

Tabla 3.9 Información de la Unidad de taxi #2

Información General del vehículo #2	
Marca	Chevrolet
Modelo	Salid Is ac
Modificación (motor)	1.4 (103CV)
Año	2018
Arquitectura de unidad de potencia	Motor de combustión interna
Número de puertas	4
Rendimiento	
Consumo de combustible urbano	-
Consumo de combustible extraurbano	-
Consumo de combustible combinado	5.3 l/100 km
Emisión CO ponderada	-
Combustible	Gasolina
Clasificación de los gases de escape	-
Relación peso/potencia	10.3 kg/CV, 97.4 CV/tonelada
Relación peso/par	8.3 kg/Nm, 120.2 Nm/tonelada
Motor	
Potencia máxima	103 CV @ 6000rpm
Par máximo	127 Nm @ 4000rpm
Numero de cilindros	4
Volumen y peso	
Peso en orden de marcha	1057 kg
Capacidad deposito	35 l
Peso de remolque frenado (12%)	-
Peso del remolque no frenado	-
Tracción	Tracción delantera
Dirección, tipo	Cremallera de dirección
Dirección asistida	Dirección Eléctrica

Fuente: (Autores)

La información técnica del modelo de los vehículos taxis número 3, 4 y 5 utilizados en este estudio se muestra en la siguiente Tabla 3.10. El Kia Rio Xcite se fabrica desde 1997 y actualmente está en su cuarta generación. Se clasifica como un vehículo de segmento B (compacto pequeño o subcompacto) y está disponible en sedán de cuatro puertas y hatchback de cinco puertas. El modelo de 2011 tiene un motor de combustión interna de gasolina de 1.4 cc y un par motor de 137 Nm a 4200 rpm. Su clasificación de emisiones EURO 5 permite que este vehículo funcione en condiciones óptimas el servicio público bajo normas de emisiones.

Tabla 3.10 Información de las Unidades de taxi #3,4,5

Información General del vehículo #3,4,5	
Marca	Kia
Modelo	RIO Xcite
Modificación (motor)	1.4 16V (109 CV)
Año	2011
Arquitectura de unidad de potencia	Motor de combustión interna
Número de puertas	4
Rendimiento	
Consumo de combustible urbano	7.2 l/100 km
Consumo de combustible extraurbano	4.5 l/100 km
Consumo de combustible combinado	5.5 l/100 km
Emisión CO ponderada	-
Combustible	Gasolina
Clasificación de los gases de escape	Euro 5
Relación peso/potencia	
Relación peso/par	
Motor	
Potencia máxima	109 CV
Par máximo	137 Nm @ 4200rpm
Numero de cilindros	4
Volumen y peso	
Peso en orden de marcha	1066 kg
Capacidad deposito	1600 kg
Peso de remolque frenado (12%)	-
Peso del remolque no frenado	-
Tracción	Tracción delantera
Dirección, tipo	Cremallera de dirección
Dirección asistida	-

Fuente: (Autores)

La información técnica del modelo de vehículo del taxi número 6 usado para este estudio se muestra en la siguiente Tabla 3.11. Debido a sus condiciones de diseño y desempeño, se tomó en cuenta la mejora que existía en el modelo 2015 del Kia Rio R, donde la calificación de gases de escape era de EURO 6. Tenía un motor de combustión interna a gasolina de 1.4 cc, un par motor de 137 Nm a 4200 rpm, una caja de 6 velocidades y tracción delantera. También se implementó la dirección de cremallera de asistencia eléctrica.

Tabla 3.11 Información de la Unidad de taxi #6

Información General del vehículo #6	
Marca	Kia
Modelo	Rio R
Modificación (motor)	1.4 (109 CV)
Año	2015
Arquitectura de unidad de potencia	Motor de combustión interna
Número de puertas	5
Rendimiento	
Consumo de combustible urbano	7.2 l/100 km
Consumo de combustible extraurbano	4.5 l/100 km
Consumo de combustible combinado	5.5 l/100 km
Emisión CO ponderada	127 gr/km
Combustible	Gasolina
Clasificación de los gases de escape	Euro 6
Relación peso/potencia	9.9 kg/CV, 101 CV/tonelada
Relación peso/par	7.9 kg/Nm, 127 Nm/tonelada
Motor	
Potencia máxima	109 CV@ 6300 rpm
Par máximo	137 Nm @ 4200 rpm
Numero de cilindros	4
Volumen y peso	
Peso en orden de marcha	1079 – 1188 kg
Capacidad deposito	43 l
Peso de remolque frenado (12%)	1050 kg
Peso del remolque no frenado	450 kg
Tracción	Tracción delantera
Dirección, tipo	Cremallera de dirección
Dirección asistida	Dirección eléctrica

Fuente: (Autores)

La información técnica del modelo del vehículo taxi número 7 utilizado en este estudio se muestra en la siguiente Tabla 3.12. El Kia Cerato es un vehículo de segmento C (compacto grande) fabricado por Kia Motors desde el año 2003. En el año 2019, debido a su capacidad y rendimiento, se destinó al servicio público. Tiene un motor de combustión interna de gasolina de 1.6 cc, una caja de cambios de 7 velocidades, tracción delantera y produce un par motor de 256 Nm a 1500-4500 rpm.

Tabla 3.12 Información de la Unidad de taxi #7

Información General del vehículo #7	
Marca	Kia
Modelo	Cerato Forte
Modificación (motor)	GT 1.6 T-GDI (204 CV) DCT
Año	2019
Arquitectura de unidad de potencia	Motor de combustión interna
Número de puertas	4
Rendimiento	
Consumo de combustible urbano	8.9 l/100 km
Consumo de combustible extraurbano	5.5 l/100 km
Consumo de combustible combinado	6.8 l/100 km
Emisión CO ponderada	158 gr/km
Combustible	Gasolina
Clasificación de los gases de escape	Euro 5
Relación peso/potencia	6.3 kg/CV, 157.5 CV/tonelada
Relación peso/par	4.9 kg/Nm, 204.6 Nm/tonelada
Motor	
Potencia máxima	204 CV @ 6000rpm
Par máximo	265 Nm @ 1500-4500rpm
Numero de cilindros	4
Volumen y peso	
Peso en orden de marcha	1295 kg
Capacidad deposito	50 l
Peso de remolque frenado (12%)	1100 kg
Peso del remolque no frenado	610 kg
Tracción	Tracción delantera
Dirección, tipo	Cremallera de dirección
Dirección asistida	Dirección eléctrica

Fuente: (Autores)

La información técnica del modelo de vehículo del taxi número 8 usado para este estudio se muestra en la siguiente Tabla 3.13. El Hyundai Accent es un automóvil de segmento B (compacto pequeño o subcompacto) fabricado por Hyundai. Fue fabricado en 2011 con un motor de combustión interna de gasolina con una capacidad de 1.4 cc y un par motor de 156 Nm a 4200 rpm. Consta de una caja de cambios de 6 velocidades de tracción delantera y una dirección de tipo cremallera.

Tabla 3.13 Información de la Unidad de taxi #8

Información General del vehículo #8	
Marca	Hyundai
Modelo	Accent
Modificación (motor)	1.4 4D (122 CV)
Año	2011
Arquitectura de unidad de potencia	Motor de combustión interna
Número de puertas	4
Rendimiento	
Consumo de combustible urbano	8.1 l/100 km
Consumo de combustible extraurbano	4.9 l/100 km
Consumo de combustible combinado	6.1 l/100 km
Emisión CO ponderada	144 gr/km
Combustible	Gasolina
Clasificación de los gases de escape	-
Relación peso/potencia	8.5 kg/CV, 117.3 CV/tonelada
Relación peso/par	6.7 kg/Nm, 150 Nm/tonelada
Motor	
Potencia máxima	122 CV @ 6300rpm
Par máximo	156 Nm @ 4200rpm
Numero de cilindros	4
Volumen y peso	
Peso en orden de marcha	1040-1120 kg
Capacidad deposito	43 l
Peso de remolque frenado (12%)	-
Peso del remolque no frenado	-
Tracción	Tracción delantera
Dirección, tipo	Cremallera de dirección
Dirección asistida	Dirección Eléctrica

Fuente: (Autores)

3.7 EJECUCIÓN DE CAMPAÑA EXPERIMENTAL

En este estudio se empleó la técnica a bordo (On-Board) para recolectar la información experimental con las variables adecuadas para el estudio. Esta técnica permitió obtener la información de la manera de conducir que ejecuta el conductor en tiempo y tráfico real mediante la instrumentación del vehículo de forma inalámbrica.

3.7.2 INSTALACIÓN Y MONTAJE DE EQUIPOS DE MONITOREO

La campaña empezó con la socialización del estudio a los integrantes de la cooperativa de taxis, en la cual se les dio a conocer la información que se necesitaba obtener. Se explicó

rápidamente el funcionamiento del dispositivo GPS y OBD, y también se les informó que la duración del levantamiento de datos sería aproximadamente de dos semanas. Se contó con la colaboración de taxis convencionales y modelos específicos que accedieron voluntariamente a ayudarnos en este estudio. El modo en que los conductores se comportan en términos de agresividad, velocidad y adelantamiento depende del flujo de tráfico presente en la carretera, lo cual implica que el conductor no es un factor determinante. Sin embargo, esta afirmación es válida únicamente cuando se están considerando vías con alta congestión.



Figura 3.17 Entrega y montaje de dispositivos de monitoreo

En la Figura 3.17 se indica la entrega de los dispositivos para la recolección de datos. En total, se seleccionaron ocho vehículos de la flota total de la cooperativa para el monitoreo. Cada taxi realizó al final seis pruebas, y en total se registraron 48 pruebas o viajes en el transcurso de dos semanas con el GPS, y 4 pruebas con el interfaz OBD-II.

3.7.3 REGISTRO DATOS CAMPAÑAS EXPERIMENTALES

En la Tabla 3.14 se indican los parámetros generales tomados en cuenta para recolectar la información necesaria y cumplir con los objetivos planteados en este estudio. Se consideraron dos campañas experimentales debido a que el GPS es un dispositivo satelital pasivo que monitorea constantemente la posición del vehículo, y su batería tiene una duración de aproximadamente 48 horas. El OBD-II es un dispositivo Bluetooth que requiere una conexión a un celular para monitorear la información del consumo de combustible, y la duración de la batería del celular fue de aproximadamente 4 horas.

Tabla 3.14 Datos generales de la campaña experimental

Datos generales de la campaña experimental							
Objetivo	Equipo usado	Duración batería	Fecha inicio	Marcas de taxis	Frecuencia de muestreo	# Pruebas	# Vehículos
Ciclos de conducción	GPS logger	48h aprox	Sep 2022	Chevrolet, Kia, Hyundai	1 hz	48	8
Consumo de combustible	OBD II + Celular	4h aprox				5	5

Fuente: (Autores)

Las rutas se monitorearon ininterrumpidamente durante dos días seguidos gracias a la durabilidad de la batería del GPS. Además, se descartó la posibilidad de usar una powerbank para alargar la duración de la batería debido a que la capacidad de memoria, según las especificaciones de fábrica, es de 250,000 datos y se supera ese límite en tres días. El fabricante advierte que, si los datos superan ese límite, se sobrescriben o no se registran. En el dispositivo OBD-II no se usó una powerbank debido a que este dispositivo se sobrecalentaba al estar en conexión con el puerto DLC. Por seguridad, se estableció que el registro de datos fuera hasta que se descargara la batería del celular.

Se consideró el mes de septiembre para el inicio de dicha campaña debido a que es una época en la cual las actividades laborales, escolares y comerciales eran normales. Esto garantiza obtener datos más precisos en función de las condiciones cotidianas reales de tráfico en la ciudad. Los modelos y marcas de los vehículos se determinaron después de varias pruebas piloto, para lo cual las marcas Chevrolet, Kia y Hyundai eran más accesibles para la conexión de los dispositivos. La frecuencia de muestreo para ambos dispositivos se reguló en 1 Hz. En los ciclos de conducción se estimaron 48 pruebas en 8 vehículos y en el consumo de combustible se estimaron 4 pruebas en 4 vehículos.

3.8 PRE PROCESAMIENTO DE DATOS

Los dispositivos utilizados registraron la cinemática del vehículo y la operación del motor. El equipo GPS guardó la información de las rutas por donde circulaba el taxi con parámetros como velocidad, aceleración, posición, altitud, distancia recorrida, frecuencia, entre otros, en tiempo real. De manera similar, el interfaz OBD-II se enfocó en obtener los parámetros de consumo de combustible con los datos que recibía de la unidad de control del vehículo (ECU). El desarrollo del pre procesamiento de datos de la campaña experimental de los

ciclos de conducción, después de recolectar la información, nos permitió filtrar los datos que se utilizarían para el estudio en cada tramo de la ciudad. Los datos se identificaron y separaron por carpetas según el número de taxi.

3.8.2 DATOS CAMPAÑA EXPERIMENTAL DE CICLOS DE CONDUCCIÓN: GPS

Los datos obtenidos mediante el GPS sin procesar se guardaron después de cada prueba realizada, ya que la capacidad de almacenamiento del dispositivo se llenaba aproximadamente en dos días de monitoreo continuo. Por lo tanto, se retiraban los dispositivos, se guardaban los datos y se recargaba la batería para volver al siguiente día a monitorear la ruta del taxi en funcionamiento.

3.8.2.1 Recopilación y extracción de datos obtenidos a través del GPS

Los datos guardados en la PC se registraron en una carpeta previamente creada llamada "Tracks Clasificados", la cual se dividió en varias subcarpetas con la denominación "Unidad y el número de taxi", donde se registró la información obtenida con los dispositivos de monitoreo. En las carpetas denominadas "Tracks_y el tramo", se guardó la información en formato csv de Excel, obtenida con la programación para cada tramo seccionado de estudio.

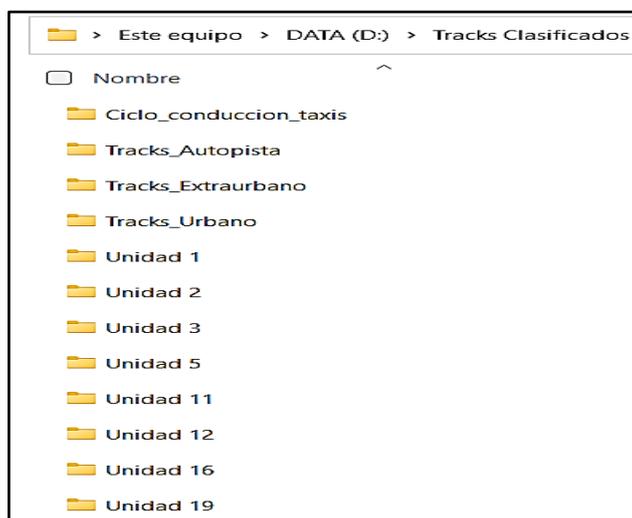


Figura 3.18 Nombres de las carpetas de la base de datos

En la Figura 3.18 se indican los nombres de las carpetas creadas para la base de datos que se realizó una vez culminado el levantamiento de la información. Los datos guardados en el GPS se descargaron mediante un cable USB a la PC. Se lograron extraer mediante diversos programas como el TSI LogView, GPS Photo Tagger o Google Earth Pro

Nombre del Track	Tiempo de inicio	Tiempo final	Duración	Distancia Tot...	POI Count	Track	Color	Ancho de línea	Waypoint icon
FK2022/05/16_2014	17/05/2022 01:14:50	17/05/2022 01:15:06	0 Days 00:00:16	0.0 km	0	<input checked="" type="checkbox"/>	■	5	<input type="checkbox"/>
FK2022/05/17_07:47	17/05/2022 12:47:16	19/05/2022 12:54:44	2 Days 00:07:28	39.4 km	0	<input checked="" type="checkbox"/>	■	5	<input type="checkbox"/>
FK2022/05/23_15:54	23/05/2022 20:54:18	23/05/2022 21:10:03	0 Days 00:15:45	0.1 km	0	<input checked="" type="checkbox"/>	■	5	<input type="checkbox"/>
FK2022/05/23_18:54	23/05/2022 23:54:47	23/05/2022 23:56:04	0 Days 00:01:17	0.0 km	0	<input checked="" type="checkbox"/>	■	5	<input type="checkbox"/>

Índice	RCR	UTC Time	Local Time	miil.	Valid	Latitud	N/S	Longitud	E/W	Altura	Velocidad	Denominaci...	Distancia
550	T	2022/05/17 12:56:25	2022/05/17 07:56:25	0	SPS	0°21'41"N	N	78° 7' 9"W	W	2211 m	24.428 km/h	249.075118	6.81 m
551	T	2022/05/17 12:56:26	2022/05/17 07:56:26	0	SPS	0°21'41"N	N	78° 7' 10"W	W	2211 m	23.557 km/h	246.570892	6.75 m
552	T	2022/05/17 12:56:27	2022/05/17 07:56:27	0	SPS	0°21'41"N	N	78° 7' 10"W	W	2211 m	21.557 km/h	245.224426	6.06 m
553	T	2022/05/17 12:56:28	2022/05/17 07:56:28	0	SPS	0°21'41"N	N	78° 7' 10"W	W	2211 m	17.446 km/h	242.240990	5.31 m
554	T	2022/05/17 12:56:29	2022/05/17 07:56:29	0	SPS	0°21'41"N	N	78° 7' 10"W	W	2211 m	11.834 km/h	246.800997	3.98 m
555	T	2022/05/17 12:56:30	2022/05/17 07:56:30	0	SPS	0°21'41"N	N	78° 7' 10"W	W	2211 m	9.890 km/h	254.054303	2.82 m
556	T	2022/05/17 12:56:31	2022/05/17 07:56:31	0	SPS	0°21'41"N	N	78° 7' 10"W	W	2212 m	8.556 km/h	265.236264	2.70 m
557	T	2022/05/17 12:56:32	2022/05/17 07:56:32	0	SPS	0°21'41"N	N	78° 7' 10"W	W	2212 m	7.890 km/h	270.000000	2.23 m
558	T	2022/05/17 12:56:33	2022/05/17 07:56:33	0	SPS	0°21'41"N	N	78° 7' 10"W	W	2212 m	9.241 km/h	289.440392	2.78 m
559	T	2022/05/17 12:56:34	2022/05/17 07:56:34	0	SPS	0°21'41"N	N	78° 7' 10"W	W	2212 m	13.094 km/h	313.152958	3.34 m
560	T	2022/05/17 12:56:35	2022/05/17 07:56:35	0	SPS	0°21'41"N	N	78° 7' 11"W	W	2212 m	16.186 km/h	325.713654	4.07 m
561	T	2022/05/17 12:56:36	2022/05/17 07:56:36	0	SPS	0°21'41"N	N	78° 7' 11"W	W	2212 m	18.261 km/h	338.962871	4.93 m
562	T	2022/05/17 12:56:37	2022/05/17 07:56:37	0	SPS	0°21'41"N	N	78° 7' 11"W	W	2212 m	17.742 km/h	342.891592	5.16 m
563	T	2022/05/17 12:56:38	2022/05/17 07:56:38	0	SPS	0°21'41"N	N	78° 7' 11"W	W	2213 m	18.594 km/h	342.181443	5.04 m
564	T	2022/05/17 12:56:39	2022/05/17 07:56:39	0	SPS	0°21'41"N	N	78° 7' 11"W	W	2213 m	19.539 km/h	345.529982	5.45 m
565	T	2022/05/17 12:56:40	2022/05/17 07:56:40	0	SPS	0°21'42"N	N	78° 7' 11"W	W	2213 m	22.057 km/h	345.579502	5.93 m
566	T	2022/05/17 12:56:41	2022/05/17 07:56:41	0	SPS	0°21'42"N	N	78° 7' 11"W	W	2213 m	24.187 km/h	343.443240	6.70 m
567	T	2022/05/17 12:56:42	2022/05/17 07:56:42	0	SPS	0°21'42"N	N	78° 7' 11"W	W	2213 m	25.947 km/h	343.835966	7.15 m
568	T	2022/05/17 12:56:43	2022/05/17 07:56:43	0	SPS	0°21'42"N	N	78° 7' 11"W	W	2214 m	25.835 km/h	341.075706	7.33 m
569	T	2022/05/17 12:56:44	2022/05/17 07:56:44	0	SPS	0°21'43"N	N	78° 7' 11"W	W	2214 m	23.909 km/h	340.560324	6.86 m
570	T	2022/05/17 12:56:45	2022/05/17 07:56:45	0	SPS	0°21'43"N	N	78° 7' 11"W	W	2214 m	21.687 km/h	337.249431	6.68 m

Figura 3.19 Extracción de información del GPS a TSI LogView

En primer lugar, se conectó y encendió el equipo. Luego, al abrir el programa, se hizo clic en la opción "leer log" y se esperó varios minutos hasta que se descargaran los datos, lo cual solía tardar de 2 a 5 minutos dependiendo del total de bytes almacenados, como se muestra en la Figura 3.19. A continuación, se procedió a registrar, nombrar y guardar cada uno de los archivos en la carpeta adecuada dentro de la PC para una mejor identificación y orden de los datos. Para ello, se hizo clic en "guardar" y luego apareció una ventana solicitando la selección de los registros que se deseaban importar. Después de seleccionar los que se necesitaban, se hizo clic en "aceptar". A continuación, apareció otra ventana que permitía seleccionar el archivo donde se deseaba guardar, el nombre deseado para los datos y el formato de importación, que podía ser en formato (. gpx / . nmea / . kml / . csv / . bin).

Otras de las funciones que permitió el software fue eliminar o resetear los datos cuando la memoria del dispositivo estaba llena. En la eliminación de los datos, se logró borrar todos los registros realizados con el dispositivo sin alterar la configuración del programa ni el dispositivo. La opción seleccionada fue "borrar log". Ahora bien, si se deseaba formatear por completo el dispositivo, se seleccionaba la opción "resetear dispositivo" y tanto el programa como el dispositivo volvían a sus configuraciones por defecto.

En la Tabla 3.15 se indica la información de las pruebas realizadas, el número, modelo y año del taxi de prueba, y el número de datos grabados en la memoria del dispositivo. Esta información ayudó a determinar el número total de datos por cada una de las pruebas realizadas a los taxis. En total, en la prueba número uno se recolectó 5.932.372 datos.

Tabla 3.15 Registro datos de perfiles de conducción con dispositivo GPS

Registro datos de perfiles de conducción con dispositivo GPS		
Nº Vehículo	Modelo / año vehículo	Nº de datos registrados
1	Aveo Activo 1.4 2007	706 332
2	Chevrolet Sail 1.4 2018	935 998
3	Kia Rio Xcite 1.4 2010	915 082
4	Kia Rio Xcite 1.4 2011	929 993
5	Kia Rio Xcite 1.4 2011	695 481
6	Kia Rio 1.4 2015	772 639
7	Kia Cerato Forte 1.6 2014	798 142
8	Hyundai Accent 1.4 2011	178 705
Total datos por vehículo prueba GPS =		5 932 372

Fuente: (Autores)

En la Tabla 3.16 se guardaron los resultados de datos sumando todos los registros individuales por cada evaluación de cada taxi obtenidos del GPS sin procesar. De acuerdo a las pruebas, se obtuvieron 1.016.851 datos en el primer día de pruebas, 999.473 datos en la segunda, 962.241 datos en la tercera, 1.022.596 datos en la cuarta, 927.166 datos en la quinta y 1.004.045 datos en la sexta. En total, se obtuvieron 5.932.372 datos de monitoreo de las rutas de Ibarra durante el transcurso de dos semanas laborales, incluidos dos fines de semana, cubriendo horarios de mayor afluencia vehicular en la mañana, tarde y noche para obtener los resultados de este estudio.

Tabla 3.16 Número total de datos por cada evaluación con GPS

Número total de datos por evaluación con GPS	
Número de evaluación	Numero de datos registrados
1	1 016 851
2	999 473
3	962 241
4	1 022 596
5	927 166
6	1 004 045
Total	5 932 372

Fuente:(Autores)

Los datos registrados sin procesar se seccionaron para realizar la programación en cada tramo de estudio. Mediante el software compatible con el GPS, se logró cargar los ficheros completos a la interfaz para visualizar la ruta que ha recorrido el taxi durante todo el monitoreo. A través del mapa, se identificó en que parte de la ciudad se encontraba cada vehículo.

El paso inicial para ingresar los datos obtenidos de los vehículos con el GPS al software de programación RStudio fue identificar, mediante la aplicación Google Earth Pro, en qué tramo o parte de la ciudad se encontraba rodando cada uno de los taxis, ya que esta aplicación permite seguir la ruta del vehículo segundo a segundo. Para registrar en forma de texto la ubicación visualizada cada segundo en la que estaba circulando el taxi, ya sea en zona urbana, extraurbana o autopista, se utilizó el software Excel y se generó una columna extra en el archivo original.

INDEX	RCR	UTC DATE	UTC TIME	LOCAL DATE	LOCAL TIME	MS	VALID	LATITUDE	N/S	LONGITUDE	E/W	HEIGHT	SPEED	HEADING	Distance	TRAMO
1	T	14/9/2022	14:48:41	14/9/2022	9:48:41	0	SPS	0.343925	N	-78.121.438	W	2230	0.111	0.000000	0.00	Urbano
2	T	14/9/2022	14:48:42	14/9/2022	9:48:42	0	SPS	0.343928	N	-78.121.438	W	2230	0.482	315.000.516	0.38	Urbano
3	T	14/9/2022	14:48:43	14/9/2022	9:48:43	0	SPS	0.343930	N	-78.121.440	W	2230	0.407	0.000000	0.28	Urbano
4	T	14/9/2022	14:48:44	14/9/2022	9:48:44	0	SPS	0.343932	N	-78.121.440	W	2230	0.426	315.000.516	0.19	Urbano
5	T	14/9/2022	14:48:45	14/9/2022	9:48:45	0	SPS	0.343933	N	-78.121.442	W	2230	0.370	303.690.544	0.25	Urbano
6	T	14/9/2022	14:48:46	14/9/2022	9:48:46	0	SPS	0.343937	N	-78.121.447	W	2229	0.352	135.000.516	0.66	Urbano
7	T	14/9/2022	14:48:47	14/9/2022	9:48:47	0	SPS	0.343935	N	-78.121.445	W	2229	0.333	135.000.516	0.27	Urbano
8	T	14/9/2022	14:48:48	14/9/2022	9:48:48	0	SPS	0.343933	N	-78.121.443	W	2229	0.315	135.000.516	0.27	Urbano
9	T	14/9/2022	14:48:49	14/9/2022	9:48:49	0	SPS	0.343932	N	-78.121.442	W	2229	0.185	0.000000	0.25	Urbano
10	T	14/9/2022	14:48:50	14/9/2022	9:48:50	0	SPS	0.343932	N	-78.121.442	W	2229	0.130	0.000000	0.00	Urbano

Figura 3.20 Selección del tramo

La Figura 3.20 muestra la sección de tramos en la columna denominada "TRAMO", donde se detalla el tramo específico en el que se encontraba circulando el vehículo, basándose en la variable del tiempo del archivo original. La clasificación ayudó a segmentar la ciudad en tres tramos: zona urbana, extraurbano y autopista. Cada zona requiere un estudio por separado para comprender mejor sus resultados. La selección del tramo es importante para determinar las características del ciclo representativo que se desea generar, y en ella influyen variables como el tipo de vía y la congestión vehicular a lo largo del tramo. Estas rutas son comúnmente utilizadas por las personas en su rutina diaria para desplazarse en ambos sentidos, ya sea desde casa al trabajo, estudios, mercado, vida social, entre otros.

3.8.3 DATOS CAMPAÑA EXPERIMENTAL CONSUMO DE COMBUSTIBLE: OBD

En la campaña experimental de consumo de combustible, los datos se obtuvieron utilizando un escáner automotriz inalámbrico OBD-II. Se colocó dicho dispositivo en el puerto DLC del taxi para acceder a la información de la ECU. Mediante una conexión Bluetooth, se conectó el escáner a la aplicación "Torque pro" para visualizar los datos generados del consumo de combustible durante un periodo continuo de cuatro horas. Al finalizar, los datos se guardaron en formato Excel en la tarjeta microSD del celular. Luego se recargó la batería del celular y se realizó otra prueba en otro vehículo.

3.8.3.1 Recopilación y extracción de datos obtenidos a través del OBD-II

La recopilación se realizó ingresando los datos del vehículo a evaluar y conectando la aplicación a la interfaz mediante bluetooth. Al finalizar las pruebas, la información del consumo de todos los vehículos se transfirió del celular a la PC, en carpetas previamente denominadas para cada taxi.



Figura 3.21 Registro de los perfiles de taxis de pruebas de consumo de combustible

En la Figura 3.21, se indican todos los perfiles creados en la aplicación Torque Pro para cada uno de los taxis de prueba seleccionados. Estos perfiles se crearon para cada unidad de taxi ya que al tener diferentes cilindradas el registro del consumo de combustible era notablemente diferente.

Los datos se registraron en la misma carpeta de los datos del GPS, denominada "Tracks Clasificados". Dentro de esa carpeta, se creó otra llamada "Pruebas de consumo", donde se almacenaron los archivos en formato Excel de consumo, con la denominación "PC (prueba de consumo) _Tramo_Número de Unidad". Estos archivos segmentados nos ayudaron a realizar el estudio del consumo de combustible para cada tramo de la ciudad.

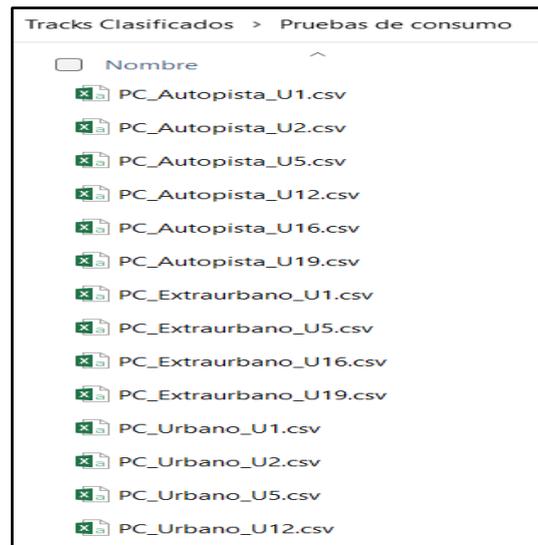


Figura 3.22 Base de datos pruebas seccionadas consumo

En la Figura 3.22 se presenta la denominación de las carpetas y archivos creados para la base de datos del OBD-II. El primer paso fue ingresar los datos obtenidos de los vehículos con el OBD-II al software de programación RStudio. Para determinar en qué tramo o parte de la ciudad se encontraba cada taxi, se utilizó la aplicación Google Earth Pro. Utilizando el software Excel, se generó una columna adicional en el archivo original para registrar en forma de texto la ubicación visualizada cada segundo en la que el taxi estaba circulando, ya sea en zona urbana, extraurbana o en autopista.

Kilometers Pi	Trip average	Trip average	Litres Per 100	Torque(Nm)	Throttle Posi	Fuel cost (trij	GPS Accuracy	Engine RPM	Acceleration	Engine Coola	Trip Time(Sin	Trip time(w	Trip time(w	Speed (GPS)	Speed (OBD)	Voltage (OBD	TRAMO
9.35	-	-	10.69	-	71.76	-	149.01	0	-0.02	86	0	0	0	-	0	12.5	urbano
9.35	-	-	10.69	-	71.76	-	149.01	0	0	87	0	0	0	-	0	12.5	urbano
9.35	-	-	10.69	-	71.76	-	149.01	0	0.05	87	0	0	0	-	0	12.5	urbano
9.35	-	-	10.69	-	71.76	-	149.01	0	-0.01	86	0	0	0	-	0	12.5	urbano
9.35	-	-	10.69	-	71.76	-	149.01	0	-0.03	86	0	0	0	-	0	12.5	urbano
9.35	-	-	10.69	-	71.76	-	149.01	0	0.01	86	0	0	0	-	0	12.5	urbano
9.35	-	-	10.69	-	71.76	-	149.01	0	0.01	86	0	0	0	-	0	12.5	urbano
9.35	-	-	10.69	-	71.76	-	149.01	0	-0.01	86	0	0	0	-	0	12.5	urbano
9.35	-	-	10.69	-	71.76	-	149.01	0	0	86	0	0	0	-	0	12.5	urbano

Figura 3.23 Selección del tramo OBD-II

En la Figura 3.23 se muestra la sección de tramos en la columna denominada "TRAMO", donde se detalla el tramo específico en el que se encuentra el vehículo, basándose en la variable de tiempo del archivo original. En este caso, la figura muestra que el vehículo se encontraba circulando en la parte urbana de la ciudad. En esto influyen varias variables, como el modelo y el año del vehículo, la gestión vehicular y el horario de circulación, entre otros factores. En la Tabla 3.17 se registraron los resultados obtenidos en las pruebas realizadas con el OBD-II.

Tabla 3.17 Registro datos de pruebas de consumo con interfaz OBD II

Registro datos de pruebas de consumo con interfaz OBD II			
Nº Vehículo	Modelo / año vehículo	Experiencia del conductor	Nº de datos registrados
1	Aveo Activo 1.4 2007	5 años	16 561
2	Chevrolet Sail 1.4 2018	12 años	18 217
6	Kia R 1.4 2015	6 años	28 840
7	Kia Cerato forte 1.6 2014	8 años	10 832
8	Hyundai Accent 1.4 2011	10 años	11 003
Total datos prueba OBD-II			85 453

Fuente: (Autores)

El cálculo del consumo de combustible reportado por el protocolo OBD-II se realizó a partir de la lectura de los sensores del automóvil, los cuales registraron los valores de temperatura del aire de admisión, flujo o presión del aire ingresado al motor, relación aire/combustible, velocidad del motor y ajustes de combustible a largo y corto plazo.

3.9 PROCESAMIENTO DE DATOS

En el estudio actual, se utilizan dos bases de datos: una que incluye datos experimentales obtenidos con GPS y otra que obtiene datos del consumo de combustible a través del sistema OBD-II. El procesamiento de datos de este estudio se desarrolló en dos etapas principales. En la primera etapa, se construyeron los ciclos de conducción, y en la segunda etapa, se estimó el consumo de combustible de los taxis.

3.9.1 CONSTRUCCIÓN CICLO DE CONDUCCIÓN PROPUESTO: GPS

El presente estudio propone seis etapas para el desarrollo de la construcción del ciclo de conducción de la ciudad. Estas etapas son las siguientes: a) 3.9.1.1 Remover los datos del vehículo apagado, b) 3.9.1.2 Asignar estados de marcha, c) 3.9.1.3 Enumerar micro ciclos para cada tramo, d) 3.9.1.4 Ensamblar micro ciclos obtenidos en cada grupo clustering desarrollado para cada tramo, d) 3.9.1.5 Calcular estadísticas del ensamble de micro ciclos por tramo, e) 3.9.1.6 Graficar la construcción del ciclo de conducción para cada tramo, f) 3.9.1.7 Ciclo de conducción para la ciudad de Ibarra y g) 3.9.1.8 Comparar estadísticas de ciclo de conducción con ciclos internacionales.

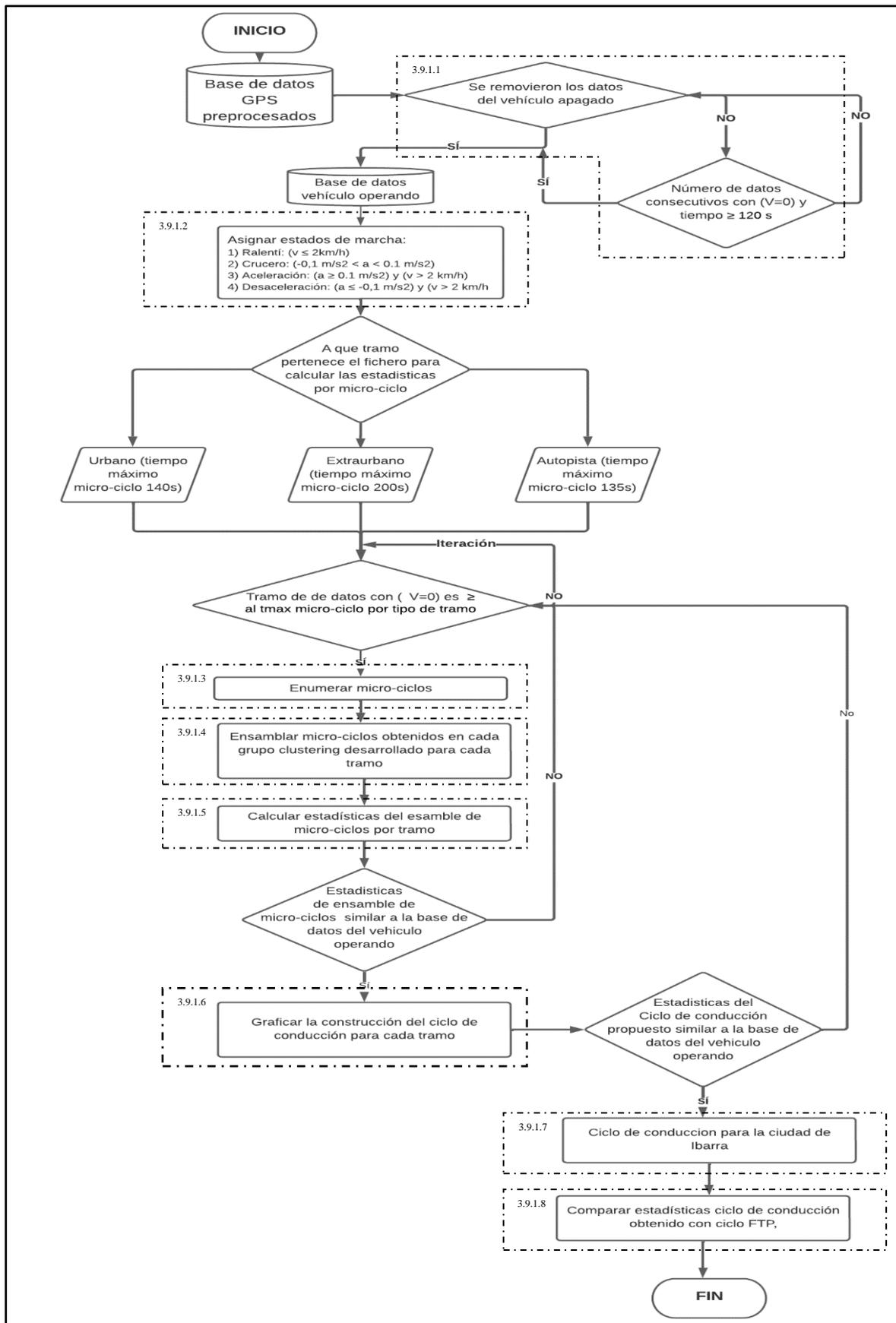


Figura 3.24 Flujograma ciclos de conducción

Basándose en las seis etapas definidas, la Figura 3.24 muestra el flujo de trabajo propuesto para obtener uno o varios ciclos de conducción representativos a partir de una serie de pruebas realizadas en los taxis evaluados. Se ingresó un conjunto de datos de pruebas en el software RStudio para que se analizaran y se generara uno o varios ciclos de conducción representativos para cada conjunto de pruebas. Mediante codificación, los datos previamente guardados en formato Excel se procesaron para construir el ciclo o los ciclos representativos de la ciudad. Esta sección está implementada con todas las fases, algoritmos y códigos necesarios para obtener los ciclos de conducción de los taxis.

3.9.1.1 Remover los datos del vehículo apagado

En la etapa de "Remover los datos del vehículo apagado", se realizó el procesamiento de datos a partir de la base de datos (TRACKS CLASIFICADOS) previamente guardada. Se utilizó Rstudio debido a que es adecuado para analizar grandes cantidades de datos. Se establecieron criterios de evaluación para la síntesis del ciclo o los ciclos de conducción característicos. Estos criterios son importantes para extraer las características de un ciclo, construir los ciclos representativos, seleccionar los ciclos de conducción y determinar la representatividad estadística de los ciclos. Las variables más importantes en este estudio fueron el tiempo, la velocidad, la distancia, el estado del vehículo, la velocidad suavizada, la velocidad promedio, el tramo (urbano, extraurbano o autopista), el número del ciclo, el tiempo del ciclo, la aceleración y la desaceleración promedio, y el modo (cruce, aceleración, desaceleración y ralentí).

```
getwd()
old <-setwd("D:\\Tracks Clasificados")
dir()
dir(pattern='.R')
dir('data')

install.packages()

library("lubridate")
library("dplyr")
library('tidyverse')
library("hms")
library("data.table")
library("ggplot2")
library("zoo")
library("rbin")
library("ggcorrplot")
library("PerformanceAnalytics")
library("ggridges")
library("cluster")
library("factoextra")
library("gridExtra")
```

Figura 3.25 Selección de librerías

En la Figura 3.25 se indican las librerías utilizadas en la programación. La función "install.packages()" se utilizó para seleccionar los paquetes necesarios en la programación. Después de la instalación de cada paquete, se utilizaron sus funciones mediante la función "library()", donde se seleccionaron todas las librerías necesarias para ejecutar el código de los ciclos de conducción. En base a una extensa literatura sobre construcción de ciclos de conducción, se tomaron tres criterios del ciclo FTP75, que es un ciclo referencial del país. Estos criterios son la velocidad máxima, promedio y el número promedio de paradas.

```
df1 <- Fichero_Completo_Urbano
df1 <- filter(df1,Tiempo<=180000)
df1$Estado_Vehiculo <- "Encendido"

df1$Validar_A <- "verificar"
df1$Validar_B <- "verificar"
df1$Validar_C <- "verificar"
df1$Validar_D <- "verificar"
df1$Validar_E <- "verificar"
df1$Validar_F <- "verificar"

tmax_ralenti <- 140 #tiempo maximo de una pausa considerada como ralenti (seg)
reg_total <- nrow(df1)
cont_ralenti <- 0
```

Figura 3.26 Remover registros del vehículo apagado

En la Figura 3.26 se muestra un dataframe llamado "df1" que se utiliza para identificar y remover los registros del vehículo apagado. Se filtra el tiempo de acuerdo al fichero seleccionado y se crea un vector llamado "Estado_Vehiculo" en el mismo fichero. Se asigna la palabra "Encendido" a cada variable. También se crean otros seis vectores, "A - F", con la palabra "Verificar" en cada variable. En esta parte del código, se debe cambiar el valor de tiempo máximo de ralenti según el tramo que se esté manipulando. Se utilizó la función "reg_total" para obtener el valor total de variables de un vector. La línea "cont_ralenti <- 0" se utiliza para contar el tiempo que el vehículo permanece en ralenti. Este análisis fue basado en un caso de estudio en Hong Kong donde el tiempo máximo de ralenti en el tramo urbano fue 140 s, en el tramo Extraurbano 200 s y en el tramo Autopista 135 s.

3.9.1.2 Asignar estados de marcha

Mediante la función for (), la cual es una interacción repetitiva de códigos, se evalúan a través de un vector o lista cada una de sus variables. En este caso, for (i1 in 1: (reg_total - 1)), se considera que "i" toma su valor correspondiente en cada iteración e "in" indica un

rango de filas. En este caso, inicia en 1 y termina en el registro total de datos menos 1. Se ejecutó otra función que es la condicionante `if()` que se usa para realizar una operación solo cuando se cumple la condición. Aquí se indica los nombres con los que se van a llenar las variables de los vectores creados para el test. La primera condicionante `if(df1$Validar_F[i1] == "Zero_removido")` se expresa para que R nos indique el texto entre comillas solo si se cumple la condición; caso contrario, el código con las operaciones no se ejecuta. La línea de código `df1$Validar_A[i1] <- "revisado for1"` indica que, en caso de no encontrar el 0 con el bucle `i1`, se coloque el texto expresado entre comillas. La siguiente condición `if(df1$Velocidad[i1] == 0)` indica que, si la velocidad es cero, debemos colocar el texto entre comillas en el vector `Validar_C`, y para que se cumpla la condición, el conteo de ralenti debe ser menor a 1.

```
for (i1 in 1: (reg_total-1)){
  if( df1$Validar_F[i1] == "Zero_removido") { # saltar registro ya evaluado
    next
  }

  #i1 <- 1
  df1$Validar_A [i1] <- "revisado for1"
  bucle <- c(i1)

  if(df1$Velocidad[i1]==0){
    df1$Validar_C [i1] <- "Zero"
    cont_ralenti <- 1

    for (i2 in (i1+1):(reg_total)){
      df1$Validar_B[i2] <- "revisado for2"

      if(df1$Velocidad[i2]!=0){
        cont_ralenti <- 0
        pausa <- "ok"
        imax_bucle <- max(bucle)
        break
      }
    }
  }
}
```

Figura 3.27 Código para determinar el porcentaje de permanencia de ralenti

En la Figura 3.27, se detalla el código que permitió determinar el porcentaje de permanencia de ralenti. Este bucle, conocido como ciclo `for`, también permitió escribir sentencias for dentro de otros y se les denomina bucles anidados. La siguiente línea de código `for (i2 in (i1+1):(reg_total))` cambia el índice de bucle a `i2`, e indica con la línea `df1$Validar_B[i2] <- "revisado for2"` que, si las condiciones se cumplen, se debe escribir el texto expresado entre comillas en el vector `Validar_B`. La condición `if(df1$Velocidad[i2]!= 0)` indica que, si la velocidad no es cero, se cumple la condición y, además, el conteo de ralenti es menor a 0, se escribe una valoración denominada `pausa` con el texto "ok". La interacción máxima del bucle expresa los datos contenidos después de pasar esta evaluación.

```

}else{
  cont_ralenti <- cont_ralenti + 1
  bucle <- append(bucle,i2)
  df1$Validar_D [i2] <- "Zero_contado"

  if(cont_ralenti>=tmax_ralenti){
    df1$Validar_E[i2] <- "Zero_eliminar"
    df1$Validar_F[bucle] <- "Zero_removido"
    df1$Estado_Vehiculo[bucle] <- "Apagado"
  }
}

```

Figura 3.28 Código para determinar el conteo de tiempo de ralenti

En la Figura 3.28, se indica el código para el conteo de tiempo de ralenti. La palabra "else" se utiliza para indicarle a R qué hacer si alguna de las condiciones no se cumple. Es decir, debemos realizar las siguientes operaciones: `cont_ralenti <- cont_ralenti + 1`. La siguiente línea `"bucle <- append(bucle, i2)"` se utiliza para combinar datos, y la siguiente línea `"df1$Validar_D[i2] <- "Zero_contado"` indica que se debe escribir en el vector `Validar_D`. La siguiente condición `if(cont_ralenti>=tmax_ralenti)` permitió indicar que, si el conteo de ralenti era mayor o igual al tiempo máximo de ralenti, se debía realizar lo siguiente para cada vector: `df1$Validar_E[i2]` se estableció como "Zero_eliminar", `df1$Validar_F[bucle]` se asignó como "Zero_removido", y `df1$Estado_Vehiculo[bucle]` se estableció como "Apagado".

```

df2 <- filter(df1,Estado_Vehiculo== "Encendido")
df2$Tiempo <- seq(1: nrow(df2))
df2$VelocidadSuav <- round((rollapply(df2$Velocidad,width=2,FUN=mean, partial=TRUE)),2) # Suavizar la velocidad
write.table(df2,file="D:/Tracks Clasificados/Tracks_Urbano/a.perfiles_ON.csv", sep=";", dec=".")

```

Figura 3.29 Suavizar la velocidad

En la Figura 3.29, se indica el código para suavizar la velocidad. La función `filter` filtró los datos del vehículo para reconocer solo los datos del vehículo encendido. El dataframe resultante se denominó `df2` y se aplicó la función `round-rollapply` para suavizar el vector de velocidad. Posteriormente, se utilizó la función `write.table` para guardar un archivo CSV con los datos totales de la prueba, que se denominó "a.perfiles_ON.csv". Para generar la gráfica (b), se añadió un eje x y se utilizó un tipo de línea de color para diferenciar entre la velocidad original y la suavizada.

```

#Formar fichero para grabar: incluido calculo de aceleracion

df5 <- select(df4, c(Tiempo, Fecha, Hora, Zona, Ensayo, Num_Ciclo, Tiempo_Ciclo, Velocidad, VelocidadSuav, Distancia))%>%
mutate(VelocidadSuav_ms=VelocidadSuav/3.6)%>% #[m/s] transformacion de unidades
mutate(Aceleracion=(VelocidadSuav_ms-(dplyr::lag(VelocidadSuav_ms,n=1)))) #[m/s2] calcular aceleracion (Vf-Vo), t=1/seg
df5$Aceleracion[1] <- 0 #primer dato aceleracion es igual a cero

df5 <- rename(df5, Velocidad_Orig=Velocidad)
df5 <- rename(df5, Velocidad=VelocidadSuav, Velocidad_ms=VelocidadSuav_ms)

write.table(df5, file="D:/Tracks Clasificados/Tracks_Urbano/b.Numero_Micro_ciclos.csv", sep=";", dec=".")

```

Figura 3.30 Cálculo aceleración

En la Figura 3.30, se presentan las líneas de código utilizadas para el cálculo de la aceleración. Se creó un dataframe denominado df5 y se seleccionaron las variables necesarias del df4. Mediante la función mutate, se crearon nuevos vectores para transformar las unidades de km/h a m/s, por ejemplo: mutate(VelocidadSuav_ms=VelocidadSuav/3.6). A continuación, en la línea mutate(Aceleracion=(VelocidadSuav_ms-(dplyr::lag(VelocidadSuav_ms,n=1))))), se expresó el código para calcular la aceleración en unidades de segundos. En el vector aceleración, el primer dato se estableció como cero para evitar valores nulos (NA). Las siguientes líneas fueron utilizadas para renombrar las velocidades original, suavizada y convertida a unidades de m/s. Finalmente, se guardó el archivo de las pruebas realizadas con el nombre "b.perfiles_x_Ciclo.csv" en la carpeta seleccionada previamente.

```

df6 <- read.table("D:/Tracks Clasificados/Tracks_Urbano/b.Numero_Micro_ciclos.csv", sep=";", dec=".", header = TRUE)

#4.1 Definicion estados (aceleracion, desaceleracion, crucero y ralenti)
#definir criterios de estado de marcha
df_aux <- df6%>%
mutate(modo_ralenti=ifelse((Velocidad_ms<1),1,0))%>%
mutate(modo_ace1=ifelse((Aceleracion>=0.1&Velocidad_ms>=1),1,0))%>%
mutate(modo_desacel=ifelse((Aceleracion<=(-0.1)&Velocidad_ms>=1),1,0))%>%
mutate(modo_crucero=ifelse((Aceleracion>(-0.1)&Aceleracion<(0.1)&Velocidad_ms>1),1,0))

```

Figura 3.31 Definición de criterios de estado de marcha

En la Figura 3.31 se indican los códigos del estado de marcha, previamente se leyó el archivo anterior en el dataframe df6 y se definieron los criterios de los estados de marcha: aceleración, desaceleración, crucero y ralenti. Las condiciones para cada estado de marcha en los microciclos de conducción fueron las siguientes: 1) ralenti: $v \leq 2$ km/h; 2) crucero: $-0.1 \text{ m/s}^2 < a < 0.1 \text{ m/s}^2$; 3) aceleración: $a \geq 0.1 \text{ m/s}^2$ y $v > 2$ km/h; y 4) desaceleración: $a \leq -$

0.1 m/s² y $v > 2$ km/h. En este caso, se creó un archivo denominado df_aux para estas pruebas, donde se ampliaron los cuatro criterios definidos. Por ejemplo, para el modo ralentí, la condición fue que velocidad_ms fuera menor a 1. En el caso del modo de aceleración, la condición era que la aceleración y la velocidad_ms fueran mayores o iguales a 0.1. Para el modo de desaceleración, la condición era que la aceleración fuera menor o igual a -0.1 y la velocidad fuera mayor o igual a 1. Para el modo crucero, las condiciones eran que la aceleración fuera mayor a -0.1 y menor a 0.1, y la velocidad fuera mayor o igual a 1.

En todos los casos, si el valor era verdadero, se llenaba con unos, y si era falso, se llenaba con ceros. Después de ejecutar la prueba, se asignaba el nombre correspondiente a los criterios de estado de marcha. En este caso, se identificaban con el número 1 todos los resultados verdaderos, y se escribía en el vector "modo" la palabra entre comillas según el resultado de cada variable del vector. Luego, se actualizaba el archivo eliminando los vectores de los 4 criterios evaluados, y se guardaba como "c.perfiles_x_Ciclo_Calculos.csv".

3.9.1.3 Enumerar micro ciclos para cada tramo

Se generó un dataframe llamado df3 a partir del anterior, donde se filtró el tiempo y se mantuvieron los vectores iniciales, pero se agregaron los vectores "Num_Ciclo" para numerar los ciclos y "Tiempo_Ciclo". Esto se hizo con el fin de determinar el tiempo máximo de cada microciclo en cada tramo.

```
# 3. Numerar Micro-Ciclos-----
df3 <- read.table("D:/Tracks Clasificados/Tracks_Urbano/a.perfiles_ON.csv", sep=";", dec=".",header = TRUE)
df3 <- filter(df3, Tiempo >= 0 & Tiempo <= 126766)

df3$Num_Ciclo <- NA
df3$Tiempo_Ciclo <- NA
df3$Validar_A <- NA
df3$Validar_B <- NA
df3$Validar_C <- NA
df3$Validar_E <- NA
df3$Validar_F <- NA

# Valores ref: Development of a practical driving cycle construction methodology: A case study in Hong Kong

tmax_microciclo_urbano <- 140
tmax_microciclo_perimetral <- 200
tmax_microciclo_panamericana <- 135
ax_ciclo_conduccion <- 1200
reg_total <- nrow(df3)
cont_datos <- 0
index_num_ciclo <- 0
```

Figura 3.32 Datos para micro ciclos

En la Figura 3.32 se indican los datos para obtener el micro ciclo. Se utilizaron valores de referencia de un estudio de caso en Hong Kong, donde los tiempos máximos de microciclo para la parte urbana, extraurbana y autopista eran de 140, 200 y 135 respectivamente, y el

tiempo total del ciclo era de 1200 s. Se asignó el archivo actual a "reg_total" y se iniciaron los contadores "cont_datos" e "idex_num_ciclo" en cero.

Luego, se utilizó la base de datos del archivo anterior y se seleccionaron 11 vectores para la evaluación como, por ejemplo: (Num_Ciclo, Tiempo, t_d_crucero, -acel_prom, -Porc_Tiempo, -Porc_Distancia, -t_ralenti, -t_acel, -t_desac, -t_crucero, -t_d_ralenti, -t_d_acel, -t_d_desac, -t_d_crucero). Estos vectores se guardaron en df8 como un nuevo dataframe. La función rownames() se utilizó para modificar los nombres de filas y columnas de una matriz, en este caso, se copiaron todas las variables del vector "Num_ciclo" en la primera columna del archivo y luego se eliminó dicho vector. Esto se hizo para convertir la base de datos seleccionada en una matriz escalada utilizando la función scale(). Para determinar y visualizar el número óptimo de clusters, se utilizó la función fviz_nbClust(). La función de partición FUNclusters era igual al argumento kmeans, que utilizaba el método "wss".

```
dfc <- read.table("D:/Tracks Clasificados/Tracks_Urbano/e.Estadist_FOR_x_Microciclo.csv", sep=";", dec=".", header = TRUE)
ficha<- dfc %>%
select (Num_Ciclo,Tiempo:t_d_crucero,-acel_prom,-Porc_Tiempo,-Porc_Distancia,-t_ralenti,-t_acel,-t_desac,-t_crucero,-t_d_ralenti,-t_d_acel,-t_d_desac,-t_d_crucero)#%>%

#Convertir base de datos a matriz escalada(nombre en fila)
df8 <- ficha
rownames(df8) <- paste(df8 $Num_Ciclo)
df8 <- select(df8 ,c("-Num_Ciclo"))
datos <- scale(df8)#escalar las unidades

#2. GENERACION GRAFICA DE CLUSTER
#c. Generar grafica de numero de Kclusters ideales
c <- fviz_nbclust(x = df8, FUNcluster = kmeans, method = "wss", k.max = 10, diss = dist(datos, method = "manhattan"),linecolor = "blue")+geom_vline(xintercept = 4, linetype = 2)
c <- c+theme_bw()+theme(axis.text.x = element_text(angle = 0, hjust = 0.5))+theme(text = element_text(size = 20))
c <- c+ggtitle("Numero de clusters")
print(c)
```

Figura 3.33 Código para obtener el clustering

En la Figura 3.33 se presentan las líneas de código utilizadas para obtener el clustering. El número máximo de conglomerados se estableció en $k.max = 10$, y se utilizó para calcular el ancho de silueta promedio de los conglomerados utilizando la distancia del método "manhattan". Luego, se seleccionó el color, el tipo de línea y el punto de intercepción de las gráficas, y finalmente se colocó el título de la gráfica como "Número de clusters" y se imprimió la gráfica (c).

En este punto, se extrajo la información necesaria del dataframe df8, utilizando las mismas variables que para el micro ciclo individual. Después de evaluar, se formó el registro "var_trafico" con la función cbin() y los vectores "Veloc_mov", "n_detenc_km",

"fact ralenti", "porc ralenti", "porc fluc veloc", "ruido acel", "COV", "TAD", "PKE", "DR", "CI" y "SRCI".

```
#Formar el registro calculo general ciclos
var_general <- cbind(Num_Ciclo)
var_cinematicas <- cbind(Tiempo,Distancia,Porc_Tiempo,Porc_Distancia,Velocidad,Velocidad_max,acel_prom,acel_pos_prom,desacel_pos_prom)
var_modos_marcha <- round(cbind(t_ralenti,t_acel,t_desac,t_crucero,porcent_ralenti,porcent_acel,porcent_desac,porcent_crucero),3)
var_modos_dist <- round(cbind(t_d_ralenti, t_d_acel, t_d_desac, t_d_crucero),3)

var_trafico <- cbind(Veloc_mov,n_detenc_km,fact_ralenti,porc_ralenti,porc_fluc_veloc,ruido_acel,COV,TAD,PKE,DR,CI, SRCI)

reg_n <- as.data.frame(cbind(var_general, var_cinematicas,var_modos_marcha,var_modos_dist, var_trafico))
ficha<- reg_n
write.table(ficha,file="D:/Tracks Clasificados/Tracks_Urbano/e.Estadist_FOR_x_Completo.csv", sep=";", dec=".")
```

Figura 3.34 Calculo general micro ciclos

En la Figura 3.34 se indican las líneas de código utilizadas para el cálculo general de todos los micro ciclos. El cálculo general de los micro ciclos se unió en el dataframe "ficha" y se guardó en la carpeta de archivos con el nombre "e.Estadist_FOR_x_Completo.csv". Este archivo contiene las estadísticas del ciclo completo.

3.9.1.4 Ensamblar micro ciclos obtenidos en cada grupo clustering desarrollado para cada tramo

En esta parte se realizó para obtener los datos de todos los micro ciclos y ensamblar el ciclo de conducción del tramo o tramos seleccionados. En este proceso, se eligió manualmente, de la gráfica alternativa fácil (e), el número de micro ciclo más cercano al centro de la figura geométrica en cada grupo de micro ciclos generado mediante el código fviz_nbClust().

```
ENSAMBLE CICLO CONDUCCIÓN SECCIN URBANO: a+b+c+d+e.... ----
# Selección Manual de micro ciclo por grupo:

# Cluster A: 710
# Cluster B: 291
# Cluster C: 601
# Cluster D: 595
# Cluster E: 31

df10 <- read.table("D:/Tracks Clasificados/Tracks_Urbano/c.perfiles_x_Ciclo_Calculos.csv", sep=";", dec=".",header = TRUE)
ciclo_Urbano <- filter(df10, Num_Ciclo=="Micro_710" | Num_Ciclo=="Micro_291" | Num_Ciclo=="Micro_601" | Num_Ciclo=="Micro_595"|Num_Ciclo=="Micro_31")
```

Figura 3.35 Ensamble micro ciclos

En la Figura 3.35 se indica el ensamblaje de los micro ciclos. Mediante el fichero df10, se extrajo la información del dataframe df6 y se creó un nuevo dataframe llamado "ciclo_tramo" (urbano, Extraurbano, Autopista), donde se unieron los micro ciclos del tramo evaluado. Luego, se guardó la información en el archivo "g.Ciclo(Tramo).csv" y se procedió a generar la gráfica final (f) para visualizar el resultado del ciclo correspondiente que se esté analizando.

3.9.1.5 Calcular estadísticas del ensamble de micro ciclos por tramo

Luego se evaluaron con las mismas variables que los microciclos individuales y se almacenaron los resultados en el dataframe `reg_n<as.data.frame(cbind(var_general, var_cinematicas, var_modos_marcha, var_modos_dist, var_trafico))`, para analizar los datos del ciclo final ensamblado.

```
# #Formar el registro
var_general <- cbind(Num_Ciclo)
var_cinematicas <- cbind(Tiempo, Distancia, Porc_Tiempo, Porc_Distancia, Velocidad, Velocidad_max, acel_prom, acel_pos_prom, desacel_pos_prom)
var_modos_marcha <- round(cbind(t_ralenti, t_acel, t_desac, t_crucero, percent_ralenti, percent_acel, percent_desac, percent_crucero), 3)
var_modos_dist <- round(cbind(t_d_ralenti, t_d_acel, t_d_desac, t_d_crucero), 3)
var_trafico <- cbind(Veloc_mov, n_detenc_km, fact_ralenti, porc_ralenti, porc_fluc_veloc, ruido_acel, COV, TAD, PKE, DR, CI, SRCT)
#
reg_n <- as.data.frame(cbind(var_general, var_cinematicas, var_modos_marcha, var_modos_dist, var_trafico))
ficha <- reg_n
```

Figura 3.36 Código cálculo de los datos del ciclo final

En la Figura 3.36 se indica el cálculo de los datos del ciclo final que sirvió para el tramo urbano, Extraurbano o Autopista. Las variables en este caso calculan los datos de cada tramo individual para cada taxi. Estos datos se unen después de obtener de todos los vehículos para obtener la estadística final.

3.9.1.6 Graficar la construcción del ciclo de conducción por tramo

Los ficheros previamente cargados y filtrados, que contenían las variables necesarias para el análisis, se unieron mediante la función `rbind()`. En este caso, se denominó Fichero_Completo_(nombre del tramo seleccionado) al nuevo dataframe. A partir de este dataframe, se utilizó la función `ggplot()` para generar la gráfica general (a) de velocidad vs tiempo del tramo seleccionado. La función `geom_line()` hace referencia a un tipo de gráfico con geometría de líneas. La función `data=` nos permitió indicar el fichero de datos que se iba a usar, mientras que la función `aes()` se utilizó para indicar las características estéticas, como

las variables que van en cada eje. Con la función `color` se pudo especificar el color de la gráfica.

```
Fichero_Completo_Urbano = rbind(fichero1,fichero2,fichero3,fichero4)

#Graficar señal
a <- ggplot() + geom_line(data = Fichero_Completo_Urbano,aes(x=Tiempo, y=Velocidad),color="red")
#a <- a+ geom_line(data = Fichero_Completo_Urbano,aes(x=Tiempo, y=Velocidad),color="blue")
a <- a + labs(title = "VELOCIDAD vs TIEMPO", y= "Velocidad [km/h]", x="Tiempo [s]")
a <- a + theme_bw()+ theme(text = element_text(size = 10))
print(a)

write.table(ciclo_Urbano,file="D:/Tracks Clasificados/Tracks_Urbano/g.CicloUrbano.csv", sep=";", dec=".")
ciclo_Urbano$Velocidad <- round((rollapply(ciclo_Urbano$Velocidad_ms,width=2,FUN=mean, partial=TRUE)),2)
ciclo_Urbano <- filter(ciclo_Urbano, Velocidad_ms >0)
ciclo_Urbano$Tiempo <- seq(1: nrow(ciclo_Urbano))
f <- ggplot() + geom_line(data =ciclo_Urbano ,aes(x=Tiempo, y=Velocidad_ms),color="blue")
f <- f + labs(title = "Ciclo Urbano", y= "Velocidad [km/h]", x="Tiempo [s]")
f<- f + theme_bw()+ theme(text = element_text(size = 10))
print(f)
```

Figura 3.37 Código para graficar datos

En la Figura 3.37 se indica el código utilizado para graficar los datos. Con la función `labs()`, se ingresó el título de la gráfica y se especificó el nombre en los ejes. La función `theme_bw()` se utilizó para que el fondo sea blanco y las líneas de cuadrícula grises sean finas. La función `theme()` se empleó para cambiar el tamaño y las formas de los objetos, y la función `print()` sirvió para visualizar la gráfica en la sección de utilidades de la interfaz, dando clic en `plots`. La gráfica específica (f) hace referencia al ciclo de conducción obtenido por tramo después de la programación.

3.9.1.7 Ciclo de conducción de la ciudad de Ibarra

En este punto, se extrajeron los tres ficheros para la unión de los ciclos: Extraurbano, urbano y Autopista, utilizando la librería `rbin` como se indicó en la figura anterior. Luego, se seleccionaron manualmente los micro ciclos por cada tramo para completar el tiempo del ciclo y se unieron en el dataframe `Ciclo_Conduccion_Final`.

```
#UNION DE CICLOS URBANO, EXTRAURBANO Y AUTOPISTA

FAutopista <- read.table("D:/Tracks Clasificados/Tracks_Autopista/g.CicloAutopista.csv", sep=";", dec=".",header = TRUE)

Furbano <- read.table("D:/Tracks Clasificados/Tracks_Urbano/g.CicloUrbano.csv", sep=";", dec=".",header = TRUE)

FExtraurbano <- read.table("D:/Tracks Clasificados/Tracks_Extraurbano/g.CicloUrbano.csv", sep=";", dec=".",header = TRUE)

Ciclo_Conduccion_Ibarra = rbind(Furbano,FExtraurbano, FAutopista)
```

Figura 3.38 Unión de ensamble de micro ciclos

En la figura 3.38 se indica la carpeta donde se guardaron todos los datos evaluados en la programación para el análisis de los resultados por cada tramo. Se graficó el resultado, que representa el ciclo de conducción característico de taxis en la ciudad de Ibarra para cada ruta previamente seleccionada.

3.9.1.8 Comparar estadísticas de ciclo de conducción con ciclos internacionales

Finalmente, se compararon los parámetros obtenidos para el ciclo de conducción representativo de la ciudad de Ibarra con datos de velocidad, distancia y tiempo de ciclos internacionales. Se determinaron las diferencias que existen entre los ciclos de conducción establecidos en ciudades de gran extensión con el ciclo propuesto en este proyecto. Esto permitió conocer y diferenciar el modo de conducción de los conductores en las distintas ciudades del mundo donde se han realizado estudios de ciclos de conducción.

3.9.2 DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE: OBD-II

Este apartado se determinó para el procesamiento de datos. El cual se divide en cinco secciones 3.9.2.1) Seleccionar variables más importantes del fichero original, 3.9.2.2) Calcular el flujo de combustible para cada tramo, 3.9.2.3) Realizar el cálculo de CO2 correspondiente a cada tramo, 3.9.2.4) Determinar consumo combustible y CO2 promedio en cada tramo y 3.9.2.5) Comparar factor de consumo y emisión de CO2 con estudios similares.

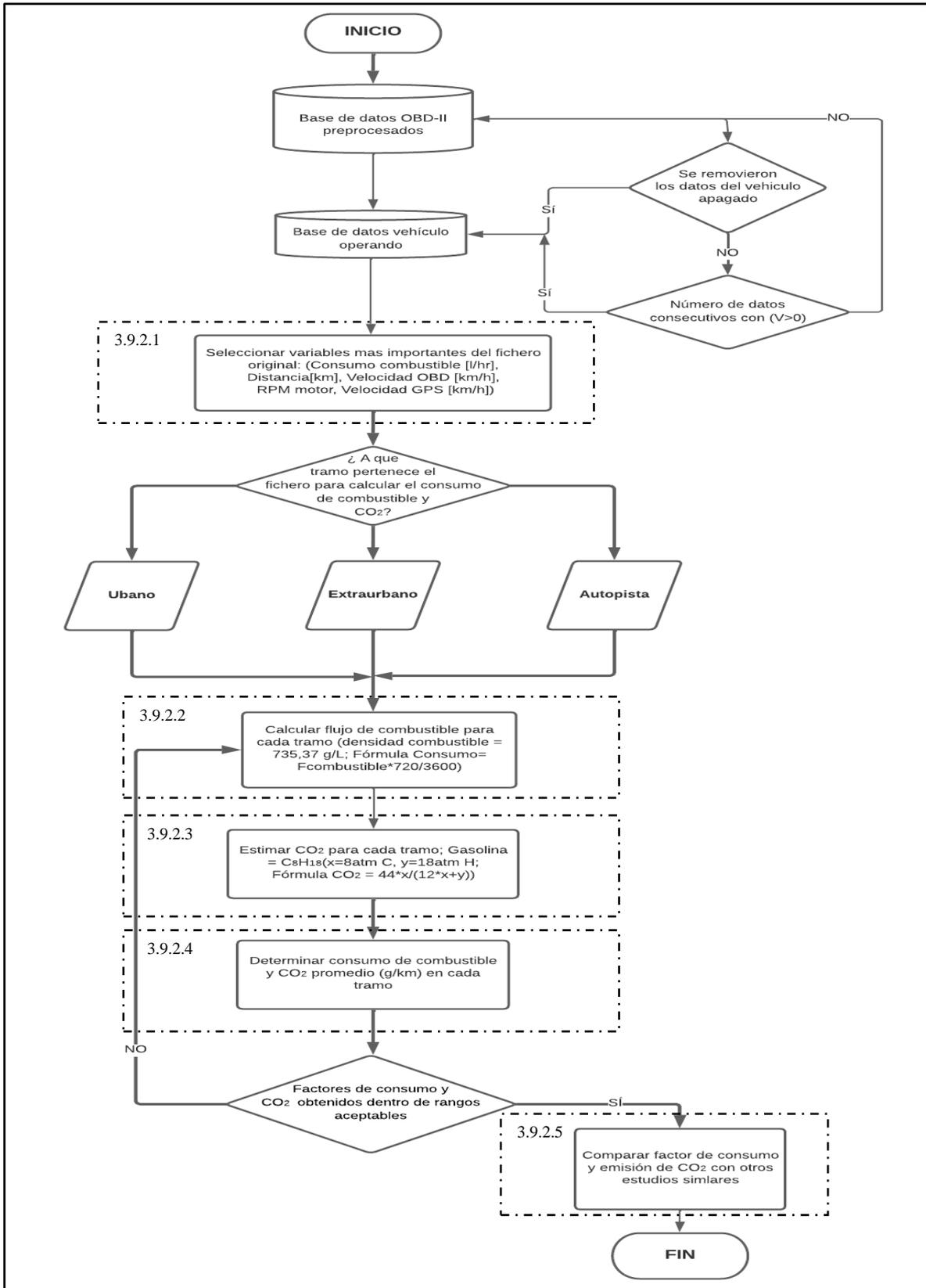


Figura 3.39 Flujograma para determinar el consumo de combustible

En la figura 3.39 se indica el flujograma con todos los procesos necesarios para determinar el consumo de combustible. Este partió de la base de datos generada con el dispositivo interfaz OBD-II y se llegó a los resultados correspondientes al estudio de consumo para cada tramo de estudio.

3.9.2.1 Seleccionar variables más importantes del fichero original

Primero se leyó mediante el código (`read.table`) y se generaron dataframes denominados `dfc#`=(data frame, consumo, número de taxi), donde se guardaron por defecto las 47 variables de monitoreo de cada prueba realizada con la aplicación Torque pro. De estas variables, en una variable denominada `CC#`(Consumo, Combustible, número de taxi), se seleccionaron mediante la función (`select`) cinco variables de mayor interés, que son: Consumo combustible [l/hr], Distancia [km], Velocidad OBD [km/h], RPM motor y Velocidad GPS [km/h].

```
dfc2 <- read.table("D:/Tracks Clasificados/Pruebas de consumo/PC_Urbano_U2.csv", sep=";", dec=".",header = TRUE)
dfc5 <- read.table("D:/Tracks Clasificados/Pruebas de consumo/PC_Urbano_U5.csv", sep=";", dec=".",header = TRUE)
dfc16 <- read.table("D:/Tracks Clasificados/Pruebas de consumo/PC_Urbano_U16.csv", sep=";", dec=".",header = TRUE)
dfc19 <- read.table("D:/Tracks Clasificados/Pruebas de consumo/PC_Urbano_U19.csv", sep=";", dec=".",header = TRUE)

CC2<-select(dfc2,c(Fuel.flow.rate.hour.l.hr.,Trip.Distance.km., Speed..GPS..km.h., Engine.RPM.rpm., Speed..OBD..km.h.))
CC5<-select(dfc5,c(Fuel.flow.rate.hour.l.hr.,Trip.Distance.km., Speed..GPS..km.h., Engine.RPM.rpm., Speed..OBD..km.h.))
CC16<-select(dfc16,c(Fuel.flow.rate.hour.l.hr.,Trip.Distance.km., Speed..GPS..km.h., Engine.RPM.rpm., Speed..OBD..km.h.))
CC19<-select(dfc19,c(Fuel.flow.rate.hour.l.hr.,Trip.Distance.km., Speed..GPS..km.h., Engine.RPM.rpm., Speed..OBD..km.h.))

Fichero_Consumo_Urbano = rbind(CC2,CC5,CC16,CC19)
```

Figura 3.40 Lectura y unión de base de datos del OBD-II

En la figura 3.40 se indica la lectura y unión de la base de datos del dispositivo OBD-II en formato csv. Luego, se creó un nuevo dataframe denominado `Fichero_Consumo_tramo`, uniendo todos los archivos individuales de cada taxi. En cada tramo se realizó esta unión para analizar las principales diferencias.

3.9.2.2 Calcular el flujo de combustible para cada tramo

El flujo de combustible se calculó independientemente para cada tramo, debido a los diversos factores que afectan el manejo y, por ende, el consumo de combustible. En la zona urbana, se presentan muchas intersecciones, semáforos y vías de segundo y tercer orden, lo cual implica un aumento en el consumo en comparación con la zona extraurbana y la autopista, donde la vía es de primer orden y la presencia de semáforos es menor.

Para el consumo instantáneo de combustible en cada ciclo de conducción, era necesario conocer los datos de la densidad de la gasolina (d), expresados en galones por litro (g/l), para tener una estimación de la cantidad de combustible que consumía el vehículo. El flujo volumétrico calculado con el OBD-II venía expresado en litros por hora (l/h), por lo que se transformó a litros por segundo para conocer la cantidad de fluido que ingresaba a la cámara de combustión en un tiempo estimado de monitoreo. Esto nos ayudó a determinar el consumo de combustible en las unidades seleccionadas.

El combustible utilizado en la mayoría de los taxis de prueba era gasolina extra. Por lo tanto, se utilizó un valor de densidad de 735,37 g/l para la gasolina extra de 80 octanos (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2012). El volumen instantáneo se obtuvo de los datos del OBD-II, y la variable de la tasa de flujo de combustible instantánea se expresó en l/h.

$$m_i = \frac{F_{\text{combustible}} \cdot d}{3600} \text{ [g/s]} \quad [3.10]$$

Donde:

m_i = masa de gasolina instantánea (g/s)

d = densidad de la gasolina (g/l)

$F_{\text{combustible}}$ = factor combustible (l/h)

3600 = factor de conversión de h a s

```
# Calcular flujo de combustible
densidad_combustible<- 735.37 #[g/L] # densidad gasolina Extra

Fichero_Consumo_Urbano$Fue].flow.rate.hour.1.hr. [Fichero_Consumo_Urbano$Fue].flow.rate.hour.1.hr.<=0] <- 0
Fichero_Consumo_Urbano$Fue].flow.rate.hour.1.hr.<- as.numeric(Fichero_Consumo_Urbano$Fue].flow.rate.hour.1.hr.)

Fichero_Consumo_Urbano$Flujo_Comb<- Fichero_Consumo_Urbano$Fue].flow.rate.hour.1.hr.*densidad_combustible/3600 # [g/s]
```

Figura 3.41 Método para calcular el flujo de combustible

En la figura 3.41 se muestra el método utilizado para calcular el flujo de combustible. Se investigó la densidad de la gasolina extra (g/l) y se eliminaron todos los datos con valores menores a 0. Además, se transformaron los datos a tipo numérico, ya que por defecto venían como caracteres. Esto permitió generar una variable llamada "Flujo_Comb" en el mismo dataframe aplicando la fórmula del consumo de combustible.

3.9.2.3 Realizar el cálculo de CO₂ correspondiente a cada tramo

El cálculo de las emisiones de CO₂ se realizó para determinar las diferencias que existen en cada tramo de estudio. Los datos obtenidos mediante la interfaz OBD-II obtuvieron datos

del consumo que sirvieron de base para calcular el CO₂ en cada tramo utilizando la siguiente ecuación química:

$$C_xH_y = \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kgCombustible}} = \frac{44}{12+\frac{y}{x}} \quad [3.11]$$

La ecuación anterior indica que el hidrocarburo (C_xH_y) es igual al dato de gramos de CO₂ dividida por la cantidad de gramos de combustible instantáneo. El valor obtenido de CO₂ se multiplicó por el flujo másico (m_i) para obtener los valores de consumo instantáneo. Como se indica en la siguiente ecuación.

$$\text{CO}_{2,i} = m_i * C_xH_y \text{ [g/s]} \quad [3.12]$$

Donde:

CO_{2,i} = emisión de masa de CO₂ instantánea (g/s)

m_i = masa de gasolina instantánea [g/s]

C_xH_y = Gasolina Extra

```
# Calcular CO2
x <- 8 # átomos de carbono por mol de combustible
y <- 18 # átomos de hidrogeno por mol de combustible

kgCO2porKgCombustible <- 44*x/(12*x+y)

Fichero_Consumo_Urbano$CO2 <- Fichero_Consumo_Urbano$Flujo_Comb*kgCO2porKgCombustible # [g/s]
```

Figura 3.42 Método para calcular el factor de emisión CO₂

En la figura 3.42 se presenta el método utilizado para calcular el factor de emisión de CO₂. En este caso, se consideró que el hidrocarburo (gasolina) era nafta, cuya fórmula química es C₈H₁₈, lo que indica que está compuesta por 8 átomos de carbono y 18 átomos de hidrógeno. Las unidades de este valor fueron expresadas en [g/s].

3.9.2.4 Determinar consumo combustible y CO₂ promedio en cada tramo

Finalmente, se determinaron los factores promedios de consumo y emisión utilizando las siguientes ecuaciones. El factor de consumo específico de combustible por distancia (g/km) para cada tramo (urbano, extraurbano y autopista), que representa la masa de combustible consumida por kilómetro recorrido en el tramo, se calculó de la siguiente manera:

$$F_{\text{Consumo_Combustible},x} = \frac{\sum_{i=1}^{N_x} m_{i,x}}{\sum_{i=1}^{N_x} d_{i,x}}, \quad x=u,r,a \quad [3.13]$$

Donde:

$m_{i,x}$ = masa instantánea de combustible consumido en el tramo x (g/s)

d = distancia recorrida [km]

$$F_{\text{Emisión_CO2_x}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_x} \text{CO2}_{i,x}}{\sum_{i=1}^{N_x} d_{i,x}}, \quad x=u,r,a \quad [3.14]$$

Donde:

$\text{CO2}_{i,x}$ = emisión de masa CO_2 instantánea de combustible consumido en el tramo x (g/s)

d = distancia recorrida [km]

Se aplicó un código al vector de velocidad para eliminar las velocidades menores a 0 y convertir las unidades de horas a segundos. En cuanto a las revoluciones del motor, se consideraron únicamente los datos mayores a cero. Mediante la función "sum", se obtuvo la suma de los datos de las variables de interés.

```
Fichero_Consumo_Urbano$Speed..OBD..km.h. [Fichero_Consumo_Urbano$Speed..OBD..km.h.<=0] <- 0
Fichero_Consumo_Urbano$Speed..OBD..km.h. <- as.numeric(Fichero_Consumo_Urbano$Speed..OBD..km.h.)

Fichero_Consumo_Urbano$distancia_aj <- as.numeric(Fichero_Consumo_Urbano$Speed..OBD..km.h.)/3600

df <- filter(Fichero_Consumo_Urbano, Engine.RPM.rpm.>0 )

Sumatoria_Consumo_combustible <- sum(df$Flujo_Comb, na.rm =TRUE)
Sumatoria_Factor_CO2 <- sum(df$CO2, na.rm =TRUE)

Sumatoria_Distancia_ajustada <- sum(df$distancia_aj, na.rm =TRUE)

Tiempo <- nrow(df)

Factor_Consumo_Urbano <- Sumatoria_Consumo_combustible/Sumatoria_Distancia_ajustada
Factor_Emision_CO2_Urbano <- Sumatoria_Factor_CO2/Sumatoria_Distancia_ajustada
```

Figura 3.43 Valores promedios de emisión CO_2 y consumo combustible

En la figura 3.43 se muestra el procedimiento para obtener los valores promedios de consumo de combustible y emisión de CO_2 . Finalmente, estos valores se dividieron entre la distancia recorrida para obtener los resultados deseados. Estos valores nos permiten el análisis en cada ruta de la ciudad.

3.9.2.5 Comparar factor de consumo y emisión de CO_2 con estudios similares

Para verificar la validez de los ciclos de conducción generados en el software estadístico RStudio, es necesario comparar los valores obtenidos con datos de referencia de otros ciclos de conducción en el país o en el mundo. Se deben verificar y confirmar que los resultados sean consistentes con otros estudios, manteniendo un margen de error mínimo.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este capítulo se presenta el análisis de los resultados obtenidos a través del procedimiento experimental en los taxis de la ciudad de Ibarra y la metodología aplicada para la programación de los datos. Los valores recolectados fueron ordenados, procesados y representados mediante un análisis comparativo de acuerdo con los criterios de estudio. Después de realizar varios ensayos con diferentes bases de datos, se determinó el número ideal de datos en cada tramo. Y luego de varias iteraciones, se logró definir el número adecuado de datos para agrupar los micro ciclos y generar el número óptimo de agrupamientos (clustering).

En este estudio, se recopilaron los ciclos de conducción para los tramos urbano, autopista y extraurbano de la ciudad de Ibarra, por donde circulaban los taxis utilizados en el estudio de campo. Los ciclos de conducción obtenidos se compararon con ciclos internacionales como el ciclo de Hong Kong, FTP 75, NEDC y MODO 10-15 en varios parámetros, como velocidad, aceleración, porcentaje de tiempo detenido, entre otros.

4.1 ANÁLISIS CICLOS DE CONDUCCIÓN DATOS: GPS

En la Tabla 4.1 se muestran los resultados obtenidos con los dispositivos GPS instalados en la guantera de cada taxi, con el fin de evitar interferencias con otras señales y garantizar una buena conexión del dispositivo satelital. En general, se determinó que el intervalo de grabación de datos fue de 30 a 47 horas, y el promedio de kilómetros recorridos por unidad fue de aproximadamente 250 km por grabación.

Tabla 4.1 Registro de evaluación con GPS

Datos GPS Prueba Periodo 1. (14-16 septiembre)							
# Taxi	Hora inicio	Hora fin	Distancia [km]	# Registros	% Datos Vía urbana	% Datos Vía extraurbana	% Datos Vía Autopista
Unidad 1	09:13:13	16:27:27	208,7	112 454	95%	4%	1%
Unidad 2	09:48:41	08:21:51	391,1	167 591	92%	8%	0%
Unidad 3	04:41:09	15:48:50	181,5	132 425	91%	8%	1%
Unidad 4	08:45:45	07:57:35	346,9	169 911	89%	10%	1%
Unidad 5	07:37:48	18:20:50	251,2	123 902	98%	2%	0%
Unidad 6	09:43:00	20:10:08	373	124 029	94%	5%	1%
Unidad 7	18:35:52	14:41:21	443,6	158 530	89%	11%	0%
Unidad 8	07:25:46	15:12:34	52,4	280 09	95%	5%	0%
Datos GPS Prueba Periodo 2. (16- 18 septiembre)							
Unidad 1	16:31:23	00:43:04	347,4	111 644	57%	43%	0%
Unidad 2	16:02:31	13:14:51	340,9	162 740	95%	4%	1%
Unidad 3	17:23:08	05:46:23	220,8	130 995	89%	10%	1%
Unidad 4	16:03:20	15:26:43	385,4	170 603	82%	15%	3%
Unidad 5	16:18:57	01:46:17	35,9	120 440	100%	0%	0%
Unidad 6	16:51:52	03:59:15	223,6	126 443	96%	4%	0%
Unidad 7	21:47:25	14:32:21	215,6	146 642	83%	16%	1%
Unidad 8	17:22:05	01:56:29	48,4	299 66	98%	2%	0%
Datos GPS Prueba Periodo 3. (18-20 septiembre)							
Unidad 1	16:09:09	02:41:37	133,5	115 165	94%	5%	1%
Unidad 2	16:04:41	09:34:19	251,1	149 378	99%	1%	0%
Unidad 3	16:43:00	05:52:51	135,5	133 791	93%	7%	0%
Unidad 4	16:06:12	09:32:45	299,2	149 193	94%	6%	0%
Unidad 5	16:07:54	05:47:14	40,5	105 609	99%	1%	0%
Unidad 6	16:18:08	05:09:41	403,7	132 693	65%	35%	0%
Unidad 7	16:20:08	09:07:14	174,4	146 257	95%	4%	1%
Unidad 8	15:55:00	00:17:35	28,4	30 155	97%	2%	1%

Tabla 4.1 Registro de evaluación con GPS (Continuación...)

Datos GPS Prueba Periodo 4. (20-22 septiembre)							
Unidad 1	16:20:04	01:37:15	200,1	119 831	90%	9%	1%
Unidad 2	15:32:41	08:26:42	275,4	147 242	94%	6%	0%
Unidad 3	16:09:01	05:17:43	248,2	133 721	90%	9%	1%
Unidad 4	16:58:04	16:21:28	294,7	170 603	84%	15%	1%
Unidad 5	16:07:54	04:10:02	208,0	126 162	95%	2%	3%
Unidad 6	16:30:30	05:04:37	265,1	131 647	93%	5%	2%
Unidad 7	17:08:01	14:27:36	465,7	163 162	97%	3%	0%
Unidad 8	16:40:54	01:26:44	62,3	302 28	99%	1%	0%
Datos GPS Prueba Periodo 5. (23-25 septiembre)							
Unidad 1	21:10:02	06:43:14	173,8	120 509	96%	3%	1%
Unidad 2	17:11:43	12:06:47	397,5	154 504	92%	7%	1%
Unidad 3	16:48:37	04:26:05	325,3	128 248	92%	6%	2%
Unidad 4	08:33:04	12:04:24	197,9	990 80	88%	10%	2%
Unidad 5	16:15:08	02:44:34	77,3	124 167	99%	1%	0%
Unidad 6	16:22:09	03:19:57	346,7	125 796	89%	10%	1%
Unidad 7	18:30:17	03:59:22	371,7	145 262	95%	4%	1%
Unidad 8	17:41:34	01:55:43	99,9	296 00	98%	2%	0%
Datos GPS Prueba Periodo 6. (25-28 septiembre)							
Unidad 1	16:03:08	10:58:50	241,1	126 729	96%	3%	1%
Unidad 2	16:03:08	10:58:50	194,5	154 543	97%	2%	1%
Unidad 3	16:43:41	07:19:43	117,5	138 962	97%	3%	0%
Unidad 4	16:17:30	15:40:53	218,9	170 603	92%	8%	0%
Unidad 5	08:47:39	11:14:19	164,6	95 201	91%	8%	1%
Unidad 6	16:22:08	00:54:45	208,5	132 031	95%	4%	1%
Unidad 7	17:47:02	12:54:11	249,1	155 229	99%	1%	0%
Unidad 8	16:31:38	01:04:04	35,0	30 747	95%	5%	0%
Total porcentaje de datos					92%	7%	1%

Fuente: (Autores)

En la Tabla 4.2 se detallaron los parámetros calculados de los datos seleccionados, donde se asignaron valores a las variables cinemáticas para el tramo urbano. Los porcentajes

calculados en este tramo fueron los siguientes: permanencia en ralentí 36.09%, permanencia en aceleración 30.39%, permanencia en desaceleración 25.18% y permanencia en crucero 8.34%.

Tabla 4.2 Estadísticas campaña experimental GPS: tramo urbano

Estadísticas Ciclo Urbano Completo	
Variable	Valor
Operación en ralentí [%]	36,09
Operación en aceleración [%]	30,39
Operación en desaceleración [%]	25,18
Operación en crucero [%]	8,34
Velocidad promedio [km/h]	15,00
Aceleración positiva promedio [m/s^2]	0.59
Desaceleración negativa promedio [m/s^2]	-0.66

Fuente: (Autores)

En la Tabla 4.3 se detallan los parámetros calculados de los datos seleccionados, donde se asignaron valores a las variables cinemáticas para el tramo autopista. Los porcentajes calculados en este tramo fueron los siguientes: permanencia en ralentí 15.28%, permanencia en aceleración 37.25%, permanencia en desaceleración 29.98% y permanencia en crucero 17.48%. En comparación con el tramo urbano, los porcentajes de ralentí son menores, pero los tiempos de aceleración y desaceleración son mayores.

Tabla 4.3 Estadísticas campaña experimental GPS: tramo autopista

Estadísticas Ciclo Autopista Completo	
Variable	Valor
Operación en ralentí [%]	15,28
Operación en aceleración [%]	37,25
Operación en desaceleración [%]	29,98
Operación en crucero [%]	17,48
Velocidad promedio [km/h]	42,95
Aceleración positiva promedio [m/s^2]	0.41
Desaceleración negativa promedio [m/s^2]	-0.49

Fuente: (Autores)

En la Tabla 4.4 se detallan los parámetros calculados de los datos seleccionados, donde se asignaron valores a las variables cinemáticas para el tramo Extraurbano. Los porcentajes calculados en este tramo fueron los siguientes: permanencia en ralentí 19.12%, permanencia

en aceleración 37.34%, permanencia en desaceleración 28.48% y permanencia en cruceo 15.05%.

Tabla 4.4 Estadísticas campaña experimental GPS: tramo extraurbano

Estadísticas Ciclo Extraurbano Completo	
Variable	Valor
Operación en ralentí [%]	19,12
Operación en aceleración [%]	37,34
Operación en desaceleración [%]	28,48
Operación en cruceo [%]	15,05
Velocidad promedio [km/h]	39,84
Aceleración positiva promedio [m/s ²]	0.45
Desaceleración negativa promedio [m/s ²]	-0.56

Fuente: (Autores)

La información recopilada desde el programa RStudio para la creación de los ciclos se cargó posteriormente en una hoja de cálculo de Excel, que contiene las variables con los datos calculados para el ciclo de conducción correspondiente. El análisis de datos consistió en examinar y comparar los resultados de todas las variables de estudio calculadas para cada uno de los tramos. A continuación, se describen los tramos analizados: urbano, autopista, extraurbano y ciclo completo.

4.2 ANÁLISIS TRAMO URBANO MEDIANTE GPS

El ciclo urbano se analizó en la primera sección del estudio y los valores obtenidos después de la programación de datos nos permitieron construir el ciclo de conducción representativo de del tramo urbano. Los datos obtenidos se compararon con cada tramo de estudio para el análisis de resultados.

4.2.1 RESULTADOS CINEMÁTICOS CICLO URBANO COMPLETO

Los datos registrados en la Tabla 4.5 fueron la base para el análisis de este tramo. Del número total de datos registrados con los GPS, se seleccionaron 1,425,157 datos de todos los taxis, que sumaron un total de 24 viajes en este tramo urbano. En este caso, se seleccionaron los viajes de taxis que registraron la mayor cantidad de datos en dicho tramo de estudio. Se utilizaron 4 vehículos para el análisis, y se consideró un viaje de cada taxi. El taxi número 5 registró 83,075 datos, el taxi número 11 registró 88,610 datos, el taxi número 16 registró 87,791 datos y el taxi número 19 registró 92,901 datos.

Tabla 4.5 Fichero completo ruta urbana

Fichero general de estadísticas cinemáticas del tramo Urbano completo												
# Taxi	# Pruebas	# Registros cargados (Base Experimental)	# Registros usados (Base datos preparados)	Tiempo total transcurrido [s] (Base filtrada)	Operación en ralentí [%]	Operación en aceleración [%]	Operación en desaceleración [%]	Operación en cruceo [%]	Velocidad promedio [km/h]	Aceleración positiva promedio [m/s²]	Desaceleración negativa promedio [m/s²]	
Unidad 2	1	92 901	45 000	32 670	34,93	30,53	24,82	9,72	14,85	0,55	-0,63	
Unidad 4	1	83 075	45 000	26 619	35,19	30,26	26,15	8,39	14,15	0,56	-0,60	
Unidad 5	1	88 610	45 000	28 813	41,07	29,47	21,66	7,79	13,51	0,56	-0,69	
Unidad 6	1	87 791	45 000	38 348	34,28	30,89	27,34	7,48	16,51	0,67	-0,71	
Fichero total	4	352 377	180 000	126 634	36,09	30,39	25,18	8,34	15,00	0,59	-0,66	

Fuente: (Autores)

4.2.2 DETERMINACIÓN DEL MICRO CICLO URBANO

Los resultados obtenidos después de la programación en R-Studio fueron utilizados para analizar de manera estadística a través del criterio de micro ciclos. De esta manera, se logró definir cuál era el ciclo de conducción en la ciudad de Ibarra y se plasmó la gráfica más representativa que se reflejaba en el panel de utilidades del software en la opción denominada "Plots".

4.2.2.1 Análisis del perfil de velocidad del archivo urbano sin procesar

Es una gráfica inicial de todo el archivo, pero debido a que eran demasiados datos, solo se mostró una sección seleccionada de muestra donde se podía observar el ruido en la señal y los tiempos muertos de velocidad que se podían encontrar literalmente en todo el archivo. A modo de referencia, las líneas horizontales de velocidad indican las partes donde el vehículo se encontraba con velocidad 0. Se distinguen tiempos de parada cortos (TC) y tiempos de parada largos (TL), los cuales se consideró que se debían a paradas en semáforos o ralentí y vehículo apagado o estacionado en la parada de la cooperativa. Como parte del procesamiento de todos los tramos de datos, se removieron los TL. Es importante mencionar que los tramos de datos con velocidad igual a cero que aún se mantenían indicaban las partes donde el vehículo se encontraba en ralentí, semáforo o en un cruce de calle.

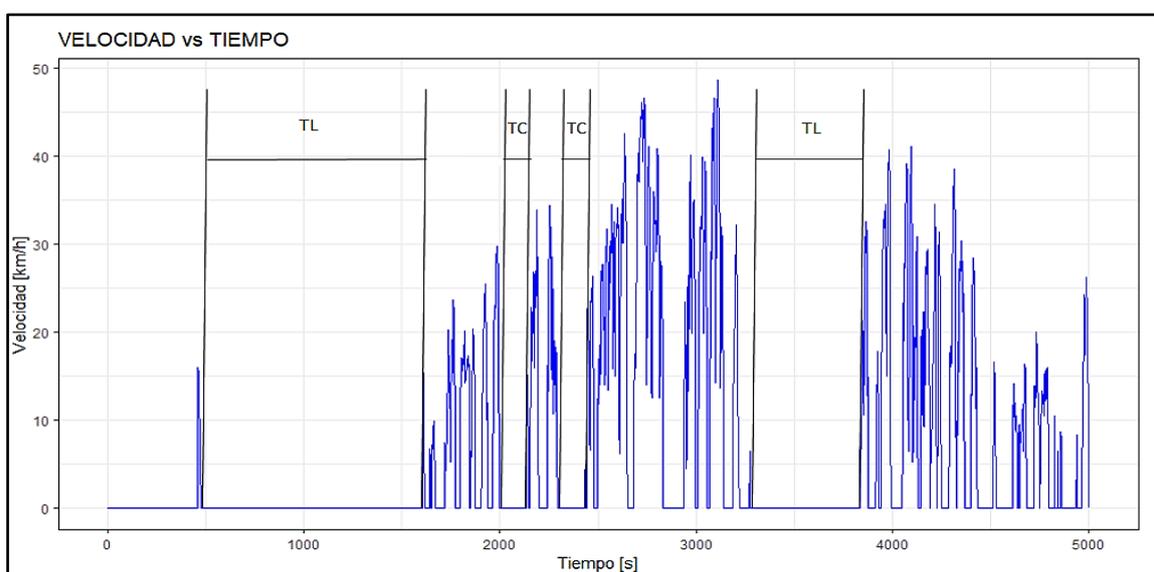


Figura 4.1 Perfil velocidad vs tiempo tramo urbano

En la Figura 4.1, se muestra la misma secuencia de datos, pero procesada después de eliminar los datos TL y también de suavizar la velocidad en una sección de la curva de velocidad

obtenida de los primeros 5000 datos con el código de programación para gráficas, generada con las variables velocidad y tiempo del archivo completo del ciclo urbano.

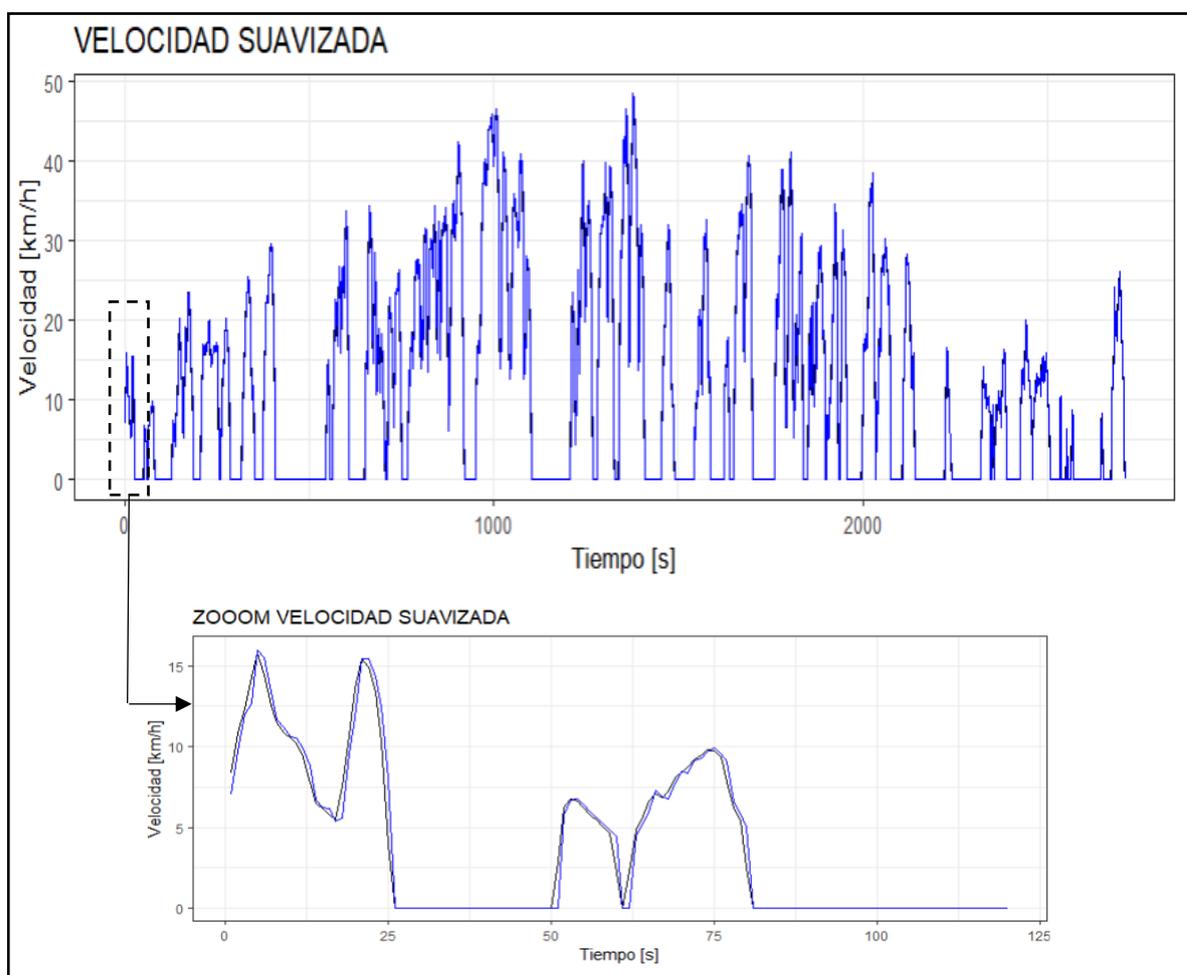


Figura 4.2 Zoom velocidad suavizada; tramo urbano

En la Figura 4.2 se muestra la segunda gráfica generada después de suavizar la velocidad. Para visualizar esta sección, se filtraron los tiempos de vehículo apagado dejando solo los datos que se consideraron con el taxi encendido. La velocidad suavizada en la gráfica corresponde a todos los puntos en negro que se reflejan sobre la velocidad original; para una mejor visualización, se colocó una sección en zoom que indica la diferencia entre la curva de velocidad suavizada en color negro y la curva original en color azul.

4.2.2.2 Análisis del cluster en el tramo urbano

El término "cluster" hace referencia a la técnica clasificada como no supervisada que se utiliza para encontrar grupos o patrones dentro de un archivo de datos. Con el propósito de buscar que los datos sean lo más parecidos posibles entre sí, pero que los grupos difieran significativamente en sus características. El software R agrupó los datos en k grupos

basándose en sus características. El agrupamiento se ejecutó minimizando la suma de distancias entre cada dato y el centroide de su grupo o cluster. Se suele usar la distancia cuadrática. Además, para obtener los resultados en este método, se requirió especificar previamente el número máximo de clusters a generar. Se determinó $k_{\text{max}} = 10$. Menciono esto porque también existe un método directo donde no se requiere especificar el número de clusters.

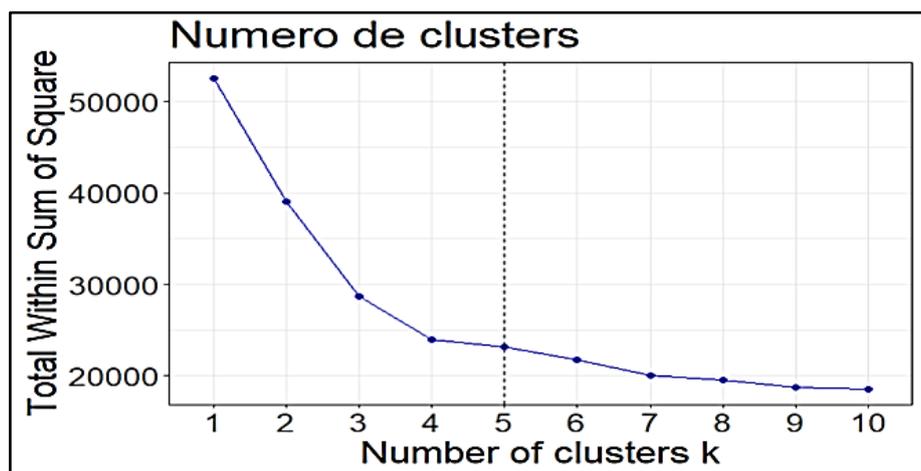


Figura 4.3 Número ideal clusters; tramo urbano

En la Figura 4.3 se muestran los resultados obtenidos del número de clusters, donde se estimaron aproximadamente 735 micro ciclos de análisis en este tramo. Esta figura nos muestra una gráfica generada con el código aplicando el método k-means, el cual agrupa los datos en K clusters diferentes y de esta manera busca que la varianza dentro de los clusters sea mínima o lo más pequeña posible. Cada uno de los clusters se refleja por un centroide que es el promedio de todos los datos del cluster. En esta gráfica, el punto donde la curva forma un codo usualmente se considera como el indicador ideal del número apropiado de grupos. En este caso, podemos observar que el número ideal de clusters para el tramo urbano parece estabilizarse entre $k=4$ y $k=6$, ambos serían útiles para el estudio. En este punto, entra en juego el criterio propio para tomar la decisión final de cuál escoger. Para este análisis, se usó $k=5$.

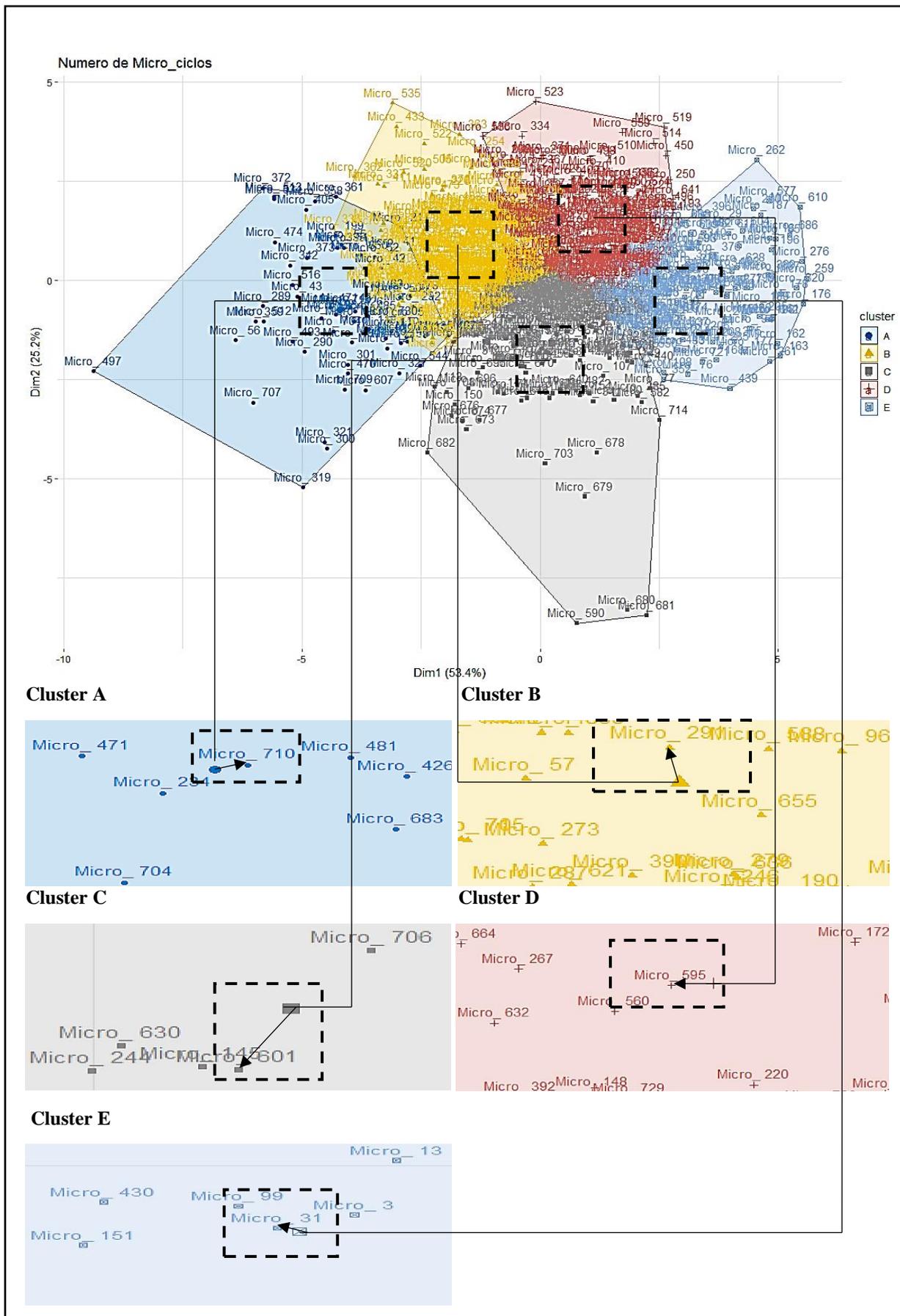


Figura 4.4 Grupos de cluster; tramo urbano

En la Figura 4.4 se muestra la gráfica que contiene el resultado de los cuatro grupos de clusters elegidos con el método del codo. Se identificaron con las letras A, B, C, D, E y los colores azul, amarillo, gris, rojo, celeste respectivamente. En todos los grupos cluster se seleccionó el micro ciclo más cercano a su punto central. Para el grupo A, sección figura, se seleccionó el micro ciclo 710. Para el grupo B, el micro ciclo 291. Para el grupo C, se seleccionó el micro ciclo 601. Para el grupo D, se seleccionó el micro ciclo 595. Y para el grupo E, se seleccionó el micro ciclo 31 para la construcción del ciclo urbano representativo.

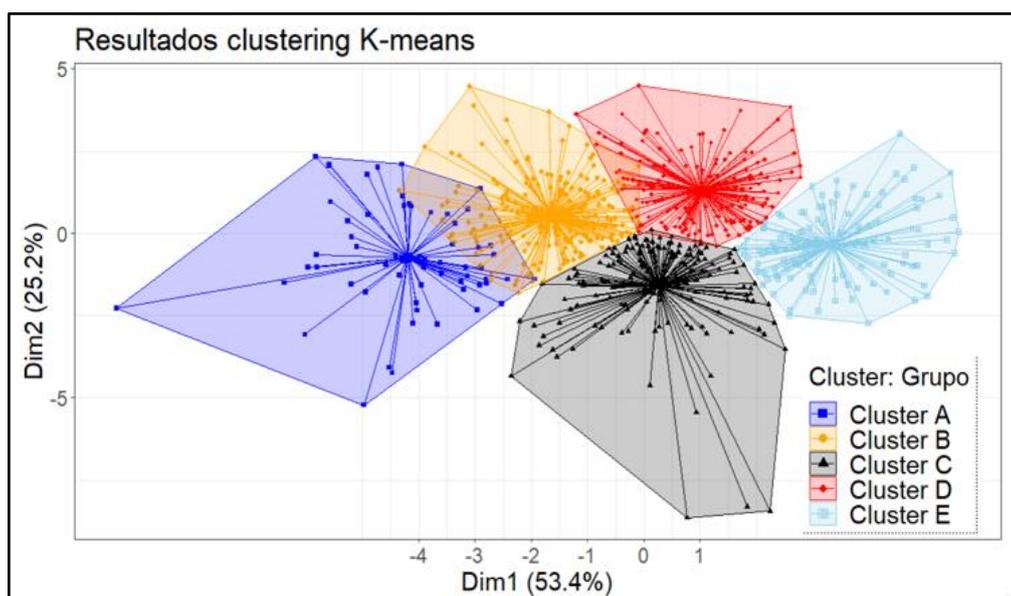


Figura 4.5 Resultados clustering K-means; tramo urbano

En la Figura 4.5 se indica la gráfica completa de los clusters o micro ciclos calculados. Aquí se ubica específicamente el centroide en cada figura geométrica de estos clusters, que sirvió de base para seleccionar los micro ciclos. A continuación, se realiza un cálculo general de todos los micro ciclos para determinar el valor estadístico de las variables de los micro ciclos seleccionados.

4.2.3 OBTENCIÓN DEL MICRO CICLO URBANO

Los cálculos realizados previamente permiten identificar el número de clusters obtenidos en esta ruta. Cada grupo cluster refleja un patrón del micro ciclo identificado y estos micro ciclos representan los puntos más cercanos al centroide de la figura obtenida en el cluster. Finalmente, la unión de todos los cluster genera la gráfica representativa de este tramo.

4.2.3.1 Micro ciclos seleccionados en el tramo urbano

Los micro ciclos seleccionados para el tramo urbano se generaron a partir de los grupos cluster antes mencionados. Los patrones seleccionados corresponden a los micro ciclos cercaos al centroide de la figura del grupo cluster de este tramo. En este tramo se utilizaron patrones con similares características para la construcción del ciclo representativo de los taxis en la ciudad de Ibarra.

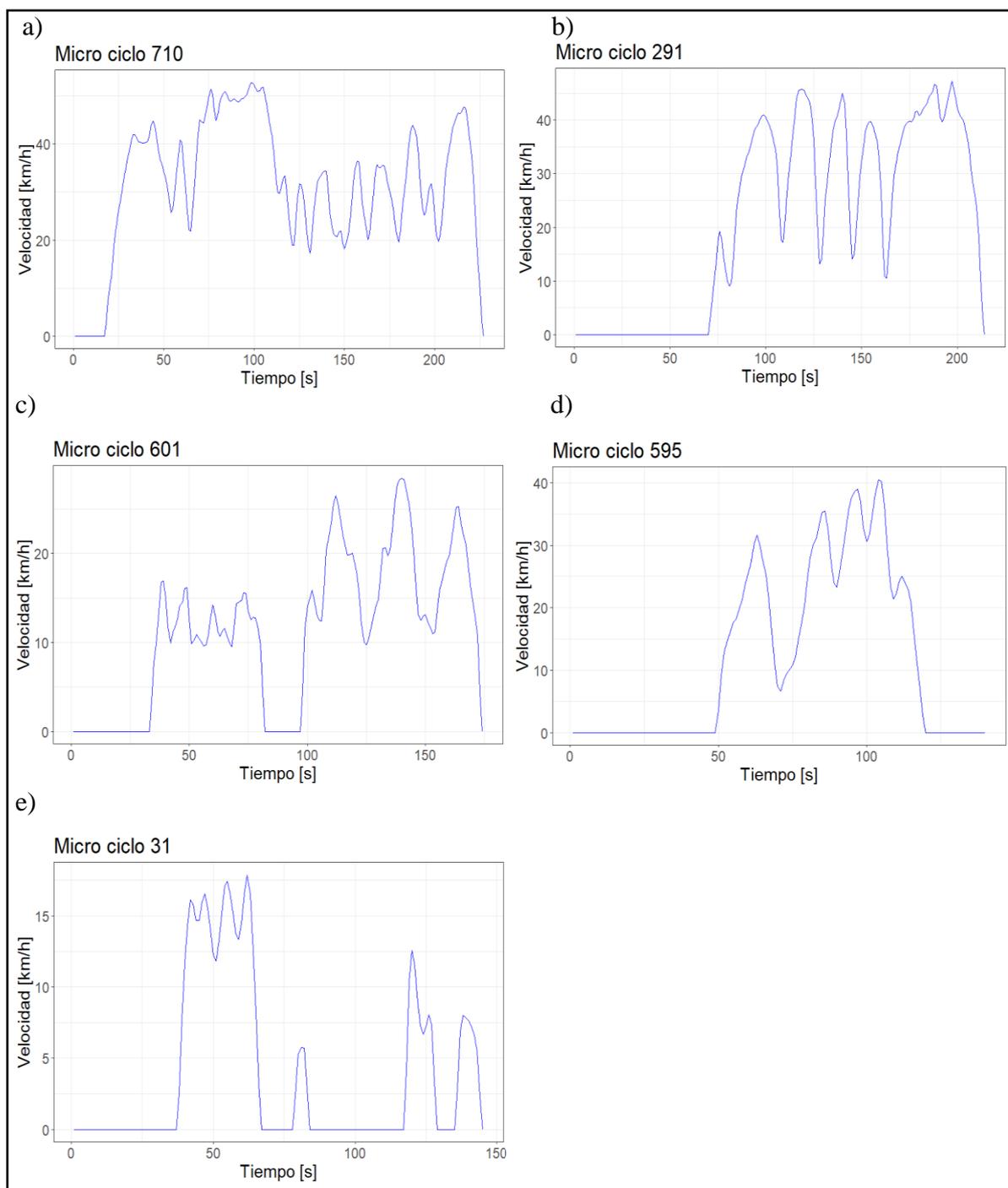


Figura 4.6 Micro ciclos de cada grupo cluster del tramo urbano

En la Figura 4.6 se indican los micro ciclos del tramo urbano. En la sección a), se refleja el micro ciclo 710 del grupo A. En la sección b), se refleja el micro ciclo 291 del grupo B. En la sección c), se refleja el micro ciclo 601 del grupo C. En la sección d), se refleja el micro ciclo 595 del grupo D. Y en la sección e), se refleja el micro ciclo 31 del grupo E. Estos micro ciclos representan los patrones más cercanos al centroide de la figura obtenida en el cluster.

4.2.3.2 Ensamble micro ciclo conducción urbano

En total, se seleccionaron cinco micro ciclos, uno por cada grupo cluster, para construir el ciclo representativo de este tramo. El perfil de velocidades característico obtenido del tramo urbano refleja la forma de conducción que tienen los taxis en la zona urbana de la ciudad. De manera general es una zona con muchos semáforos y tráfico lo cual implica aumento en el consumo de combustible.

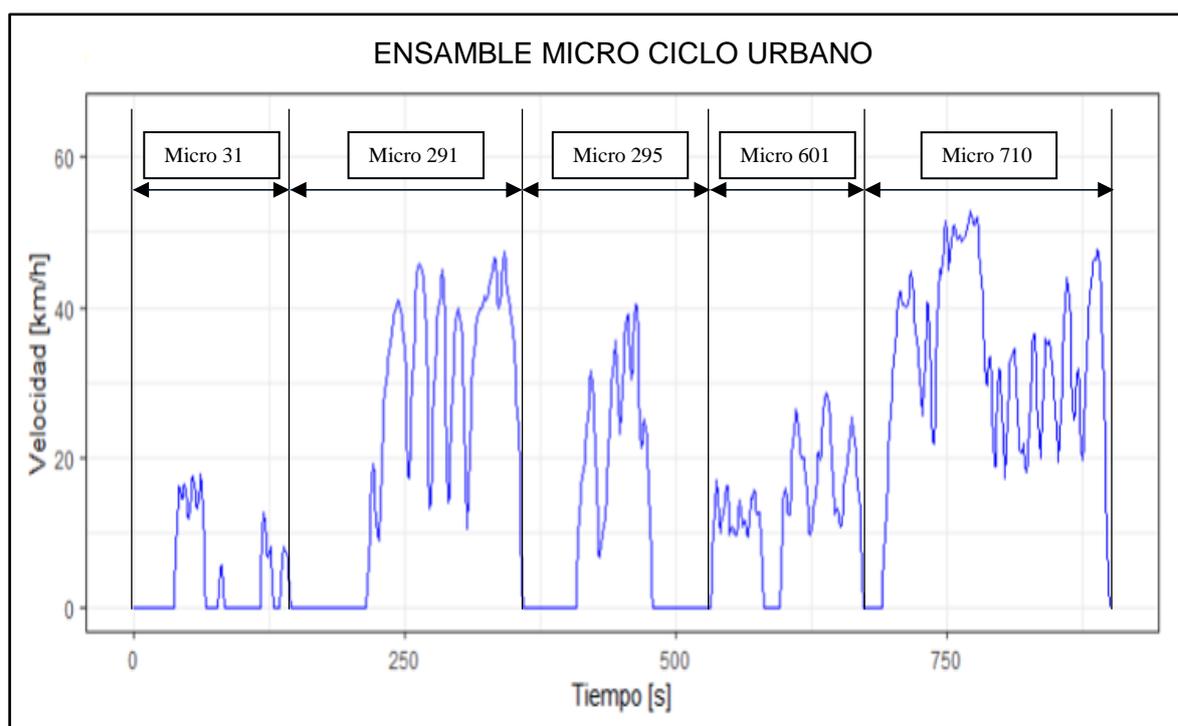


Figura 4.7 Ensamble micro ciclo de conducción Urbano

En la Figura 4.7 se muestra el resultado final de la unión de todos los micro ciclos seleccionados de los cinco grupos cluster generados para este tramo. El micro ciclo 31 indica las velocidades mínimas de circulación y el micro ciclo 710 se reflejan los picos de velocidad más altos registrados en el tramo urbano.

4.2.4 RESULTADOS Y COMPARACIÓN MICRO CICLO URBANO

En la Tabla 4.6 se indican las comparaciones de valores del micro ciclo urbano con el ciclo completo. Los porcentajes de operación en ralentí le micro ciclo fueron 34.89, la operación en aceleración 31.44, la operación en desaceleración 25.78, la operación en estado de conducción crucero fue de 7.89 y la velocidad promedio fue de 17.68 km/h.

Tabla 4.6 Comparación Ciclo Urbano Completo vs Micro ciclo Urbano

Comparación Ciclo Urbano Completo vs Micro ciclo Urbano			
Variable	Ciclo tramo completo	Micro ciclo	Ciclo completo vs micro ciclo [%]
Operación en ralentí [%]	36,09	34,89	3,44
Operación en aceleración [%]	30,39	31,44	3,45
Operación en desaceleración [%]	25,18	25,78	2,38
Operación en crucero [%]	8,34	7,89	5,70
Velocidad promedio [km/h]	15,00	17,68	17,86
Aceleración positiva promedio [m/s ²]	0,59	0,56	5,36
Desaceleración negativa promedio [m/s ²]	-0,66	-0,65	1,54

Fuente: (Autores)

4.3 ANÁLISIS TRAMO AUTOPISTA MEDIANTE GPS

El ciclo Autopista se analizó en la segunda sección de estudio y se identificaron 162,554 datos correspondientes a este tramo, los cuales fueron recopilados de un total de 24 viajes realizados por taxis en este tramo. Los datos seleccionados se eligieron manualmente basándose en el recorrido realizado por los conductores de los vehículos.

4.3.1 RESULTADOS CINEMÁTICOS CICLO AUTOPISTA COMPLETO

En la Tabla 4.7 se identificó el archivo empleado para los cálculos de este tramo. Se utilizaron 8 vehículos para el análisis. Por lo tanto, se consideró un viaje por cada taxi. Los valores correspondientes son los siguientes: el taxi número 1 registró 3043 datos, el taxi número 2 registró 19136 datos, el taxi número 3 registró 4705 datos, el taxi número 5 registró 9433 datos, el taxi número 11 registró 2110 datos, el taxi número 12 registró 1050 datos, el taxi número 16 registró 4592 datos y el taxi número 19 registró 8183 datos. Todos estos datos corresponden a viajes individuales registrados por el GPS en las jornadas laborales de los conductores. Estos registros se analizaron mediante la codificación. Se estandarizaron a 5 el número de variables de cada archivo y se unieron los datos en un solo archivo, sumando 52252 datos para el estudio de este tramo.

Tabla 4.7 Fichero completo ruta Autopista

Fichero general de estadísticas cinemáticas del tramo Autopista completo										
# Taxi	# Pruebas	# Registros cargados (Base Experimental)	Tiempo total transcurrido [s] (Base filtrada)	Operación en ralentí [%]	Operación en aceleración [%]	Operación en desaceleración [%]	Operación en cruce [%]	Velocidad promedio [km/h]	Aceleración positiva promedio [m/s ²]	Desaceleración negativa promedio [m/s ²]
Unidad 1	1	3 043	2 642	20,52	20,52	29,56	12,83	28,90	0,46	-0,56
Unidad 2	1	8 183	8 183	18,03	37,96	29,28	14,74	40,69	0,44	-0,55
Unidad 3	1	4 705	4 209	30,72	33,05	26,82	9,41	28,72	0,59	-0,68
Unidad 4	1	9 433	9 010	8,36	38,59	32,42	20,81	45,24	0,36	-0,41
Unidad 5	1	2 110	1 935	28,53	38,04	26,77	6,68	21,09	0,61	-0,78
Unidad 6	1	4 592	4 535	26,75	33,96	28,95	10,34	32,99	0,57	-0,62
Unidad 7	1	19 136	16 427	8,14	37,79	30,46	23,62	55,64	0,31	-0,38
Unidad 8	1	1 050	937	18,99	37,67	32,98	10,35	22,48	0,55	-0,57
FICHERO TOTAL	8	52 252	48 465	15,28	37,25	29,98	17,48	42,95	0,41	-0,49

Fuente: (Autores)

4.3.2 DETERMINACIÓN DEL MICRO CICLO AUTOPISTA

El micro ciclo autopista se determinó con una cantidad menor de datos al ciclo urbano debido a que los taxis no usaban con frecuencia esta ruta. Los resultados obtenidos después de la programación se utilizaron para analizar de manera estadística, a través del criterio de micro ciclos, y definir cuál era el ciclo de conducción en el tramo Autopista para generar la gráfica más representativa.

4.3.2.1 Análisis del perfil de velocidad del archivo autopista sin procesar

En esta sección se analizan los datos de la velocidad sin procesar. Se puede observar el ruido en la señal y los tiempos muertos de velocidad que se pueden encontrar en todo el archivo. Esta curva se generó utilizando las variables de velocidad y tiempo del archivo completo del ciclo Autopista. Es una gráfica inicial de todo el archivo, pero debido a la gran cantidad de datos, solo se muestra una sección como muestra.

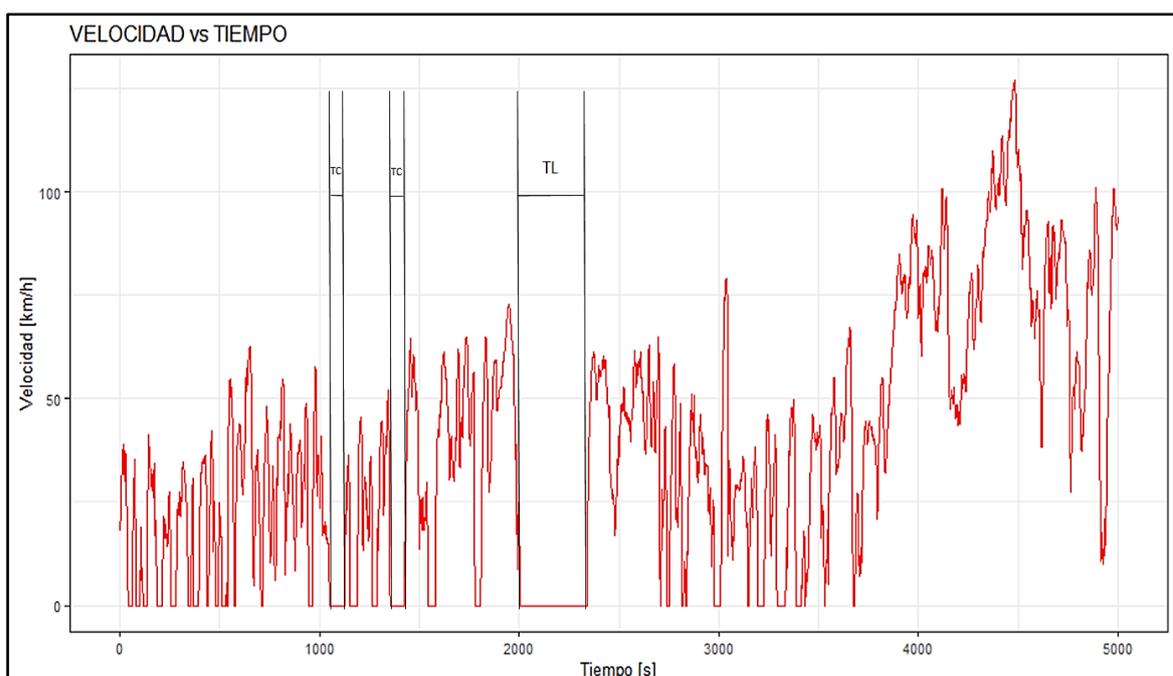


Figura 4.8 Perfil velocidad vs tiempo; tramo Autopista

En la Figura 4.8 se muestra una sección de curva de velocidad obtenida con el código de programación para gráficas. Las líneas de color negro representan cada tramo donde el vehículo se encontraba con velocidad 0. Se distinguen tiempos de parada cortos (TC) y largos (TL), los cuales se considera que se deben a paradas en semáforos, ralentí, vehículo apagado o estacionado.

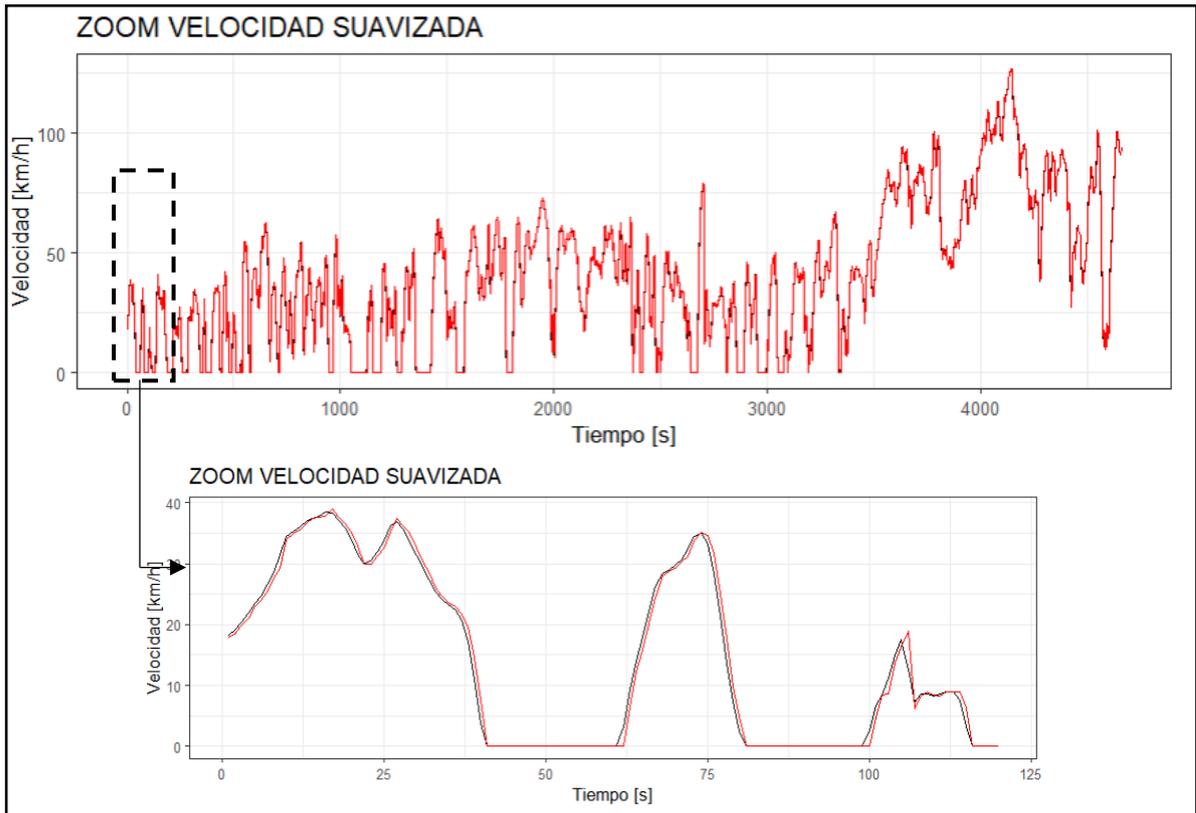


Figura 4.9 Zoom velocidad suavizada; Autopista

En la Figura 4.9 se muestra la gráfica generada después de suavizar la velocidad. Para reflejar esta sección, se filtraron los tiempos de vehículo apagado, dejando solo los datos que se consideraron como taxi encendido. Para el cálculo, se consideró un tiempo máximo de 135 segundos para el tramo Autopista. La velocidad suavizada en la gráfica corresponde a todos los puntos negros que se reflejan sobre la velocidad original. Para una mejor visualización, se incluyó una sección con zoom que indica la diferencia entre la curva de velocidad suavizada en color negro y la curva original en color rojo.

4.3.2.2 Análisis de cluster en el tramo autopista

Para obtener los resultados en este método, se requería especificar previamente el número máximo de clusters a generar. En este caso, se determinó utilizar el mismo valor y procedimiento que en el tramo anterior, con $k_{max} = 10$.

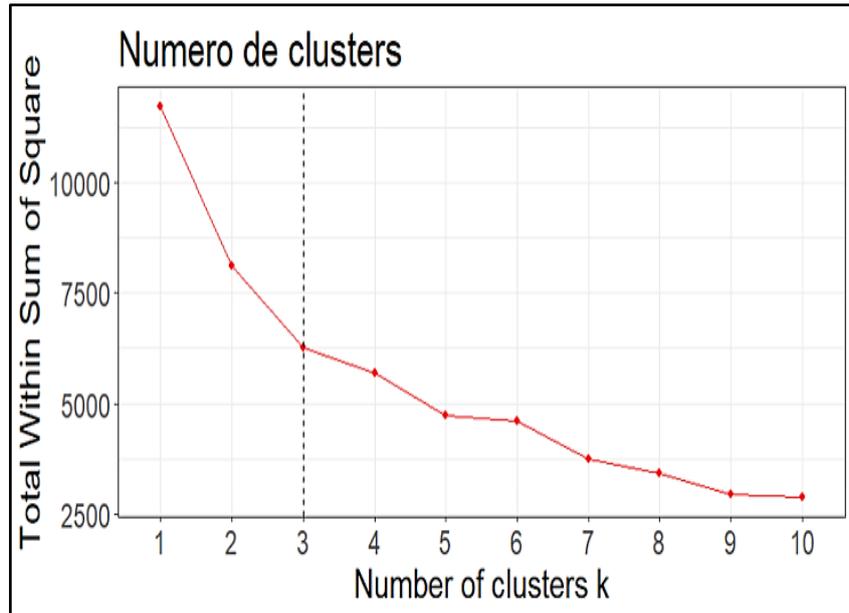


Figura 4.10 Número ideal clusters; Autopista

En la Figura 4.10, se reflejan los resultados obtenidos del número ideal de clusters, donde se estimaron aproximadamente 167 micro ciclos de análisis en este tramo para la segmentación de clusters. La figura muestra una gráfica generada que indica el número ideal para agrupar los datos en K clusters diferentes. Cada uno de estos clusters se representa por un centroide, que es el promedio de todos los datos. En esta gráfica, el punto donde la curva genera el codo usualmente se considera como el indicador ideal del número apropiado de grupos. En este caso, podemos observar que para el tramo Autopista, parece estabilizarse entre $k = 4$ y $k = 5$, ambos serían útiles para el estudio. En este punto, entra en juego el criterio propio para tomar la decisión final de cuál escoger. Para este análisis, se utilizó $k = 3$.

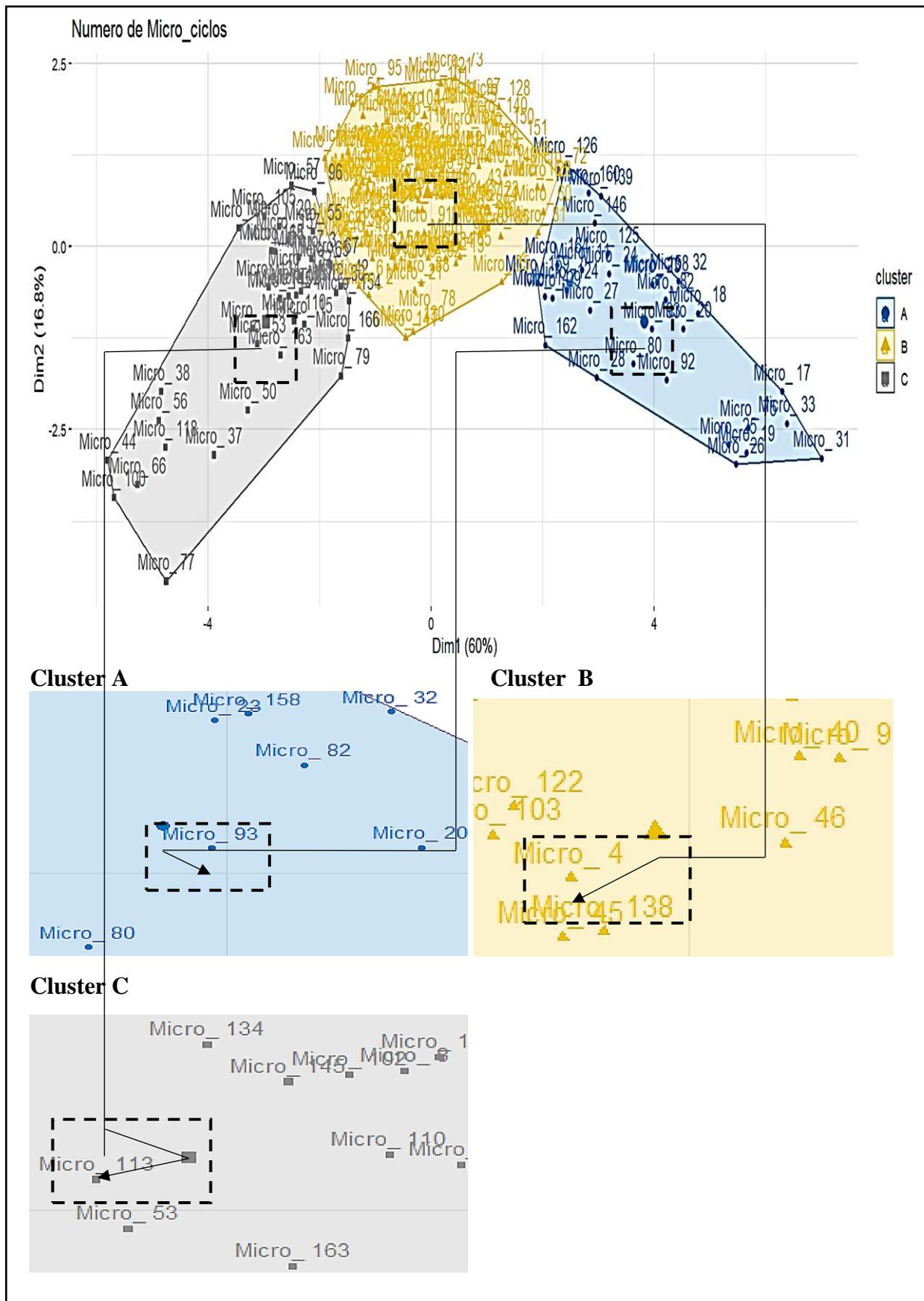


Figura 4.11 Grupos de cluster Autopista

En la Figura 4.11 se muestra la gráfica que contiene el resultado de los cuatro grupos de clusters elegidos con el método del codo. Se identificaron con las letras A, B, C, y los colores azul, amarillo y gris, respectivamente. Esta gráfica nos sirvió para ubicar los micro ciclos más cercanos al centroide de cada figura geométrica y a partir de esos datos construir el ciclo Autopista. En este grupo de clusters, se seleccionaron 3 micro ciclos más cercanos. El grupo A se seleccionó utilizando la regla de que el punto más cercano al centroide de la figura geométrica es el micro ciclo 93, del grupo B se seleccionó el micro ciclo 4 y del grupo C se seleccionó el micro ciclo 113 para la construcción del ciclo representativo de este tramo.

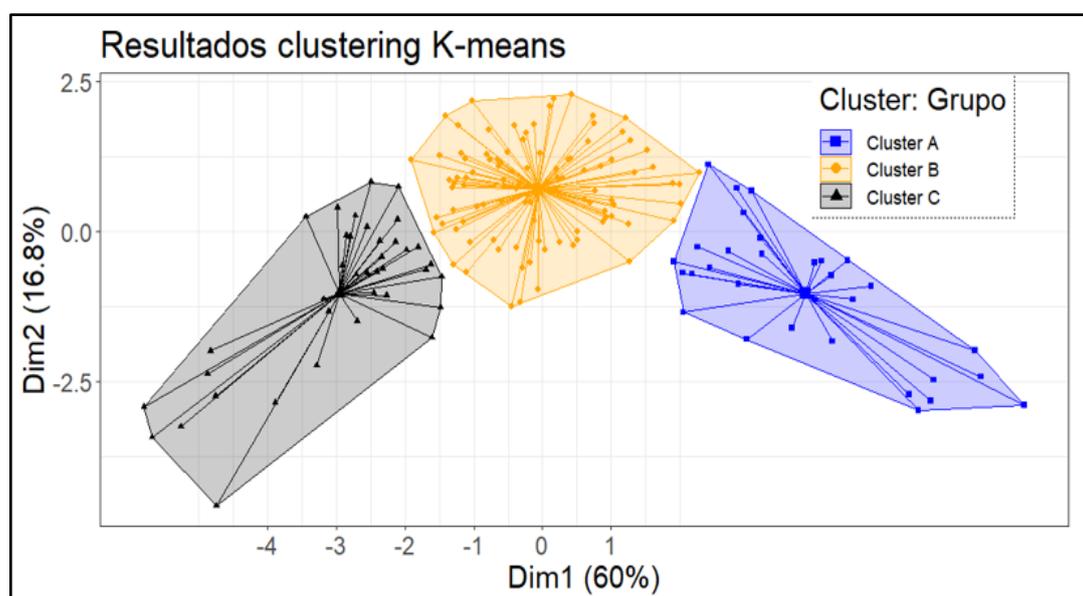


Figura 4.12 Resultados clustering K-means Autopista

En la Figura 4.12 se indica la gráfica completa del clustering, donde se ubica específicamente el centroide en cada figura geométrica de estos clusters, que sirvió de base para seleccionar los micro ciclos más cercanos a dicho punto. Luego se realizó un cálculo general de todos los micro ciclos para determinar el valor estadístico de las variables de los micro ciclos seleccionados para el tramo Autopista.

4.3.3 OBTENCIÓN DEL MICRO CICLO AUTOPISTA

El cálculo clustering realizado previamente genera un número de grupos con variables de valores similares para esta ruta. En dichos grupos se encuentran los micro ciclos identificados mediante la codificación en Rstudio que sirven de guía para encontrar el patrón característico del ciclo autopista.

4.3.3.1 Micro ciclos seleccionados en el tramo autopista

Los micro ciclos seleccionados para el tramo autopista se generaron a partir de los grupos cluster antes mencionados. Los patrones seleccionados corresponden a los micro ciclos cercaos al centroide de la figura geométrica del grupo cluster de este tramo. En este tramo se utilizaron micro ciclos con características semejantes para la construcción del ciclo representativo.

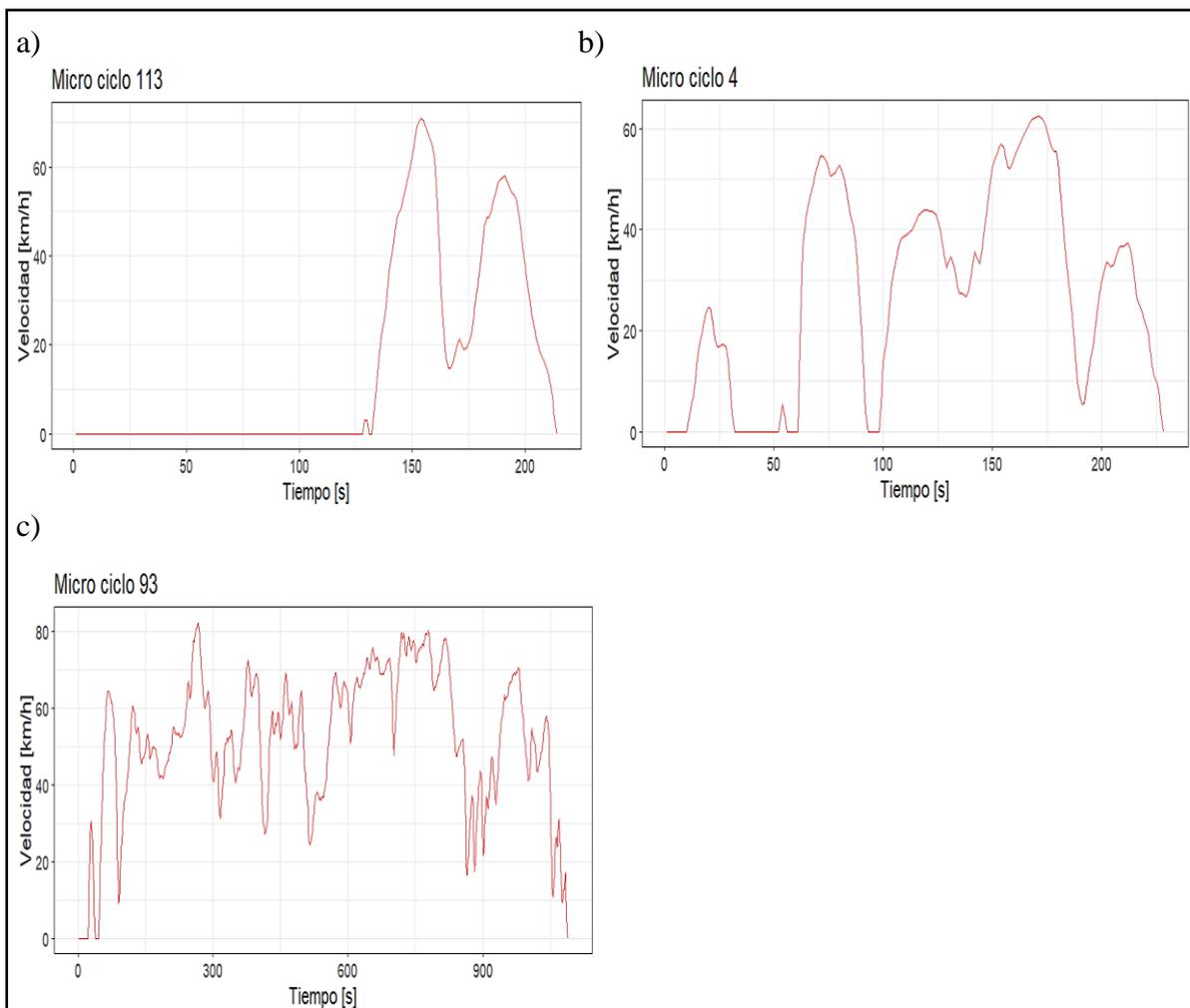


Figura 4.13 Micro ciclos tramo Autopista

En la Figura 4.13, se muestra el ciclo de conducción característico en Autopista de los taxis en la ciudad de Ibarra. En la sección a) se refleja el micro ciclo 113 del grupo A, en la sección b) se refleja el micro ciclo 4 del grupo B y en la sección c) se refleja el micro ciclo 93 del grupo C.

4.3.3.2 Ensamble micro ciclo conducción autopista

En total, se seleccionaron 3 micro ciclos, uno por cada grupo de clusters, para la construcción representativa de este tramo. El perfil de velocidades característico obtenido del tramo autopista refleja la forma de conducción que tienen los taxis en dicha zona. De manera general es un tramo con varios semáforos y con tráfico elevado en horas pico.

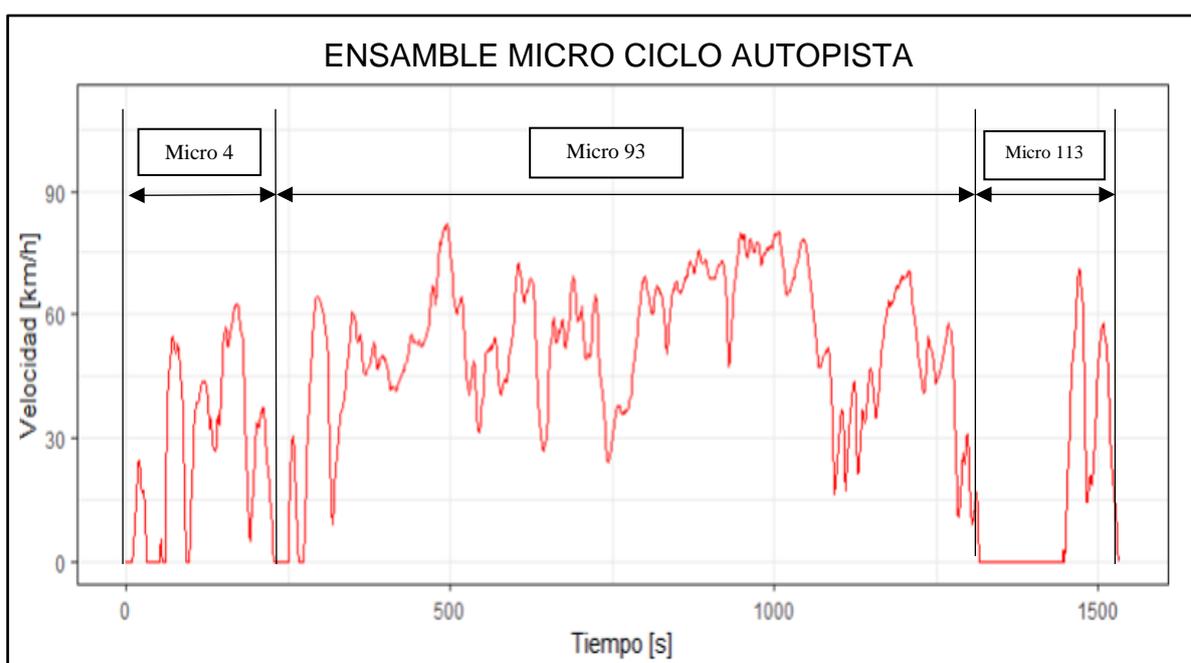


Figura 4.14 Ensamble micro ciclo de conducción Autopista

En la Figura 4.14 se indica el resultado final de la unión de todos los micro ciclos seleccionados entre los tres grupos de clusters encontrados en este tramo. El micro ciclo 93 tiene los picos de velocidad más altos, una mayor duración y ninguna caída a cero de velocidad esto se debe a que el vehículo estuvo operando sin interrupciones de tráfico o semáforos.

4.3.4 RESULTADOS Y COMPARACIÓN DEL MICRO CICLO AUTOPISTA

En la Tabla 4.8 se presentan los resultados comparativos entre el micro ciclo y el ciclo completo. Los porcentajes de operación en ralentí le micro ciclo fueron 14.12, la operación en aceleración 38.63, la operación en desaceleración 29.74, la operación en estado de conducción crucero fue de 17,52 y la velocidad promedio fue de 43,01 km/h.

Tabla 4.8 Comparación Ciclo Autopista Completo vs Micro ciclo Autopista

Comparación Ciclo Autopista Completo vs Micro ciclo Autopista			
Variable	Ciclo tramo completo	Micro ciclo	Ciclo completo vs micro ciclo [%]
Operación en ralentí [%]	15,28	14,12	8,22
Operación en aceleración [%]	37,25	38,63	3,70
Operación en desaceleración [%]	29,98	29,74	0,81
Operación en cruce [%]	17,48	17,52	0,23
Velocidad promedio [km/h]	42,95	43,01	0,14
Aceleración positiva promedio [m/s ²]	0,41	0,38	7,89
Desaceleración negativa promedio [m/s ²]	-0,49	-0,49	0

Fuente: (Autores)

4.4 ANÁLISIS TRAMO EXTRAURBANO MEDIANTE GPS

El ciclo Extraurbano fue analizado en la tercera sección del estudio, y los valores obtenidos en la recopilación de datos nos permitieron construir el ciclo de conducción representativo del tramo Extraurbano. En este tramo se registraron menos datos debido a que los vehículos no usaban con frecuencia esa ruta de la ciudad.

4.4.1 RESULTADOS CINEMÁTICOS CICLO EXTRAURBANO COMPLETO

En las pruebas realizadas con los dispositivos GPS, se registraron 13,024 datos del tramo Extraurbano en total, recopilado de viajes realizados por taxis en este tramo. Los datos seleccionados fueron elegidos manualmente en función de los recorridos realizados por los conductores de los taxis en este tramo.

Se utilizaron 7 vehículos en este análisis, con un total de 22 viajes o pruebas en total. Esto se debe a que los vehículos no circulaban con frecuencia por esta ruta y algunos no transitaban por esa vía. Los valores por vehículo fueron los siguientes: el taxi número 1 registró 3,018 datos en 6 viajes, el taxi número 2 registró 847 datos, el taxi número 3 registró 1,448 datos en 4 viajes, el taxi número 5 registró 5,907 datos en 6 viajes (este vehículo era el que más frecuentaba el tramo debido a su ubicación de estacionamiento), el taxi número 11 registró 298 datos en un viaje, el taxi número 12 no registró datos en este tramo, el taxi número 16 registró 1,269 datos en 2 viajes y el taxi número 19 registró 237 datos en un viaje. Estos registros se cargaron en el sistema mediante codificación. Se estandarizó en 5 el número de variables de cada archivo y se unieron los datos en un solo archivo, sumando un total de 13,024 datos para el estudio de este tramo. En la Tabla 4.9 se indican los resultados obtenidos en el cálculo de este tramo.

Tabla 4.9 Fichero completo ruta Extraurbana

Fichero general de estadísticas cinemáticas del tramo Extraurbano completo											
# Taxi	# Pruebas	# Registros cargados (Base Experimental)	Tiempo total transcurrido [s] (Base filtrada)	Operación en ralentí [%]	Operación en aceleración [%]	Operación en desaceleración [%]	Operación en cruceiro [%]	Velocidad máxima [km/h]	Velocidad promedio [km/h]	Aceleración positiva promedio [m/s²]	Desaceleración negativa promedio [m/s²]
Unidad 1	6	3 018	2 927	26,20	33,76	23,68	16,37	95,54	36,91	0,42	-0,55
Unidad 2	1	237	88	2,27	40,91	44,32	12,50	77,09	47,96	0,51	-0,70
Unidad 3	4	1 448	1 421	20,19	34,91	29,35	15,55	84,13	40,87	0,44	-0,53
Unidad 4	6	5 907	5 155	14,12	39,22	30,36	16,29	86,42	42,89	0,44	-0,54
Unidad 5	1	298	82	17,07	36,59	39,02	7,32	50,67	24,83	0,54	-0,72
Unidad 6	2	1 269	1 141	32,17	34,62	26,29	6,92	82,3	31,34	0,58	-0,77
Unidad 7	2	847	659	7,89	42,94	35,81	13,35	62,77	35,09	0,47	-0,56
FICHERO TOTAL	22	13 024	12 876	19,12	37,34	28,48	15,01	95,54	39,84	0,45	-0,56

Fuente: (Autores)

4.4.2 DETERMINACIÓN DEL MICRO CICLO EXTRAURBANO

Los datos para determinar este micro ciclo fueron menores que los dos tramos anteriores debido a la poca frecuencia de uso de esta ruta. Los resultados obtenidos de la programación se utilizaron para realizar un análisis estadístico basado en el criterio de micro ciclos y determinar cuál es el ciclo de conducción en el tramo Extraurbano que generaría la gráfica más representativa.

4.4.2.1 Análisis del perfil de velocidad del archivo Extraurbano sin procesar

En esta sección se presenta una gráfica que se generó utilizando las variables de velocidad y tiempo del archivo completo del ciclo Extraurbano. Es una gráfica inicial que muestra el ruido en la señal y los períodos de tiempo muerto de velocidad que se encuentran en todo el archivo.

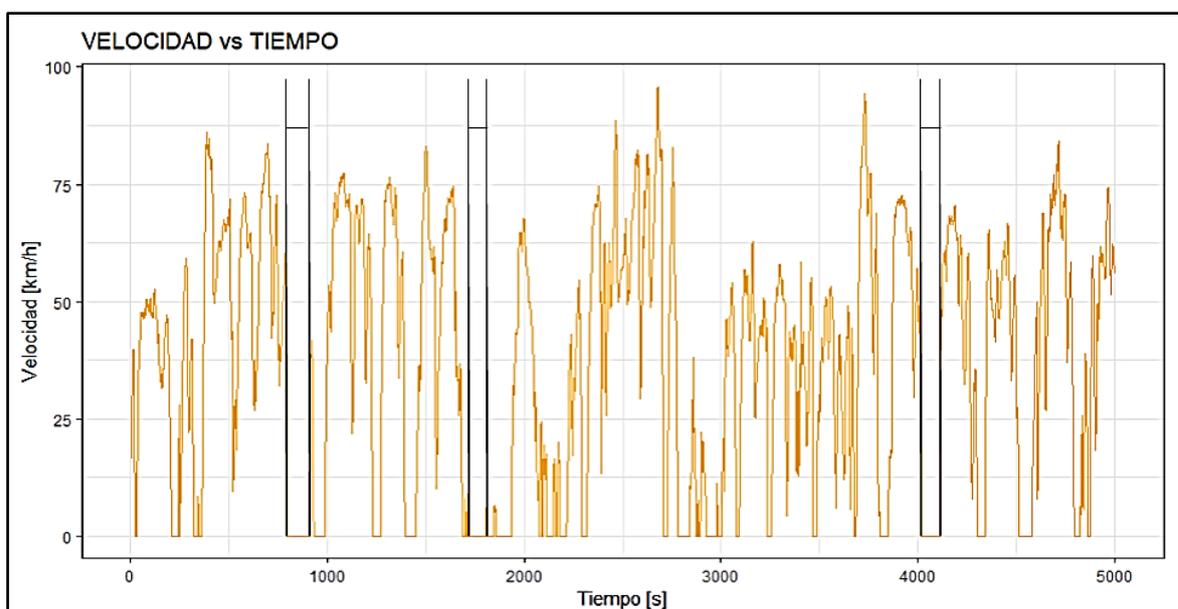


Figura 4.15 Perfil velocidad vs tiempo; tramo Extraurbano

En la Figura 4.15 se muestra una sección de la curva de velocidad obtenida utilizando el código de programación para gráficas. Las líneas de color negro representan los tramos en los que el vehículo se detuvo con una velocidad de 0. En su mayoría, se observan paradas cortas, ya que en este tramo la velocidad aumenta considerablemente y hay pocos semáforos.

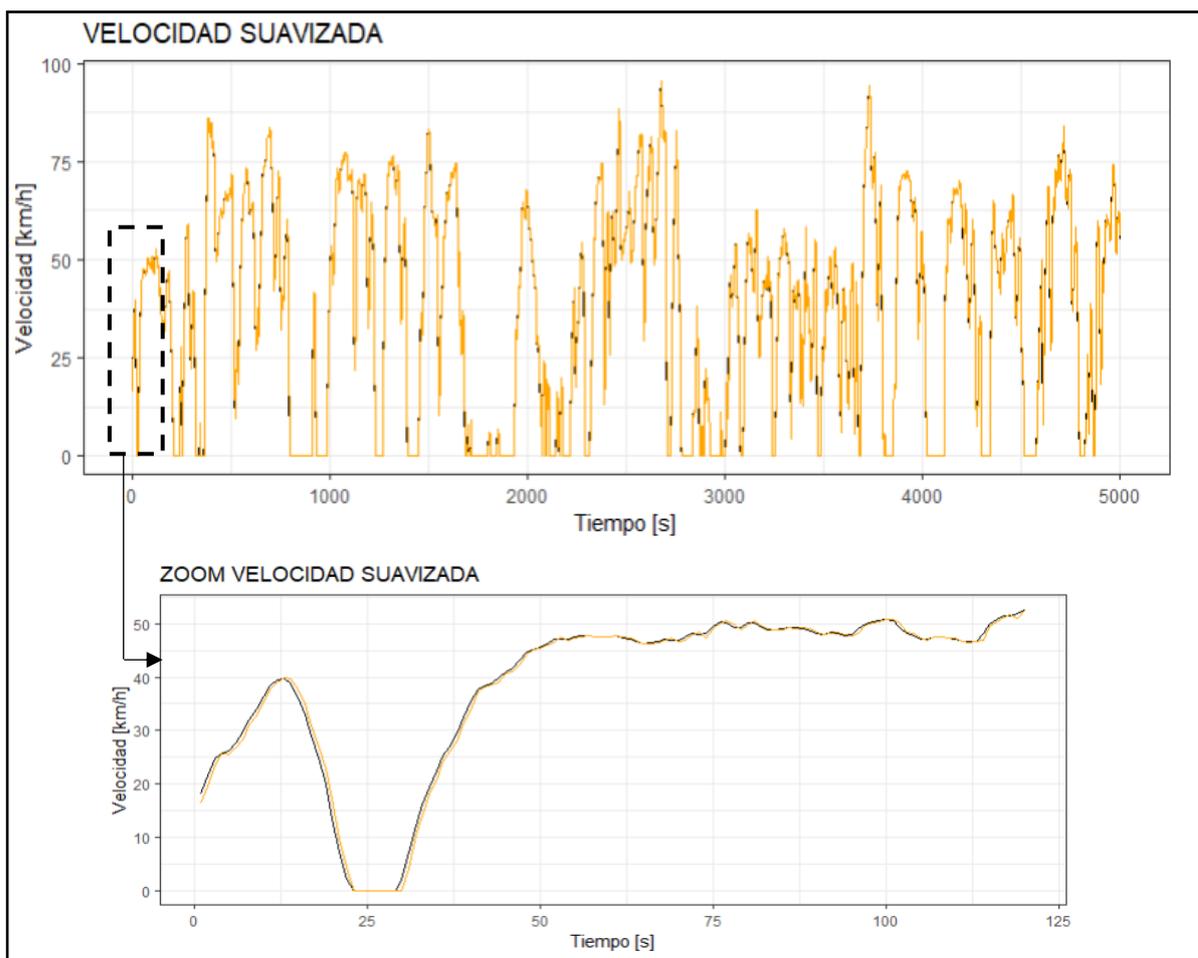


Figura 4.16 Zoom velocidad suavizada; Extraurbano

En la Figura 4.16 se muestra la gráfica generada después de suavizar la velocidad. Para obtener esta sección, se filtraron solo los datos que se consideraron cuando el taxi estaba encendido. Para el cálculo, se consideró un tiempo máximo de 200 segundos para el tramo Extraurbano. La gráfica de velocidad suavizada muestra todos los puntos en negro que se superponen a la velocidad original. Para una mejor visualización, se incluyó una sección con zoom que muestra la diferencia entre la curva de velocidad suavizada en color negro y la curva original en color amarillo.

4.4.2.2 Análisis de cluster en el tramo Extraurbano

El análisis cluster en este tramo permitió conocer el número de grupos para determinar el micro ciclo en este tramo. Para obtener los resultados utilizando este método, es necesario especificar previamente el número máximo de clusters a generar. En este caso, se utilizó el mismo valor y procedimiento que en el tramo anterior, con $k_{max} = 10$.

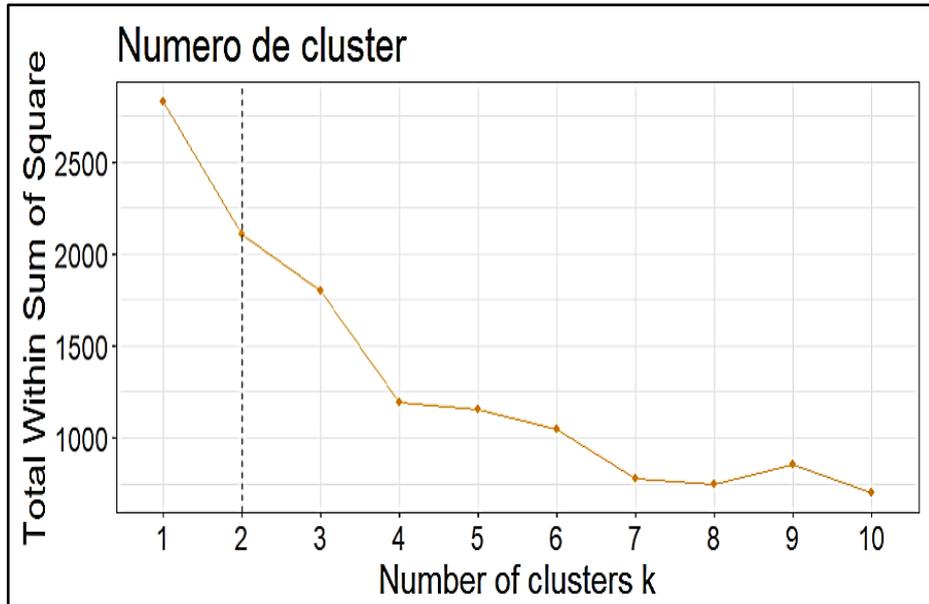


Figura 4.17 Número ideal clusters; Extraurbano

La Figura 4.17 muestra los resultados obtenidos a partir del cálculo especificado en esta sección. Se estimaron aproximadamente 41 micro ciclos de análisis en este tramo para la segmentación de clusters. La gráfica generada muestra el número ideal para agrupar los datos en diferentes clusters K . Cada uno de estos clusters se representa por un centroide, que es el promedio de todos los datos del cluster. En esta gráfica, el punto en el que la curva genera un codo se considera comúnmente como el indicador ideal del número adecuado de grupos. En este caso, podemos observar que para el tramo Extraurbano tenemos un codo en $k = 2$ y en $k = 4$, ambos son útiles para el estudio. En este punto, entra en juego el criterio personal para tomar la decisión final de cuál elegir. En este análisis, se utilizó $k = 2$ debido al bajo porcentaje de datos obtenidos en este tramo.

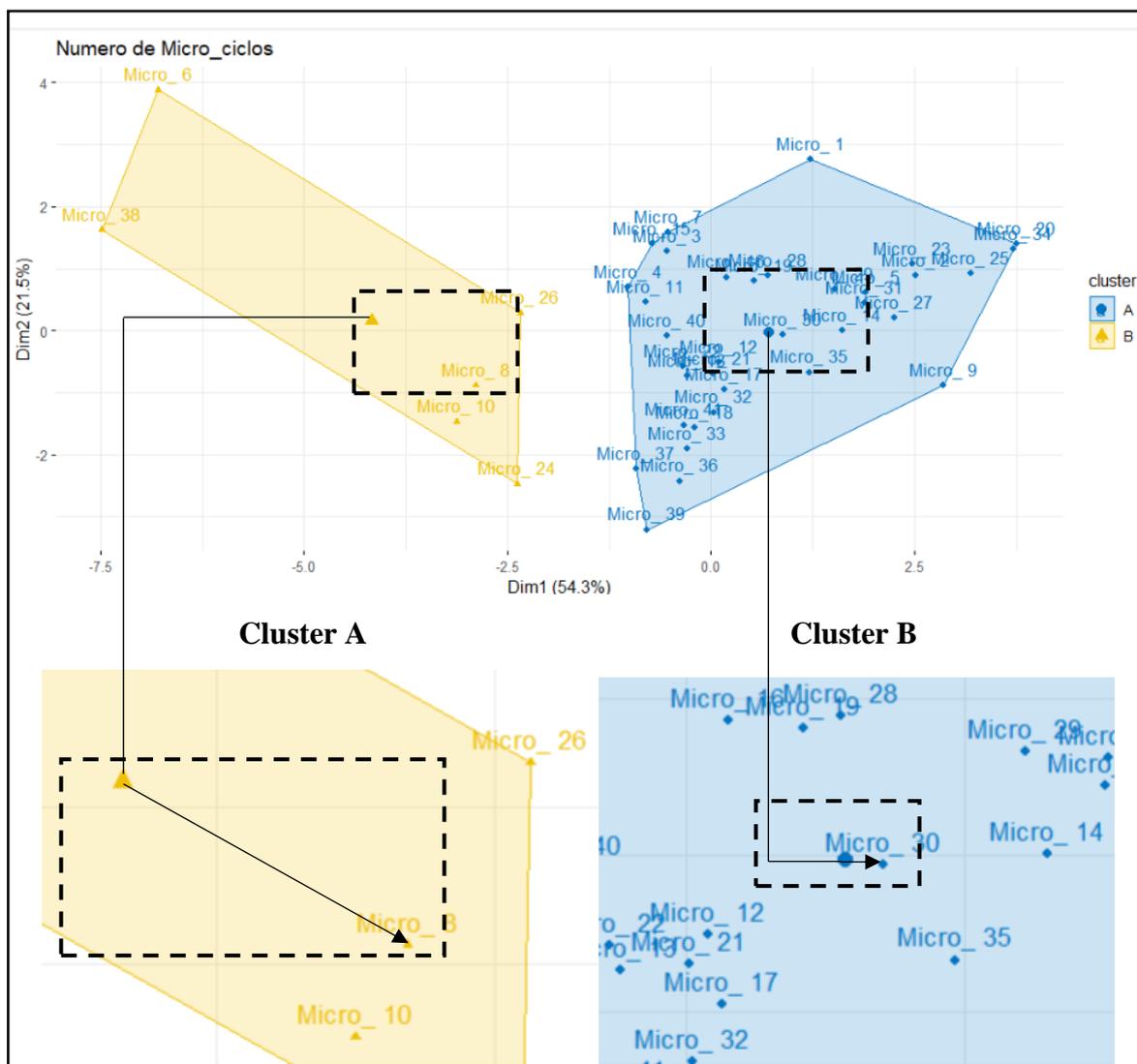


Figura 4.18 Grupos de cluster; tramo Extraurbano

En la Figura 4.18 se muestra la gráfica que contiene el resultado de los dos grupos de clusters seleccionados mediante el método del codo. Se identificaron con las letras A y B, y se representaron con los colores azul y amarillo, respectivamente. Este grafica nos permitió ubicar los micro ciclos más cercanos al centroide de cada figura geométrica y a partir de esos datos construir el ciclo Extraurbano.

En todos los grupos cluster seleccionamos 3 micro ciclos más cercanos y dependiendo el tiempo de cada micro ciclo definimos cuantos micro ciclos necesitamos para completar el tiempo de un ciclo de conducción estándar. Del grupo A se seleccionó mediante regla que el punto más cercano al punto centroide es el Micro ciclo 30 y del grupo B se seleccionó el micro ciclo 8, para la construcción del ciclo Extraurbano representativo

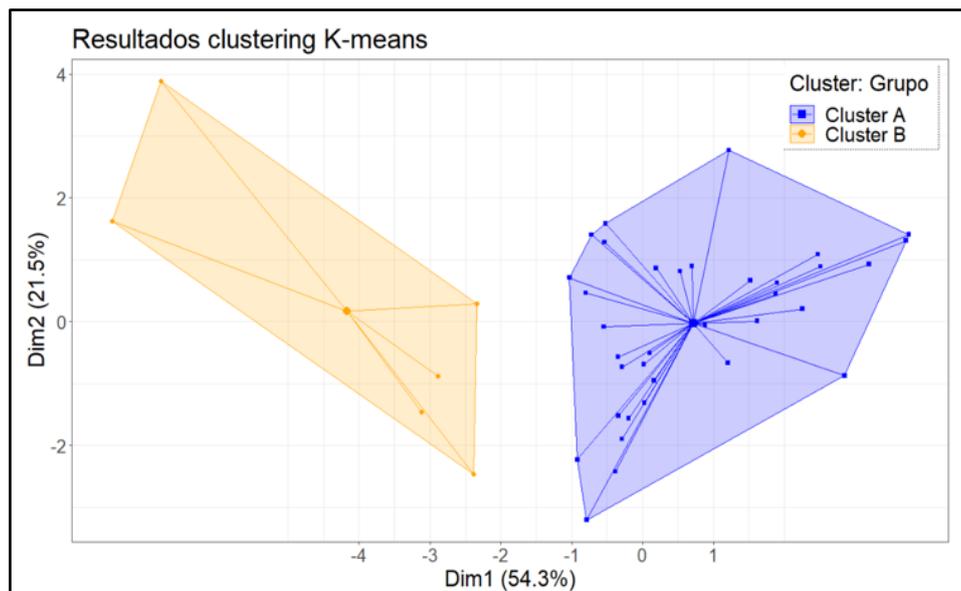


Figura 4.19 Resultados clustering K-means, Extraurbano

En la Figura 4.19 se indica la gráfica completa del clustering, donde se ubica específicamente el centroide en cada figura geométrica de estos cluster que sirvo de base para seleccionar los micro ciclos más cercanos a dicho punto. Luego se realiza un cálculo general de todos los micro ciclos para determinar el valor estadístico de las variables de los micro ciclos seleccionados para el tramo Extraurbano. En este caso el grupo A son micro ciclos sin tráfico, y el grupo B con flujo básico de tráfico.

4.4.3 OBTENCIÓN DEL MICRO CICLO EXTRAURBANO

La obtención del micro ciclo extraurbano se generó después del cálculo cluster. Los grupos cluster identificados en el punto anterior contienen los micro ciclos adecuados con las características para este tramo. Los micro ciclos seleccionados corresponden a los puntos más cercanos al centroide de la figura geométrica de cada grupo.

4.4.3.1 Micro ciclos seleccionados en el tramo Extraurbano

En el tramo extraurbano se obtuvo pocos datos debido a la poca frecuencia de circulación de los vehículos por esta ruta. Por tal razón se registraron pocos micro ciclos y grupos cluster para la construcción del ciclo extraurbano. Sin embargo, los patrones finales se representaron en dos micro ciclos.

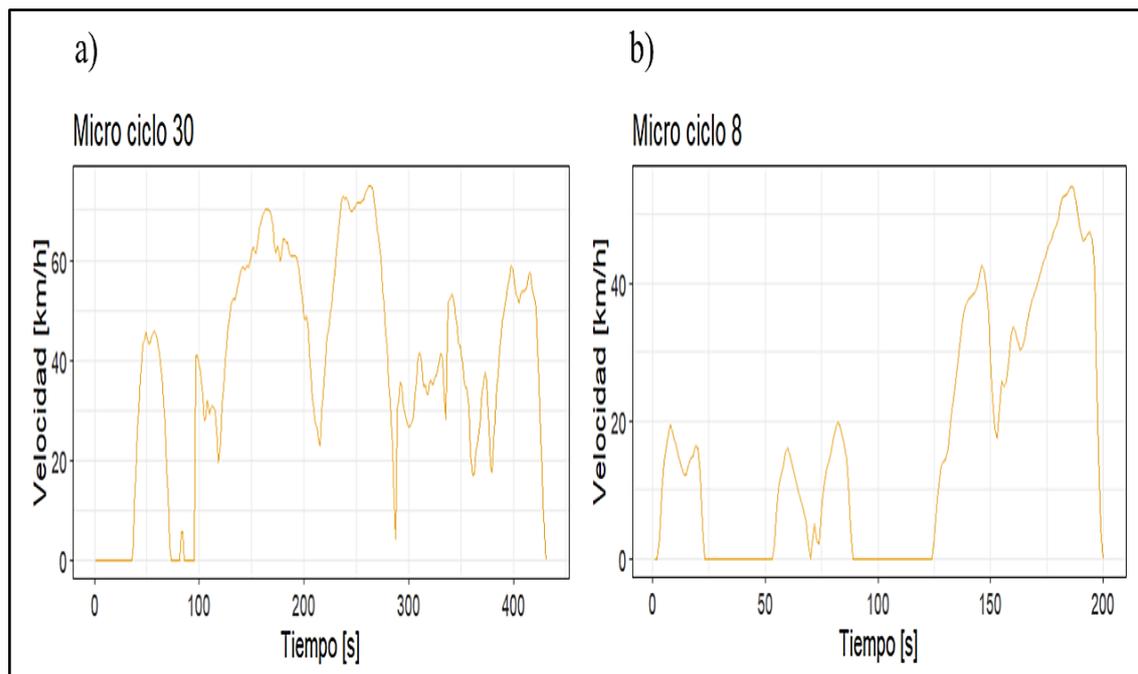


Figura 4.20 Micro ciclos tramo Extraurbano

En la Figura 4.20 se muestran los micro ciclos de conducción seleccionados del tramo Extraurbano para la construcción del ciclo. En la sección a) se refleja el micro ciclo 30 y en la sección b) se refleja el micro ciclo 8. Este tramo genero pocos micro ciclos ya que los taxistas operaban con más frecuencia por la zona urbana.

4.4.3.2 Ensamble micro ciclo conducción Extraurbano

En total, se seleccionaron dos micro ciclos, uno por cada grupo de clusters, para la construcción representativa del tramo extraurbano. El perfil de velocidades característico obtenido del tramo autopista refleja la forma de conducción que tienen los taxis en dicha zona. En general es una ruta con pocos semáforos y tráfico moderado.

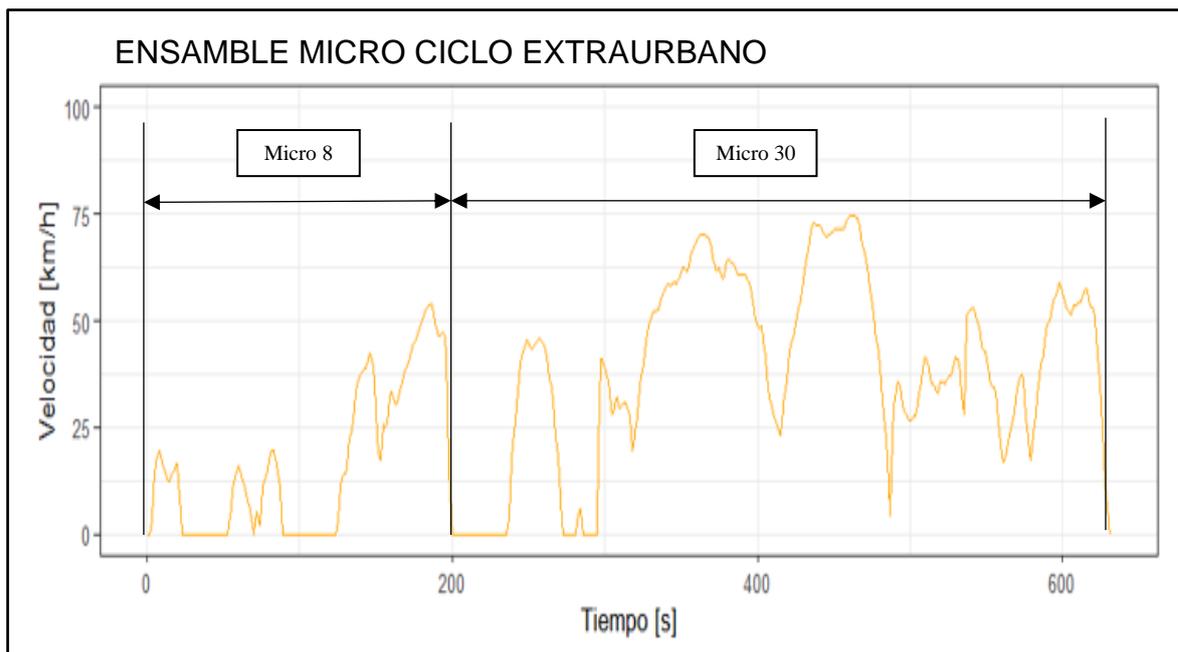


Figura 4.21 Micro ciclo de conducción Extraurbano

En la Figura 4.21 se indica el resultado final de la unión de todos los micro ciclos seleccionados entre los 2 grupos cluster. En total se seleccionaron 2 micro ciclos, 1 por cada grupo cluster, para la construcción representativa del micro ciclo extraurbano. La gráfica obtenida al ensamblar estos micro ciclos corresponde al perfil de velocidad de los taxis en la zona extraurbana.

4.4.4 RESULTADOS Y COMPARACIÓN MICRO CICLO EXTRAURBANO

En la Tabla 4.10, se indican la comparación de parámetros del ciclo extraurbano del archivo completo con los datos obtenidos del micro ciclo. Los porcentajes de operación en ralentí le micro ciclo fueron 22.03, la operación en aceleración 35.66, la operación en desaceleración 30.43, la operación en estado de conducción cruceo fue de 11.87 y la velocidad promedio fue de 31.89 km/h.

Tabla 4.10 Comparación Ciclo Extraurbano Completo vs Micro ciclo Extraurbano

Comparación Ciclo Extraurbano Completo vs Micro ciclo Extraurbano			
Variable	Ciclo tramo completo	Micro ciclo	Ciclo completo vs micro ciclo [%]
Operación en ralentí [%]	19,12	22,03	15,21
Operación en aceleración [%]	37,34	35,66	4,71
Operación en desaceleración [%]	28,48	30,43	6,84
Operación en cruce [%]	15,01	11,87	26,45
Velocidad promedio [km/h]	39,84	31,89	24,93
Aceleración positiva promedio [m/s^2]	0,45	0,52	15,55
Desaceleración negativa promedio [m/s^2]	-0,56	-0,60	6,66

Fuente: (Autores)

4.5 ANÁLISIS CICLO DE CONDUCCIÓN TOTAL DE LA CIUDAD

El ciclo de conducción completo se analizó uniendo todos los micro ciclos de cada tramo. Este ciclo se analizó después de obtener todos los micro ciclos para cada tramo de forma individual. En esta sección, se unieron los valores obtenidos de la programación de datos de cada sección, lo que permitió construir el ciclo de conducción representativo de la ciudad.

4.5.1 CONSTRUCCIÓN TOTAL CICLO DE CONDUCCIÓN IBARRA

Los datos obtenidos del ensamblaje de micro ciclos de cada tramo urbano, extraurbano y autopista se utilizaron para construir el ciclo de conducción completo. En total, se recopilieron 9 micro ciclos: 5 para el tramo urbano, 2 para el extraurbano y 3 para el tramo de autopista.

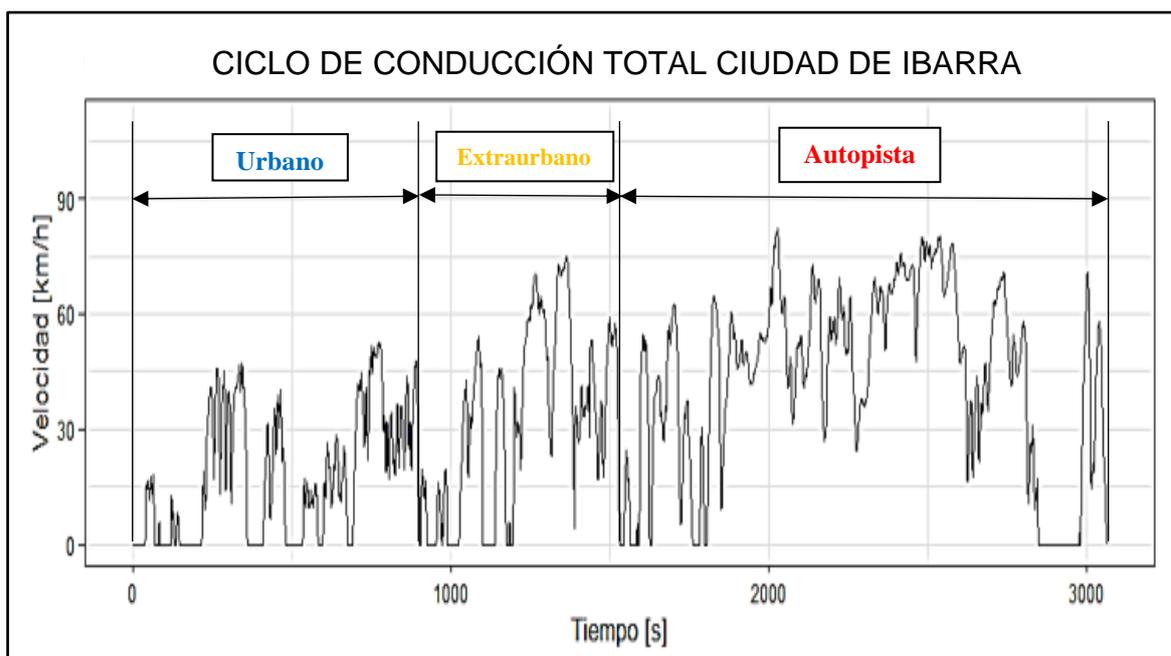
En la Tabla 4.11 se indican los archivos que registraron los datos de cada tramo y se unieron en el archivo del ciclo de conducción completo. Aquí se incluyen los tiempos de todos los ciclos. El archivo extraurbano registró 631 datos, el urbano registró 900 datos y el tramo de autopista registró 1530 datos. En total, se registraron 3061 datos para ciclo de conducción de la ciudad de Ibarra.

Tabla 4.11 Fichero completo ciclo conducción completo

Fichero completo ciclo conducción Ibarra	
Tramo	# Registros cargados
Extraurbano	631
Urbano	900
Autopista	1 530
Total de registros	3 061

Fuente: (Autores)

Los micro ciclos seleccionados en cada tramo fueron unidos para generar un ciclo de conducción de la ciudad. En este caso, el tramo extraurbano aportó dos micro ciclos (30, 8), el tramo urbano incluyó cinco micro ciclos (710, 291, 601, 595, 31) y el ciclo de autopista incluyó tres micro ciclos (93, 4, 113), que corresponden al número de clúster elegidos para cada tramo respectivamente.

**Figura 4.22** Ciclo de conducción completo ciudad de Ibarra

En la Figura 4.22 se indica el resultado final de la unión de todos los micro ciclos seleccionados y en la Tabla 4.12 se muestran los valores obtenidos del ciclo de conducción de la ciudad de Ibarra. Los porcentajes de operación en ralentí le micro ciclo fueron 21.86, la operación en aceleración 35.90, la operación en desaceleración 28.72, la operación en estado de conducción crucero fue de 13.53 y la velocidad promedio fue de 33.27 km/h.

Tabla 4.12 Parámetros Ciclo Conducción Completo Ibarra

Parámetros Ciclo Conducción Ibarra	
Variable	Valor
Operación en ralentí [%]	21,86
Operación en aceleración [%]	35,90
Operación en desaceleración [%]	28,72
Operación en cruceo [%]	13,53
Velocidad promedio [km/h]	33,27
Aceleración positiva promedio [m/s ²]	0,45
Desaceleración negativa promedio [m/s ²]	-0,55

Fuente: (Autores)

4.5.2 COMPARACIÓN DEL CICLO OBTENIDO Y OTROS ESTUDIOS

En la Tabla 4.13 se indica la comparación de datos obtenidos en los taxis en cada uno de sus tramos: urbano, extraurbano, autopista y el completo que es el propuesto para la ciudad de Ibarra en este estudio. Se agregaron tres columnas donde se calcularon las diferencias porcentuales entre cada tramo con el ciclo completo.

Tabla 4.13 Comparación de datos entre rutas

PARAMETROS	DATOS DE CADA TRAMO						
	MICRO CICLO URBANO	MICRO CICLO EXTRAURBANO	MICRO CICLO AUTOPISTA	CICLO IBARRA COMPLETO	Completo vs Urbano [%]	Completo vs Extraurbano [%]	Completo vs Autopista [%]
Operación en ralentí [%]	34,89	22,03	14,12	21,86	59,61	0,78	54,82
Operación en aceleración [%]	31,44	35,66	38,63	35,90	14,18	0,67	7,60
Operación en desaceleración [%]	25,78	30,43	29,74	28,72	11,40	5,95	3,55
Operación en cruceo [%]	7,89	11,87	17,52	13,53	71,48	13,98	29,49
Velocidad promedio [km/h]	17,68	31,89	43,01	33,27	88,18	4,33	29,28
Aceleración positiva promedio [m/s ²]	0,56	0,52	0,38	0,45	24,44	15,55	18,42
Desaceleración negativa promedio [m/s ²]	-0,65	-0,60	-0,49	-0,5	30	20	2,04

Fuente: (Autores)

En la Tabla 4.14 se indican las diferencias con ciclos desarrollados en Estados Unidos, Europa, Japón y Hong Kong. Las principales variables presentadas fueron el tiempo, la distancia y la velocidad promedio. En relación a la velocidad promedio, se analizó que el ciclo autopista de Ibarra y el ciclo extraurbano de Hong Kong tenían los valores más altos, mientras que entre los valores más bajos se encontraban el ciclo urbano de Hong Kong y el ciclo MODO 10-15 de Japón.

Tabla 4.14 Comparación con ciclos internacionales

TIPO DE CICLO	Tiempo total transcurrido [s]	Distancia total recorrida [km]	Velocidad promedio [km/h]
Micro ciclo Urbano – Ibarra	900	4,52	17,68
Micro ciclo Autopista – Ibarra	1 530	18,28	43,01
Micro ciclo Extraurbano – Ibarra	631	5,59	31,89
Ciclo conducción – Ibarra	3061	28,29	33,27
Urbano – Hong Kong	1 548	10,30	25,00
Autopista - Hong Kong	1401	14,9	38,31
Extraurbano - Hong Kong	7 147	18,28	44,44
FTP 75 – Estados Unidos	1 874	17,78	34,11
NEDC – Europa	1 180	11,00	33,63
MODO 10-15 - Japón	660	4,16	22,72

Fuente: (Autores)

4.6 ANÁLISIS CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EMISIONES DE CO₂: OBD-II

El análisis de consumo de combustible y emisiones de CO₂ mediante la interfaz OBD-II permite estimar los valores reales de consumo en la ciudad. El elevado consumo de combustible está relacionado directamente con el aumento de emisiones contaminantes. Esta interfaz permite obtener valores para realizar una estadística del consumo real.

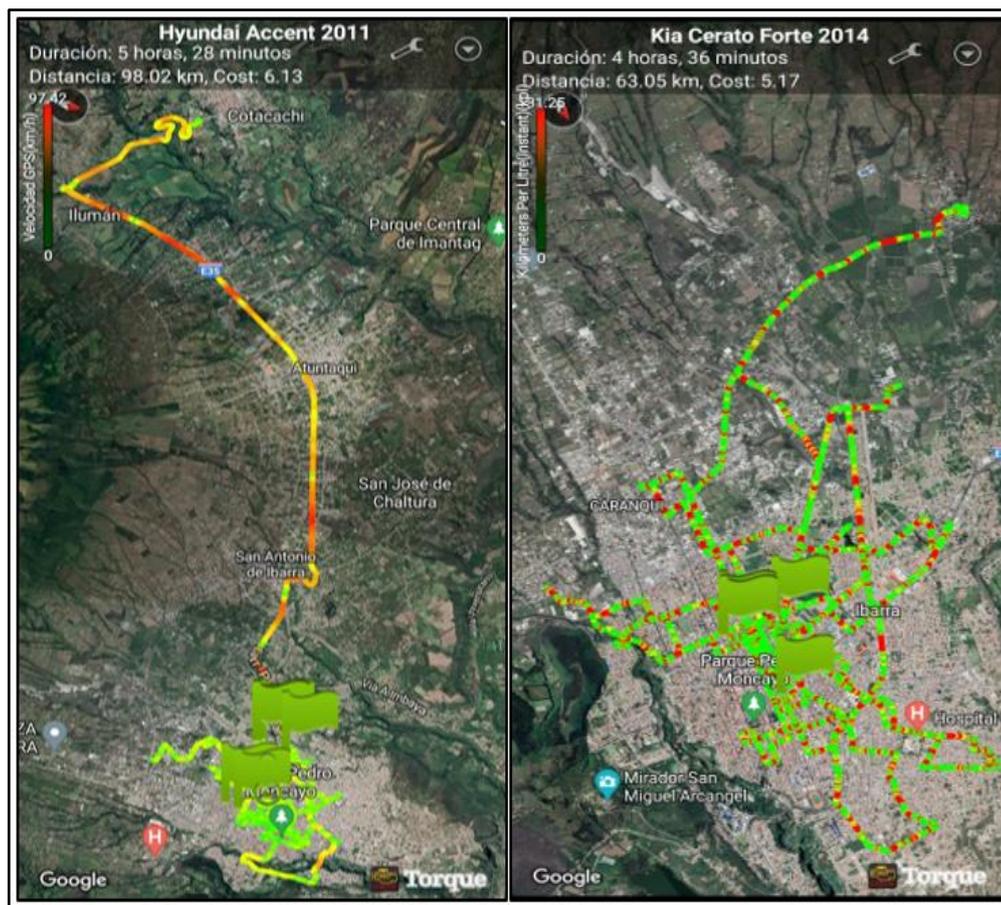


Figura 4.23 Interfaz de la aplicación Torque Pro sección consumo

En la Figura 4.23 se muestra la interfaz de la aplicación Torque Pro después de haber finalizado las pruebas de campo en dos unidades de taxi. Aquí se puede visualizar el mapa de recorrido, donde los colores verde, amarillo y rojo indican zonas con mayor velocidad y mayor consumo. En el lado izquierdo se presentan los datos del consumo de combustible del vehículo Hyundai Accent 2011, con una duración de 5 horas, 28 minutos y una distancia de 98,02 km, con un costo de \$6,13. En el lado derecho, el vehículo de prueba fue un Kia Cerato Forte 2014, con una duración de 4 horas, 36 minutos, una distancia recorrida de 63,05 km y un costo de \$5,17, datos generados por la aplicación.

4.6.1 CONSUMO Y EMISIÓN DE CO₂ TRAMO URBANO

En la Tabla 4.15 se presenta la información general y los valores obtenidos para el tramo urbano. En total fueron evaluados cinco vehículos para este tramo. El factor de consumo de combustible promedio para el tramo urbano fue de 89,92 g/km, el factor de emisión de CO₂ fue de 277,67 g/km y la velocidad promedio km/h fue de 14,08.

Tabla 4.15 Datos de consumo ruta urbana

DATOS DE CONSUMO RUTA URBANA							
Número de Taxi	Factor de consumo de combustible (g/km)	Factor de emisión de CO ₂ (g/km)	Tasa promedio de emisión de CO ₂ (g/s)	Tasa de promedio de consumo (g/s),(l/h)		Velocidad Promedio del vehículo (km/h)	Velocidad promedio del motor (RPM)
Chevrolet Aveo Activo 1.4 2007	89,15	275,29	1,01	0,32	1,60	12,50	1 142,72
Chevrolet Sail 1.4 2018	101,78	314,29	1,23	0,39	1,95	14,02	1 294,83
Kia R 1.4 2015	95,24	294,08	1,13	0,36	1,80	13,69	1 371,44
Kia Cerato Forte 1.6 2014	93,96	290,12	1,38	0,44	2,18	17,05	1 397,76
Hyundai Accent 1.4 2011	69,48	214,55	0,98	0,31	1,55	13,16	1 227,67
Promedio total	89,92	277,67	1,14	0,36	1,81	14,08	1 286,88

Fuente: (Autores)

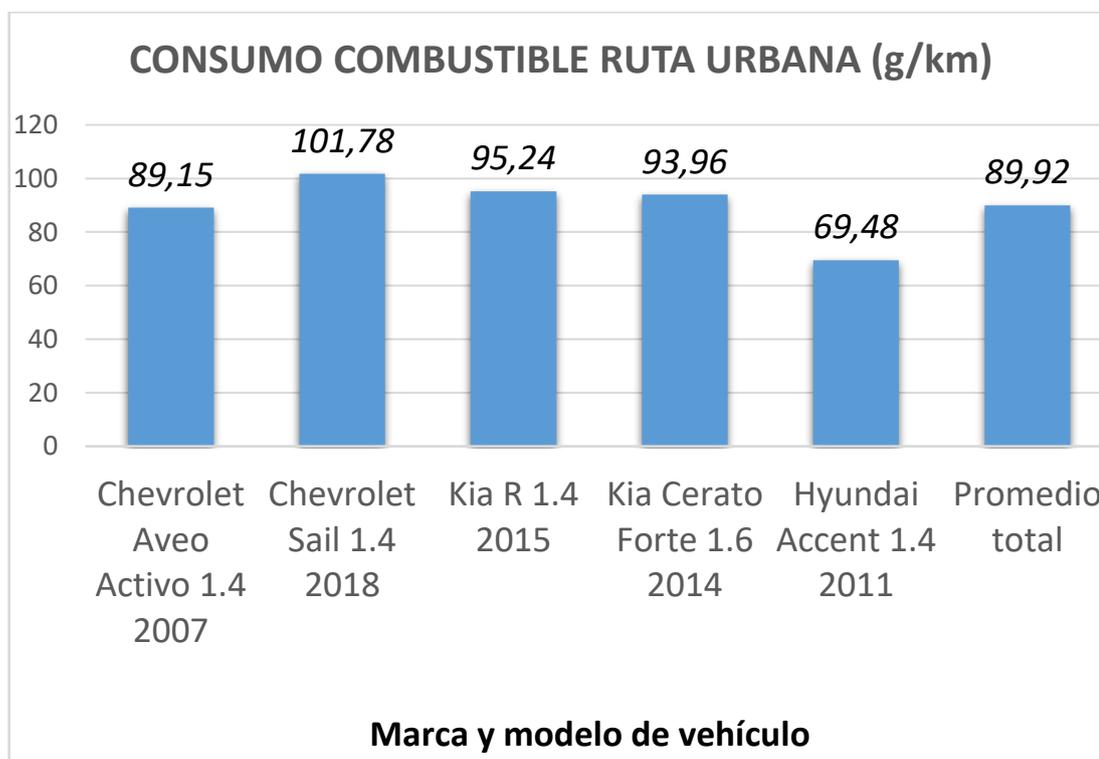


Figura 4.24 Consumo de combustible por unidad de taxi ruta Urbana

En la Figura 4.24 se indican las diferencias de consumo de combustible en la ruta urbana. En general, este tramo se generó el mayor consumo y los taxis que registran valores más altos fueron la unidad 2 y la unidad 6, pertenecientes a los modelos Chevrolet Sail 1.4 2018 y Kia Rio R 1.4 2015, respectivamente.

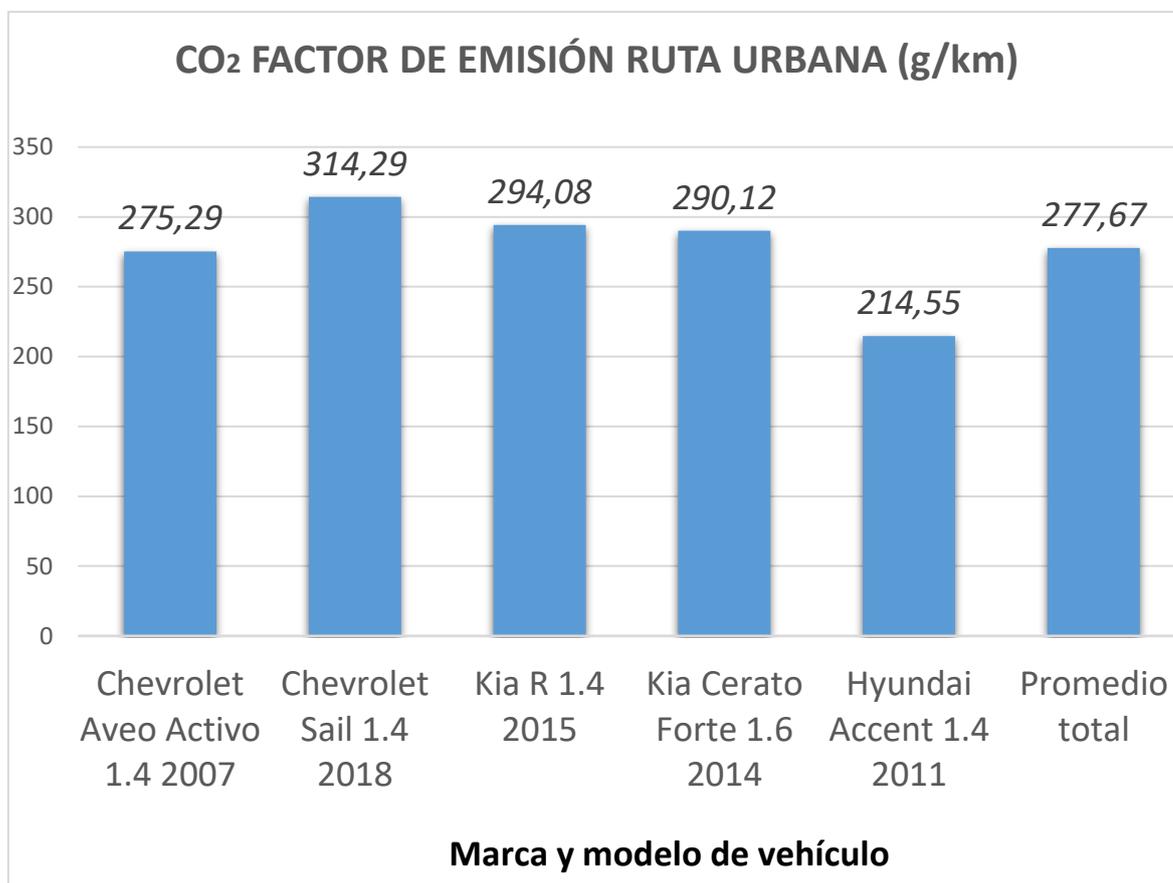


Figura 4.25 Emisión de CO₂ por unidad de taxi ruta urbana

En la Figura 4.25 se indican los datos de emisión de CO₂ de cada taxi en la ruta urbana. Los vehículos con registros más elevados fueron la unidad 2 y la unidad 6, mientras que los registros más bajos correspondieron a la unidad 1 y 8, pertenecientes a los modelos Chevrolet Aveo Activo 1.4 2007 y Hyundai Accent 1.4 2011 respectivamente.

4.6.2 CONSUMO Y EMISIÓN DE CO₂ TRAMO EXTRAURBANO

En la Tabla 4.16 se presentan los valores de consumo de combustible obtenidos para el tramo extraurbano. El factor promedio de consumo de combustible para el tramo extraurbano fue de 64,36 g/km, y el factor promedio de emisión de CO₂ fue de 198,72 g/km. Estos valores fueron menores que los de la zona urbana, ya que se trató de un tramo de 12 kilómetros con

una vía de primer orden con pocos semáforos y rotondas. Fue una vía rápida utilizada para descongestionar el tráfico vehicular.

Tabla 4.16 Datos de consumo ruta extraurbana

DATOS DE CONSUMO RUTA EXTRAURBANA							
Número de Taxi	Factor de consumo de combustible (g/km)	Factor de emisión de CO ₂ (g/km)	Tasa promedio de emisión de CO ₂ (g/s)	Tasa de promedio de consumo (g/s),(l/h)		Velocidad Promedio del vehículo (km/h)	Velocidad promedio del motor (RPM)
Chevrolet Aveo Activo 1.4 2007	51,36	158,6	1,76	0,57	2,80	40,11	1 821,90
Chevrolet Sail 1.4 2008	78,84	243,45	1,97	0,64	3,13	29,24	1 634,62
Kia R 1.4 2015	62,87	194,12	1,69	0,54	2,68	31,34	1 774,08
Promedio Total	64,36	198,72	1,86	0,60	2,95	33,78	1 805,16

Fuente: (Autores)

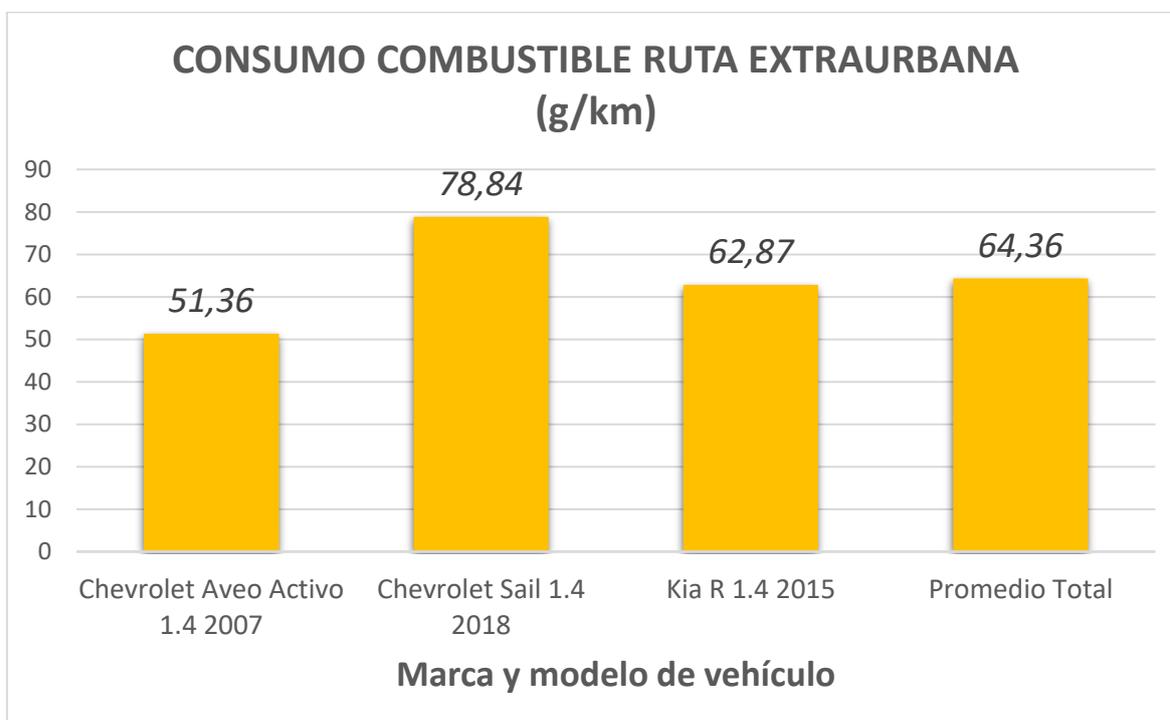


Figura 4.26 Consumo de combustible por unidad de taxi ruta Extraurbana

En la Figura 4.26 se indican las diferencias de consumo de combustible en la ruta extraurbana. En general el consumo en este tramo es menor debido a la mínima circulación de los taxis por esta ruta sin embargo el taxi que mayor consumo tuvo fue el Chevrolet Sail 1.4 2018.

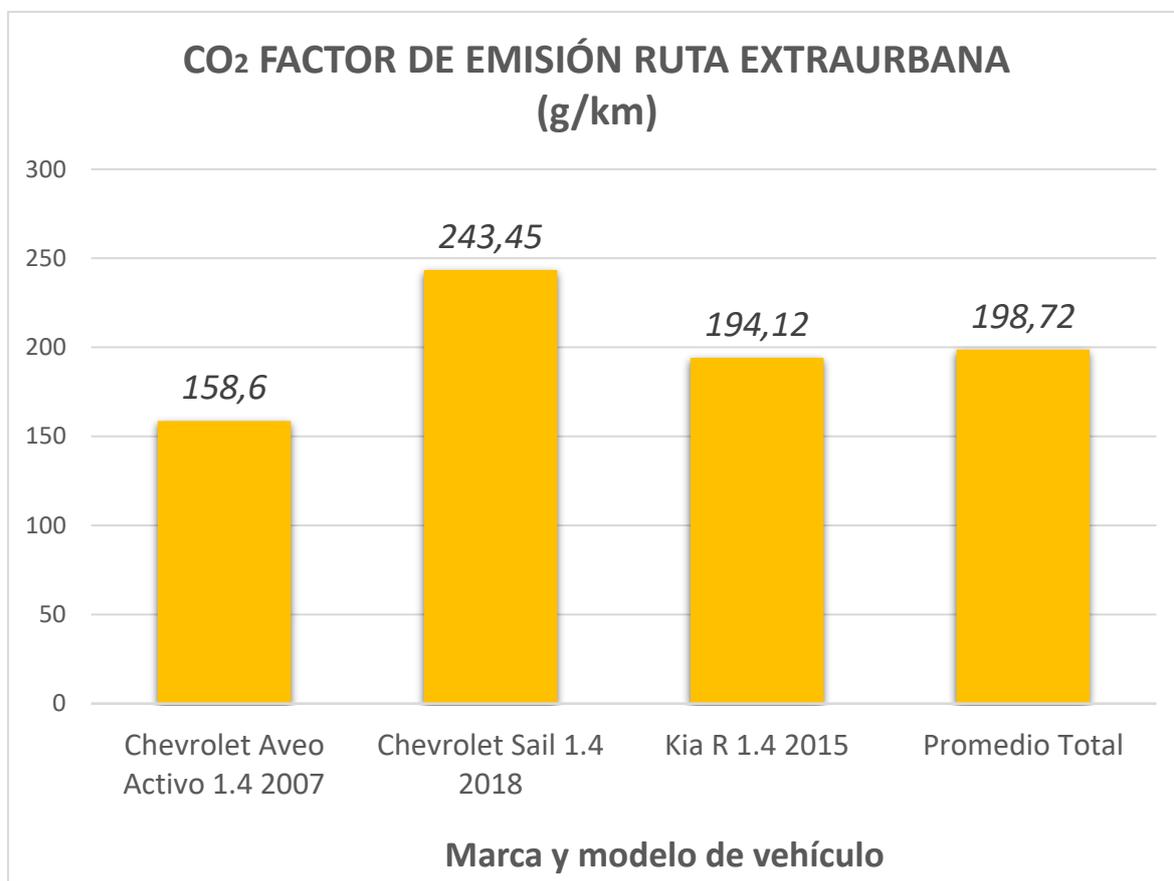


Figura 4.27 Emisión de CO₂ por unidad de taxi ruta extraurbana

En la Figura 4.27 se indican los datos de emisión de CO₂ de cada taxi en la ruta extraurbana. El vehículo con el registro más elevado fue el Chevrolet Sail 1.4 2018, mientras que los registros más bajos correspondieron a la unidad 1, perteneciente al modelo Chevrolet Aveo Activo 1.4 2007.

4.6.3 CONSUMO Y EMISIÓN DE CO₂ TRAMO AUTOPISTA

En la Tabla 4.17 se indican los valores obtenidos para el tramo de autopista. El factor promedio de consumo de combustible para el tramo de autopista fue de 73,79 g/km, y el factor de emisión de CO₂ fue de 227,84 g/km. Estos valores fueron ligeramente mayores que los de la zona extraurbana, ya que se trató de un tramo de 15 kilómetros con una vía de

primer orden con más presencia de semáforos y rotondas. Fue una vía con congestión vehicular en la entrada norte de la ciudad.

Tabla 4.17 Datos de consumo ruta autopista

DATOS DE CONSUMO RUTA AUTOPISTA							
Número de Taxi	Factor de consumo de combustible (g/km)	Factor de emisión de CO ₂ (g/km)	Tasa promedio de emisión de CO ₂ (g/s)	Tasa de promedio de consumo (g/s);(l/h)		Velocidad Promedio del vehículo (km/h)	Velocidad promedio del motor (RPM)
Chevrolet Aveo Activo 1.4 2007	59,44	183,44	1,25	0,40	1,98	24,53	1 508,13
Chevrolet Sail 1.4 2008	95,68	295,5	1,19	0,38	1,90	14,61	1 331,00
Kia R 1.4 2015	71,14	219,66	1,57	0,51	2,50	25,88	1 676,45
Kia Cerato Forte 1.6 2014	68,9	212,76	1,88	0,60	2,98	31,84	1 699,16
Promedio total	73,79	227,84	1,49	0,48	2,38	25,06	1 573,12

Fuente: (Autores)

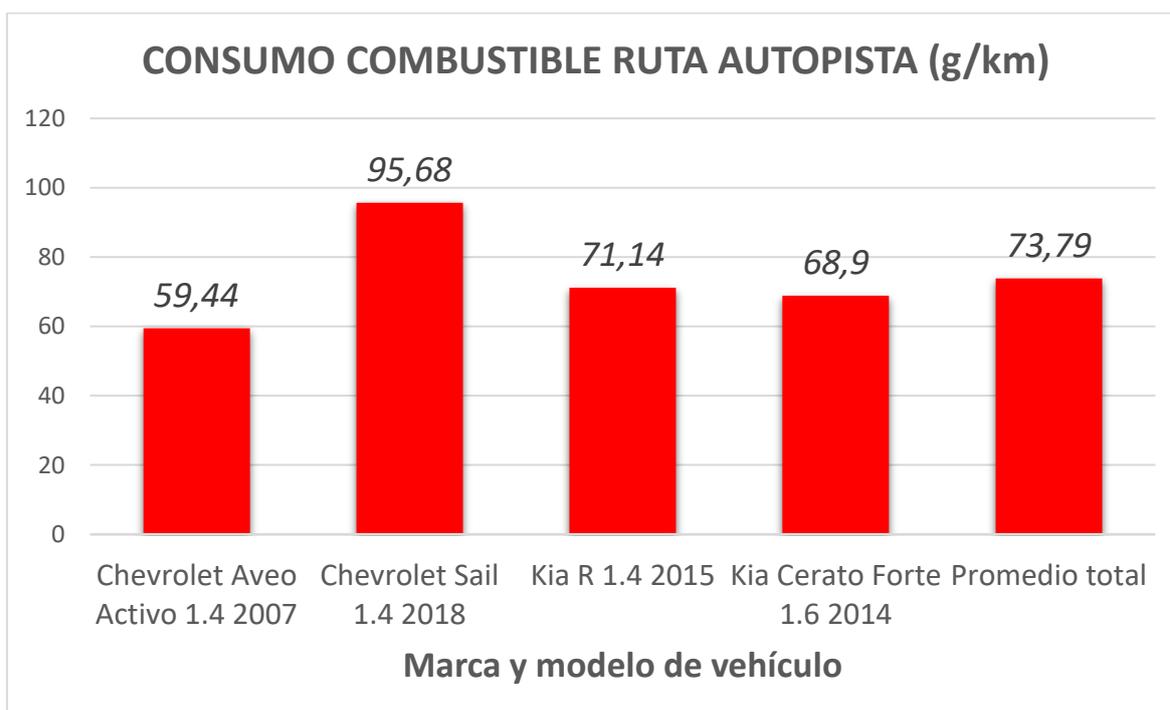


Figura 4.28 Consumo de combustible por unidad de taxi ruta Autopista

En la Figura 4.28 se indican las diferencias de consumo de combustible en la ruta autopista. En general, el consumo en este tramo es menor que el urbano. La unidad 2 registró el valor más elevado con 95,68 g/km y la unidad 1 registro el valor más bajo con 59,44 g/km de consumo de combustible en esta ruta.

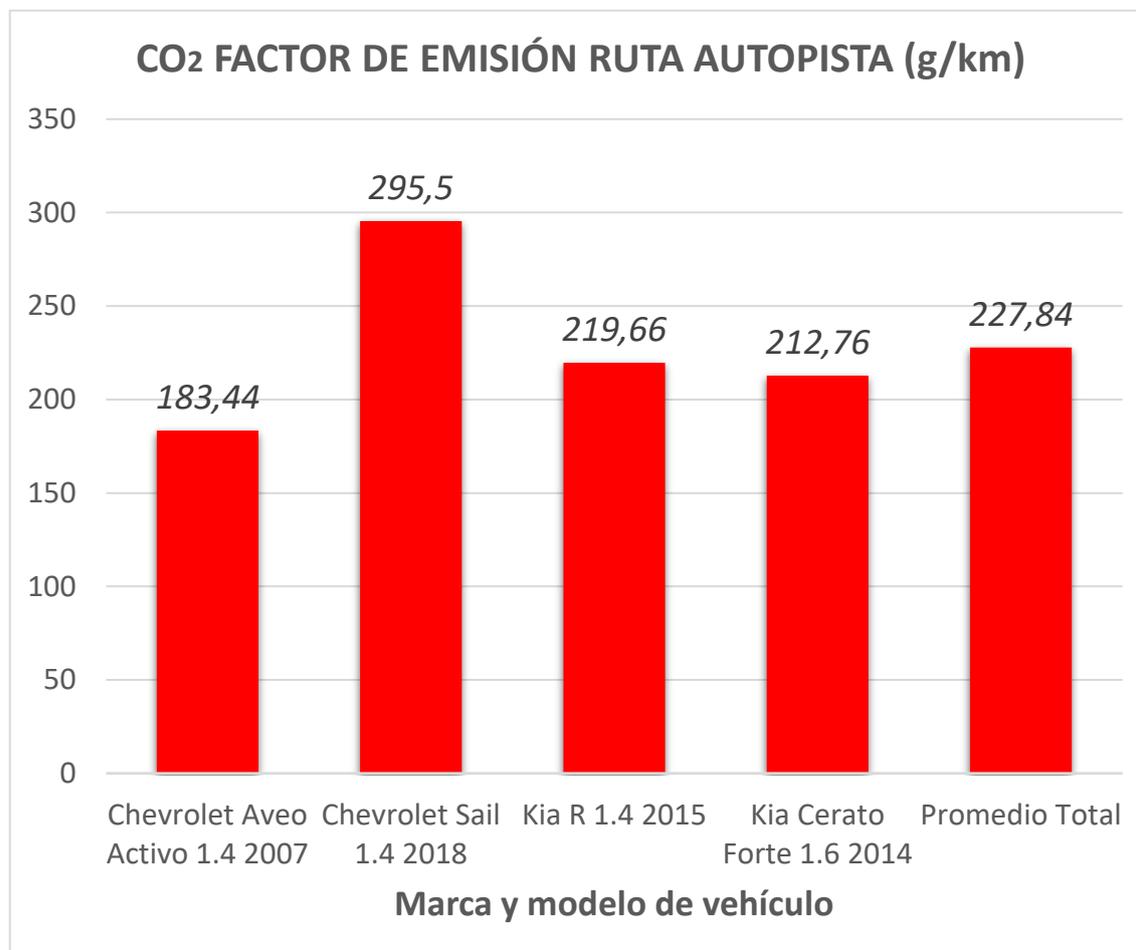


Figura 4.29 Emisión de CO₂ por unidad de taxi ruta autopista

En la Figura 4.29 se indican los datos de emisión de CO₂ de cada taxi en la ruta autopista. Los vehículos con registros más elevados fueron la unidad 2 y la unidad 6, mientras que los registros más bajos correspondieron al Chevrolet Aveo Activo 1.4 2007, con un valor de 183,44 g/km es el taxi que mayor emisión generó en esta ruta.

4.6.4 COMPARACIÓN DE CONSUMO Y EMISIÓN CON OTROS CICLOS

Los consumos obtenidos previamente para cada tramo de estudio se compararon de forma escalar y gráfica. Al comparar el consumo de combustible directamente desde los datos registrados en la interfaz se puede determinar que el tramo urbano genera mayor consumo por la gran cantidad de intersección, semáforos y tráfico.

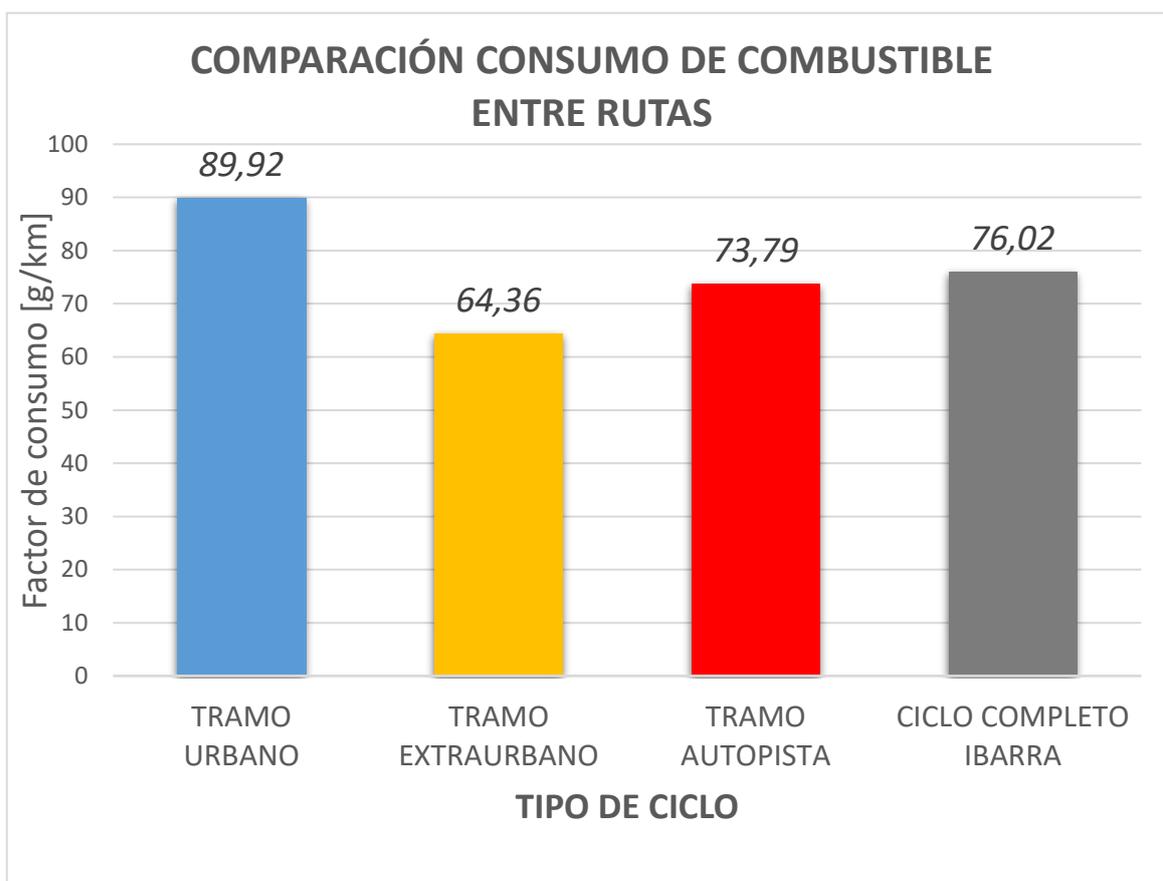


Figura 4.30 Comparación de consumo de combustible por tipo de ruta

En la Figura 4.30 se indican los valores del consumo de combustible en gramos por kilómetro de cada ruta de estudio. La zona de mayor consumo fue la ruta urbana con un valor de 89,92 g/km, seguida de la ruta de autopista con 73,79 g/km, la ruta extraurbana con 64,36 g/km y finalmente se promediaron los tres ciclos y se genera como resultado el ciclo completo con un valor de 76,02 g/km.

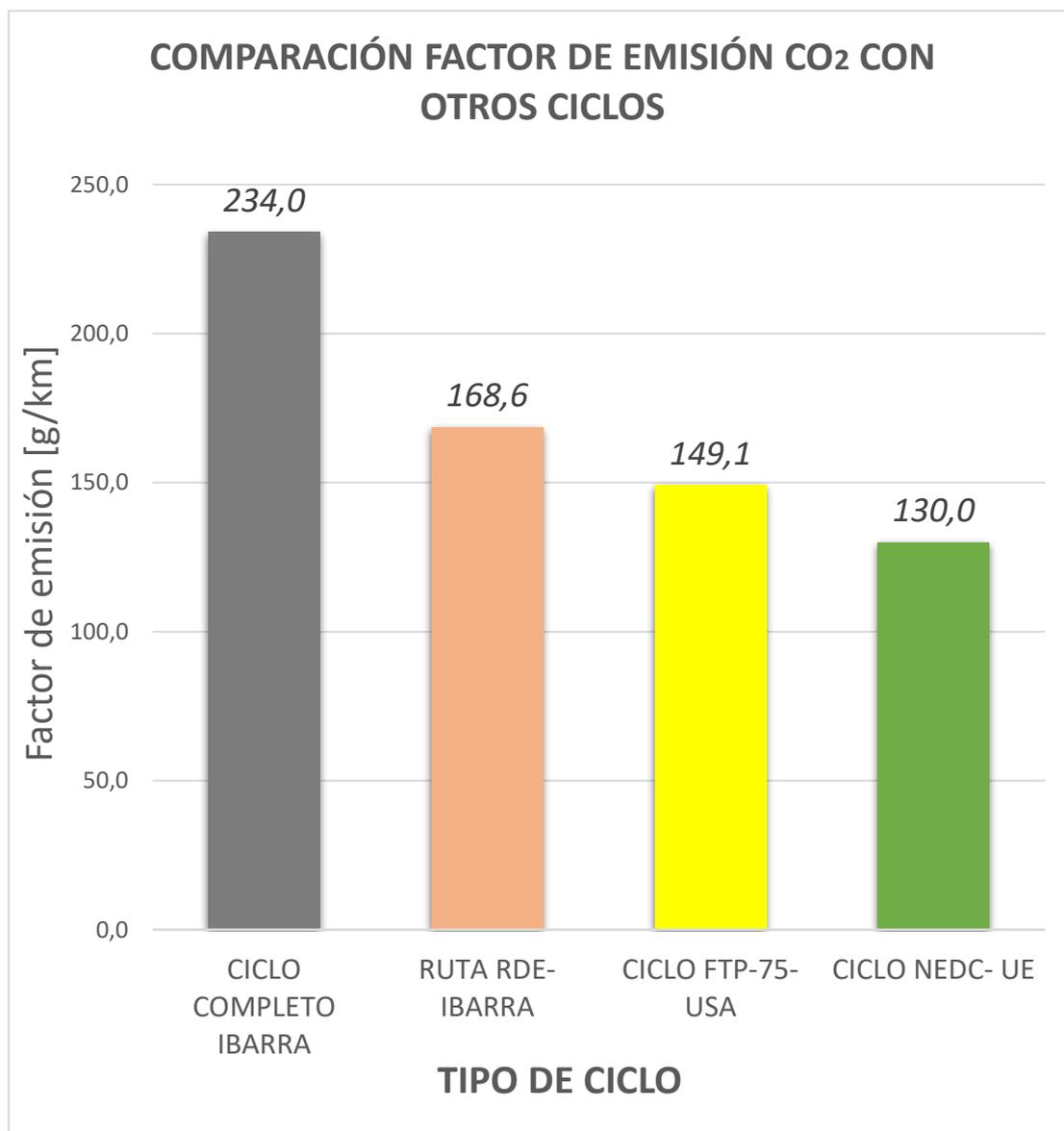


Figura 4.31 Comparación valores de factor de emisión de CO₂ con otros ciclos

En la Figura 4.32 se indica una comparación de los valores del factor de emisión de CO₂ obtenidos en la ciudad con otros ciclos. Claramente se puede observar que el mayor factor de emisión de CO₂ se encuentra en el ciclo Ibarra con un valor de 234 g/km, seguido por la ruta RDE con 168,6 g/km, el ciclo FTP-75 con 149,1 g/km, el ciclo NEDC con 130 g/km.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se instalaron ocho dispositivos GPS loggers (GL-770), de montaje superficial, para registrar las variables cinemáticas de varios taxis de la ciudad de Ibarra. Estas variables fueron principalmente, distancia, tiempo y velocidad. Se utilizó una frecuencia de muestreo de 1 Hz y se logró grabar hasta 47 horas seguidas y un promedio de 281 km registrados cada dos días de trabajo de los vehículos.
- En el levantamiento de los datos del GPS se monitorearon en total 8 taxis durante dos semanas, recolectando 3 registros de grabación por semana, obteniendo un total de 48 registros como base de datos de este estudio. Cada registro de incluye aproximadamente 47 horas de grabación. Se obtuvo información de días laborables comunes y fines de semana. En total se registraron aproximadamente 1600 horas de grabación.
- Los datos de la campaña experimental fueron procesados en R Studio para desarrollar los ciclos de conducción de los taxis. La metodología aplicada para construir los ciclos incluye principalmente cuatro etapas: (i) remoción de registros grabados cuando los taxis no estaban operando, (ii) definición de microciclos en función del tiempo máximo de circulación continua (140- 200 segundos) del vehículo, considerando que las velocidad inicial y final del microciclo es 0 km/h, (iii) ejecutar un proceso de clustering k-means para agrupar los microciclos basado en un análisis de correlación de aproximadamente 13 variables cinemáticas y (iv) ensamblaje de microciclos para formar un ciclo de conducción representativo para la zona urbana, extraurbana y autopista.
- El ciclo de conducción completo, que abarca las tres zonas de la ciudad, presenta las siguientes características: una duración de 3000 segundos, una distancia recorrida de 29 kilómetros, una velocidad promedio de 33 km/h, una aceleración positiva de 0.45 m/s² y un porcentaje de ralentí de aproximadamente 22%. Cabe destacar que aproximadamente el 90% del tiempo de circulación de los taxis se realiza en zonas urbanas.

- Para registrar el consumo de combustible de los vehículos se utilizó una interfaz OBD-II, la cual obtiene información de la inyección de combustible directamente de la ECU del vehículo. Estas pruebas fueron desarrolladas en 5 modelos de taxis, donde cada registro duro aproximadamente 4 horas, obteniendo un total de 20 horas de grabación. Por otro lado, los registros de consumo de combustible junto con la ecuación de estequiometría de combustión fueron aplicados para el cálculo de las emisiones de CO₂ de cada modelo de vehículo.
- En general, los factores de consumo de combustible y emisiones de CO₂ obtenidos fueron de 76,59 y 236 g/km, respectivamente. Como era de esperarse, el factor de emisión de CO₂ más elevado corresponde a la sección urbana con un valor de 284 g CO₂/km, mientras que en la sección extraurbano se obtuvo el menor factor con un valor de 201g CO₂/km. Entre los vehículos evaluados el modelo XXX fue el que mostro un mayor consumo, mientras que el vehículo YY mostro la mayor eficiencia.

5.2 RECOMENDACIONES

- Durante la campaña experimental, el horario de entrega de los dispositivos GPS a los taxistas fue irregular, debido a que no existe una buena predisposición de los propietarios de los vehículos y de los conductores para permitir la instalación de los equipos en los vehículos, sobre todo la interfaz OBD. Para superar esta limitación, se debe gestionar previamente con los directivos de la operadora de transporte mediante una carta de compromiso la asignación de vehículos y horarios disponibles para la ejecución del levantamiento de datos.
- Para realizar la recolección de datos de consumo de combustible se utilizó una interfaz OBD con una aplicación de celular. En la campaña experimental de este estudio, solo se contó con un teléfono celular, por lo cual solo no se pudo monitorear simultáneamente varios vehículos, a pesar de tener interfaces OBD disponibles. En futuros trabajos, se sugiere proveer la disponibilidad de mínimo tres teléfonos, para lograr obtener una mayor cantidad de datos, así como también para registrar datos experimentales en franjas horarias más amplias.
- Asegurarse de que los vehículos que participarán en la campaña experimental hayan pasado la revisión vehicular, para evitar inconvenientes en la recolección de datos, con el fin de asegurar un adecuado funcionamiento de los vehículos durante el estudio.
- Como parte del pre procesamiento de datos, se podría mejorar el código desarrollado en RStudio para mejorar la velocidad de procesamiento de datos, sobre todo porque el código propuesto en el presente trabajo incluye varias funciones de bucle anidadas que hacen que el procesamiento de los datos sea lento, sin embargo, se garantiza la confiabilidad de los resultados obtenidos.
- En el presente estudio se demostró que es posible utilizar registros de consumo de combustible desde el sistema OBD del vehículo, sin embargo, para futuros trabajos sería la instalación de sensores de flujo de combustible para monitorear físicamente los flujos de consumo de combustible. De hecho, se podría estimar el margen de error entre las medidas estimadas por el sistema OBD y las obtenidas experimentalmente usando sensores de flujo.
- Para futuros trabajos relacionadas a desarrollos de ciclos de conducción, se sugiere la aplicación de otras técnicas de clustering diferentes a K-means y entonces analizar

cómo podrían variar los ciclos de conducción. Entre las técnicas de clustering revisadas en la bibliografía se puede sugerir: Algoritmo de agrupamiento DBSCAN y Algoritmo de mezcla Gaussiana.

- El método propuesto en el presente estudio para desarrollar ciclos de conducción en taxis, podría potencialmente ser aplicado para la determinación de ciclos de conducción en autobuses de transporte público, así como también en flotas de camiones. Además, sería relevante aplicar el método del presente estudio desarrollado en la ciudad de Ibarra, en la flota de taxis de otra ciudad que tengan una mayor población, tales como Quito o Guayaquil, donde existen condiciones de congestión vehicular más severas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguirre, C. (2014). Metodología para cálculo del desempeño energético vehicular tridimensional en ciclos de conducción de Bogotá 2014.
2. Araya, D. (2008). Metodología de emisiones vehiculares y potencia específica.
3. Astudillo, R. (2016). Obtención de ciclos de conducción para la flota de buses urbanos del cantón Cuenca.
4. Beer, F., Johnston, R., & Eisenberg, E. (n.d.). Mecánica vectorial para ingenieros Estática 8Ed.pdf.
5. Caballero, A. (2011). Análisis de emisiones de vehículos livianos según ciclos de conducción específicos para la región metropolitana. 185. http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-caballero_mm/pdfAmont/cf_caballero_mm.pdf
6. Camarena, F. (2010). Diseño Del Embrague De Un Vehículo. <https://core.ac.uk/download/pdf/30045514.pdf>
7. Carrasco, A., & Quinones, L. (2007). Física I: estática y cinemática (2a. ed.). Grupo Editorial Exodo. <https://elibro.net/es/lc/areandina/titulos/130346>
8. Castillo, J., Rojas, V., & Martínez, J. (2017). Determinación del torque y potencia de un motor de combustión interna a gasolina mediante el uso de bujía con sensor de presión adaptado y aplicación de un modelo matemático. Revista Politécnica-Abril, 39(1).
9. Chiriboga, N. (2018). Análisis de emisiones de CO₂ del transporte en la ciudad de Ibarra.
10. Consejo Nacional de Planificación. (2017). Plan Nacional del Buen vivir 2017-2021. Educational Research, 1, 150. <http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/07/Plan-Nacional-para-el-Buen-Vivir-2017-2021.pdf>
11. Cusco, L. (2019). Caracterización de la respuesta dinámica en aceleración de un vehículo Aveo 1.6 en función de los Pids obtenidos a través de Obd II.
12. Davila, O., & Vasquez, G. (2005). Manual de conducción eficiente. https://www.changing-transport.org/wp-content/uploads/E_K_GIZ_Manual-de-Conduccion-Eficiente.pdf
13. Gonzalez, D. (2017). Estimación de patrones de conducción en una vía del sur de Cali para el cálculo de las emisiones atmosféricas con el modelo IVE.

14. Gonzalez, M. (2011). Los medios de transporte en la ciudad, un análisis comparativo. In Realización audiovisual (Issue August).
15. Granda, W. O. (2021). Tema : Elaboración de un manual de manejo Ecodriving para vehículos M1 en Guayaquil .
16. Granell, A. (2015). Mantenimiento del automovil. <https://www.eduardono.com/agricola/blog/blog-detalles/motores-gasolina-vs-motores-diesel-cual-elegir>
17. Guayanlema, V. (2013). Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector transporte al 2012. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9).
18. Hernandez, H. (2016). Caracterización de ciclos de conducción utilizando una tableta Android y bus CAN.
19. Hung, W. T., Tong, H. Y., Lee, C. P., Ha, K., & Pao, L. Y. (2007). Development of a practical driving cycle construction methodology: A case study in Hong Kong. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12(2), 115–128. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2007.01.002>
20. Ibañez, S., Gisbert, J., & Moreno, H. (2010). Sistema de coordenadas geográficas. Universidad Politécnica de Valencia.
21. IDAE. (2002). Manual de conducción eficiente para conductores del parque móvil del estado. Instituto Para La Diversificación y Ahorro de La Energía, 39.
22. Iglesias, S. (2019). Análisis sobre el transporte en automóviles de propulsión alternativa.
23. INEN. (2006). Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2002.
24. Jing, Z., Wang, G., Zhang, S., & Qiu, C. (2017). Building Tianjin driving cycle based on linear discriminant analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 53, 78–87. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.04.005>
25. López, J. (2015). Sistema de transmisión para vehículo de tracción trasera y motor delantero.
26. López, S. (2018). Transporte, movilidad, desarrollo urbano y medio ambiente una necesidad en la ciudad de Ibarra.

27. Molina, B. (2020). Análisis de un motor de ciclo Otto ante diferentes factores atmosféricos mediante un estudio comparativo de parámetros de identificación para obtener el rendimiento energético.
28. Morales, M., & Hernández, A. (2014). Tipos de combustible de aviación. <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt417.pdf>
29. Narváez E, A. Narváez S, A. (2023). Desarrollo de ruta de ensayo RDE en el cantón Ibarra.
30. Obando, J. (2009). Desarrollo de una metodología para calcular un ciclo de conducción urbano para obtener la eficiencia energética en vehículos automotores.
31. Ochoa, M., & Salazar, H. (2018). Estudio para la optimización del combustible en la operación de taxis de la ciudad de san miguel de Ibarra.
32. Olmedo, S. (2012). Manual de cinemática y dinámica.
33. Ortega, C. (2018). Análisis del comportamiento del transporte público a nivel mundial. Universidad Particular Internacional SEK, April, 1–98. [https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/1528/1/Análisis Del Comportamiento Del Transporte Público A Nivel M.pdf](https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/1528/1/Análisis%20Del%20Comportamiento%20Del%20Transporte%20Público%20A%20Nivel%20M.pdf)
34. Ortega, F., & Arévalo, G. (2016). Desarrollo de una interfaz para la visualización y adquisición de datos provenientes de la ECU a través de OBD-II mediante un dispositivo de comunicación serial y del analizador de gases Qrotech 6000.
35. Pintos, B. (2011). Desarrollo de una metodología para generación de ciclos de conducción representativos del tráfico real urbano. Aplicación para medida de emisiones en banco de rodillos. <https://oa.upm.es/9437/>
36. Prodanoff, F. (2019). Física Unidad 4: Cinemática. Seminario Universitario. Material Para Estudiantes. https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/secretarias/sac/ingreso/archivos/Unidad_4_fisica.pdf
37. Quinchimbla, F. E., & Solís, J. M. (2015). Desarrollo de ciclos de conducción en ciudad, carretera y combinado para evaluar el rendimiento real del combustible de un vehículo con motor De ciclo Otto en el distrito metropolitano de Quito. In Escuela Politécnica Nacional. <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17000/1/CD-7578.pdf>

38. Rodríguez, D. (2021). Análisis de congestión vehicular generada por establecimientos educativos en el hipercentro de la ciudad de Ibarra. Tesis.
39. Romero, B. (2017). Desarrollo de aplicación para la obtención de bins de entrada de patrones de conducción de acuerdo al modelo internacional de emisiones vehiculares (IVE).
40. Tejada, M., Transporte, E., Urbano, C., & Sistemas, E. De. (2002). El transporte colectivo urbano: aplicación del enfoque de sistemas para un mejor servicio. *Fermentum. Revista Venezolana de Sociología y Antropología*, 12(34), 285–302.
41. Tenelanda, C., & Hidalgo, L. (2013). Construcción e implementación de un banco didáctico del sistema diferencial, con su plan de mantenimiento para la escuela de Ing. Automotriz.
42. Tong, H. Y., Hung, W. T., & Cheung, C. S. (2000). On-road motor vehicle emissions and fuel consumption in urban driving conditions. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 50(4), 543–554. <https://doi.org/10.1080/10473289.2000.10464041>