



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

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

DESARROLLO DE RUTA DE ENSAYO RDE EN EL CANTÓN IBARRA

AUTORES: NARVÁEZ ESPINOSA KEVIN ANDRÉS

NARVÁEZ SOSA ANDERSON MIGUEL

DIRECTOR: ING. FREDY ROSERO Ph.D.

Ibarra, Febrero 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 "DESARROLLO DE RUTA DE ENSAYO RDE EN EL CANTÓN IBARRA" presentado por el señor: Narváez Espinosa Kevin Andrés con número de cédula 1005123417 y por el señor: Narváez Sosa Anderson Miguel con número de cédula 1003880703 , 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 14 días del mes Febrero del 2023

Atentamente



Ing. Fredy Rosero Ph.D
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



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:	1005123417		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Narváz Espinosa Kevin Andrés		
DIRECCIÓN:	Ibarra, Juan de la roca y Jorge Viteri		
EMAIL:	anarvaeze@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062 511 848	TELÉFONO MÓVIL:	0987314875


DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Desarrollo de ruta de ensayo RDE en el cantón Ibarra
AUTOR (ES):	Narváz Espinosa Kevin Andrés Narváz Sosa Anderson Miguel
FECHA: DD/MM/AAAA	14/02/2023
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:	Ing. Fredy Rosero Ph.D

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 14 días del mes de Febrero de 2023

EL AUTOR:



Nombre: Narváz Espinosa Kevin Andrés



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:	1003880703		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Narváez Sosa Anderson Miguel		
DIRECCIÓN:	Otavalo, Carrillo Vargas y Bolívar		
EMAIL:	amnarvaezs@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062 635 399	TELÉFONO MÓVIL:	0985692662

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Desarrollo de ruta de ensayo RDE en el cantón Ibarra
AUTOR (ES):	Narváez Espinosa Kevin Andrés Narváez Sosa Anderson Miguel
FECHA: DD/MM/AAAA	14/02/2023
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:	Ing. Fredy Rosero Ph.D

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 14 días del mes de Febrero de 2023

EL AUTOR:

Nombre: Narváez Sosa Anderson Miguel

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado es dedicado a mis padres Oscar Narváez y Elvia Espinosa por todo el apoyo brindado a lo largo de mi educación, por no perder la confianza en mí y por apoyar las decisiones que he tomado a lo largo de estos años, apoyo sin el cual no hubiese podido conseguir estos objetivos.

A mis hermanos Oscar y Pablo por ser un ejemplo a seguir a lo largo de estos años y demostrar que aun cuando las circunstancias cambian la vida sigue y que las situaciones más difíciles permiten sacar nuestras mejores fortalezas.

A ti Belén por todo el apoyo y persistencia a lo largo de mi vida universitaria, por estar siempre a mi lado en los momentos difíciles y cuando las circunstancias no han sido las mejores, con las palabras y acciones de apoyo necesarias para poder culminar con éxito esta etapa.

Andrés Narváez

El presente trabajo de grado es dedicado a mis padres Rosa Sosa y Luis Narváez, sus esfuerzos fueron muy importantes para poder alcanzar esta carrera profesional.

Anderson Narváez

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Técnica del Norte, que gracias a la pasión y entrega de sus docentes han sabido guiarme a lo largo de estos años a través de las maravillosas enseñanzas de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, tengo la capacidad de desempeñarme en el ámbito laboral con seguridad y honestidad.

Un agradecimiento especial al Ing. Fredy Rosero tutor de este trabajo, por todos los conocimientos impartidos para el desarrollo exitoso del mismo y que en conjunto con las observaciones del Ing. Ramiro Rosero y el Ing. Fausto Tapia han hecho posible realizar un trabajo de excelencia del cual me siento orgulloso.

Finalmente, un agradecimiento especial a todas las personas que he logrado conocer a lo largo de mis años universitarios y de las cuales he aprendido enseñanzas maravillosas tanto en la vida personal como en conocimientos técnicos y que aun cuando no se encuentran entre nosotros siguen impartíendome enseñanzas con sus recuerdos.

Andrés Narváez

Deseo agradecer a Dios, por permitirme adquirir el conocimiento para desenvolverme en la vida académica y culminar mis estudios. Además, a mis padres por su esfuerzo y consejos. Asimismo, a mis amigos y conocidos por la solidaridad y amistad que demostraron cada día, especialmente a mi compañero Kevin Narváez, por su dedicación y el fundamental trabajo que realizó en el desarrollo de este proyecto.

De la misma manera, a la prestigiosa Universidad Técnica del Norte, que ha puesto a disponibilidad de nosotros los estudiantes instalaciones cómodas y recursos valiosos. Además, a todos los docentes quienes me brindaron su apoyo, sabiduría, guía y experiencias, y como olvidar, al demás personal que la compone, quiénes me ofrecieron su servicio de forma oportuna y adecuada.

Anderson Narváez

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
GLOSARIO	xviii
CAPÍTULO I	1
1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Objetivos	1
1.1.1 Objetivo general	1
1.1.2 Objetivos específicos	1
1.2 Alcance	1
1.3 Justificación	2
1.4 Análisis de la movilidad en el cantón Ibarra	3
1.4.1 Ibarra cantón promedio dentro del Ecuador	4
1.4.1.1 Población	4
1.4.1.2 Vehículos matriculados	5
1.4.1.3 Temperatura y altitud	6
1.4.2 Cantón Ibarra en la actualidad	7
1.4.2.1 Topografía del cantón	7
1.4.2.2 Límites de velocidad	7
1.4.2.3 Vías en el cantón	8
1.4.2.4 Puntos principales de Ibarra	9
1.4.3 Vías principales del cantón Ibarra	11
1.4.3.1 Vías con mayor afluencia en la ciudad de Ibarra	11
1.4.3.2 Vías con mayor tráfico en la ciudad de Ibarra	13
1.4.4 Cooperativas de buses de transporte público de la ciudad de Ibarra	14
1.4.4.1 Cooperativas de buses urbanos	14
1.4.4.2 Cooperativas de transporte interparroquial	17

1.4.4.3	Cooperativas de transporte interprovincial	17
1.5	Emisiones vehiculares	18
1.5.1	Factores de emisión de la ciudad de Ibarra	19
1.5.2	Normativa ecuatoriana de emisiones contaminantes	21
1.5.3	Efectos de las emisiones vehiculares en el mundo	22
1.5.3.1	Material particulado (PM)	22
1.5.3.2	Óxido nitroso (N ₂ O)	22
1.5.3.3	Dióxido de carbono (CO ₂)	23
1.5.3.4	Monóxido de carbono (CO)	23
1.5.3.5	Dióxido de azufre (SO ₂)	23
1.5.3.6	Óxidos de nitrógeno (NO _x)	24
1.5.3.7	Compuestos orgánicos volátiles (COV)	24
1.5.3.8	Hidrocarburos (HC)	24
1.6	Desarrollo de la normativa de emisiones de Europa	25
1.6.1	Normativa (EU) 2017/1151	25
1.6.1.1	Altitudes consideradas en los rangos de prueba	26
1.6.1.2	Arranque en frío	26
1.7	Ciclo de conducción	26
1.7.1	Diferencias entre ciclo NEDC y WLTP	28
1.7.2	Ensayo de emisiones de conducción real (RDE)	29
1.7.2.1	Implementación de la prueba RDE	30
1.7.2.2	Características de las rutas de conducción	31
1.7.3	Sistema de navegación por satélite con cobertura mundial (GNSS)	32
1.7.3.1	Funcionamiento del posicionamiento GNSS	33
1.7.3.2	Sistema de posicionamiento global (GPS)	37
1.8	Dinámica Vehicular	38
1.8.1	Fuerza de tracción	38
1.8.1.1	Fuerza de resistencia a la rodadura	40
1.8.1.2	Fuerza de resistencia del viento	41
1.8.1.3	Fuerza de resistencia por la pendiente	42
1.8.1.4	Fuerza de resistencia a la aceleración	43
1.8.2	Potencia de tracción y energía de tracción	44

CAPÍTULO II	47
2 MATERIALES Y MÉTODOS	47
2.1 Determinación de parámetros de ruta RDE	47
2.2 Selección de equipo y vehículo	48
2.2.1 Selección de equipos	48
2.2.1.1 CANedge2	49
2.2.1.2 CANmod.gps	50
2.2.1.3 Interfaz de diagnóstico OBD	51
2.2.2 Selección del vehículo	52
2.3 Realización de pruebas piloto	55
2.3.1 Configuración de equipos	55
2.3.1.1 Actualización de firmware de CANedge2 y de CANmod.gps	55
2.3.1.2 Configuración de CANedge2	57
2.3.1.3 Configuración de CANmod.gps	59
2.3.1.4 Configuración de Torque PRO para interfaz de diagnóstico OBD	60
2.3.2 Procedimiento para conectar los equipos con el vehículo	63
2.3.3 Consideraciones para el levantamiento de datos	64
2.3.4 Procedimiento para la importación y lectura de datos	65
2.4 Determinación de ruta RDE	70
2.4.1 Parámetros de selección de vías	70
2.4.2 Selección de vías urbanas	71
2.4.2.1 Atractores de viaje	71
2.4.3 Selección de vías suburbanas	73
2.4.4 Selección de vías de autopista	75
2.4.5 Rutas de prueba	77
2.4.5.1 Alternativa 1 – Av. Atahualpa – Panamericana E35	78
2.4.5.2 Alternativa 2 – Panamericana E35 (Priorato) – Panamericana E35 (Natabuela)	84
2.4.5.3 Alternativa 3 – Av. 17 de Julio (UTN) – Panamericana E35 (Fin de bifurcación cañaverales)	90
2.4.5.4 Ensayos en las rutas alternativas	95
2.5 Diseño de la campaña experimental	97
2.6 Ejecución de la campaña experimental	98

2.7	Preparación de datos	99
2.7.1	Sincronización de los datos GPS y OBD	101
2.7.2	Limpieza de datos automática	104
2.7.2.1	Eliminación del corte en la ruta suburbana	105
2.7.2.2	Nombramiento, eliminación, creación y ordenamiento de variables	106
2.7.2.3	Suavizado de la velocidad GPS	107
2.7.2.4	Clasificación de cada observación de acuerdo con la velocidad instantánea	108
2.7.3	Clasificación de cada observación en función de las coordenadas geográficas	109
2.8	Procesamiento de datos	110
2.8.1	Pretratamiento de datos	110
2.8.2	Distancia	110
2.8.3	Aceleración	111
2.8.4	Velocidad por aceleración	111
2.8.5	Discretización de datos	112
2.8.6	Velocidad media	112
2.8.7	Percentil 95 del producto de velocidad y aceleración positiva	112
2.8.8	Aceleración positiva relativa	113
2.8.9	Verificación de la validez de la ruta	114
2.8.10	Corrección de datos e interpolación	114
2.8.11	Primer suavizado de datos e interpolación de datos	116
2.8.12	Segundo suavizado de datos e interpolación de datos	117
2.8.13	Cálculo total de ganancia de altitud positiva	119
2.8.14	Estimación de emisiones de CO ₂	119
2.8.15	Cálculo de la potencia de tracción	122
2.8.15.1	Potencia instantánea de resistencia a la rodadura	122
2.8.15.2	Potencia aerodinámica instantánea	122
2.8.15.3	Potencia instantánea de resistencia por la pendiente	123
2.8.15.4	Potencia instantánea de resistencia a la aceleración	124
2.8.15.5	Potencia de tracción	125
2.8.16	Cálculo de la energía	126
2.8.17	Cálculo del consumo de combustible	127
2.8.18	Cálculo de los factores de emisión	128

CAPÍTULO III	130
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	130
3.1 Características de la ruta propuesta	130
3.2 Ruta urbana	132
3.3 Ruta suburbana	134
3.4 Ruta de autopista	136
3.5 Análisis de perfiles de velocidad en la ruta con diferentes horarios	139
3.5.1 Pruebas de ruta horario mañana	139
3.5.2 Prueba de ruta horario tarde	140
3.5.3 Pruebas de ruta horario tarde – noche	141
3.6 Porcentaje de revoluciones de la ruta propuesta	142
3.7 Verificación dinámica del trayecto	143
3.7.1 Verificación del 95 percentil de velocidad por aceleración positiva por intervalo de velocidad	145
3.7.1.1 Verificación de la zona urbana	145
3.7.1.2 Verificación de la zona suburbana	146
3.7.1.3 Verificación de la zona autopista	147
3.7.2 Verificación de la aceleración positiva relativa por intervalo de velocidad	147
3.7.2.1 Verificación RPA de la zona urbana	148
3.7.2.2 Verificación RPA de la zona suburbana	149
3.7.2.3 Verificación RPA de la zona autopista	149
3.8 Cálculo de la ganancia de altitud positiva acumulativa	150
3.8.1 Corrección de datos de altitud recopilados de la prueba de ruta	150
3.8.2 Suavizado de datos e interpolación	152
3.8.3 Ganancia de altitud positiva acumulada	154
3.9 Altitud entre punto inicial y final	154
3.10 Análisis del rendimiento del vehículo en la ruta RDE	156
3.10.1 Potencia de tracción y energía	159
3.10.2 Consumo de combustible	163
3.10.2.1 Comparación con consumos de combustible obtenidos de otras fuentes	

3.10.3	Factor de emisión de CO ₂ específico de la distancia	165
3.10.3.1	Comparación con FE de CO ₂ (g/km) de otras fuentes	166
3.10.4	Factor de emisión de CO ₂ específico de la energía de tracción	170
3.10.4.1	Comparación con FE de CO ₂ (g/kWh) de otras fuentes	171
CAPÍTULO IV		173
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	173
4.1	Conclusiones	173
4.2	Recomendaciones	175
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		177
ANEXO		188

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NÚM.	PÁGINA
1.1 Número de habitantes de ciertos cantones del Ecuador	5
1.2 Vehículos matriculados por provincia	6
1.3 Temperaturas y alturas de los cantones del Ecuador	7
1.4 Límites de velocidad Cantón Ibarra	8
1.5 Origen – Destino buses interprovinciales	18
1.6 Emisiones del cantón Ibarra en el año 2010 en toneladas por año	20
1.7 Emisiones del cantón Ibarra en el año 2010 en porcentajes	20
1.8 Parámetros de los ciclos de conducción WLTC y NEDC	28
2.1 Características de la ruta de ensayo RDE	48
2.2 Equipos	49
2.3 Especificaciones técnicas de CANedge2	50
2.4 Especificaciones técnicas de CANmod.gps	51
2.5 Especificaciones técnicas de la interfaz de diagnóstico OBD	52
2.6 Vehículos utilizados para la obtención de datos de los equipos de prueba	52
2.7 Vehículos utilizados para pruebas con interfaz de diagnóstico OBD II	53
2.8 Datos informativos sobre el vehículo seleccionado	54
2.9 Variables seleccionadas en asammdf	68
2.10 Buses de transporte intercantonal de la provincia de Imbabura	75
2.11 Detalle de ruta Alternativa 1	82
2.12 Detalle de ruta Alternativa 2	88
2.13 Detalle de ruta Alternativa 3	93
2.14 Pruebas de ruta realizadas en las alternativas propuestas	95

2.15	Cronograma de la campaña experimental	98
2.16	Datos registrados	98
2.17	Nombre de los archivos de registro	100
2.18	Clasificación de las variables	102
2.19	Coordenadas geográficas de la ruta empleadas en la función "automático"	106
2.20	Variables iniciales y finales	106
2.21	Cálculo de las masas molares	121
2.22	Cálculo de las masas	121
3.1	Parámetros por tipo de ruta	132
3.2	Propuesta de vías de movilización de la ruta autopista	138
3.3	Parámetros por zona	144
3.4	Verificación de la zona urbana	145
3.5	Verificación de la zona suburbana	146
3.6	Verificación de la zona autopista	147
3.7	Verificación RPA de la zona urbana	148
3.8	Verificación RPA de la zona suburbana	149
3.9	Verificación RPA de la zona autopista	150
3.10	Corrección de datos	151
3.11	Corrección de datos	152
3.12	FE de CO ₂ de otros trabajos (g/km)	168
3.13	FE de CO ₂ de otros trabajos (g/kWh)	171

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM.	PÁGINA
1.1 Mapa topográfico del cantón Ibarra	3
1.2 Rutas de transporte Cooperativa San Miguel de Ibarra	15
1.3 Rutas de transporte Cooperativa 28 de Septiembre	16
1.4 Ejemplo de ciclo de conducción de autopista	27
1.5 Distancia al satélite A	34
1.6 Distancia al satélite B	34
1.7 Error en la posición	35
1.8 Descubrimiento del error	36
1.9 Las tres distancias ajustadas convergen	36
1.10 Fuerzas que actúan sobre un vehículo que asciende una pendiente	40
2.1 Flujograma de la metodología empleada	47
2.2 CANedge2	49
2.3 CANmod.gps	50
2.4 Interfaz de diagnóstico OBD	51
2.5 Editor de configuración online de CANedge2	57
2.6 Editor de configuración online de CANmod.gps	59
2.7 Pantalla principal de Torque PRO	60
2.8 Ingreso de datos para crear el perfil del vehículo	61
2.9 PIDs seleccionados en Torque PRO	62
2.10 Pantallas de variables en Torque PRO	62
2.11 Conexiones de CANedge2 y CANmod.gps	63

2.12	Conexión de la interfaz de diagnóstico OBD al DLC del vehículo	64
2.13	Luces de estado de la conexión	65
2.14	Opciones disponibles en la opción "Realtime information"	65
2.15	Pantalla principal de asammdf	66
2.16	Archivo de registro abierto en asammdf	66
2.17	Archivo decodificado en asammdf	67
2.18	Selección en las secciones "Resample" y "Output format"	67
2.19	Botón "Creat window"	68
2.20	Mapa en asammdf	69
2.21	Importación de datos desde Torque PRO	69
2.22	Afuera de la Universidad Técnica del Norte	72
2.23	Vías de conexión parroquial	74
2.24	Vías de conexión intercantonal	76
2.25	Panamericana E35 al norte de la ciudad de Ibarra	77
2.26	Diagrama de selección de la ruta	78
2.27	Zona Urbana Alternativa 1	79
2.28	Zona suburbana alternativa 1	80
2.29	Zona de autopista alternativa 1	81
2.30	Zona urbana alternativa 2	85
2.31	Zona suburbana alternativa 2	86
2.32	Zona de autopista alternativa 2	87
2.33	Zona urbana alternativa 3	90
2.34	Primera parte de la zona suburbana alternativa 3	91
2.35	Segunda parte de la zona suburbana alternativa 3	92
2.36	Zona de autopista alternativa 3	92
2.37	Posicionamiento de inicio del ensayo	99

2.38 Código para leer los archivos de registro	100
2.39 Desfase entre velocidad OBD (rojo) y velocidad GPS (azul)	101
2.40 Explicación del código para evaluar el desfase	102
2.41 Velocidad OBD (rojo) y velocidad GPS (azul) sincronizadas	103
2.42 Función automático	104
2.43 Código de suavizado de la curva de velocidad	107
2.44 Velocidad sin suavizar (azul) y velocidad suavizada (rojo)	108
2.45 Aplicación de la función "automático"	108
2.46 Contenido de la carpeta "Procesado"	109
3.1 Ruta RDE ciudad Ibarra	131
3.2 Vía urbana ruta RDE	133
3.3 Vía suburbana ruta RDE parte 1	134
3.4 Vía suburbana ruta RDE parte 2	135
3.5 Vía autopista ruta RDE	136
3.6 Velocidad vs tiempo prueba de ruta mañana	139
3.7 Velocidad vs tiempo prueba de ruta tarde	141
3.8 Velocidad vs tiempo prueba de ruta nocturna	142
3.9 Porcentaje de régimen de giro del motor de acuerdo con zona transitada	143
3.10 Tasa de flujo de combustible y parámetros del sistema OBD	156
3.11 Potencia de tracción, velocidad y altitud de toda la ruta	160
3.12 Factor de energía de tracción específico de la distancia por tipo de ruta	161
3.13 Factor de energía de frenado específico de la distancia por tipo de ruta	162
3.14 Factor de consumo de combustible específico de la distancia por tipo de ruta	163
3.15 Comparación de consumo de combustible en l/100km	164
3.16 FE de CO ₂ específico de la distancia por tipo de ruta	165
3.17 Comparación con FE CO ₂ de ciclos de conducción	167

3.18 Factor de emisión de CO ₂ específico de la energía de tracción por tipo de ruta	170
--	-----

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO NÚM.	PÁGINA
1. Propuesta de vías de movilización de la ruta urbana	189
2. Propuesta de vías de movilización de la ruta suburbana	194
3. Código de programación de función “automático”	195
4. Parámetros resumidos de resultados de prueba de la mañana en función de la clasificación por velocidad instantánea	197
5. Intercambio de datos de la prueba de la mañana	198
6. Conexión de equipos	199
7. Pruebas en ruta	200

RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo fue desarrollar una ruta de ensayo de emisiones, denominado en la literatura: Real Driving Conditions Test (RDE) que cumpla con los requisitos de la normativa europea (EU) 2017/1151. Para ello, se diseñó tres alternativas de ruta mediante Google Maps las cuales sirvieron para determinar la ruta definitiva. En la ruta final, se realizó tres pruebas con un Chevrolet Aveo Activo en horarios de la mañana, tarde y noche en las que se adquirió dos tipos de datos: posicionamiento (GPS) y condiciones de operación del vehículo usando el sistema OBD. Después de una comparación con los requisitos expuestos en la normativa, se determinó que la prueba del horario matutino cumplió la mayor parte de los requisitos de la normativa. Posteriormente, de este ensayo se realizó la verificación dinámica de la ruta y el cálculo de la ganancia de altitud positiva acumulativa. De la misma manera, se realizó otros cálculos tales como: masa de emisión de CO₂ por estequiometría, potencia de tracción, energía de tracción, energía de frenado, factores de emisión de CO₂ específicos de la distancia y específicos de la energía de tracción con la finalidad de analizar el rendimiento del vehículo en la ruta RDE. Finalmente, se realizó una comparación entre los factores de emisión y de consumo de combustible de este trabajo con los de otros estudios. Concerniente a los resultados y conclusiones, la ruta RDE estuvo compuesta de tres partes conectadas en el siguiente orden: urbana, suburbana y autopista, que representaron aproximadamente el 32, 33 y 35 % del total del trayecto, respectivamente. La ganancia de altitud positiva acumulada de la ruta fue de 149,46 m/100 km. Estos valores estuvieron dentro de los rangos establecidos en la normativa europea. Además, la ruta cumplió con la verificación de la dinámica del trayecto mediante los dos métodos expuestos en el reglamento: percentil 95 de velocidad por aceleración positiva y RPA. Sin embargo, no se cumplió el requerimiento de que la diferencia de altitud entre el punto inicial y final de la ruta sea menor a 100 m debido a la geografía de las rutas del cantón. Para finalizar, en la ruta RDE propuesta, los factores de consumo de combustible y de emisiones de CO₂ del Aveo Activo fueron de 76,58 y 168,55 g/km, respectivamente. Estos valores fueron aproximadamente un 15% superiores a los reportados por otro estudio ecuatoriano que evaluó el mismo vehículo en condiciones de laboratorio bajo los ciclos de conducción FTP-75 y ECE+EUDC. Este resultado corroboró que el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ en el mundo real son mayores que las obtenidas en ensayos de laboratorio.

ABSTRACT

The main objective of this work was to develop an emissions test route, called in the literature: Real Driving Conditions Test (RDE) that meets the requirements of European regulation (EU) 2017/1151. For this, three route alternatives were designed using Google Maps, which served to determine the final route. On the final route, three tests were carried out with a Chevrolet Aveo Active in the morning, afternoon, and night, in which two types of data were acquired: positioning (GPS) and vehicle operating conditions using the OBD system. After a comparison with the requirements set forth in the regulation, it was determined that the AM test met most of the requirements of the regulation. Subsequently, from this test, the dynamic verification of the route and the calculation of the cumulative positive altitude gain were carried out. In the same way, other calculations were made such as: CO₂ emission mass by stoichiometry, tractive power, tractive energy, braking energy, distance-specific and tractive energy-specific CO₂ emission factors with the purpose of analyzing the performance of the vehicle on the RDE route. Finally, a comparison was made between the emission and fuel consumption factors of this work with those of other studies. Regarding the results and conclusions, the RDE route was composed of three parts connected in the following order: urban, suburban and highway, which represented approximately 32, 33 and 35% of the total route, respectively. The accumulated positive altitude gain of the route was 149.46 m/100 km. These values were within the ranges established in the European regulations. In addition, the route complied with the verification of the dynamics of the route by means of the two methods exposed in the regulation: percentile 95 of speed by positive acceleration and RPA. However, the requirement that the altitude difference between the start and end point of the route be less than 100 m was not met due to the geography of the canton's routes. Finally, on the proposed RDE route, the fuel consumption and CO₂ emission factors of the Aveo Active were 76.58 and 168.55 g/km, respectively. These values were approximately 15% higher than those reported by another Ecuadorian study that evaluated the same vehicle under laboratory conditions under the FTP-75 and ECE+EUDC driving cycles. This result corroborated that fuel consumption and CO₂ emissions in the real world are higher than those obtained in laboratory tests.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad en la zona norte del país, especialmente en la ciudad de Ibarra no se cuenta con una ruta establecida para la realización de pruebas de ruta en vehículos utilizados para investigación. Es así como para el desarrollo de cada trabajo de investigación realizado para la recolección de datos de vehículos de prueba se procede a elaborar una ruta independiente, imposibilitando la comparación de los datos obtenidos teóricamente, con los datos obtenidos en las rutas prácticas entre diferentes autores. La elaboración de una ruta de pruebas para el cantón Ibarra es beneficioso para la repetibilidad de las futuras investigaciones realizadas en vehículos de pruebas, la comparación de los valores teóricos y de los valores prácticos determinados en los diferentes estudios.

La elaboración de rutas varía dependiendo de las velocidades a las que se requiere la movilización del vehículo, basándose en las características propuestas en la normativa europea en combinación con la topografía y velocidades permitidas en el cantón Ibarra se desarrolla una ruta urbana, ruta suburbana y ruta de autopista. Las diferentes zonas se encuentran interconectadas dentro del cantón Ibarra, con vías que permiten un tránsito fluido y que en todos los momentos permita mantener al vehículo y a sus ocupantes movilizándose de forma segura. El diseño de la ruta representa un avance para la adquisición de datos de prueba en carretera de los vehículos ya que permite la adquisición de datos de vehículos pesados, vehículos livianos y de transporte público a lo largo del Cantón, siendo la primera ruta que cumple con una normativa europea y pueda ser utilizada para vehículos que se movilizan en la actualidad y en el futuro en el país.

GLOSARIO

Datos geoespaciales: Son datos sobre elementos, fenómenos o acontecimientos que tienen una posición sobre la superficie de la Tierra. Esta posición puede ser fija (campos de trigo, ciudadanos que viven en la pobreza) o móvil (tractor en movimiento, propagación de una enfermedad infecciosa). Los datos geoespaciales combinan datos de posición, de atributos y en la mayoría de los casos información de tiempo del elemento, fenómeno o acontecimiento que se está estudiando.

Inercialidad .Propiedad de un cuerpo de resistirse a cambiar su estado de reposo o de velocidad a menos que una fuerza actúe sobre él y lo obligue a cambiar de estado.

Homologación vehicular: Es un proceso mediante el cual se certifica a un fabricante, comercializador, carrocerero o importador, que un vehículo, unidad técnica independiente o sistema cumple con los requerimientos de seguridad y ambientales de la normativa técnica vigente. Es importante mencionar que en el Ecuador es obligatoria la adquisición del certificado de homologación antes de poder importar, comercializar y matricular unidades vehiculares.

TM: Transmisión manual

TWC: Catalizador de tres vías

PEMS: Sistema de medición de emisiones portátil

FTIR: Espectrómetro portátil de infrarrojos por transformada de Fourier

MPI: Sistema de inyección multipunto

CAPÍTULO I

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 OBJETIVOS

Los objetivos del proyecto son los siguientes:

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una ruta de ensayo de emisiones, denominado en la literatura: Real Driving Conditions Test (RDE) que cumpla con los requisitos de la normativa europea (EU) 2017/1151.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar vías urbanas, suburbanas y de autopista que cumplan los tiempos, velocidades y distancias de conducción expuestos en la normativa RDE y se encuentren conectados en el orden respectivo.
- Calcular por medio de un dispositivo GPS los valores de velocidad instantánea, latitud, tiempo, longitud, aceleración, altitud de la ruta formulada y comparar con los rangos expuestos en la normativa europea.
- Recopilar y analizar los datos obtenidos del motor durante la prueba en la ruta RDE.

1.2 ALCANCE

El presente trabajo de investigación se lo realizará en un vehículo liviano Aveo Active con un motor 1,6 L a gasolina del año 2011, los límites para la elaboración de las rutas es el cantón Ibarra y las vías que conectan a los cantones aledaños especialmente la vía Panamericana E35, la ruta se estimará por medio de software libre Google Maps.

Se elaborará un máximo de tres rutas alternativas ubicadas dentro del cantón Ibarra que cumplan con la mayor cantidad de requisitos estipulados en la normativa europea. Luego de definir la ruta que mejor cumpla con los requisitos se realizarán un máximo de cuatro pruebas

de recolección de datos por medio de la utilización de un datalogger OBD y GPS, los mismos que serán analizados y representados en gráficos.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El tercer objetivo del Plan Nacional para el Buen Vivir 2017-2021 expresa asegurar que los derechos de la naturaleza sean respetados en las generaciones actuales y las venideras. Además, en su política número 3.3 establece que se impulsará el desarrollo de buenas prácticas de naturaleza medioambiental que contribuyan a disminuir la contaminación, a preservar, a la atenuación y a la adecuación a las secuelas que deja el cambio climático, del mismo modo se ofrece promover la aplicación de dichas prácticas a nivel global (Consejo Nacional de Planificación [CNP], 2017, pág. 57). En este sentido, la creación de una ruta RDE apoya al objetivo antes mencionado en la provincia y propiamente en el cantón Ibarra debido a que permite la inclusión de estándares realizados y empleados por otros países que diligentemente están velando por la seguridad de su ecosistema y sus habitantes.

Además, el Plan Nacional para el Buen Vivir propone como meta en el objetivo 3 el control de las emisiones (CNP, 2017, pág. 58). Como se tiene conocimiento, los vehículos en el país son una de las fuentes de emisiones contaminantes, y las pruebas RDE permiten comprobar que los vehículos emitan emisiones reducidas en carretera. Por supuesto, el desarrollo del proyecto en sí no disminuirá las emisiones contaminantes, sin embargo, es una base para que en el país se continúe promoviendo la reducción de la contaminación, en el sentido de que con la utilización del trayecto se podría determinar las emisiones de gases contaminantes reales en carretera, de una forma sistemática de acuerdo con las condiciones meteorológicas y de tráfico propias del cantón Ibarra, para saber en qué magnitud el tráfico vehicular está contaminando el entorno de este sector, aún más, tomando en cuenta la baja calidad de los combustibles con los que los automotores realizan su repostaje.

Finalmente, la polución del aire no solo afecta enormemente al medio ambiente sino también a la salud humana, especialmente en las zonas urbanas donde existe un rápido aumento de la población, del parque automotor, del sector industrial, entre otros (Ministerio del Ambiente y Agua, 2020). Por ende, es beneficioso para la sociedad y el ecosistema que el proyecto ayude a crear una plataforma, sobre la cual se puedan desarrollar proyectos que

demuestren el daño que las antiguas tecnologías automotrices usadas en el país producen en el entorno, con la finalidad de contar con datos para concientizar a la sociedad.

1.4 ANÁLISIS DE LA MOVILIDAD EN EL CANTÓN IBARRA

El cantón Ibarra es la cabecera cantonal de la provincia de Imbabura ubicado en la zona norte del Ecuador, sus límites son en la zona norte y este por la provincia del Carchi y al sur por la provincia de Pichincha. Estos límites lo convierten en una zona activa de tránsito para diferentes actividades productivas, como los productos agrícolas enviados a la capital del país y el tránsito de mercaderías a la zona norte, razón por la cual las vías que atraviesan el cantón Ibarra pueden representar parte del tráfico que recorre las vías del país. El cantón Ibarra además puede ser considerado un punto de referencia a nivel nacional ya que cuenta con ejes de referencia viales similares a los de cantones ubicados en la zona centro y sur del país como Ambato, Rumiñahui, Pichincha y Manta (Proaño, 2015, pág. 46-48). En la siguiente figura se puede observar un mapa topográfico de la ciudad de Ibarra:

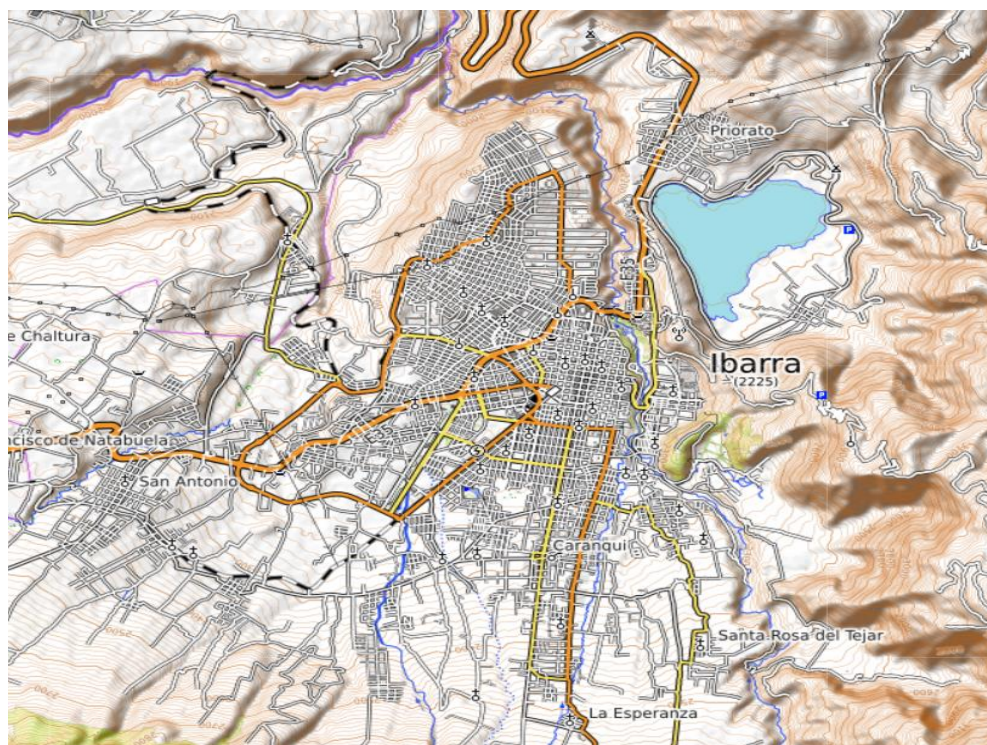


Figura 1.1 Mapa topográfico del cantón Ibarra
(GPS Visualizer)

En la Figura 1.1 se puede observar un mapa topográfico de la ciudad de Ibarra, caracterizándose por contar con una distribución dirigida hacia el Norte y Sur de la ciudad

con una propuesta de crecimiento lateral en los últimos años, esto impulsado en gran manera por la implementación de arterias viales como los corredores periféricos. Con respecto a la contaminación la ciudad se caracteriza por presentar niveles de material particulado, dióxidos de azufre y dióxidos de nitrógeno bajos en comparación con los expuestos en normativas de entidades como la OMS, sin embargo, por el aumento de la población y del parque automotor a futuro se pueden aumentar los niveles de contaminación de forma crítica (Loachamín, 2017, pág. 46).

1.4.1 IBARRA CANTÓN PROMEDIO DENTRO DEL ECUADOR

El número de habitantes, los vehículos matriculados, así como la temperatura y altitud de esta especial zona denominada cantón Ibarra poseen valores que se podrían catalogar como intermedios en comparación con los demás cantones que componen el Ecuador.

1.4.1.1 Población

La ciudad de Ibarra puede ser considerada una ciudad promedio dentro del Ecuador ya que cuenta con características similares a capitales de provincia y ciudades con gran tránsito vehicular, entre las características consideradas se tienen la cantidad de habitantes, cantidad de habitantes por kilómetro cuadrado y porcentaje anual de crecimiento. En la Tabla 1.1 se puede observar la cantidad de habitantes para el año 2020 de acuerdo con los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Como se puede observar en la Tabla 1.1 la cantidad de habitantes en la ciudad de Ibarra es similar a ciudades como Latacunga, Riobamba, Machala y Loja, ciudades que presentan una gran afluencia de tránsito al conectar las principales zonas del Ecuador, además los cantones como Quito y Guayaquil compensan su elevada población al relacionarse con cantones pequeños como Las Lajas.

Tabla 1.1 Número de habitantes de ciertos cantones del Ecuador

CANTÓN	2019	2020	CANTÓN	2019	2020
Cuenca	625 775	636 996	Babahoyo	173 917	175 281
Guaranda	107 590	108 763	Portoviejo	319 185	321 800
Tulcán	101 234	102 395	Tena	77 502	79 182
Latacunga	202 878	205 624	Pastaza	82 221	84 377
Riobamba	261 360	264 048	Quito	2 735 987	2 781 641
Machala	286 120	289 141	Ambato	382 941	387 309
Esmeraldas	216 901	218 727	Zamora	32 172	32 761
Guayaquil	2 698 077	2 723 665	San Cristóbal	9 473	9 667
Ibarra	217 856	221 149	Lago Agrio	117 048	119 594
Loja	269 017	274 112	Orellana	91 933	93 778
Santo Domingo de los Tsáchilas	450 694	458 580	Santa Elena	184 642	188 821

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2019, pág. 1)

Aunque existe una gran diferencia en la ocupación territorial de cada cantón es posible determinar su convergencia de acuerdo con la cantidad de territorio ocupado por cantidades de personas. Las cantidades de habitantes en el Cantón Ibarra es proporcional al territorio que ocupa el cantón con una densidad de 165,65 habitantes/km², misma densidad que es cercana a cantones como Cuenca con 163,83 habitantes/km², Latacunga 123,81 habitantes/km² y Esmeraldas con 140,26 habitantes/km². En el caso de los cantones con mayor proyección de crecimiento el cantón Ibarra se encuentra con un aumento del 1,57% anual, cercano a cantones como Quito con 1,74% y Santo Domingo de los Tsáchilas con 1,83%.

1.4.1.2 Vehículos matriculados

La Tabla 1.2 es un extracto del anuario de transporte del año 2019, en ella constan las cantidades semidefinitivas de los vehículos matriculados en algunas de las provincias del país durante el año 2019. Guayas y Pichincha son las provincias que tienen el mayor número de vehículos matriculados, mientras que Napo y Galápagos tienen las cifras más bajas. Por su parte Imbabura es una de las provincias intermedias en este contexto.

Tabla 1.2 Vehículos matriculados por provincia

PROVINCIA	AÑO 2019
Guayas	529 908
Pichincha	521 946
Imbabura	51 637
Napo	8 895
Galápagos	2 460

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2019)

La Empresa Pública de Movilidad cuyas siglas son EPM es una entidad que se compone de 15 GADs cantonales. El cantón Ibarra se destaca entre ellos por ser el más grande. Además, cabe resaltar que la EPM realiza la matriculación de automotores a través de tres agencias: Ibarra, Otavalo y Montúfar.

1.4.1.3 Temperatura y altitud

La Tabla 1.3 muestra la temperatura media anual y la altura de distintos cantones del Ecuador con sus respectivas provincias. San Gabriel registra una temperatura de 2,1 °C, valor que representa uno de los más bajos entre enero y agosto del 2020 (El Universo, 2020a). La temperatura media anual de este cantón es 10,7 °C, por esta razón se podría considerar como una de las zonas más frías en el país. Por otro lado, Guayaquil es uno de los cantones donde se obtienen temperaturas altas, entre enero y agosto del año 2020 se midió una temperatura de 36,6 °C (El Universo, 2020b). Agregando a lo anterior, la temperatura media anual en este sector es de 24,1 °C, por lo que se puede catalogar a este cantón como una de las zonas más calientes en el Ecuador. El valor promedio de la temperatura media anual de las zonas consideradas como la más fría y caliente es 17,4 °C. Tomando en cuenta esta cifra junto con la temperatura media anual de Ibarra de 16 °C, se puede concluir que Ibarra presenta una temperatura media anual cercana al valor promedio obtenido de las zonas que se consideraron la más fría y caliente del país.

En cuanto a la altura, los cantones de Quito y San Gabriel registran altitudes considerables en el país (Tabla 1.3), 2832 m s.n.m. y 2869 m s.n.m., respectivamente. Estos tienen mayor elevación que el cantón Ibarra, el cual cuenta con una altitud de 2206 m s.n.m. Por otro lado, Guayaquil está a 8 m s.n.m. y Portoviejo a 41 m s.n.m., los cuales podrían catalogarse como

cantones con altitudes bajas. Estos valores son menores en comparación con la elevación del cantón Ibarra. Es decir, Ibarra es un cantón cuya altura es intermedia entre los cantones del Ecuador.

Tabla 1.3 Temperaturas y alturas de los cantones del Ecuador

PROVINCIA	CANTÓN	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	ALTURA (m s.n.m.)
Guayas	Guayaquil	24,1	8
Manabí	Portoviejo	24,0	41
Napo	Tena	21,7	512
Imbabura	Ibarra	16,0	2 206
Carchi	San Gabriel	10,7	2 869
Pichincha	Quito	11,3	2 832

Fuente: (Climate-data.org, s.f.)

1.4.2 CANTÓN IBARRA EN LA ACTUALIDAD

En este apartado se da a conocer otras características del cantón Ibarra tales como: topografía, límites de velocidad, vías, y puntos principales.

1.4.2.1 Topografía del cantón

El cantón Ibarra presenta relieves relacionados con la cordillera de los Andes a la que pertenece, los mismos que permiten encontrar dentro del cantón altitudes bajas y climas cálidos en la zona del Valle del Chota y altitudes altas y climas fríos en sectores como Angochahua. El cantón presenta una altitud media de 2 519 m s.n.m. y una altitud máxima de 4 557 m s.n.m., de acuerdo con los datos obtenidos a lo largo de cerca de 40 años se determina que el cantón cuenta con una temperatura media de 15,90 °C con una temperatura máxima de 25°C y una mínima de 7 °C (Estacio, 2013, pag. 6-10).

1.4.2.2 Límites de velocidad

Los límites de velocidad permitidos dentro del cantón Ibarra se pueden evidenciar en la Tabla 1.4, los automotores que circulen a una velocidad superior a los límites establecidos serán sancionados con privación de la libertad, multas y reducción de puntos en sus licencias de

conducir (Tinajero, 2019, pág. 15-17). Como se puede observar en la Tabla 1.4 los límites de velocidad establecidos para la ciudad de Ibarra permiten cumplir con las velocidades solicitadas dentro de una prueba RDE sin tener problemas de multas al realizarlas con vehículos livianos.

Tabla 1.4 Límites de velocidad Cantón Ibarra

VÍAS	VEHÍCULOS LIVIANOS	TRANSPORTE PÚBLICO	TRANSPORTE PESADO
Vías urbanas	50 km/h	40 km/h	40 km/h
Vías perimetrales	90 km/h	70 km/h	70 km/h
Rectas en carretera	100 km/h	90 km/h	70 km/h
Curvas en carretera	60 km/h	50 km/h	40 km/h

Fuente: (Tinajero, 2019, pág. 15-17)

1.4.2.3 Vías en el cantón

El cantón Ibarra cuenta con aproximadamente 575,77 km de vías urbanas, además se encuentran 116,63 km de vías que se utilizan como alternativa a la red estatal, 47,62 km para acceder a la planta de agua potable, 4,9 km para acceder a rellenos sanitarios, 4,9 km para acceder a proyectos sociales y 24,13 km a proyectos estratégicos representando 197,93 km. Del total de vías del cantón Ibarra 14,44 km son adoquinados, 140,93 km empedrados y 226,57 km lastre, de las cuales el 59,91% se encuentran en un estado regular, el 26,36% en buen estado y un 13,73% en mal estado (Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador, 2019, pág. 29).

Las vías urbanas se encuentran compuestas por calles, pasajes y avenidas, dentro de este ámbito y acatándose a la ley se considera vías urbanas a las que se encuentran dentro de los núcleos urbanos de la cabecera cantonal y de las parroquias. Estas vías se encuentran exclusivamente a cuidado del GAD Municipal de Ibarra, representan un total de 575,77 km (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra Orientación [GAD-I], 2020, pág. 313-314). Las vías se encuentran dispuestas de acuerdo con la topografía presentada por la ciudad, divididas en vías arteriales, colectoras, peatonales y locales.

El 44,4 % de vías presentes en el cantón Ibarra son vías rurales (secundarias y terciarias) y se encuentran a la disposición y mantenimiento del GAD provincial de Imbabura, estas

representan un total de 602,38 km, este valor es alto debido a que estas vías se encuentran en áreas rurales y son utilizadas para conectar con asentamientos humanos que se encuentran aislados (GAD-I, 2020, pág. 313-314). En relación con las vías estatales, en el cantón Ibarra se encuentran dos importantes arterias viales que sirven para conectar el cantón con las diferentes provincias, permitiendo la movilidad de bienes, productos, servicios, así como también el transporte de personas. Las vías estatales son la E35 que va desde Rumichaca hasta Macará y en el cantón Ibarra abarca desde el sector el Juncal hasta la salida de la parroquia San Antonio de Ibarra y la E10 que es una ruta transversal fronteriza que conecta los cantones Ibarra y San Lorenzo (Benavides y Fiallos, 2019, pág 61). Los mantenimientos de estas vías se encuentran a cargo del Ministerio de transporte y obras públicas de acuerdo con lo considerado en la Asamblea nacional constituyente del Ecuador al ser parte de las troncales nacionales primarias.

1.4.2.4 Puntos principales de Ibarra

En el ámbito vehicular el parque automotor de la ciudad de Ibarra es diverso. El cantón cuenta con dos cooperativas de transporte público, Cooperativa San Miguel de Ibarra y 28 de Septiembre, las cuales prestan servicio a lo largo de todas las parroquias del cantón con paradas y rutas a lo largo de todo el cantón. Esta ciudad además cuenta con un terminal terrestre que presta servicio hacia la zona norte y sur del país con un total de catorce empresas de servicios interprovinciales con un total de 207 frecuencias interprovinciales y 730 frecuencias intercantonales. Teniendo una afluencia constante de buses de transporte por las arterias viales internas y externas del cantón. Las principales rutas de la ciudad utilizadas por el transporte son:

Ruta Terminal - San Antonio: Las líneas de transporte intercantonales e interprovinciales que prestan su servicio a los cantones ubicados en la zona sur de la ciudad presentan dos rutas diferentes tanto para ingreso como salida de unidades. La ruta de salida desde el terminal de la ciudad inicia en la avenida Teodoro Gómez de la Torre, Av. Heleoro Ayala, Av. José Tobar y Tobar, Av. Camilo Ponce Enríquez en el redondel de la madre toma la avenida Mariano Acosta con destino sur, con un total de 7,0 km, utilizado por las líneas de transporte desde las 5h00 hasta las 21h00. El ingreso a la ciudad desde los cantones ubicados en la zona sur utiliza la siguiente ruta: ingreso por la panamericana E35 hasta la altura de la

calle Manuelita Sáenz, Av. Ricardo Sánchez, Av. Camilo Ponce Enríquez, Av. José Tobar y Tobar hasta el ingreso a la terminal de transporte, sumando un total de 6,8 km.

Ruta Terminal - Desvío San Lorenzo: Los buses interprovinciales e intercantonales que salen de la ciudad de Ibarra hacia los cantones de la zona Norte de la provincia utilizan esta ruta hasta la unión de las vías estatales E10 y E25 en el desvío hacia el cantón San Lorenzo. Este tramo de vías comprende las siguientes calles y avenidas: inicia por la Av. Teodoro Gómez de la Torre, Av. Heleoro Ayala, Av. José Tobar y Tobar, Av. Camilo Ponce Enríquez desde este punto toma la panamericana E35 con dirección Norte hasta el desvío de la ruta estatal E10. El trayecto comprendido entre estos puntos tiene un recorrido total de 25,2 km generalmente transitado en su mayoría de 5h00 a 20h00 por buses intercantonales. Cabe recalcar que esta es la misma ruta de ingreso desde la zona Norte hacia el terminal.

Ruta Anillo Vial - Norte – Sur: Esta ruta es utilizada desde el año 2020 por la unidad de transporte interprovincial que prestan su servicio desde la ciudad de Tulcán a Quito, esta medida fue tomada para disminuir la congestión vehicular dentro de la ciudad, la ruta está constituida por: calle Obispo Jesús Yerovi, Av. 13 de Abril, calle Cotopaxi, calle Monseñor Leónidas Proaño y posteriormente a través del anillo vial hasta la vía estatal E35. Cumpliendo un total de 10 km. Esta vía de la ciudad conecta la Av. Eugenio Espejo con la panamericana E35 en el sector de Chorlaví, esta vía cuenta con un total de 4 kilómetros con capacidad de 4 carriles y una ciclovía. Es una vía utilizada normalmente para evitar el tráfico generado en la Av. Mariano Acosta y vías aledañas en dirección sur del cantón.

Avenida Atahualpa y Calle Bolívar: Estas arterias viales conectan la zona norte y sur de la ciudad desde el parque de La Esperanza hasta el parque Boyacá con una prolongación de 5,7 km, misma vía que es utilizada con mayor frecuencia en la ciudad para la movilización hacia sectores comerciales y el centro de la ciudad. Por otro lado, la Avenida El Retorno: Se encuentra ubicada en la zona este de la ciudad, es una arteria vial muy utilizada para conectar las parroquias rurales del cantón con el centro de la urbe además de atravesar el barrio los Ceibos que cuenta con gran movilización de personas por su amplia variedad de locales comerciales, consta de una distancia total de 4,3 km.

Avenida Mariano Acosta: Esta avenida conecta el centro de la ciudad con la panamericana E35, iniciando desde el Obelisco de la ciudad hasta el sector de Chorlaví siendo una de las vías más transitadas en la ciudad ya que a lo largo de esta vía se encuentran ubicados la gran mayoría de sitios comerciales como el Obelisco, Laguna Mall, Supermaxi, Parque Ciudad

Blanca. Esta vía abarca 4,5 km. En cuanto a la Avenida Teodoro Gómez de la Torre: Esta cuenta con un total de 1,6 km, se encarga de unir la zona Este y Oeste de la ciudad conectando sectores emblemáticos como el sector de la Cruz Verde, Colegio Teodoro Gómez de la Torre y el Terminal terrestre de la ciudad. Concerniente a la Avenida 17 de Julio: Con una distancia de 3 km esta avenida sirve para aliviar el tráfico de ingreso de la ciudad de Ibarra, conecta el ingreso norte de la ciudad con el centro y recibe tráfico desde instituciones como la Universidad Técnica del Norte y Universidad Católica.

1.4.3 VÍAS PRINCIPALES DEL CANTÓN IBARRA

Dentro del cantón circulan cooperativas de buses urbanos, buses intercantonales e interprovinciales, así como varias cooperativas de taxis y camionetas que prestan servicio a la ciudadanía a lo largo del cantón. Estas unidades atraviesan la ciudad utilizando las vías en su mayoría adoquinadas para conectar la ciudad en sentidos Norte – Sur y Este – Oeste.

1.4.3.1 Vías con mayor afluencia en la ciudad de Ibarra

En la ciudad de Ibarra existen vías que presentan una mayor afluencia de tráfico, en gran medida por ser las más utilizadas por la ciudadanía para dirigirse a los diferentes centros educativos, áreas comerciales, centros médicos y conexión entre los cascos de las parroquias urbanas. Para la selección de las vías para la ruta RDE se tomó como alternativa lo expuesto en el plan de desarrollo y reordenamiento territorial del cantón Ibarra para el año 2020. Estos fueron los ejes viales que presentaron una mayor circulación de vehículos:

En sentido Norte – Sur:

- Av. 17 de Julio
- Av. El retorno
- Calle Juan de salinas
- Calle Vicente Rocafuerte
- Calle Antonio José de Sucre
- Calle Simón Bolívar
- Av. Atahualpa
- Calle Sánchez y Cifuentes

- Av. Rafael Sánchez
- Av. Luis Abel Tafur
- Av. Eugenio Espejo
- Av. Camilo Ponce
- Calle Galo Plazo Lasso
- Av. Heleodoro Ayala
- Av. Jaime Rivadeneira

En sentido Este – Oeste:

- Av. Teodoro Gómez de la Torre
- Av. Ricardo Sánchez
- Calle Ricardo Sánchez
- Av. Jaime Roldós Aguilera
- Av. Víctor Manuel Guzmán
- Av. Mariano Acosta
- Av. Periférico Sur
- Calle Tobías Mena
- Av. Alfredo Pérez Guerrero
- Av. Fray Vacas Galindo
- Av. 13 de abril

Vías transversales:

- Av. Fray Vacas Galindo
- Calle Hernán González de Saa

Varias de estas vías fueron consideradas en la elaboración de las rutas de prueba ya que tienen conexiones directas con la Panamericana E35 y permiten el ingreso a las diferentes zonas del cantón, además que permiten el ingreso y salida de transporte inter e intra cantonal. Se seleccionó estas vías de gran afluencia para poder representar los viajes cotidianos de las personas que cuentan con un vehículo propio en la ciudad de Ibarra, conjuntamente se utilizó como base las rutas establecidas para las cooperativas de buses intra cantonales para representar el desplazamiento que realizan las personas que utilizan el transporte público.

1.4.3.2 Vías con mayor tráfico en la ciudad de Ibarra

De acuerdo con el plan de desarrollo y ordenamiento territorial dentro del cantón Ibarra se presenta una serie de vías que representan la mayor congestión de tráfico dentro de la urbe, por motivos de viajes al interior como son centros de estudio, centros comerciales, áreas sociales y trabajos. Entre los principales puntos de tráfico se tienen centros de estudio dentro de los cuales se encuentran escuelas, colegios y universidades, que por su hora de ingreso y salida representan una gran congestión vehicular por los vehículos de los familiares y por los buses que tienen sus recorridos en estos puntos de la ciudad.

Áreas de trabajos concentradas a lo largo del cantón, así como el centro histórico de la ciudad y centros comerciales presentan la mayor congestión vehicular alrededor en horarios de la mañana, tarde y noche, debido a que son los momentos de apertura y cierre de los locales comerciales y horarios en los que la mayoría de los empleados acceden a alimentarse por los horarios de las empresas públicas y privadas. Las áreas sociales y comerciales presentan mayor tráfico en los fines de semana, debido a que es tiempo en el que se acceden a estos sectores grupos familiares en vehículos particulares que provocan tráfico, llegando en sectores como Yahuarcocha a formarse 4 carriles de ingreso a la ciudad y un carril de salida, mismo sector que está diseñado para una vía de acceso y una vía de salida. Las vías con mayor tráfico en la ciudad de acuerdo con el departamento de estadística y georreferenciación del cantón Ibarra son:

En sentido Norte – Sur:

- Avenida 17 de Julio
- Avenida el Retorno
- Calle Juan de Salinas
- Calle Vicente Rocafuerte
- Calle Antonio José de Sucre
- Calle Simón Bolívar
- Avenida Atahualpa
- Calles Sánchez y Cifuentes
- Avenida Eugenio Espejo
- Avenida 13 de Abril
- Corredor periférico norte

En sentido Este – Oeste:

- Corredor Periférico Sur
- Avenida Mariano Acosta
- Calle Tobías Mena
- Avenida Ricardo Sánchez
- Avenida Teodoro Gómez
- Avenida Fray Vacas Galindo
- Avenida Alfredo Pérez Guerrero
- Avenida Cristóbal de Troya

1.4.4 COOPERATIVAS DE BUSES DE TRANSPORTE PÚBLICO DE LA CIUDAD DE IBARRA

Las cooperativas de transporte público en la ciudad de Ibarra representan el mayor medio de movilidad de personas a lo largo de la ciudad, utilizando las principales vías urbanas para la determinación de las rutas de buses urbanos. En el caso de los buses intercantonales se utilizan las principales avenidas de la ciudad para el ingreso y salida de los buses a los diferentes cantones aledaños, mientras que los buses interprovinciales utilizan el anillo vial ubicado en la periferia de la ciudad.

1.4.4.1 Cooperativas de buses urbanos

En la ciudad de Ibarra existen dos cooperativas de transporte urbano San Miguel de Ibarra y 28 de Septiembre, mismas que recorren la ciudad en los sentidos Norte – Sur y Este – Oeste y viceversa, respectivamente con recorridos que abarcan distancias que van desde los 17,09 km hasta los 39,22 km, con tiempos de recorrido total que van desde los 70 minutos a 150 minutos (Cazares y Cuasapaz, 2018, pág 36). La cooperativa San Miguel de Ibarra presenta un total de 10 rutas con un total de 118 unidades en total. Las rutas recorridas de inicio a fin respectivamente por las unidades son las siguientes:

- 19 de Enero – Odilas
- San Miguel Arcángel – San Cristóbal
- Chugchupungo – La Florida
- Colinas del Sur – Aduana

- Ejido de caranqui – Miravalle
- La Esperanza – Hospital del Seguro
- Milagro – Yahuarcocha
- Santa Lucía – La Victoria
- Sector Terminal – El Carmen
- Santo Domingo – Universidades

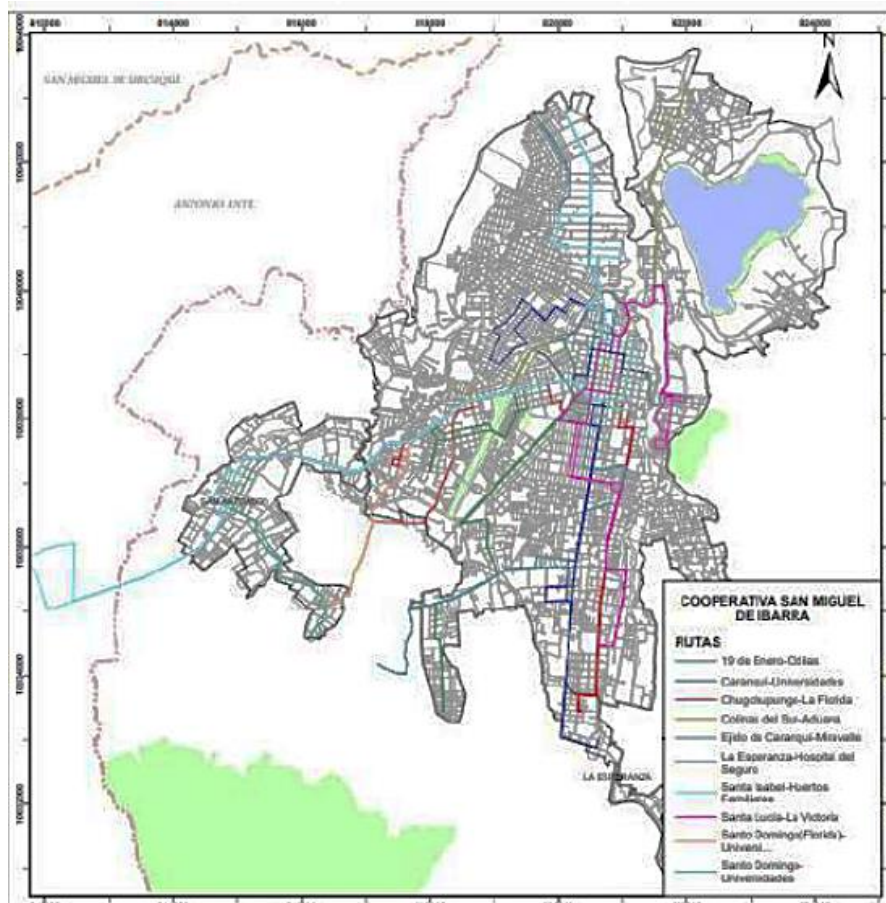


Figura 1.2 Rutas de transporte Cooperativa San Miguel de Ibarra

(Plan de uso y gestión del suelo, 2021)

En la Figura 1.2 se puede observar las rutas transitadas por los buses de la cooperativa San Miguel de Ibarra, estas rutas atraviesan la ciudad de norte a sur desde el sector la Azaya al sector La Esperanza y de este a oeste desde el sector de la Aduana hacia el sector de San Antonio. La cooperativa 28 de Septiembre tiene a su cargo un total de 14 rutas con un total de 144 unidades en total, las rutas de los buses urbanos de la cooperativa 28 de Septiembres son las siguientes:

- Sector la Playita – Aloburo
- Azaya – La campiña
- Aduana – Caranqui

- Católica – Alpachaca
- Los Soles – La victoria
- Sector Terminal – Chaltura
- Milagro - Yahuarcocha
- Sector Terminal – Naranjito
- Guayaquil de piedras – Las palmas
- Pugacho – Santa Teresita
- Cooperativa 28 de Septiembre – Yahuachi
- San Miguel Arcángel – San Cristóbal
- Santa Teresita – Santa Rosa
- Tanguarín – Aduana

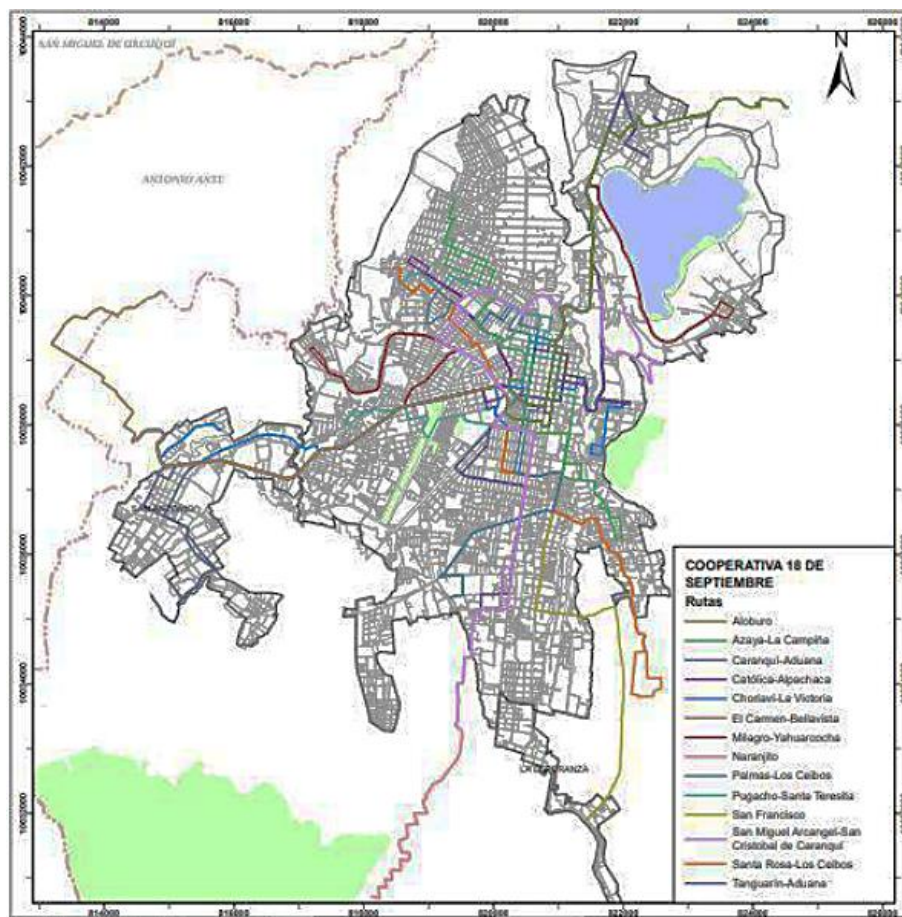


Figura 1.3 Rutas de transporte Cooperativa 28 de Septiembre

(Plan de uso y gestión del suelo, 2021)

En la Figura 1.3 se puede apreciar las diferentes rutas manejadas por la Cooperativa 28 de Septiembre en sentido Norte Sur desde el sector Milagro hacia el sector La Esperanza y en

sentido Este – Oeste desde el sector de Yahuarcocha hacia el sector San Antonio. Atravesando en la mayoría de las rutas por el centro histórico y conectando todas las parroquias urbanas del cantón.

1.4.4.2 Cooperativas de transporte interparroquial

El cantón Ibarra cuenta con 2 cooperativas de transporte público interparroquial, Cooperativa La Esperanza y Compañía de buses interparroquiales Campesinos Cia Ltda., estas líneas permiten la conexión con las parroquias ubicadas en la zona norte y este del cantón, respectivamente. La cooperativa de buses La Esperanza cuenta con un total de 30 unidades que prestan el servicio desde el centro de la urbe hacia la parroquia La Esperanza, tomando como sus rutas principales la avenida Teodoro Gómez de la Torre y la Avenida el Retorno. Por otra parte, la Compañía de buses interparroquiales Campesinos conecta la cabecera cantonal desde el Terminal terrestre de la ciudad con las parroquias ubicadas en la zona norte Ambuquí, Angochagua, teniendo a su disposición un total de 11 unidades que utilizan como principales vías de movilización la Av. Cristóbal de Troya y la Panamericana E35 desde la altura del Estadio Olímpico de la ciudad hasta sus diferentes destinos. El movimiento de estas dos cooperativas, representan el 12,5 % de la movilidad pública del cantón. Los destinos de los buses de la cooperativa La Esperanza son: La Esperanza, Zuleta, Olmedo, Cayambe, Quito y Alóag. Los destinos de la Compañía Campesinos son: Pogllocunga, Peñaherrera, San Luis, Pimán Bajo y San Clemente.

1.4.4.3 Cooperativas de transporte interprovincial

La ciudad de Ibarra es considerada una ciudad de conexión en la zona norte del país ya que es la vía de acceso más corta entre la provincia de Carchi y Pichincha, siendo así un paso obligatorio de las cooperativas de transporte que se encargan de la movilización de personas desde la ciudad de Tulcán a la ciudad de Quito. Un total de 11 Cooperativas de transporte salen de la terminal terrestre de Tulcán, en la Tabla 1.5 se puede observar las cooperativas que prestan servicio interprovincial, presentando el origen y llegada de estos buses.

Tabla 1.5 Origen – Destino buses interprovinciales

COOPERATIVA	ORIGEN	DESTINO
San Cristóbal	Tulcán	Ibarra – Quito – Guayaquil
Expreso Tulcán	Tulcán	Ibarra – Quito
Flota Imbabura	Tulcán	Ibarra – Quito – Guayaquil – Cuenca – Portoviejo – Manta
Panamericana	Tulcán	Quito – Huaquillas – Milagro – Machala – Santa Rosa – Naranjal – Arenillas
Pullman Carchi	Tulcán	Ibarra – Quito – Guayaquil
Vencedores	Tulcán	Quito – Riobamba – Ambato – Latacunga
Putumayo	Tulcán	La bonita – Lago Agrio – Sacha – Coca - Shushufindi
Tax Gacela	Tulcán	Quito – Lago Agrio
Velotax	Tulcán	Ibarra – Quito
Expreso Turismo	Tulcán	Ibarra – Quito
Petrolera Shushufindi	Tulcán	Lago Agrio - Shushufindi

Fuente: (Prefectura del Carchi, 2022)

Todas estas líneas de transporte atravesaban las principales avenidas de la ciudad de Ibarra hasta la creación del anillo vial, mismas vías que luego de un acuerdo entre la municipalidad de Ibarra y las cooperativas de transporte son las actuales rutas que utilizan estas cooperativas para atravesar la ciudad de Ibarra por su periferia, consiguiendo una reducción del tráfico en las avenidas Cristóbal de Troya y Mariano Acosta. El ingreso de los vehículos interprovinciales a la ciudad de Ibarra se da a través de la Panamericana E35 hasta la altura del estadio Olímpico de la ciudad de Ibarra en donde se toma la vía Obispo Jesús Yerovi, Av. 13 de Abril, Cotopaxi, Av. Monseñor Leónidas Proaño, Av. Fray Vacas Galindo, Corredor periférico Norte, hasta retomar nuevamente la Panamericana E35 a la altura del sector de Chorlaví.

1.5 EMISIONES VEHICULARES

Un inventario de emisiones es un registro que informa la cantidad de contaminantes emitidos hacia la atmósfera en un lapso determinado, así como la ubicación de su fuente. Además, agrupa datos esenciales necesarios para el estudio de la calidad del aire y es muy empleado en el establecimiento de leyes para disminuir la contaminación (Azhari et al., 2021, pág. 2). Estos dos últimos aspectos son perseguidos por el Ministerio del Ambiente en el 2012. En cuyo año realiza un inventario de emisiones colocando como año base el 2010. Dicha labor

se efectuaba en cumplimiento con el Proyecto 1 perteneciente al Programa 1 del Plan Nacional de la Calidad del Aire (PNCA). Dichos registros de emisiones abarcaban las ciudades de Ibarra, Portoviejo, Ambato, Manta, Milagro, entre otras.

1.5.1 FACTORES DE EMISIÓN DE LA CIUDAD DE IBARRA

El factor de emisión es un valor que representa la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera con relación a la actividad que lo produce. Normalmente se expresa como el peso del contaminante emitido por la unidad de distancia, volumen, peso, producción o duración de la actividad asociada. Por ejemplo: gramos de contaminante emitido por un vehículo por kilómetro recorrido. Los factores de emisión son un valor medio, de manera que el cálculo de las emisiones mediante su aplicación probablemente daría como resultado valores diferentes a los que se producen en un momento determinado. Por esta razón, las emisiones reales solo pueden ser obtenidas mediante medición directa en la fuente. El cálculo de las emisiones puede ser más complicado para algunas fuentes, como por ejemplo el tráfico, porque las emisiones pueden depender al mismo tiempo de otros factores que las alteran notablemente. Por ejemplo, la cantidad de contaminantes que expulsa un vehículo depende de su velocidad si se deja constantes las demás variables. En este mismo caso, el valor final del factor de emisión dependerá de otras variables tales como: la antigüedad del vehículo, las propiedades del combustible, su capacidad, su tecnología y la temperatura ambiente (Ministerio del Ambiente, 2014, pág. 11).

En el inventario de emisiones realizado por el Ministerio del Ambiente mencionado anteriormente se tomaron en cuenta las emisiones de todos los contaminantes que se pueden observar en la fila superior de la Tabla 1.6 medidos en toneladas emitidas por año (t/a). De izquierda a derecha se pueden observar contaminantes primarios como el $PM_{2.5}$, que es el material particulado con un diámetro menor a 2,5 micras, seguido de material particulado con un diámetro menor a 10 micras, posteriormente se encuentra el CO monóxido de carbono, SO_2 dióxido de azufre, NO_x óxidos de nitrógeno y COV compuestos orgánicos volátiles a excepción del metano. En relación con los gases de efecto invernadero, se encuentra el N_2O óxido nitroso, CH_4 metano y por último el CO_2 dióxido de carbono (Ministerio del Ambiente, 2014, pág. 78). La Tabla 1.6 es muy simplificada con respecto a lo establecido en el documento de origen ya que, no solo se mencionan las fuentes de

contaminación presentadas en la primera columna de la derecha, sino que estas se tomaron convenientemente para mostrar cómo el sector automotriz en el año 2010 es la principal fuente de emisiones contaminantes, a excepción de $PM_{2.5}$ y PM_{10} los cuales son emitidos en mayor proporción por las empresas.

Tabla 1.6 Emisiones del cantón Ibarra en el año 2010 en toneladas por año

FUENTE	$PM_{2.5}$	PM_{10}	N_2O	CO_2	CH_4	CO	SO_2	NO_x	COV
Tránsito vehicular	160,3	197,7	18,5	238 172,3	55,5	9 791,3	253,1	2 771,5	1 590,2
GLP doméstico	2,2	2,2	2,1	30 772,9	0,5	5,2	0,0	33,5	1,1
Empresas	351,2	1 431,3	0,0	2 557,9	0,0	0,6	7,0	62,7	3,4

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2014, pág. 78)

La Tabla 1.7 contiene las mismas variables de la tabla anterior pero esta vez medidas en porcentajes. Con la finalidad de comprender estos datos se debe saber que las columnas de porcentajes (%) no sumarán nunca el 100 %, ya que como se explicó anteriormente no se ha trasladado todas las fuentes de emisión contaminantes que constan en el inventario publicado por el Ministerio del Ambiente. Una vez comprendido esto se puede apreciar cómo el tránsito vehicular emitió mayor cantidad de contaminantes con respecto a las empresas o industrias y el GLP doméstico. Asimismo, se debe tomar en cuenta que las cifras del tráfico vehicular que superan el 50% en cada contaminante significan que este emite una gran cantidad de contaminantes, en comparación con todas las fuentes tomadas en cuenta en el inventario. En virtud de esto, se hace manifiesto cómo el parque automotor emana una alta proporción de N_2O , CO_2 , CO, SO_2 , NO_x y COV en relación con todas las fuentes de contaminantes analizadas por el Ministerio del Ambiente.

Tabla 1.7 Emisiones del cantón Ibarra en el año 2010 en porcentajes

FUENTE	$PM_{2.5}$	PM_{10}	N_2O	CO_2	CH_4	CO	SO_2	NO_x	COV
Tránsito vehicular	29,2	10,5	89,1	87,7	7,4	99,3	97,3	96,6	58,7
GLP doméstico	0,4	0,1	10,2	11,3	0,1	0,1	0,0	1,2	0,0
Empresas	64,1	76,1	0,1	0,9	0,0	0,0	2,7	2,2	0,1

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2014, pág. 78)

1.5.2 NORMATIVA ECUATORIANA DE EMISIONES CONTAMINANTES

La normativa NTE INEN 2 204 rige actualmente en el Ecuador en lo que se refiere a los límites de emisiones producidas por fuentes móviles que usan gasolina. Se 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 en un dinamómetro utilizando el ciclo de conducción americano FTP-75 y el ciclo de conducción europeo ECE + EUDC (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2017).

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 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 vigila CO, hidrocarburos (THC), hidrocarburos diferentes al metano (NMHC) y NO_x. De forma similar, cuando se emplea el ECE + EUDC se comprueba el CO, HC y NO_x. Los límites se expresan en g/mi en el caso de FTP-75, mientras que en g/km en caso de ECE + EUDC (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2017).

En relación con los vehículos automotores que usan diésel, la normativa vigente que establece los límites de emisiones es la NTE INEN 2 207. Las pruebas establecidas son dinámicas y de aceleración libre. Las pruebas dinámicas se realizan dependiendo del vehículo usando los ciclos de conducción americanos FTP-75 y transiente pesado y los ciclos europeos EC-15 + EUDC y ECE 49. En relación con el ensayo de aceleración libre, en este se incrementa las revoluciones del vehículo automotor dirigido rápidamente a máxima aceleración estable, sin carga y en neutro cuando se trata de una caja de velocidades manual o en parqueo al tratarse de una caja de velocidades automática (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2002).

La NTE INEN 2 207 establece los límites de emisiones para las pruebas dinámicas y de aceleración libre. En las pruebas dinámicas en las que se emplea tanto ciclos americanos como europeos se vigila CO, HC, NO_x y partículas en g/km. En cuanto al ensayo de aceleración libre, se controla la opacidad de emisiones en porcentaje (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2002).

1.5.3 EFECTOS DE LAS EMISIONES VEHICULARES EN EL MUNDO

Los productos contaminantes mencionados en el apartado anterior afectan a los seres vivos y a su hábitat. Cada contaminante afecta de una u otra forma a la salud de la gente, siendo unos trastornos más graves que otros, o son incluso hasta mortales. Asimismo, el impacto de la polución alcanza a elementos esenciales para la vida en el planeta tales como el agua y la tierra.

1.5.3.1 Material particulado (PM)

Para que el lector capte de mejor forma la información presentada a continuación, las PM_{2,5-10} tienen un diámetro aerodinámico entre 2,5 μm a 10 μm mientras que el material particulado con un diámetro menor a 2,5 μm se denomina PM_{2,5}. La contaminación de este último al aire se ha convertido en el más importante problema para el entorno, ya que perjudica a la salud de los seres humanos a nivel mundial (Joo, Kim, Lee y Chung, 2021, pág. 1). Por otro lado, un aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM₁₀ en la cantidad media de la atmósfera causó que se recetara psicofármacos a niños y adolescentes (Buoli et al., 2018, pág. 3). Este contaminante tóxico tiene una clasificación uno como causante de cáncer, asimismo, la muerte temprana de ancianos y más de 3 millones de fallecimientos cardiopulmonares anuales se vinculan a las exposiciones a material particulado durante largos periodos de tiempo (Kermenidou et al., 2021, pág. 1).

1.5.3.2 Óxido nitroso (N₂O)

Los seres humanos que se exponen durante largos periodos de tiempo (días) a este gas de efecto invernadero presentan depresión megaloblástica de la médula ósea y síntomas en nervios o en el sistema nervioso. Sin embargo, las exposiciones cortas (menos de 6 horas) como con la anestesia clínica no son dañinas. También, el N₂O tiene una gran capacidad para agotar la capa de ozono del planeta (Frutos, Quijano, Aizpuru y Muñoz, 2018, pág. 3). El N₂O posee un potencial de calentamiento global (GWP) superior en 265 a 298 veces al CO₂ para un lapso de 100 años (Zheng, Liu, Han, Wang y Wei, 2020, pág. 2). Es decir que el N₂O calienta más la tierra que el CO₂ durante dicho periodo.

1.5.3.3 Dióxido de carbono (CO₂)

Este gas de efecto invernadero no representa un daño para la salud humana y siempre ha estado en el ambiente. Sin embargo, su concentración en el planeta ha incrementado debido a actividades antropogénicas. Así pues, genera una reacción sobre el efecto invernadero lo cual puede calentar el planeta (Rovira y Muñoz, 2015, pág. 117-118). Los aumentos en la cantidad de CO₂ y temperatura media global ya han producido cambios en la vegetación en algunas zonas del mundo, al mismo tiempo existe una gran intranquilidad de que sucedan eventos calamitosos tales como carencia del líquido vital y sequías (Qi, Liu y Leung, 2019, pág. 5).

1.5.3.4 Monóxido de carbono (CO)

A propósito del CO, este contaminante tiene una afinidad 200 veces mayor para unirse a la hemoglobina que el oxígeno, por ende, en un paciente intoxicado, tanto el oxígeno como el CO luchan por unirse a la hemoglobina. Sin embargo, pequeñas porciones de CO disueltas en la sangre son suficientes para no permitir la unión de grandes cantidades de oxígeno (Mattiuzzi y Lippi, 2020, pág. 1). Los efectos del CO en la salud humana son: dolor de cabeza, cansancio, alteraciones pulmonares, cardíacas, perjudica al sistema nervioso central y provoca desordenes del movimiento y la visión, disnea o aun la muerte (Pinto et al., 2021, pág. 1).

1.5.3.5 Dióxido de azufre (SO₂)

En China los niveles de SO₂ son altos. En efecto, se ha demostrado que los varones de su población que cuentan con un bajo nivel de educación tienen una mayor tasa de incidencia a padecer cáncer de pulmón debido a la exposición a PM1 y SO₂ (H. Guo et al., 2021, pág. 1). Este contaminante está catalogado como muy peligroso para la salud humana debido a que su mayor impacto es a las funciones respiratorias (Kurnaz y Demir, 2022, pág. 1).

1.5.3.6 Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Este contaminante emitido por los motores diésel causa intranquilidad referente al medioambiente y la salubridad (Zare et al. 2021, pág. 1). Los efectos de NO_x sobre el medioambiente son la acidificación y la eutrofización del líquido vital y la tierra (Coria, Hennlock y Sterner, 2021, pág. 2). Este producto de la combustión es muy peligroso para los sistemas respiratorios de la gente ya que pueden provocar enfermedades respiratorias (Zhao et al, 2018, pág. 5).

1.5.3.7 Compuestos orgánicos volátiles (COV)

Es importante señalar que los COV, así como los NO_x reaccionan en presencia de la luz solar produciendo ozono el cual es un contaminante secundario considerable. Además, grandes cantidades de ozono por unidad de volumen producen en los seres humanos enfermedades respiratorias como por ejemplo el asma. Asimismo, puede irritar la vista y la piel (Tang et al., 2021, pág. 3). De la misma manera se han encontrado asociaciones del ozono con afecciones cardiovasculares y pulmonares (Li et al., 2020, pág. 1-2). Por otro lado, el ozono es un gas que contribuye al cambio climático. Además, grandes cantidades ambientales de dicho contaminante y una exposición a largo plazo pueden afectar significativamente los cultivos, y en consecuencia disminuir su rendimiento y calidad (Lin et al., 2018, pág. 4-5) .

1.5.3.8 Hidrocarburos (HC)

Se define a los hidrocarburos como compuestos orgánicos que se conforman por hidrógeno y carbono, en este grupo se encuentran hidrocarburos alifáticos y aromáticos. En la combustión interna de los motores se producen hidrocarburos como benceno y metano que pueden representar riesgos potenciales para la salud de las personas (Zubizarreta, Martínez, Rivas, Gómez y Sanz, 2018, pág. 3-5). En el caso del benceno es un compuesto que se evapora con facilidad en la atmósfera y que tiene afinidad por los tejidos ricos en grasa, puede provocar reacciones alérgicas al estar en contacto a corto plazo y al estar expuesto durante largos periodos se pueden generar lesiones neurológicas, hepáticas y en la médula ósea (Montoya, Marrero, Romero, Torrealba, Moran y Palencia, 2017, pág.3).

En el caso del metano (CH₄), este posee un GWP que supera en 28 veces al CO₂ basándose en un horizonte de 100 años (Wang et al., 2021, pág.1). Las emisiones de CH₄ y N₂O pueden oponerse a los esfuerzos por disminuir la emanación de CO₂, cuya finalidad es la de hacer frente al cambio climático e incluso cumplir con el acuerdo de París que ha propuesto la meta de limitar el calentamiento global a 1,5 - 2 °C (Longfei Yu et al., 2021, pág. 2).

1.6 DESARROLLO DE LA NORMATIVA DE EMISIONES DE EUROPA

Ahora bien, con la finalidad de exponer un poco sobre la historia de la normativa. A finales de la década de 1960 se implementa las primeras leyes de emisiones y ciclos de ensayo para vehículos ligeros. Además, el primer ciclo de conducción fue ECE-15, el cual tenía dirección al ámbito urbano. Posteriormente con la implementación de la normativa EURO 1 en 1992 se introduce un tramo de carretera con el ciclo de conducción extraurbana EUDC, junto con este se añade el Nuevo Ciclo de Conducción Europeo (NEDC), conocido así a partir de EURO 3 en el año 2000 (Giakoumis y Zachiotis, 2017, pág. 3). El Nuevo Ciclo de Conducción Europeo (NEDC) usado en Europa desde 1970 fue reemplazado en septiembre de 2017 por el Procedimiento Mundial Armonizado para Ensayos de Vehículos Ligeros (WLTP), además será obligatoria la realización de una prueba de Emisiones en Conducción Real (RDE). Es así como las características antiguas de NEDC se cambiaron por perfiles de velocidad de WLTP, los cuales tienen más relación con la forma de conducción actual.

1.6.1 NORMATIVA (EU) 2017/1151

El Reglamento (UE) 2017/1151 de la Comisión de 1 de junio de 2017 es un suplemento del Reglamento (CE) N° 715/2007 en lo que se refiere a la homologación de turismos y vehículos comerciales ligeros de la Euro 5 y Euro 6 respecto a sus emisiones y el acceso a los datos de mantenimiento y arreglo de los automotores. Un aspecto importante que cabe resaltar es que deja sin efecto al Reglamento (CE) N° 692/2008, el cual es de la Comisión de 18 de julio de 2008 y como se puede observar en la normativa en sus inicios no contaba con el ensayo RDE, pero a través del tiempo se fue modificando y rectificando, es así como

mediante el Reglamento (UE) 2016/427 de la Comisión de 10 de marzo de 2016 ya se añade este ensayo.

1.6.1.1 Altitudes consideradas en los rangos de prueba

Con relación al anexo IIIA, el apartado 5.2 menciona que el ensayo debe realizarse a una altura moderada de 700 m s.n.m. o inferior. Además, el reglamento permite que esta altura sea ampliada mediante un factor de corrección, a un valor de elevación que sea superior a los 700 m s.n.m. y menor o igual a los 1 300 m s.n.m. (Unión Europea, 2017, pág. 113).

1.6.1.2 Arranque en frío

El arranque en frío habitualmente se produce en el inicio del trayecto de un vehículo mientras su motor todavía no ha llegado a su adecuada temperatura de funcionamiento (Faria, Varella, Duarte, Farias y Baptista, 2018, pág. 2). Con respecto a este tema las regulaciones de la comisión EU 2016/427 y EU 2016/646 ordenaban no tomar en cuenta las mediciones de emisiones producidas durante el arranque en frío en el ensayo RDE. Sin embargo, posteriormente se consideraron en la reglamentación EU 2017/5514. Esto debido a que las emisiones producidas durante este periodo son más altas comparadas con aquellas que se producen en el vehículo mientras está funcionando con el motor caliente (Weilenmann, Favez y Alvarez, 2009, pág. 1).

1.7 CICLO DE CONDUCCIÓN

Una definición que permitirá comprender de mejor manera el contenido del trabajo es que un ciclo de conducción es un trayecto modelo que hace posible caracterizar de un vehículo sus emisiones contaminantes y el consumo de combustible. Además, determinar estos ciclos significa analizar el progreso de la velocidad con respecto al tiempo (Jiménez, Román, y López, 2013, pág. 1-2). Añadiendo a lo anterior, un ciclo de conducción es importante en la medición de emisiones con la finalidad de ayudar a controlarlas. Se figura como una serie de puntos de velocidad del vehículo en función del tiempo (Lei Yu, Wang, Qiao y Qi, 2008, pág. 1).

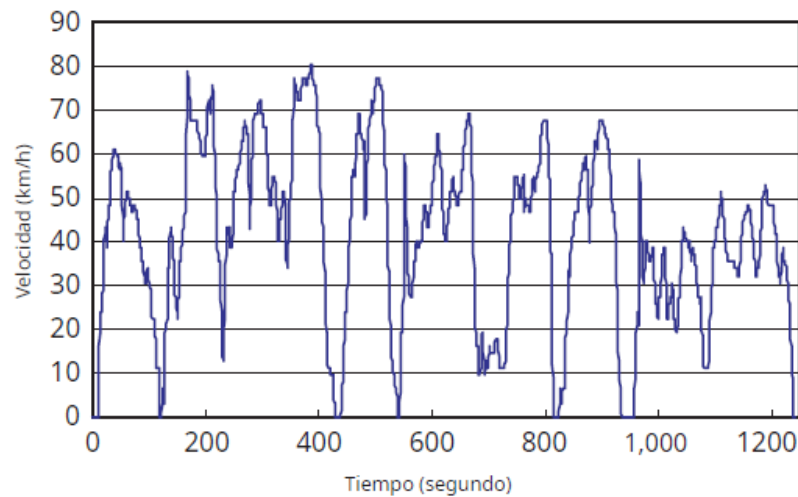


Figura 1.4 Ejemplo de ciclo de conducción de autopista

(Lei Yu, Wang, Qiao y Qi, 2008, pág. 8)

En la Figura 1.4 se muestra un ciclo de conducción determinado en Beijing que representa las condiciones de manejo típicas en autopista de la localidad. Como se puede observar es la velocidad en función del tiempo. Un ciclo de conducción muestra las condiciones de manejo típicas y promedio de un recorrido o parte de un recorrido en un lugar de estudio y representa las condiciones de manejo del vehículo desde el inicio hasta el final. Con el empleo de los ciclos de conducción se puede calcular las tasas de emisión de los vehículos para realizar inventarios de la calidad del aire y controlar las emisiones (Lei Yu, Wang, Qiao y Qi, 2008, pág. 1).

A lo largo del tiempo en varios países se han ido creando ciclos de conducción que reflejan sus condiciones típicas de manejo. El primer ciclo de conducción de prueba federal de los EE.UU. fue diseñado a finales de la década de 1960 para cumplir con los patrones federales. Este ciclo se empleó para la certificación de vehículos y para realizar un inventario de emisiones. Otro ciclo de conducción fue creado a inicios de la década de 1990 por La junta de Recursos del Aire de California (CARB) para estimar los inventarios de fuentes móviles en California. A partir de allí la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA) también ha diseñado algunos ciclos de conducción que reflejan por ejemplo: tipos de instalaciones (como autopistas y arterias) (Lei Yu, Wang, Qiao y Qi, 2008, pág. 1).

1.7.1 DIFERENCIAS ENTRE CICLO NEDC Y WLTP

Ambos son ciclos europeos, se puede evidenciar la diferencia entre estos al observar la Tabla 1.8, en donde NEDC posee una longitud, tiempo, porcentaje de aceleración y porcentaje de desaceleración muy inferiores con respecto al Ciclo Mundial Armonizado para Ensayo de Vehículos Ligeros (WLTC). Los valores de estas variables en NEDC son aproximadamente la mitad de los de WLTC. Por otro lado, la duración de parada y conducción constante de NEDC son muy prolongadas en comparación con WLTC.

Tabla 1.8 Parámetros de los ciclos de conducción WLTC y NEDC

PARÁMETROS	WLTC	NEDC
Desaceleración mínima (m/s ²)	-1,5	-1,39
Tiempo (s)	1 800	1 180
Desaceleración media (m/s ²)	-0,45	-0,82
Longitud (km)	23,27	11,03
Aceleración máxima positiva (m/s ²)	1,67	1,04
Velocidad media (km/h)	46,5	33,6
Aceleración positiva media (m/s ²)	0,41	0,59
Velocidad máxima (km/h)	131,3	120
Desaceleración (%)	39,9	15,1
Duración de parada (%)	12,6	23,7
Aceleración (%)	43,8	20,9
Conducción constante (%)	3,7	40,3

Fuente: (Pavlovic et al., 2017, pág. 2)

La Comisión Europea reemplazó el NEDC por el WLTC debido a la diferencia que existía entre las cifras oficiales de consumo de combustible y emisiones de CO₂ y aquellas que el vehículo generaba en el mundo real, ya que eran mucho mayores que aquellas mensuradas por laboratorios certificados (Pavlovic, et al., 2017, pág. 2). La culpa de ello recaía en parte sobre el ciclo de conducción NEDC, el cual es deficiente en cuanto a representar las condiciones actuales de manejo de un vehículo, mientras que WLTC reproduce de mejor forma la conducción presente (Hu, Lung, Song, Quan, 2021, pág. 2). En conclusión, NEDC fue reemplazado por WLTC debido a que este último reproduce de mejor forma la conducción actual de un vehículo.

Por otro lado, RDE es un ensayo que permite mensurar las emisiones de gases de escape de los vehículos mientras estos están funcionando en carretera. Además, cabe mencionar que este ensayo es un complemento mas no un reemplazo para las pruebas de laboratorio WLTP.

1.7.2 ENSAYO DE EMISIONES DE CONDUCCIÓN REAL (RDE)

Los ensayos de emisiones de conducción real (RDE) son ensayos que permiten la recolección de datos de emisiones producidas por los vehículos en el mundo real y es una complementación para la prueba WLTP que permite la homologación de vehículos que circulan en territorio europeo y que cumplen con la normativa EURO 6. Esta clase de ensayos tiene un reglamento en el que se detalla hasta qué punto una prueba puede ser considerada de tipo RDE, cumpliendo con restricciones sobre la ruta a utilizar, altitudes, velocidad y tiempos de conducción. A parte de estas características dentro del reglamento se encuentran también características sobre el inicio, desarrollo y final de la prueba, tomando en cuenta además la sincronización de tiempos entre GPS, recolector de datos y el sistema PEMS, así como los rangos permisibles dentro del proceso (Köhl, Hermanns y Biewer 2019, pág. 311). Es importante mencionar que las pruebas RDE se implementaron porque la Comisión decretó que las pruebas realizadas en laboratorios no manifiestan con precisión la contaminación atmosférica que se emite en condiciones reales de conducción. Por ejemplo, vehículos diésel que sobrepasaban el límite de 80 mg/km de NOx en una ensayo de laboratorio, en condiciones reales de conducción emitían una media de 700 a 800 mg/km.

Dentro de las pruebas RDE se encuentran otros aspectos como las condiciones ambientales y el tiempo en el que se realizarán las pruebas, aspectos que juegan un papel importante al momento de medir las emisiones y que también permiten recrear las pruebas de ruta y comparar los resultados. Es preciso tomar en cuenta que este tipo de pruebas se adaptan al lugar donde se realizan y se evita infringir los límites de velocidad, ya que la finalidad de encontrar una ruta dedicada a las pruebas es precisamente la recreación (Lyu, Bao, Wang y Matthews, 2020, pág. 1). Luego de encontrar la ruta y recopilar datos sobre velocidad, aceleración, entre otros, la normativa expone indicaciones para la corrección de datos en caso de realizar las pruebas en lugares que se salgan de los límites de la norma.

1.7.2.1 Implementación de la prueba RDE

Este tipo de ensayos han sido implementados después de los escándalos producidos por los vehículos diésel que contaban con software modificado para controlar las funciones del vehículo, esto con el fin de obtener beneficios para los fabricantes, dejando de lado los beneficios para el ambiente y la sociedad (Donateo y Giovinazzi, 2017, pág. 892). Estos datos sacados a luz obligaron a que las pruebas en carretera se incorporen como parte de las pruebas de homologación de la normativa europea, los datos obtenidos demuestran realmente la producción de emisiones de los vehículos en condiciones reales de conducción, logrando que las empresas productoras tomen las medidas adecuadas para reducir las emisiones en lugar de tratar de evadir el sistema.

Antes de implementar las pruebas en ruta, estas se desarrollaban dentro de un ambiente controlado y muy definido, además de que los ciclos de conducción se aplicaban para un tipo de conducción específico realizado en un dinamómetro con el fin de poder garantizar que las pruebas sean repetibles y comparar las huellas producidas por los diferentes modelos sometidos a la homologación. Es precisamente el tipo de conducción el que permitió que sea más fácil para el software determinar si está siendo sometido a una prueba de emisiones y modificar el sistema para que las emisiones se encuentren acorde a lo solicitado en la normativa (Suarez-Bertoa et al, 2019, pág. 2).

Aunque en la actualidad se siguen realizando ensayos dentro de espacios controlados por medio del proceso WTPL, estos solamente se encargan de comparar el consumo de combustible de los modelos de automóviles en ensayos que necesiten replicas precisas. Es por eso que como complementación se utilizan los ensayos RDE para que por medio de la recopilación de datos obtenidos por el dispositivo PEMS se puedan comparar las emisiones producidas con las permitidas dentro de la normativa vigente, esto además de que el sistema tiene un software comercial con un código fuente no conocido que permite asegurar la veracidad de las pruebas.

Los ensayos de emisiones fueron implementados en Europa a partir del año 2017 como parte de la normativa europea, sin embargo, no es la primera vez que se implementó el sistema de emisiones PEMS. Los registros que buscan definir las emisiones en conducciones reales se registran desde 2011 en Corea, al descubrir los problemas presentes en el sistema de gestión de emisiones se procedió a crear borradores sobre el método de medición RDE desde el año 2014. En el año 2015 se confirmó el borrador final para el procedimiento de las pruebas y

fue anunciado tanto en el continente europeo como asiático, siendo incluido en la normativa europea en el año 2016 e implementados a partir del año 2017 (Kang, Lee, Park, Cha y Chon, 2017, pág. 2).

A lo largo de la implementación de las pruebas RDE se han realizado cambios de acuerdo al año de la normativa europea e incluso dentro de la misma normativa, desde la normativa emitida en el año 2016/427 a la normativa 2017/5514 se cambió aspectos como el tomar en cuenta los arranques en frío, etapa en la que se concentra la mayor cantidad de emisiones según se ha podido determinar por medio de pruebas, en las que se puede apreciar un incremento de emisiones de hasta 15 veces las del motor en funcionamiento (Du, Zhang, Geng, Zhang, Xu y Xiang, 2020, pág. 2). Además, en países que tienen geografías con altitudes promedio mayores a los límites máximos expuestos se han superado los límites para obtener valores en alturas elevadas. En el año 2017 se impuso que el parámetro de emisiones producido puede ser 2,1 veces el de pruebas en laboratorio y a partir del año 2020 este valor se redujo a 1,5 veces.

1.7.2.2 Características de las rutas de conducción

Para que una prueba sea considerada de tipo RDE es necesario que se cumplan con diferentes características, como el orden en que se debe realizar el recorrido, se empieza por una ruta urbana, suburbana y autopista que deben ser recorridas en ese orden, el cual puede cambiar si la normativa del país lo permite. Además, no es posible realizar la prueba en vías separadas, deben estar interconectadas y cumplir con la cantidad de kilómetros expuestos en la normativa.

La ruta urbana debe abarcar un 34% de la conducción total de la ruta con un porcentaje mínimo de 29%, la ruta urbana debe contar con una distancia igual o mayor a 16 km. Dentro de esta ruta las velocidades permitidas son de máximo 60 km/h y debe tener al menos 2 paradas que representen entre el 6 y 30% del trayecto urbano, la velocidad media en el trayecto urbano se encuentra entre 15 km/h y 40 km/h. Las paradas en la zona urbana deben ser de al menos 10 segundos y de máximo 180, si la parada sobrepasa los 180 segundos las mediciones de este intervalo y de los siguientes 180 segundos no se tomarán en cuenta (Unión Europea, 2017, pág. 116).

Por su parte, la ruta suburbana debe abarcar un 33% de la ruta total con una permisibilidad de hasta el 10%, la distancia mínima que debe recorrerse son 16 km. Las velocidades comprendidas en este tramo deben ser mayores a 60 km/h, pero no debe superar los 90 km/h. La movilización por esta ruta podrá ser interrumpida brevemente al atravesar zonas urbanas (Unión Europea, 2017, pág. 116).

Por otro lado, la distancia mínima de la ruta de autopista es 16 km representando un 33% del total de la ruta, la velocidad mínima en esta trayectoria es 90 km/h y deberá alcanzar velocidades de por lo menos 110 km/h. A lo largo del trayecto el vehículo deberá superar la velocidad de 100 km/h durante al menos 5 minutos. En el caso de esta ruta el tramo podrá ser interrumpido brevemente al pasar por zonas como peajes o zonas en construcción (Unión Europea, 2017, pág. 117) .

La prueba se debe realizar en un periodo de 90 a 120 minutos y los valores de altitud entre el punto de llegada y salida no deben variar en más de 100 metros sobre el nivel del mar, además la ganancia de altura positiva no deberá superar los 1200 metros por cada 100 km recorridos (Merkisz y Pielecha, 2018, pág. 5). Para poder determinar la ganancia de altitud es necesario corregir los datos obtenidos de ganancia positiva y proceder a calcular la ganancia de altitud positiva.

1.7.3 SISTEMA DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE CON COBERTURA MUNDIAL (GNSS)

Este apartado contiene información acerca del Sistema de navegación por satélite con cobertura mundial por sus siglas GNSS, el cual permite la recolección de datos cinemáticos del vehículo durante la conducción. GNSS se refiere a un conjunto de satélites ubicados en el espacio que envían señales de posicionamiento y tiempo a receptores GNSS. A su vez, estos receptores son los encargados de calcular la ubicación. A continuación, se presentan ejemplos de GNSS: GPS (NAVSTAR) pertenece a los Estados Unidos de Norteamérica, el sistema de navegación por satélite de Rusia por sus siglas GLONASS, el sistema global de navegación por satélite europeo GALILEO y Beidou es el sistema global de navegación por satélite creado por China. En conclusión, los diferentes sistemas GNSS fueron creados por diferentes potencias mundiales.

El desempeño del GNSS se mide bajo cuatro criterios: precisión, integridad, continuidad y disponibilidad. La precisión es la diferencia que existe entre los datos medidos y reales tanto del posicionamiento, la velocidad y el tiempo. La integridad es la capacidad que posee un sistema para brindar un umbral de confianza, y en caso de que las mediciones sean fuera de lo normal pueda presentar un aviso. La continuidad es la capacidad que tiene un sistema para trabajar sin interrupción. Finalmente, la disponibilidad es el porcentaje de tiempo que una señal satisface los tres criterios anteriores. Concretizando, la utilidad del GNSS se puede valorar mediante estos cuatro criterios.

La diferencia entre un dispositivo GPS y un GNSS está en el número de satélites con los que cada uno dispone para calcular la ubicación. Es decir, un elemento GPS puede recibir señales solamente de los satélites pertenecientes a su sistema. A diferencia de este, un aparato GNSS puede recibir señales de diferentes sistemas simultáneamente. Por ejemplo, puede recibir señales de GPS y GLONASS o de la combinación de otros sistemas GNSS. La precisión de la ubicación es mejor cuando se cuenta con un mayor número de satélites. De manera que los dispositivos GNSS son más precisos que los GPS. En definitiva, los dispositivos GNSS son más precisos que los GPS porque reciben información de una mayor cantidad de satélites.

1.7.3.1 Funcionamiento del posicionamiento GNSS

Un receptor puede ser capaz de determinar su posición geoméricamente si conoce la posición exacta de tres satélites y las distancias exactas desde cada uno de ellos hacia él. Sin embargo, se sugiere que sean distancias a cuatro satélites para determinar la posición. A continuación, se describe cómo funciona el posicionamiento GNSS. El receptor calcula para cada satélite que rastrea, el tiempo que tardó la señal del satélite en alcanzarlo. Este tiempo es denominado “tiempo de propagación”. El receptor multiplica este valor por la velocidad de la luz para obtener la distancia al satélite. Ahora el receptor conoce dónde estuvo el satélite al momento de la transmisión y la distancia que había al satélite en ese instante. Entonces, el receptor calcula su posición usando la trilateración, un método útil para determinar geoméricamente la posición de un objeto (NovAtel Inc., 2015, pág. 24).

Seguidamente, se explica la trilateración en dos dimensiones con la finalidad de facilitar su comprensión. El receptor calcula la distancia a un satélite A. Como se mencionó anteriormente, lo hace determinando el tiempo que tardó la señal del satélite en alcanzarlo y

multiplica este valor por la velocidad de la luz. El satélite A comunicó su posición al receptor, entonces el receptor sabe que se encuentra en algún lugar de un círculo con radio igual a la distancia y centrado en la ubicación del satélite A, como se puede observar en la siguiente figura (NovAtel Inc., 2015, pág. 24-25):

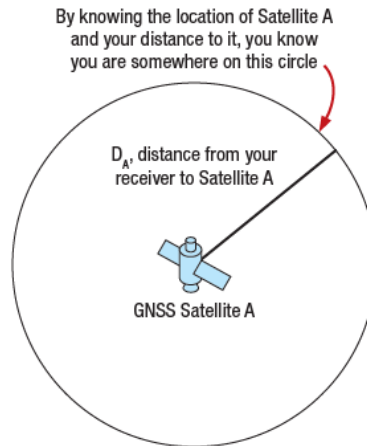


Figura 1.5 Distancia al satélite A

(NovAtel Inc., 2015, pág. 25)

En la Figura 1.5 se muestra el círculo centrado en el satélite A y con radio igual a la distancia al receptor. En tres dimensiones, las distancias no se mostrarían en círculos sino en esferas (NovAtel Inc., 2015, pág. 25). El receptor también calcula la distancia a un segundo satélite, el satélite B. En este momento, el receptor sabe que está en el cruce de dos círculos, en la posición 1 o 2, como se puede observar en la siguiente figura (NovAtel Inc., 2015, pág. 25):

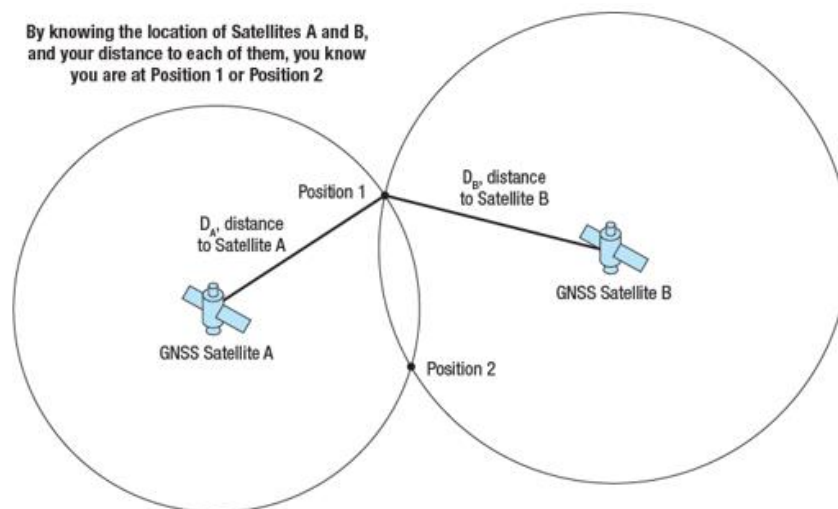


Figura 1.6 Distancia al satélite B

(NovAtel Inc., 2015, pág. 25)

En la Figura 1.6 se ilustra las dos posibles posiciones dada la intersección de los círculos. Se puede pensar que con la distancia hacia un tercer satélite se determinaría la posición. Sin embargo, en la mayoría de los casos se desecha una de ellas por ser no factible, por ejemplo, está en el espacio o en la mitad de la Tierra. Asimismo, se podría pensar que, en tres dimensiones, tres distancias podrían ser suficientes para definir la posición. Sin embargo, como se mencionó anteriormente sí son necesarias cuatro distancias. La razón se explica a continuación (NovAtel Inc., 2015, pág. 25):

Un tercer satélite es necesario para obtener una posición precisa. Esto es porque los relojes de los receptores son menos precisos que los relojes de los satélites. La mayoría de los relojes de los receptores son de cuarzo, los cuales tienen una precisión aproximada de solo 5 partes por millón. Esto significa una precisión de $\pm 1\,500$ metros. Con la distancia a dos satélites se tiene una posición desviada, proporcional a la imprecisión del reloj del receptor (NovAtel Inc., 2015, pág. 25-26). En otras palabras, la distancia calculada difiere de la real, como se puede observar en la siguiente figura:

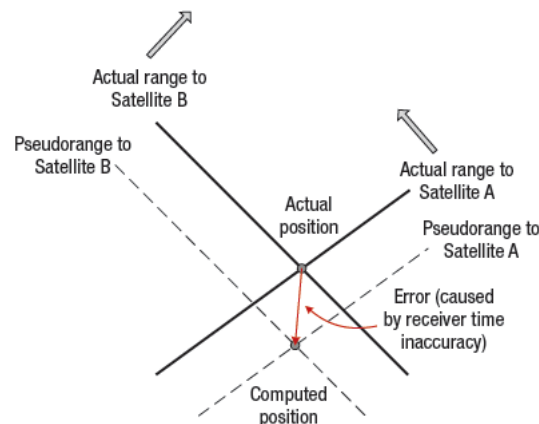


Figura 1.7 Error en la posición

(NovAtel Inc., 2015, pág. 26)

La Figura 1.7 muestra el error (desviación) de la posición calculada con respecto de la real. El error es representado mediante una línea de color rojo. Las distancias con error reciben la denominación de pseudodistancias. El objetivo es obtener una posición real pero la imprecisión del tiempo del receptor provoca errores de distancia, lo que conduce a la inexactitud en la posición. El receptor sabe que existe un error, pero no sabe la dimensión del error. Si en este momento se calcula la distancia a un tercer satélite, al satélite C, esta no intersecará con la posición calculada (NovAtel Inc., 2015, pág. 26).

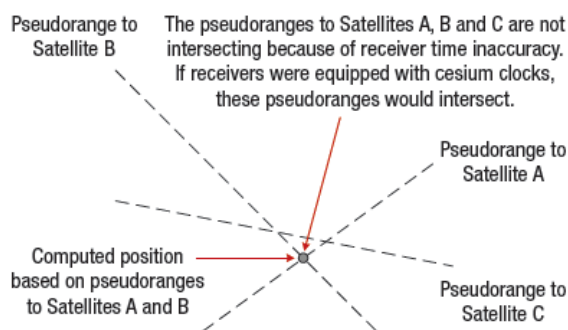


Figura 1.8 Descubrimiento del error

(NovAtel Inc., 2015, pág. 26)

La Figura 1.8 expone cómo la pseudodistancia al satélite C no interseca con la posición calculada con A y B. Es entonces cuando entra en juego una excelente técnica del posicionamiento GNSS. El receptor conoce que las pseudodistancias de los tres satélites no intersecan debido a que su reloj no es tan bueno. El receptor ha sido programado para poder adelantar o atrasar su reloj hasta que las tres pseudodistancias converjan en un punto, como se presenta en la siguiente figura (NovAtel Inc., 2015, pág. 26):

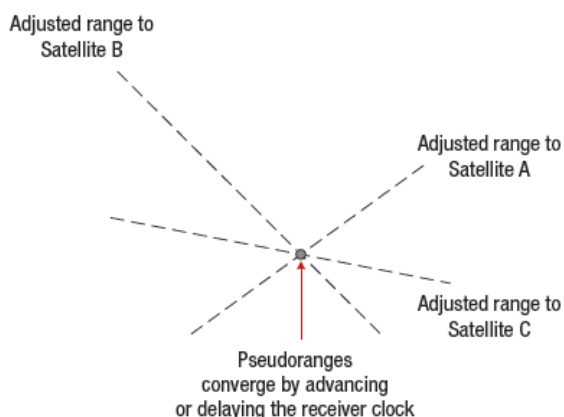


Figura 1.9 Las tres distancias ajustadas convergen

(NovAtel Inc., 2015, pág. 26)

La Figura 1.9 presenta la convergencia de las tres distancias ya ajustadas. Es así como la asombrosa precisión del reloj del satélite es “transferida” al reloj del receptor. De esta manera el receptor obtiene dos cosas: una posición precisa y una hora bastante precisa (NovAtel Inc., 2015, pág. 26). En resumen, la distancia a un tercer satélite es requerida para obtener una posición precisa.

Finalmente, la distancia al cuarto satélite es necesaria para ampliar la trilateración a tres dimensiones. La técnica expuesta anteriormente muestra cómo, en un espacio de dos

dimensiones, se logra corregir la inexactitud del tiempo del receptor y determinar la posición empleando tres satélites. Pero cuando se emplea la técnica para tres dimensiones se necesita añadir una distancia a un cuarto satélite. Este es el motivo por el cual se requiere una línea mínima de visión de cuatro satélites GNSS para determinar la posición (NovAtel Inc., 2015, pág. 26).

1.7.3.2 Sistema de posicionamiento global (GPS)

El sistema de posicionamiento global por sus siglas GPS es un servicio que brinda a sus beneficiarios datos sobre posición, viaje y medida exacta del tiempo. GPS es uno de los sistemas de navegación por satélite con cobertura mundial (GNSS) cuyo propietario es los Estados Unidos de Norteamérica. Este sistema está compuesto por tres secciones: la sección espacial, la sección de control y la sección de usuario. De estas tres, las secciones de control y espacial son mejoradas, mantenidas y usadas por la Fuerza Aérea de EE.UU. En los párrafos siguientes se explicará cada una de las tres secciones de forma más detallada.

La sección espacial consta de una constelación de satélites artificiales que emiten señales de radio a los beneficiarios. El compromiso de EE.UU. es mantener disponibles 24 satélites GPS funcionales el 95% de tiempo. Con la finalidad de mantener su compromiso la Fuerza espacial del país ha mantenido en el espacio 31 satélites funcionales por más de 10 años. Los satélites GPS surcan en órbita terrestre media (MEO) a una altura que ronda los 20 200 kilómetros. En conclusión, cuando se habla de la sección espacial se refiere a los satélites GPS.

La sección de control GPS es una red terrestre encargada de preservar la funcionalidad de la constelación de satélites GPS. Entre las funciones que cumple están: el seguimiento de los satélites, vigilar sus transmisiones, analizar y exportar datos y comandos a la constelación. El segmento de control operacional por sus siglas OCS actualmente está constituido por 16 puntos de monitoreo, 11 antenas de control y comando, y dos estaciones de control maestras (una de ellas alternativa). Estos sitios están dispuestos en diferentes lugares alrededor del mundo. La sección de control está encargada de mantener operativo el sistema GPS.

Por otro lado, la sección de usuario se refiere a todas las aplicaciones que el público le ha dado al sistema GPS. Centenares de ellas que han intervenido en casi todos los elementos de la vida moderna debido a la gratuidad e integridad del sistema. Por citar algunos de ellos, la

agricultura, carreteras y autopistas, medio ambiente, recreación, entre otros. En la agricultura se ha implementado la agricultura de precisión. La agricultura de precisión es una tecnología que ha podido ser aplicada y mejorada con la combinación del sistema GPS y los sistemas de información geográfica (GIS). Dicha tecnología ha permitido unir información obtenida en vivo con datos de posicionamiento. En efecto, se consigue un eficiente análisis y empleo de muchos datos geoespaciales. Entre los beneficios que se han obtenido se puede mencionar los siguientes: precisión de muestreo (permite la variación de productos químicos y de la densidad de siembra de acuerdo a las necesidades de diferentes secciones del terreno), movimiento preciso a través de los cultivos (disminuye acciones redundantes así como el no actuar y posibilita alcanzar la mayor superficie en el menor tiempo posible) y oportunidad de trabajar bajo circunstancias que no permiten una correcta visión (noche, lluvia, niebla) con el fin de incrementar la productividad. La sección de usuario está disponible para todo el público en general alrededor del mundo. Como es de suponerse el presente trabajo se desarrolló empleando la sección de usuario del sistema GPS con una aplicación enfocada al medio ambiente en el tema de emisiones contaminantes de los vehículos.

1.8 DINÁMICA VEHICULAR

En este apartado se da a conocer contenidos básicos sobre la dinámica vehicular, tales como: la fuerza de tracción, potencia de tracción y energía de tracción.

1.8.1 FUERZA DE TRACCIÓN

Un autor define a la fuerza de tracción como la fuerza producida por el motor principal menos la fuerza empleada para acelerar los componentes giratorios dentro del vehículo y menos las pérdidas originadas por fricción en el tren motriz. Además, la fuerza de tracción puede ser negativa, por ejemplo, durante los periodos de frenado (Guzzella & Sciarretta, 2007, pág.14). La fuerza de tracción es generada por el par del motor y transferida por medio de la transmisión y la transmisión final a las ruedas motrices. Esta se encuentra en el área de contacto entre los neumáticos de las ruedas motrices y la superficie del camino e impulsa el vehículo hacia adelante (Ehsani, Gao y Emadi, 2010, pág. 19).

Para el movimiento de un vehículo, la fuerza de tracción debe vencer todas las fuerzas de resistencia (Saleem, Liu, Junjie, Iqbal, Hayyat y Mateen, 2020, pág. 1). Estas son: la

resistencia a la rodadura por la acción entre el neumático y la calzada, la resistencia del viento debido a la acción entre el aire y el vehículo, la resistencia por la pendiente por las diferentes pendientes de la vía, y la resistencia a la aceleración debido a la necesidad de acelerar la masa del vehículo (Sun y Zhu, 2014, pág. 4). La fuerza de tracción total del vehículo se obtiene con la siguiente fórmula:

$$F_{tr} = F_{rr} + F_W + F_{pendiente} + F_A \quad [1.1]$$

Donde:

F_{tr} : fuerza de tracción total en las ruedas (N)

F_{rr} : fuerza de resistencia a la rodadura (N)

F_W : fuerza aerodinámica (N)

$F_{pendiente}$: fuerza de resistencia por la pendiente (N)

F_A : fuerza de resistencia a la aceleración (N)

Otro autor describe a la fuerza de tracción como la suma de dos términos, la fuerza de tracción en los neumáticos delanteros y la fuerza de tracción en los neumáticos traseros. La fuerza de tracción en los neumáticos traseros es cero en el caso de un vehículo con tracción delantera. Asimismo, la fuerza de tracción en los neumáticos delanteros es cero en el caso de un vehículo con tracción trasera (Ehsani, Gao y Emadi, 2010, pág. 26). Es importante mencionar que, en el funcionamiento del vehículo, este no debe superar el valor de fuerza de tracción máxima que está limitado por la cohesión del suelo y el neumático. De otra forma, las ruedas motrices patinarán sobre el suelo y se producirá inestabilidad en el coche (Ehsani, Gao y Emadi, 2010, pág. 27). Seguidamente, se muestra una representación gráfica de un vehículo en el que actúan la fuerza de tracción y cada una de las fuerzas de resistencia mencionadas anteriormente:

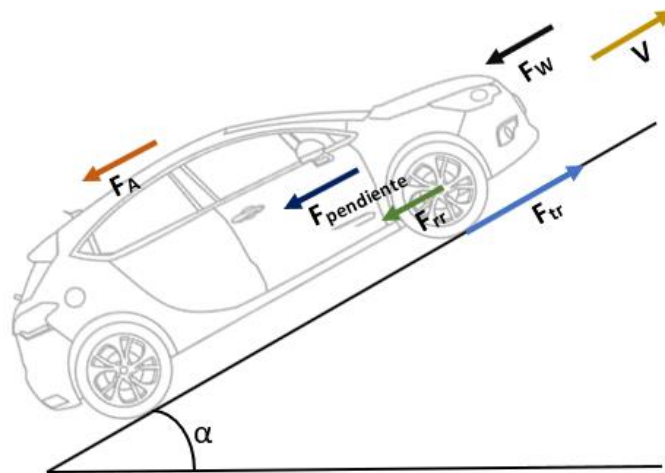


Figura 1.10 Fuerzas que actúan sobre un vehículo que asciende una pendiente

En la Figura 1.10 se puede observar las diferentes fuerzas que actúan en un vehículo que asciende por una pendiente. Las fuerzas de resistencia se oponen al movimiento, mientras que la fuerza de tracción impulsa al vehículo. El vehículo es de tracción delantera porque la fuerza de tracción está en las ruedas frontales. Es importante mencionar que el vehículo puede funcionar en los siguientes modos dependiendo del valor de la fuerza de tracción (Guzzella y Sciarretta, 2007, pág. 20):

$F_{tr} > 0$: Tracción, el motor proporciona una fuerza de propulsión al vehículo.

$F_{tr} < 0$: Frenado, los frenos desvanecen energía cinética del vehículo, el motor puede estar acoplado o desacoplado (para considerar corte de combustible).

$F_{tr} = 0$: Coasting, sucede cuando el motor está desacoplado, y las pérdidas de resistencia del vehículo se corresponden exactamente con la disminución de su energía cinética.

A continuación, se presenta las ecuaciones para el cálculo de las fuerzas de resistencia y una breve explicación sobre cada una de ellas.

1.8.1.1 Fuerza de resistencia a la rodadura

La resistencia a la rodadura de los neumáticos sobre superficies duras es consecuencia principalmente de la histéresis de los materiales del neumático (Ehsani, Gao y Emadi, 2010, pág. 20). La histéresis es el resultado de la deformación cíclica del caucho del neumático por las características de los agregados y de la superficie de la carretera de concreto asfáltico. Ahora bien, en un neumático parado, una fuerza actúa sobre su centro hacia abajo, además,

otra fuerza resultante de reacción debida al contacto entre el neumático y el piso actúa en dirección opuesta. Con el neumático parado estas fuerzas están alineadas. Sin embargo, cuando el neumático está girando, la fuerza de reacción del suelo resultante se desplaza un poco hacia la mitad delantera del neumático debido a la histéresis en la deformación del material de caucho del neumático. En efecto, ambas fuerzas se desalinean. La fuerza de reacción del suelo resultante desplazada hacia adelante junto con la fuerza que actúa sobre el centro del neumático produce un momento que se opone al rodamiento de la rueda. Cuando el vehículo circula por superficies blandas la resistencia a la rodadura se produce principalmente por la deformación de la superficie del suelo. La fuerza de reacción del suelo resultante se mueve casi por completo hacia la mitad delantera del neumático. El momento generado por el desplazamiento de la fuerza de reacción del suelo resultante se denomina momento de resistencia a la rodadura. Para que la rueda siga rodando, es necesaria una fuerza aplicada al centro de la rueda que equilibre este momento de resistencia a la rodadura. En este sentido, el momento de resistencia a la rodadura puede ser reemplazado por una fuerza horizontal que actúa sobre el centro de la rueda en dirección contraria al movimiento de la rueda. Esta se denomina fuerza de resistencia a la rodadura (Ehsani, Gao y Emadi, 2010, pág. 21-22). La fuerza de resistencia a la rodadura se calcula como (Saleem, Liu, Junjie, Iqbal, Hayyat y Mateen, 2020, pág. 2):

$$F_{rr} = m \cdot g C_{rr} \cos(\theta) \quad [1.2]$$

Donde:

- m : masa total del vehículo (kg)
- g : gravedad (m/s^2)
- C_{rr} : coeficiente de resistencia a la rodadura (adimensional)
- θ : ángulo de la carretera (grados)

1.8.1.2 Fuerza de resistencia del viento

Un vehículo que se desplaza por el aire a una cierta velocidad encuentra una fuerza que se resiste a su movimiento. Esta fuerza se denomina resistencia aerodinámica y resulta primordialmente de dos componentes: arrastre de forma y fricción de revestimiento. En cuanto al arrastre de forma, cuando un vehículo está en movimiento se crean dos zonas con diferente presión. La primera porque el aire no puede ser desplazado fuera del camino

instantáneamente por lo que se produce un aumento de presión en el frente del vehículo (zona de alta presión). La otra zona es de baja presión, se encuentra en la parte posterior del vehículo porque el aire no puede llenar instantáneamente el espacio dejado atrás. La zona de alta presión empuja al vehículo hacia atrás y la zona de baja presión jala al vehículo hacia atrás. La fuerza resultante sobre el vehículo se denomina arrastre de forma. Concerniente a la fricción del revestimiento, cuando un vehículo se desplaza, el aire cercano a su revestimiento se mueve casi a la misma velocidad, el aire que está lejos permanece inmóvil y el aire intermedio presenta una variedad de velocidades. La fricción entre dos moléculas de aire crea fricción lo que da como resultado el segundo componente de la fuerza aerodinámica (Ehsani, Gao y Emadi, 2010, pág. 23). La fuerza aerodinámica o también denominada fuerza de resistencia del viento se calcula con la siguiente fórmula:

$$F_W = \frac{1}{2} \rho C_D A_{Frente} (V + V_w)^2 \quad [1.3]$$

Donde:

- ρ : densidad del aire (kg/m^3)
- C_D : coeficiente de resistencia aerodinámica (adimensional)
- A_{Frente} : área frontal del vehículo (m^2)
- V : velocidad o rapidez del vehículo (m/s)
- V_w : velocidad o rapidez del viento (m/s)

La velocidad del viento es positiva cuando está en la misma dirección de movimiento del vehículo y es negativa cuando está en dirección contraria (Ehsani, Gao y Emadi, 2010, pág. 24).

1.8.1.3 Fuerza de resistencia por la pendiente

Cuando un vehículo sube o baja por una pendiente su peso genera una componente que se dirige siempre en dirección descendente. Esta componente del peso se opone al movimiento en una pendiente ascendente, mientras que en una pendiente descendente apoya al movimiento. En el análisis de rendimiento del vehículo solo se considera el funcionamiento en pendiente ascendente. Esta fuerza de resistencia por la pendiente también se denomina

resistencia por la pendiente y se calcula de la siguiente forma (Ehsani, Gao y Emadi, 2010, pág. 24):

$$F_{pendiente} = m g \sin (\theta) \quad [1.4]$$

1.8.1.4 Fuerza de resistencia a la aceleración

Esta fuerza representa los cambios de velocidad que sufre el vehículo en un lapso de tiempo y se calcula como:

$$F_A = a. 1,04. m \quad [1.5]$$

Donde:

a : aceleración (m/s^2)

$1,04.m$: masa inercial del vehículo

Seguidamente, se presenta otra ecuación para calcularla (Sun y Zhu, 2014, pág. 5):

$$F_A = \frac{W}{g} a \quad [1.6]$$

Donde:

W : Peso del vehículo (N)

En el cálculo de la fuerza de resistencia a la aceleración, si es necesario, se puede emplear el peso equivalente del vehículo, el cual incluye el peso efectivo de los elementos giratorios del tren motriz. Esto porque durante la aceleración del vehículo, la masa del vehículo no solo está percibiendo aceleración lineal, sino que los componentes rotatorios del sistema del tren motriz también están experimentando aceleración giratoria, la cual está directamente relacionada con la aceleración lineal del vehículo. Algunos de los elementos que están sufriendo aceleración lineal y aceleración giratoria son: la inercia del motor, la transmisión, el eje de transmisión, y el neumático. El peso equivalente del vehículo puede ser mucho mayor que el peso real del vehículo, lo cual depende de la inercia del sistema del tren motriz en relación con la masa del vehículo (Sun y Zhu, 2014, pág. 5). A continuación, se presenta

otra fórmula para el cálculo de la fuerza de resistencia a la aceleración (Vidal, Machado, Araujo y Ochoa, 2002):

$$F_A = \frac{W}{g} \delta a \quad [1.7]$$

Donde:

δ : coeficiente de participación de las masas giratorias

En la fórmula anterior aparece un nuevo término denominado coeficiente de participación de las masas rotacionales, el cual convierte de forma equivalente las inercias de rotación de los elementos giratorios en una masa de traslación superior que el peso real del vehículo. En otras palabras, este término aumenta el peso del vehículo debido a las inercias de rotación de los componentes giratorios. La fórmula siguiente es una de las más empleadas para calcular el coeficiente de participación de las masas giratorias (Vidal, Machado, Araujo y Ochoa, 2002):

$$\delta = 1,04 + 0,05 I_{CV}^2 \quad [1.8]$$

Donde:

I_{CV}^2 : relación de transmisión de la caja de cambios

Cabe resaltar que el coeficiente de participación de las masas giratorias, de acuerdo con la fórmula, cambia en función de la relación de transmisión de la caja de cambios.

1.8.2 POTENCIA DE TRACCIÓN Y ENERGÍA DE TRACCIÓN

La potencia de tracción se define como la potencia que la carretera demanda a la rueda para que el vehículo pueda circular. Con la finalidad de realizar análisis, la potencia de tracción del vehículo se puede calcular mediante la siguiente ecuación (Saleem, Liu, Junjie, Iqbal, Hayyat y Mateen, 2020, pág. 2):

$$P_{tr} = F_{tr} \cdot V \quad [1.9]$$

Donde:

P_{tr} : Potencia de tracción del vehículo

F_{tr} : Fuerza de tracción
 V : Velocidad

La potencia requerida del vehículo en cada instante de tiempo es el producto de la fuerza de tracción por la velocidad del vehículo (Sun y Zhu, 2014, pág. 7). De acuerdo con los valores de potencia de tracción que se obtengan se pueden establecer los siguientes modos del vehículo (Álvarez, 2020, pág. 21-22):

- $P_{tr} > 0$: Cuando la potencia de tracción tiene signo positivo, el vehículo está en el modo de tracción y se mueve hacia adelante. En este modo la fuerza de tracción es mayor que las fuerzas de resistencia.
- $P_{tr} < 0$: Cuando la potencia de tracción es negativa, el vehículo está en modo de frenado. En este modo el esfuerzo de tracción es también negativo.
- $P_{tr} = 0$: Cuando la potencia de tracción es nula existen dos casos posibles. Uno es que el vehículo está parado (modo de permanencia). El otro es cuando las fuerzas de resistencia son iguales a la minoración de la energía cinética (modo coast).

En lo que concierne a la potencia de salida del motor, esta siempre es igual a la suma de la potencia de la resistencia más la potencia dinámica para la aceleración del vehículo, y se calcula mediante la siguiente ecuación (Ehsani, Gao y Emadi, 2010, pág. 49):

$$P_e = \frac{V}{n_t} (F_{rr} + F_W + F_{pendiente} + m \delta a) \quad [1.10]$$

Donde:

P_e : potencia de salida del motor (W)
 n_t : eficiencia de transmisión desde el motor hasta las ruedas motrices

En este caso, el autor denomina potencia de la resistencia al resultado de sumar la potencia de resistencia a la rodadura, potencia de resistencia del viento y la potencia de resistencia por pendiente. Aunque estos términos son nuevos, se debe comprender que estas potencias solo son el resultado de multiplicar la respectiva fuerza de resistencia por la velocidad del vehículo. Es decir, para obtener la potencia de resistencia a la rodadura solo se debe multiplicar la fuerza de resistencia a la rodadura por la velocidad del vehículo. Asimismo, cuando el autor menciona la potencia dinámica para la aceleración del vehículo, se refiere a

la potencia de resistencia a la aceleración, la cual se calcula multiplicando la fuerza de resistencia a la aceleración por la velocidad.

La fricción en los dientes de los engranajes y los cojinetes produce pérdidas en la transmisión mecánica de engranajes, algunos ejemplos de valores representativos de la eficiencia mecánica son: 99 % para embrague, 95 – 97% para cada par de engranajes, 98 – 99% para cojinete y junta. La eficiencia mecánica total entre el eje de salida del motor y las ruedas motrices (η_t) es el producto de las eficiencias de todos los elementos en la transmisión. Como una primera aproximación se puede emplear los siguientes valores (Ehsani, Gao y Emadi, 2010, pág. 31-32):

Marcha directa: 90%

Otra marcha: 85%

Transmisión con relación de transmisión muy alta: 75% – 80%

En cuanto a la energía de tracción, esta se define como la energía que la carretera demanda a la rueda para que el vehículo pueda circular en unas condiciones cinemáticas dadas. La energía de tracción total se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$E_{tr} = P_{tr} t \quad [1.11]$$

Donde

E_{tr} : Energía de tracción total

P_{tr} : Potencia de tracción

t: tiempo

Los detalles acerca de cómo se aplicó estas fórmulas se presentan en el capítulo Desarrollo de la propuesta. En el diseño de un motor convencional, el cálculo de la potencia de tracción y de la energía de tracción total permiten tener una idea de cuanto motor nominal se requiere para mover un vehículo en particular. Este es el resultado principal que lleva a la persona a diseñar el vehículo (Saleem, Liu, Junjie, Iqbal, Hgayyat y Mateen, 2020, pág. 2).

CAPÍTULO II

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Este apartado contiene la descripción de cada una de las etapas realizadas con la finalidad de cumplir los objetivos del presente proyecto. Estas etapas están plasmadas ordenadamente en el siguiente flujograma:

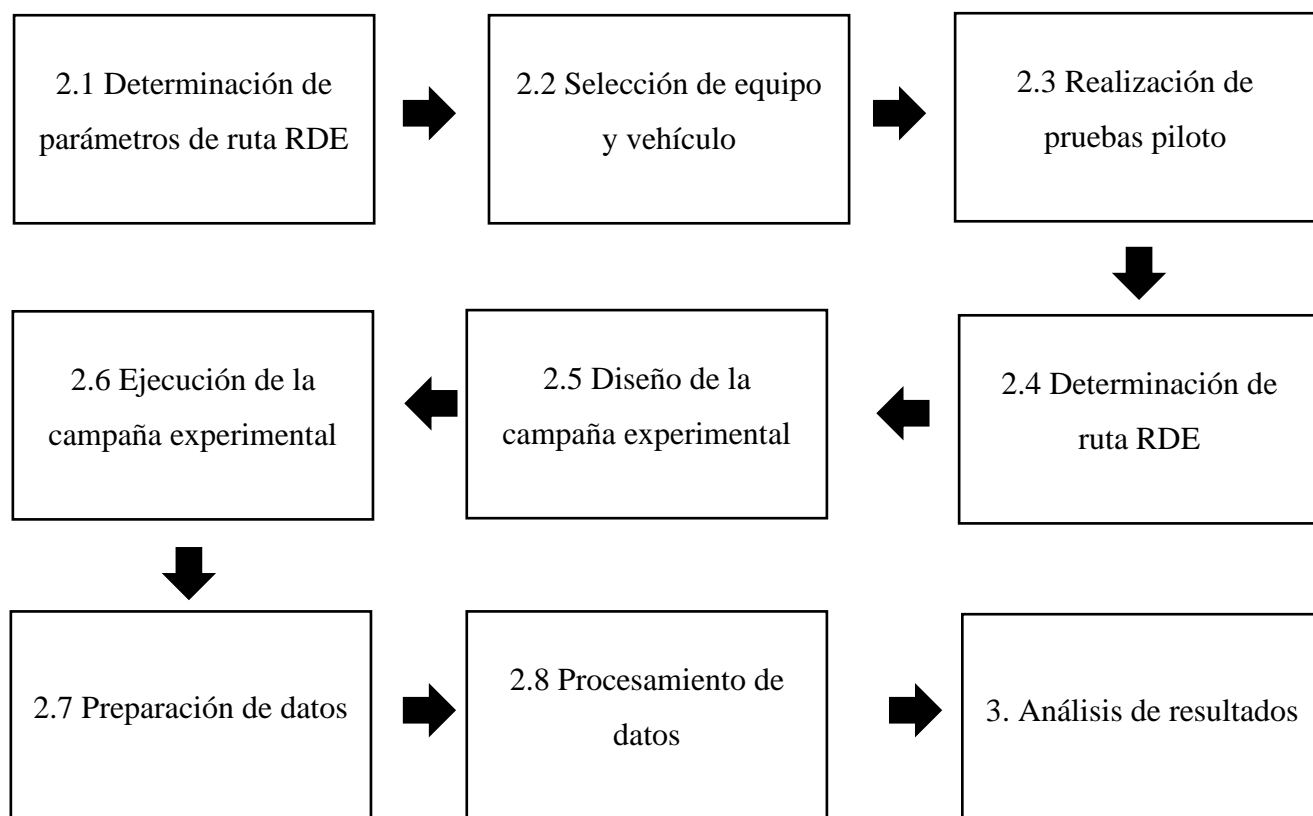


Figura 2.1 Flujograma de la metodología empleada

Las primeras 8 etapas de la Figura 2.1 corresponden a cada uno de los subtítulos del presente capítulo. La última etapa se desarrolla en el capítulo tres denominado Resultados y discusión.

2.1 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE RUTA RDE

La prueba RDE se caracteriza por cumplir con ciclos de conducción en tres diferentes tipos de vías, urbano, suburbano y autopista. Cada tipo de vía debe cumplir con características que permitan diferenciarlas entre sí. El procedimiento para realizar la prueba puede variar en el orden de vías y la conexión de acuerdo con la normativa de cada país, sin embargo, cada ruta debe cumplir con las características presentadas en la lista de comprobación presentada en

la Tabla 2.1. La lista de comprobación permitió comparar fácilmente las características de cada ruta alternativa con lo expuesto en la normativa europea.

Tabla 2.1 Características de la ruta de ensayo RDE

PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA RUTA		SÍ	NO
URBANO	Cumple con una velocidad máxima de 60 km/h		
	La distancia abarca un porcentaje entre 29% y 34% del total		
	La velocidad media se encuentra entre 15 y 40 km/h		
	Las paradas con velocidad menor a 1 km/h abarca del 6% al 30% del recorrido urbano		
	La distancia recorrida abarca 16 km		
	Una parada no supera los 300 segundos consecutivos		
SUBURBANO	Cumple con una velocidad mínima superior a 60 km/h		
	Cumple con una velocidad máxima de 90 km/h		
	La distancia recorrida abarca 16 km		
	La distancia abarca un porcentaje del 33% \pm 10 puntos porcentuales		
AUTOPISTA	Cumple con una velocidad mínima superior a 90 km/h		
	La distancia recorrida abarca 16 km		
	La distancia abarca un porcentaje del 33% \pm 10 puntos porcentuales		
	La velocidad es superior a 100 km/h durante mínimo 5 minutos		
	La velocidad del vehículo no supera los 145 km/h		
Las proporciones de las diferentes zonas de conducción se expresa en porcentaje de la distancia total.			
El trayecto se realiza en el siguiente orden zona urbana, zona suburbana y autopista.			
La temperatura es superior o igual a 0° C e inferior o igual a 30° C			
La carga útil del vehículo incluye al conductor, un testigo de ensayo y el equipo de ensayo			
La altitud es superior a 700 m.s.n.m. e inferior a 1300 m.s.n.m.			
La altitud sobre el nivel del mar de los puntos de partida y llegada no difiere más de 100 m			
La ruta consta de carreteras y calles pavimentadas			
El combustible y lubricante son los especificados por el fabricante			
El recorrido dura entre 90 a 120 minutos			

2.2 SELECCIÓN DE EQUIPO Y VEHÍCULO

El propósito del presente proyecto fue adquirir dos tipos de datos: posicionamiento del vehículo (GPS) y condiciones de operación del vehículo del vehículo usando el sistema OBD. Para la adquisición de estos datos se empleó los siguientes equipos y vehículo.

2.2.1 SELECCIÓN DE EQUIPOS

Los equipos usados para recolectar los datos GPS y OBD del vehículo se presentan en la Tabla 2.2:

Tabla 2.2 Equipos

EQUIPO	FUNCIÓN PRINCIPAL	MARCA	SENSIBILIDAD	FRECUENCIA DE MUESTREO
CANedge2	Datalogger OBD	CSS Electronics	-	1 Hz
CANmod.gps	GPS	CSS Electronics	Seguimiento/Navegación: 160 dBm Arranques en frío: 148 dBm Arranques en caliente: 157 dBm	1 Hz
Interfaz de diagnóstico OBD	Interfaz OBD	ILC	-	1 Hz

A continuación, se presenta más detalles sobre cada equipo:

2.2.1.1 CANedge2

Es un dispositivo que registra datos CAN con marca de tiempo. Además, es capaz de conectarse a puntos de acceso Wifi para recibir actualizaciones de configuración o firmware por aire. Asimismo, tiene la capacidad para enviar automáticamente archivos de registro hacia su servidor.

**Figura 2.2** CANedge2

En la Figura 2.2 se muestra el CANedge2 empleado. La Tabla 2.3 presenta algunas de las especificaciones técnicas del equipo.

Tabla 2.3 Especificaciones técnicas de CANedge2

Funcionalidad	2 canales CAN/LIN incluye CAN FD
Estándar CAN BUS	ISO 11898: compatible con CAN (hasta 1 Mbit/s) e ISO y Bosch CAN FD (hasta 5 Mbit/s)
Protocolos CAN BUS	J1939/FMS, CANopen, NMEA 2000, OBD2, CAN FD, UDS, ...
Estándar LIN BUS	Cumple con LIN 2.0 hasta 20 Kbit/s (soporte para formato de suma de comprobación clásico y mejorado)
Almacenamiento	Tarjeta SD industrial de 8 GB que cuenta con características especiales y no es como las normales de teléfono móvil
Salida de energía configurable	El canal 2 se puede configurar para suministrar 5 V para alimentar hasta 3 módulos.

Fuente: (CSS Electronics, s.f.)

2.2.1.2 CANmod.gps

Es un dispositivo que combina información de posicionamiento (GNSS) e inercial 3D (IMU). El usuario tiene a su disponibilidad varias combinaciones de GNSS (GPS, Galileo, Beidou, GLONASS) a las cuales puede acceder mediante modificar la configuración del dispositivo. La IMU brinda tres lecturas de aceleración más tres de giroscopio. Además, para aplicaciones automotrices se puede activar la fusión de sensores. Esta función acopla la información del GNSS y de la IMU para un registro de datos mejorado, específicamente en condiciones de interrupción o denegación de la señal GNSS. Cabe mencionar que en este proyecto este equipo se conectó con CANedge2. Asimismo, fue alimentado mediante el canal 2 de CANedge2. De manera que CANmod.gps usó como volumen de almacenamiento la tarjeta de memoria de CANedge2.



Figura 2.3 CANmod.gps

En la Figura 2.3 se puede observar el CANmod.gps . La Tabla 2.4 presenta las especificaciones técnicas más importantes del equipo.

Tabla 2.4 Especificaciones técnicas de CANmod.gps

Funcionalidad	El dispositivo configurable produce datos GNSS/IMU y los emite a través del BUS CAN y/o USB
Módulo	Sensor u-blox NEO-M8U (72 canales) de calidad profesional con giroscopio y acelerómetro integrados
Precisión	Posición: 2,5 m CEP (Circular Error Probable) Rumbo: 1 grado (50% a 30 m/s) Velocidad: 0,05 m/s (50% a 30 m/s)
Terminación de CAN BUS	Puede activar/desactivar a través del interruptor debajo del conector DB9
Suministro de entrada	+5 V a +26 V CC a través del conector DB9 (alimentación a través del pin 1 o pin 9)

Fuente: (CSS Electronics, s.f.)

2.2.1.3 Interfaz de diagnóstico OBD

Transmite la información OBD por medio de Bluetooth a un dispositivo Android o Windows en tiempo real. Además, permite recuperar códigos de diagnóstico de problemas (DTC) genéricos y del fabricante. Asimismo, se puede borrarlos y apagar el indicador “Comprobar motor” (MIL). Además, la red 3G/4G del dispositivo móvil todavía puede utilizarse mientras escanea automóviles. En el presente proyecto se empleó junto con la aplicación Android Torque PRO para registrar datos GPS y OBD.



Figura 2.4 Interfaz de diagnóstico OBD

En la Figura 2.4 se puede observar la interfaz de diagnóstico OBD conectada en el DLC de un vehículo. La Tabla 2.5 muestra sus especificaciones técnicas más importantes.

Tabla 2.5 Especificaciones técnicas de la interfaz de diagnóstico OBD

Chip	25K80 para lectura de código de error rápida y con bajo consumo de energía
Compatibilidad	Autos gasolina de 1996 y posteriores vendidos en el Reino Unido, autos estadounidenses, europeos y asiáticos. Vehículos equipados con interfaz OBD2 y voltajes de 9V a 16V.
Protocolos	OBD-II: SAE J1850 VPW, ISO14230-4 (KWP2000), SAE J1850 PWM, ISO9141-2, ISO 15765-4 CAN (excepto para vehículos diésel, híbridos y eléctricos).
Compatibilidad con dispositivos	Android y Windows con Bluetooth

Fuente: (iLC™, s.f.)

2.2.2 SELECCIÓN DEL VEHÍCULO

El vehículo considerado inicialmente para el desarrollo de las pruebas de ruta fue un Kia Sportage del año 2004 con un cilindraje de 2.0 L, mismo vehículo con el cual se procedió a realizar el reconocimiento de las velocidades que se pueden alcanzar dentro de las vías de la ciudad de Ibarra. Sin embargo, para el momento de realizar las pruebas vehiculares se descartó esta opción ya que este vehículo no contaba con red CAN que permitiese acceder a los datos necesarios por el CANedge2, esto sumado a que se han realizado trabajos de reparación de motor lo que modifica el rendimiento de este al momento de realizar la prueba. En base a que CANedge2 solo permitió registrar datos OBD si el vehículo contaba con red CAN, se procedió a realizar pruebas en diferentes vehículos para determinar cuáles contaban con este tipo de protocolo OBDII. En la Tabla 2.6 se muestra las pruebas piloto realizadas con CANedge2 para determinar cuáles vehículos contaban con red CAN:

Tabla 2.6 Vehículos utilizados para la obtención de datos de los equipos de prueba

DATOS DE EQUIPOS	FECHA	MARCA	MODELO
Acceso a red CAN	07 mayo 2022	Toyota	Yaris
Acceso a red CAN	07 mayo 2022	Hyundai	i10
Sin acceso de datos	28 mayo 2022	Chevrolet	Aveo Activo
Sin acceso de datos	01 julio 2022	Jac	Luxury T6
Sin acceso de datos	01 julio 2022	Jetour	Jetour
Sin acceso de datos	01 julio 2022	SWM	SWM

Tabla 2.6 Vehículos utilizados para la obtención de datos de los equipos de prueba
(Continuación...)

DATOS DE EQUIPOS	FECHA	MARCA	MODELO
Acceso a red CAN	02 julio 2022	Mazda	3
Acceso a red CAN	02 julio 2022	Toyota	Rush
Acceso a red CAN	02 julio 2022	Toyota	Yaris Sedán
Acceso a red CAN	02 julio 2022	Kia	Rio

Sin embargo, aun cuando fue posible acceder a datos de la red CAN en algunos de los vehículos de prueba, en ninguno de estos fue posible acceder a datos sobre el consumo de combustible, lo que no hacía factible ninguna de estas opciones. Con el cambio de equipo, se procedió a realizar pruebas con la interfaz de diagnóstico OBD para la toma de datos en diversos vehículos para determinar en cuáles era posible acceder a datos de consumo de combustible. En la Tabla 2.7 se presenta las pruebas piloto realizadas con la interfaz OBD II y el programa Torque PRO con la finalidad de determinar en cuáles vehículos se podía registrar la tasa de flujo de combustible.

Tabla 2.7 Vehículos utilizados para pruebas con interfaz de diagnóstico OBD II

RESULTADOS	FECHA	MARCA	MODELO
Acceso a datos del motor y registro de flujo combustible	06 julio 2022	Toyota	Yaris
Acceso a datos del motor y registro de flujo combustible	11 julio 2022	Chevrolet	Aveo Family
Acceso a datos del motor y registro de flujo combustible	13 julio 2022	Hyundai	Grand i10
Acceso a datos del motor y registro de flujo combustible	13 julio 2022	Kia	Rio Xcite
Acceso a datos del motor y registro de flujo combustible	14 julio 2022	Renault	Sandero
Acceso a datos del motor y registro de flujo combustible	14 julio 2022	Chevrolet	Luv Dmax
Acceso a datos del motor y registro de flujo combustible	14 julio 2022	ZX Auto	Terralord
Acceso a datos del motor y registro de flujo combustible	15 julio 2022	Chevrolet	Aveo Activo

Luego de estas pruebas se procedió a seleccionar el vehículo Chevrolet Aveo Active de 1.6 litros, el cual es utilizado en gran parte del patio automotor de taxis ejecutivos de la ciudad de Ibarra, representando la marca Chevrolet un total del 34% de todo el campo automotriz y el modelo Aveo Activo el 11% del total (Rosero, Tapia, Garzón y Cevallos, 2019, pág. 10). En la Tabla 2.8 se presentan algunos detalles sobre el vehículo seleccionado:

Tabla 2.8 Datos informativos sobre el vehículo seleccionado

ALIMENTACIÓN	
Inyección	Indirecta multipunto
COMBUSTIBLE	
Tipo de combustible primario	Gasolina
Capacidad (litros)	46
MOTOR	
Cilindrada (cm ³)	1 598
Diámetro (mm)	79
Carrera (mm)	81.5
Relación de compresión	10:8
Cilindros	4
Configuración	En línea
Distribución	Doble árbol de levas en cabeza (DOHC)
Válvulas por cilindro	4
PRESTACIONES	
Velocidad máxima (km/h)	189
POTENCIA	
Potencia máxima (kW)	85
Rpm para la potencia máxima	6 000
Par máximo (en Nm)	155
Rpm para el par máximo	4 000
CONSUMO COMBUSTIBLE	
Urbano (l/100km)	8,9
Extraurbano (l/100km)	5,3
Combinado (l/100km)	6,6
Urbano (km/l)	11,24
Extraurbano (km/l)	18,87
Combinado (km/l)	15,5
PESOS	
Peso máximo autorizado (kg)	1 598
Peso en vacío (kg)	1 162
DIMENSIONES EXTERIORES	
Anchura (mm)	1 670 (Aveo Family)
Altura (mm)	1 495 (Aveo Family)
TRACCIÓN	
Ruedas motrices	Delantero

Tabla 2.8 Datos informativos sobre el vehículo seleccionado (**Continuación...**)

TRANSMISIÓN	
Transmisión	Manual
Velocidades	5

2.3 REALIZACIÓN DE PRUEBAS PILOTO

La realización de las pruebas piloto permitió aprender sobre los equipos lo siguiente: la configuración de los equipos para las pruebas en ruta, cómo conectar los equipos con el vehículo, consideraciones para el levantamiento de datos, y cómo importar y leer los datos registrados, puntos que se describen a continuación:

2.3.1 CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS

La información que los fabricantes detallan sobre CANedge2, CANmod.gps y la interfaz de diagnóstico OBD en sus páginas web es muy importante e indispensable para comprender completamente la funcionalidad de los equipos. Los apartados de actualización de firmware y configuración de equipos de CANedge2 y CANmod.gps siguientes solo contienen información que puede servir al lector como una pequeña introducción sobre las funcionalidades y configuración que pueden realizarse a los dispositivos. Entonces, para que el lector posea un conocimiento completo de los equipos o aproveche totalmente su funcionalidad debe referirse a la información que los fabricantes presentan en sus página web. El acceso al volumen de almacenamiento de cada equipo se realizó de diferente forma. En el caso de CANedge2, este posee una tarjeta SD la cual fue extraída y leída en una PC por medio de un lector de tarjeta SD. En el caso de CANmod.gps, se estableció una conexión de este dispositivo con una PC mediante un cable mini USB. En cuanto a la interfaz de diagnóstico OBD, se empleó la aplicación móvil Torque PRO para el registro de datos e importación de estos a una PC mediante mensajes de WhatsApp.

2.3.1.1 Actualización de firmware de CANedge2 y de CANmod.gps

En primer lugar, se procedió a la actualización del firmware de los equipos a las versiones que el fabricante recomienda. Esto porque los equipos fueron adquiridos de fábrica y CSS Electronics recomendaba la actualización de estos a las versiones de firmware que

constaban en los documentos técnicos de cada dispositivo. De forma que posiblemente estos equipos deberían ser actualizados a futuro. La actualización de firmware que se realizó en CANedge2 se denomina “mayor/menor”. El firmware fue actualizado de la versión 01.04.02 a la versión 01.06.04. El procedimiento realizado fue el siguiente:

- El nuevo firmware fue descargado de la página del fabricante en formato ZIP.
- La tarjeta SD fue extraída del dispositivo.
- Se copió el archivo “firmware.bin” desde el archivo ZIP descomprimido hacia el directorio raíz de la tarjeta SD.
- Se conectó el dispositivo al vehículo y se esperó a que se completara el proceso de actualización.

El firmware de CANmod.gps se actualizó desde la versión 01.01.01 a la versión 01.03.01.

Esta tarea se realizó de la siguiente forma:

- El nuevo firmware fue descargado de la página del fabricante en formato ZIP.
- Se conectó el dispositivo a una PC mediante un cable mini-USB.
- El archivo firmware.bin fue copiado desde el archivo ZIP descomprimido a la raíz del volumen de almacenamiento “CONFIG”.
- Se expulsó de forma segura los volúmenes del dispositivo.
- Se desconectó el dispositivo de la PC.
- Se conectó el dispositivo nuevamente a la PC y se esperó a que se completará el proceso de actualización.
- El archivo firmware.bin del volumen de almacenamiento “CONFIG” fue eliminado con la finalidad de que el dispositivo no se siga actualizando cada vez que se encienda.
- Se comprobó que la actualización del dispositivo fue correcta abriendo el archivo “device.json” que se encuentra en el volumen “DEVICE”.

2.3.1.2 Configuración de CANedge2

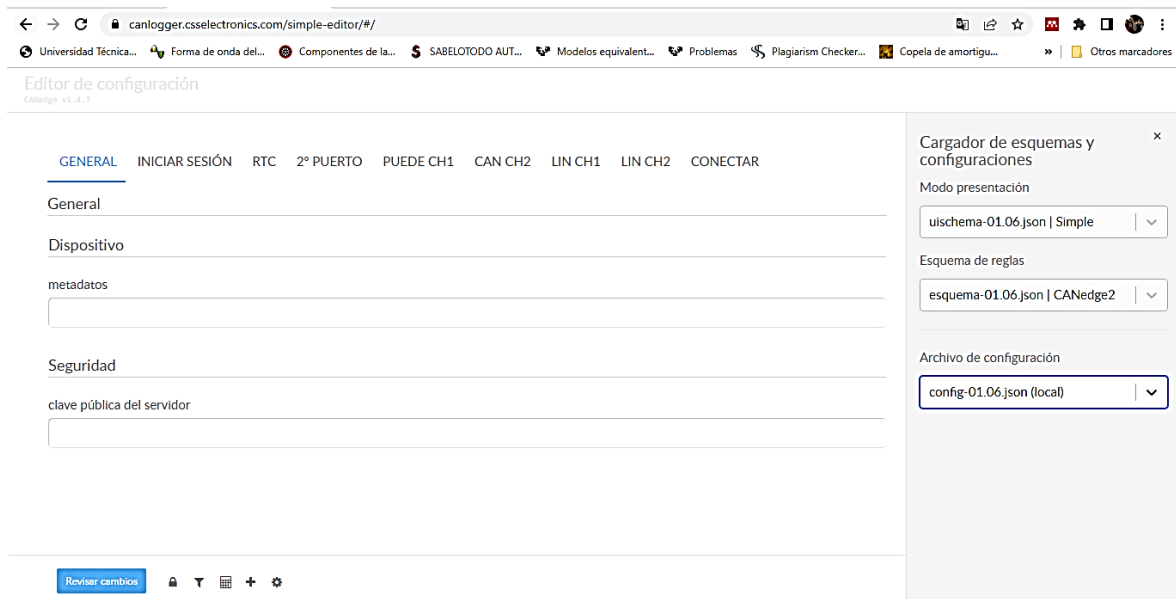


Figura 2.5 Editor de configuración online de CANedge2

La Figura 2.5 muestra el editor de configuración online de CANedge2. Después de abrir el editor de configuración se subió manualmente el archivo de configuración “config-01.06.json” que se encuentra en la carpeta raíz del almacenamiento de la tarjeta SD. Los archivos esquema de reglas “schema-01.06.json” y esquema de interfaz de usuario “uischema-01.06.json” se cargan automáticamente. Posteriormente en la pantalla se mostraron distintas pestañas para acceder a diferentes secciones de configuración del equipo. A continuación, se presenta los campos que fueron modificados:

En la pestaña “INICIAR SESIÓN”:

- Se estableció el tamaño de división de archivo en 500 MB debido a que se necesitó de un tamaño de archivo de registro grande. Esto se hizo porque en el caso de una grabación, si el archivo de registro alcanza el tamaño de división de archivo, se crea otro archivo de registro que contiene los datos que siguen en la misma línea de grabación. Entonces para evitar tener muchos archivos de registro de una misma línea de grabación, se fijó un tamaño de división de archivo que permita obtener un solo archivo de registro.

En la pestaña RTC:

- La zona horaria se configuró de acuerdo con Ecuador en -5.

En la pestaña “2° PUERTO”:

- Se accionó la alimentación de 5 V para suministrar energía a CANmod.gps a través del segundo puerto de CANedge2. Además, se estableció un horario de habilitación de 00:00 a 00:00 con la finalidad de que el suministro de energía siempre esté activo.

En la pestaña “CAN CH1”

- Se configuró el modo en normal, tasa de bits en simple en un estándar de 500 k (que se emplea normalmente para automóviles) y el FD de tasa de bits en 1M.
- Se cargó la lista de PIDs “obd2-transmit-list.json” descargada previamente de la página web de CSS Electronics con la finalidad de registrar algunos datos del modo 1 de OBD2.

En la pestaña “CAN CH 2”:

- Se configuró el modo en restringido, la tasa de bits en simple en un estándar de 250k (que coincide con CANmod.gps) y el FD de tasa de bits en 1M .

Una vez finalizadas las modificaciones en la configuración se procedió a revisar los cambios en el código haciendo clic sobre el botón “Revisar cambios”. Después se descargó el nuevo archivo de configuración presionando sobre el botón “Descargar a disco”. Seguidamente, este nuevo archivo de configuración se reemplazó por el antiguo que se encontraba en el directorio raíz de la tarjeta SD. Posteriormente, se equipó la tarjeta SD en CANedge2. Es importante mencionar que esta tarea debe realizarse con sumo cuidado, en lo que se refiere a la posición de la tarjeta SD y en la acción misma. Porque la ranura para insertar la tarjeta SD es demasiado grande, de manera que si no se coloca adecuadamente esta puede caer dentro de la carcasa del equipo, sacarla resulta ser muy tedioso ya que el fabricante menciona que abrir el equipo puede dañarlo. Finalmente, se conectó el CANedge2 al DLC del vehículo y se esperó a que se completara el proceso de configuración del equipo.

2.3.1.3 Configuración de CANmod.gps

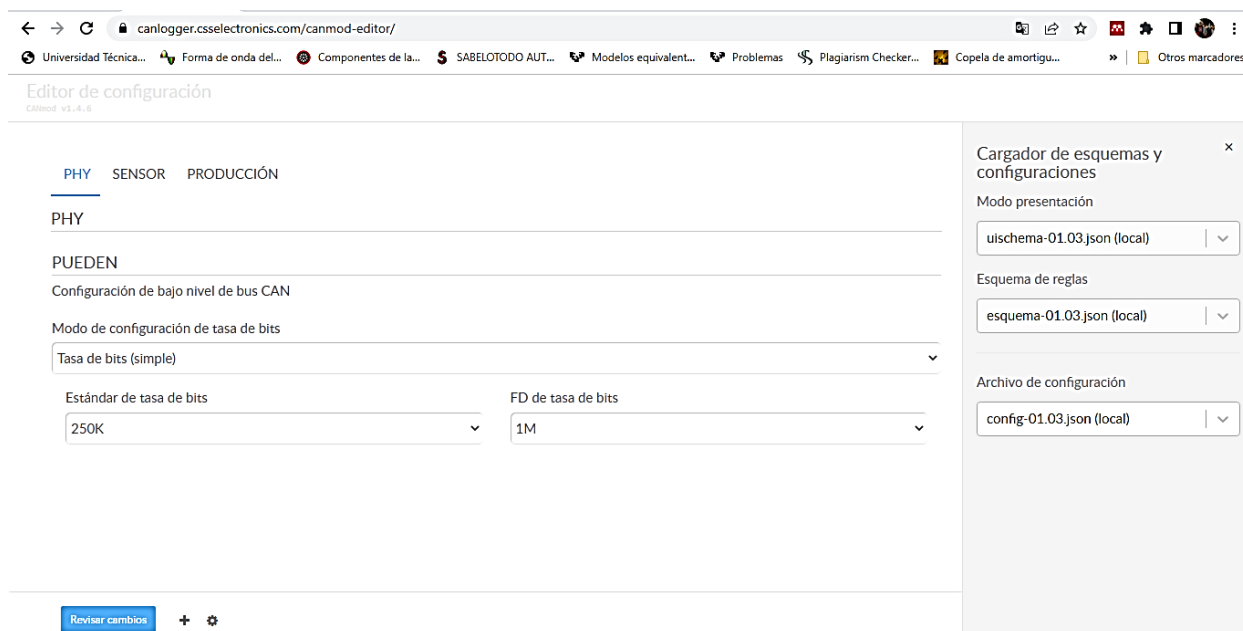


Figura 2.6 Editor de configuración online de CANmod.gps

La Figura 2.6 muestra el editor de configuración online de CANmod.gps. Después de abrir el editor de configuración se subió manualmente los archivos configuración “config-01.03.json”, esquema de reglas “schema-01.03.json” y esquema de interfaz de usuario “uischema-01.03.json” que se encontraban en el volumen de almacenamiento “DEVICE” de CANmod.gps. Posteriormente, en la pantalla se mostraron distintas pestañas para acceder a diferentes secciones de configuración del equipo. A continuación, se presenta los campos que fueron modificados:

En la pestaña PHY:

- Se estableció el modo de configuración de tasa de bits en una tasa de bits simple a un estándar 250k (para que coincida con la configuración de CAN CH 2 de CANedge2) y el FD de tasa de bits en 1M.

En la pestaña “SENSOR”:

- Se trabajó con una combinación GNSS, GPS + GLONASS.
- El modelo de plataforma dinámica se configuró en automotor. Además, se deshabilitó la fusión de sensores porque la ruta no incluía lugares donde la señal GNSS se pueda perder.

En la pestaña “PRODUCCIÓN”:

- Se habilitó solo las variables que se consideraron necesarias para el proyecto. Ellas son: Estado GNSS, Tiempo GNSS, Posición GNSS, Altitud GNSS, Actitud GNSS, Odómetro GNSS y Velocidad GNSS. Las demás variables fueron deshabilitadas.

Una vez finalizados las modificaciones en la configuración se revisó los cambios en el código haciendo clic sobre el botón “Revisar cambios”. Después se descargó el nuevo archivo de configuración presionando sobre el botón “Descargar a disco”. Seguidamente, el nuevo archivo de configuración se pegó en el directorio raíz del volumen de almacenamiento “CONFIG”. En el caso de que ya exista un archivo de configuración en este volumen de almacenamiento se debe reemplazar el antiguo.

2.3.1.4 Configuración de Torque PRO para interfaz de diagnóstico OBD

La interfaz de diagnóstico OBD solo permitió la transmisión de datos desde el vehículo hacia el dispositivo móvil, de manera que las configuraciones fueron realizadas en Torque PRO:



Figura 2.7 Pantalla principal de Torque PRO

La Figura 2.7 muestra la pantalla principal de la aplicación móvil. En primer lugar, se creó el perfil del Aveo Active:

Figura 2.8 Ingreso de datos para crear el perfil del vehículo

En la Figura 2.8 se puede observar el perfil del vehículo completo y preparado para realizar las pruebas de ruta matutina, vespertina y nocturna que permitieron la adquisición de los datos del motor y de la ubicación del vehículo. Posteriormente, se realizaron las siguientes configuraciones:

- Registro de GPS automático: Habilitado, para que las variables GPS sean grabadas automáticamente en el archivo de registro.
- Automatically log G sensors: Habilitada.
- Unidades de medida: Se establecieron de acuerdo con lo más conveniente para el proyecto.
- Intervalo de archivo de registro: 1 segundo (1 Hz).

Se seleccionó los PIDs de las variables que se necesitaba registrar. Torque PRO solo registra los PIDs que se han seleccionado:

- 0e: Avance temporal
- 04: Carga de motor
- ff1237: Diferencia velocidad GPS vs OBD
- ff125d: Flujo combustible/hora
- ff1225: Par motor
- 11: Posición del acelerador (colector)
- 0b: Presión del colector
- 0c: RPM motor
- 0f: Temperatura de toma de aire
- 05: Temperatura del refrigerante del motor

- ff1001: Velocidad (GPS)
- 0d: Velocidad (OBD)

Después de seleccionar un PID, este se agrega automáticamente a una lista que muestra sus detalles:

[xyzz] NORMAL PID	Timing Advance PID: 0e Min/Max:-64.0/63.0 Unit:°	[xyzz] NORMAL PID	Intake Manifold Pressure PID: 0b Min/Max:0.0/255.0 Unit:kPa
[xyzz] NORMAL PID	Engine Load PID: 04 Min/Max:0.0/100.0 Unit:%	[xyzz] NORMAL PID	Engine RPM PID: 0c Min/Max:0.0/10000.0 Unit:rpm
[xyzz] NORMAL PID	GPS vs OBD Speed difference PID: ff1237 Min/Max:0.0/10.0 Unit:km/h	[xyzz] NORMAL PID	Intake Air Temperature PID: 0f Min/Max:-40.0/60.0 Unit:°C
[xyzz] NORMAL PID	Fuel flow rate/hour PID: ff125d Min/Max:0.0/100.0 Unit:l/hr	[xyzz] NORMAL PID	Engine Coolant Temperature PID: 05 Min/Max:-40.0/120.0 Unit:°C
[xyzz] NORMAL PID	Torque PID: ff1225 Min/Max:0.0/100.0 Unit:ft-lb	[xyzz] NORMAL PID	Speed (GPS) PID: ff1001 Min/Max:0.0/160.0 Unit:km/h
[xyzz] NORMAL PID	Throttle Position(Manifold) PID: 11 Min/Max:0.0/100.0 Unit:%	[xyzz] NORMAL PID	Speed (OBD) PID: 0d Min/Max:0.0/160.0 Unit:km/h

Figura 2.9 PIDs seleccionados en Torque PRO

En la Figura 2.9 se puede observar los detalles de cada uno de los PIDs seleccionados. Finalmente, dentro de la opción “Realtime Information” se seleccionó únicamente las pantallas de velocidad, latitud, longitud y odómetro con el propósito de que estas variables fuesen observadas en tiempo real durante las pruebas. La visualización de estos datos garantizó que las variables estén siendo registradas.

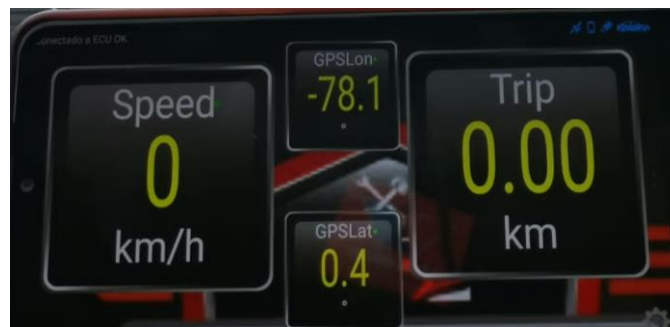


Figura 2.10 Pantallas de variables en Torque PRO

En la Figura 2.10 se puede apreciar las cuatro pantallas seleccionadas.

2.3.2 PROCEDIMIENTO PARA CONECTAR LOS EQUIPOS CON EL VEHÍCULO

En primer lugar, se describe el proceso empleado para conectar CANedge2, CANmod.gps y el vehículo. Los pasos detallados a continuación son el resultado de la combinación de recomendaciones realizadas por el fabricante con la experiencia adquirida por el grupo investigador mediante el uso de los equipos. El procedimiento empleado fue el siguiente:

- En CANmod.gps se activó la terminación del bus CAN de 120 Ω mediante el interruptor ubicado debajo del conector DB9.
- La antena fue conectada a CANmod.gps.
- Se montó la antena magnéticamente en la parte interior del montante B del lado del copiloto. De esta manera la antena estuvo protegida en caso de lluvia.
- El CANmod.gps se conectó al canal 2 de CANedge2 por medio de un cable DB9 en Y.
- El cable DB9-OBD2 se conectó al canal 1 de CANedge2.
- Finalmente, se conectó el otro extremo del cable DB9-OBD2 al DLC del vehículo. Es recomendable realizar la conexión con el DLC al último porque el CANedge2 comienza el registro de datos poco tiempo después de establecer la conexión con el DLC, independientemente de que el vehículo esté o no encendido.

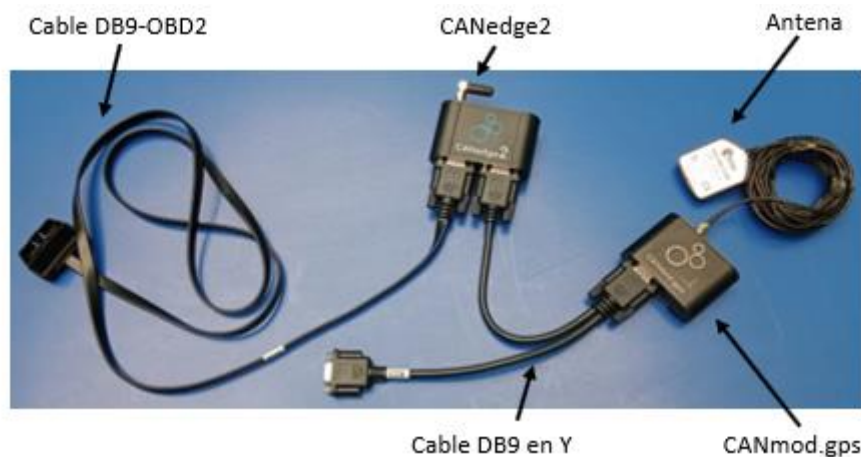


Figura 2.11 Conexiones de CANedge2 y CANmod.gps

La Figura 2.11 muestra cómo se realizó la conexión entre los equipos.

A continuación, se describe el procedimiento empleado para conectar la interfaz de diagnóstico OBD al vehículo:

- Se encendió el vehículo.
- La interfaz de diagnóstico OBD se conectó al DLC.
- En el dispositivo Android se activó la ubicación y el Bluetooth.
- Finalmente, la interfaz de diagnóstico OBD se emparejó con el dispositivo Android mediante Bluetooth con la contraseña: “1234” o “0000”. El nombre del Bluetooth de la interfaz de diagnóstico es “OBDII”.



Figura 2.12 Conexión de la interfaz de diagnóstico OBD al DLC del vehículo

En la Figura 2.12 se puede observar la interfaz de diagnóstico OBD conectada al Aveo Active.

2.3.3 CONSIDERACIONES PARA EL LEVANTAMIENTO DE DATOS

En esta sección se describen algunas consideraciones que se pudieron identificar para un correcto levantamiento de datos. En el caso de CANedge2 y CANmod.gps se consideró como válido el registro de datos cuando el led azul de CANmod.gps comenzó a parpadear. De acuerdo con el manual del equipo en ese momento la corrección de la señal GNSS es conseguida. Para detener el registro de datos solo bastó con desconectar el equipo del DLC del vehículo. Es importante mencionar que el archivo de registro no sufrió ningún daño tras esta acción.

En relación con la interfaz de diagnóstico OBD, primeramente, se tuvo cuidado de que las luces de color celeste de la pantalla principal dejaran de parpadear.

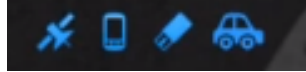


Figura 2.13 Luces de estado de la conexión

En la Figura 2.13 se muestra estas luces, además, han dejado de parpadear. Cuando esto sucede significa que la interfaz de diagnóstico OBD se ha conectado a la ECU y que Torque PRO está lista para registrar la señal GPS de los satélites. Es importante mencionar que, si una de las luces empieza a parpadear durante el registro de datos en la prueba, el archivo de registro tendrá datos perdidos porque se ha producido una desconexión de los satélites o de la ECU del vehículo. Por otro lado, para comenzar el registro de datos se seleccionó la opción “Iniciar registro”, la cual se encuentra dentro de la opción “Realtime Information”.



Figura 2.14 Opciones disponibles en la opción "Realtime information"

En la Figura 2.14 se puede observar la opción “Iniciar Registro”. Posteriormente, para detener la grabación se seleccionó “Detener registro”.

2.3.4 PROCEDIMIENTO PARA LA IMPORTACIÓN Y LECTURA DE DATOS

Primeramente, se da conocer el procedimiento para CANedge2 y CANmod.gps. Cabe mencionar que para realizar la importación y lectura de datos fue necesario descargar, desde la página web del fabricante, los siguientes archivos:

- “CSS-Electronics-OBD2-v1.4”: es un archivo DBC para decodificar datos OBD2 sin procesar
- “canmod-gnss”: es un archivo DBC para decodificar datos GNSS
- Software asammdf 7.0.2

Una vez descargados estos archivos se realizó lo siguiente: Se copió el archivo de registro en formato MF4 desde la tarjeta SD a una PC. Seguidamente, se abrió el software asammdf.

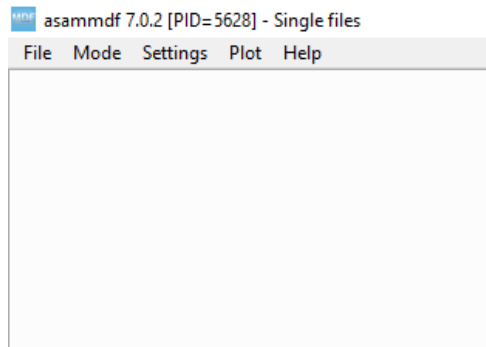


Figura 2.15 Pantalla principal de asammdf

La Figura 2.15 muestra la pantalla principal del software asammdf. Posteriormente, se dio clic en “File/Open” para cargar el archivo de registro desde el almacenamiento de la PC.

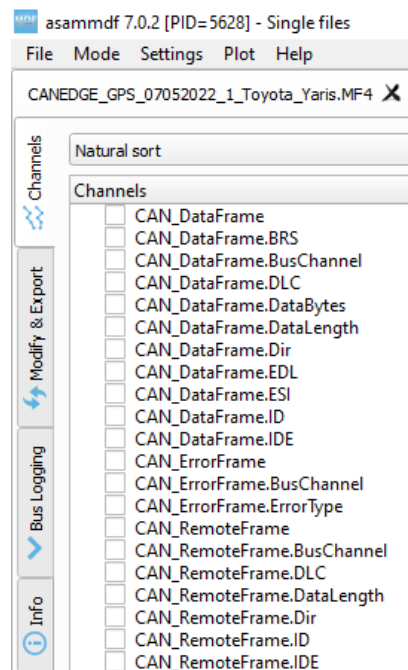


Figura 2.16 Archivo de registro abierto en asammdf

La Figura 2.16 muestra las opciones de asammdf cuando se carga un archivo de registro. Seguidamente, se seleccionó la pestaña “Bus Logging” y se dio clic en “Load CAN database” para cargar los dos archivos DBC (uno a la vez). A continuación, se dio clic en “Extract Bus signals” y se seleccionó una carpeta de destino para almacenar el nuevo archivo decodificado en un formato legible por humanos. Posteriormente, el software abrió automáticamente el nuevo archivo decodificado.

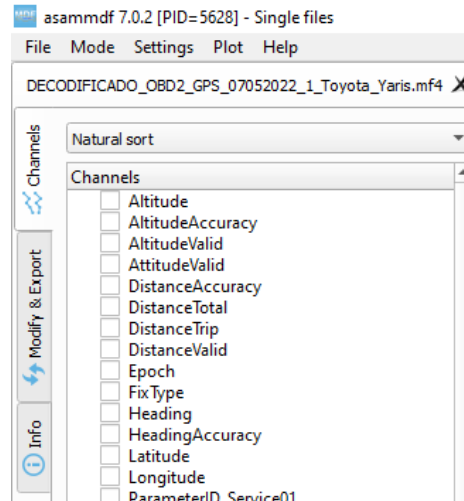


Figura 2.17 Archivo decodificado en asammdf

La Figura 2.17 muestra las opciones que asammdf proporciona para un archivo decodificado. Seguidamente, se seleccionó la pestaña “Modify & Export”, en donde se seleccionó las casillas de las variables que se deseaba exportar a un formato CSV. Luego, se seleccionó la casilla “Resample” y se estableció el “step” en 1 segundo con la finalidad de obtener las observaciones a una frecuencia de 1 Hz. Después, en la sección “Output format” se seleccionó la opción “CSV”, en donde se dio clic sobre las casillas “Single time base” y “Time as date”.

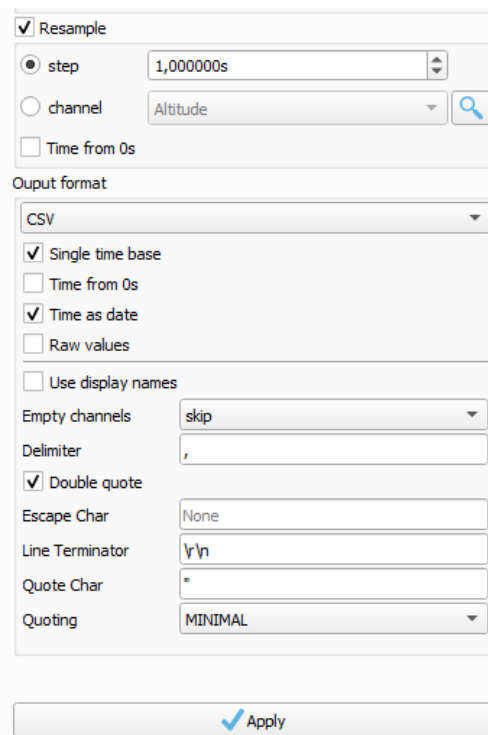


Figura 2.18 Selección en las secciones "Resample" y "Output format"

La Figura 2.18 muestra la selección que se realizó en las secciones “Resample” y “Output format”. Posteriormente, se dio clic en “Apply”, se nombró el CSV y se seleccionó el lugar de su almacenamiento. Para saber las unidades de medida de cada variable se seleccionó la pestaña “Channels”. En donde, se escogió la opción “Natural sort”. Seguidamente, se dio clic en las casillas de las mismas variables antes seleccionadas. Luego, se dio clic en “Creat window/Numeric/OK” para mostrar las variables con sus respectivas unidades de medida.



Figura 2.19 Botón "Creat window"

La Figura 2.19 muestra el icono del botón “Creat window”. La Tabla 2.9 presenta las variables y unidades de medida que fueron mostradas en asammdf.

Tabla 2.9 Variables seleccionadas en asammdf

VARIABLE	UNIDAD	VARIABLE	UNIDAD
Altitude	m	S1_PID_05_EngineCoolantTemp	°C
Distance Total	km	S1_PID_10_MAFAirFlowRate	g/s
DistanceTrip	m	S1_PID_11_ThrottlePosition	%
Heading	grados	S1_PID_31_DistanceSinceCodeClear	km
Latitude	grados	S1_PID_33_AbsBaroPres	kPa
Longitude	grados	S1_PID_42_ControlModuleVolt	V
S1_PID_0C_EngineRPM	rpm	Satellites	
S1_PID_0D_VehicleSpeed	km/h	Speed	m/s
S1_PID_0F_IntakeAirTemperature	°C	time	s
S1_PID_04_CalcEngineLoad	%		

Además, para observar el trayecto registrado con el módulo GPS se dio clic en “Creat Window/GPS”. A continuación, se mostró una ventana con dos campos, en “Latitude” se escribió “Latitude” y en “Longitude”, “Longitude”. Luego, se seleccionó “Apply” para mostrar en un mapa el viaje registrado.

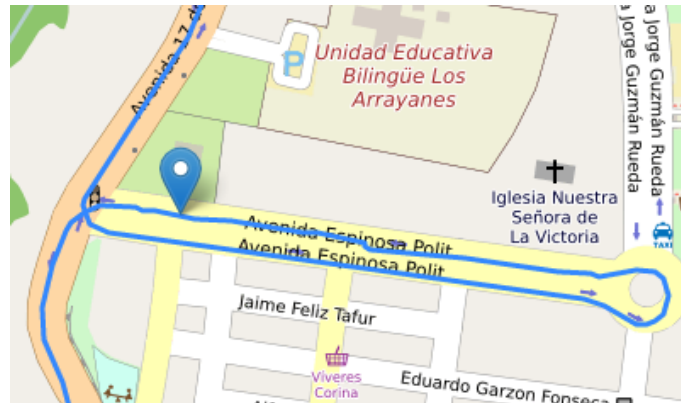


Figura 2.20 Mapa en asammdf

La Figura 2.20 muestra la manera en la que asammdf permite observar el recorrido registrado.

En relación con la interfaz de diagnóstico OBD, los archivos de registro fueron importados desde Torque PRO.

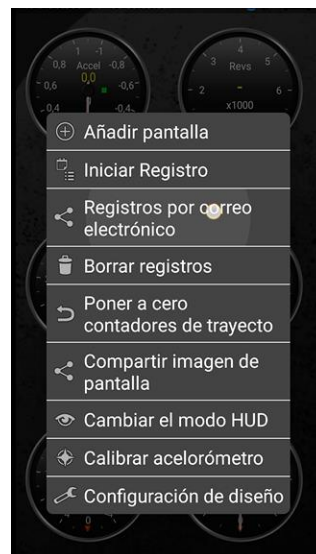


Figura 2.21 Importación de datos desde Torque PRO

En la Figura 2.21 se puede observar una señal sobre la opción “Registros por correo electrónico”. Esta opción se encuentra dentro de la pestaña “Realtime Information”. Se seleccionó esta opción para importar el archivo de registro. Posteriormente, se abrió una pantalla con una lista de los registros almacenados. Se seleccionó un registro y luego la opción “CSV” para enviar un archivo comprimido por medio de WhatsApp. Este comprimido contenía el archivo de registro en formato CSV.

2.4 DETERMINACIÓN DE RUTA RDE

Inicialmente se planteó la toma de encuestas para el desarrollo y selección de rutas que permitan representar la movilidad cotidiana de la ciudad, sin embargo, este tipo de pruebas se utiliza generalmente para representar características de conducción de la ciudad y luego se determina el ciclo de conducción al que la ciudad mejor representa, lo que en este caso es diferente ya que se tiene el ciclo de conducción de la normativa EU 2017/1151 y es necesario encontrar vías que permitan cumplirlo de la mejor manera. Además, se pudo observar que las vías seleccionadas por las personas buscan ahorrar la mayor cantidad de tiempo al evitar el tráfico del centro histórico y evitar las rutas de los buses por el congestionamiento vehicular lo que no representa la constante movilidad de las personas que utilizan el servicio público.

Para este caso de estudio la determinación de las vías que fueron tomadas en cuenta para el diseño de las rutas urbana, suburbana y autopista se basaron en las vías de conexión más utilizadas desde el núcleo de la ciudad de Ibarra con los centros de las parroquias urbanas, conexiones con parroquias rurales y capitales cantonales de la provincia de Imbabura. Dentro de esta selección se tomó en cuenta las vías más utilizadas dentro de la ciudad, así como, las que presentan mayor cantidad de tráfico, esto con la finalidad de poder realizar una representación realística de la movilización cotidiana del cantón Ibarra.

En el caso de la selección de estas vías, se tomó en cuenta que las vías conecten los principales sectores estratégicos de la ciudad y que representen las vías de movilidad de vehículos particulares y del sector público, como son los buses urbanos, buses inter cantonales y buses interprovinciales. El tomar en cuenta estas vías permite representar de forma más realista la movilidad de la ciudad de Ibarra ya que utilizó tanto la movilidad de personas que tienen un vehículo propio, así como las que utilizan el transporte colectivo para movilizarse a través de la ciudad para llegar a sus trabajos, lugares de estudios, centros culturales, centros comerciales, entre otros.

2.4.1 PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE VÍAS

Los parámetros de selección de las vías para la prueba de ruta se basan en los siguientes puntos:

- Límites de velocidad que permitan cumplir con las velocidades promedio estipuladas en la normativa EU 2017/1151, así como los tiempos de parada dentro del área urbana y los tiempos mayores a 100 km/h en zona de autopista.
- Vías con mayor afluencia y mayor tráfico de vehículos para representar un recorrido regular dentro de la ciudad de Ibarra.
- Las vías seleccionadas deben atravesar de Norte a Sur, Este a Oeste y viceversa, atravesando los diferentes puntos referenciales del cantón.
- Finalmente, se tomó en cuenta que las vías conecten las diferentes áreas de la zona urbana de la ciudad, así como también las vías mayormente utilizadas para la entrada y salida de buses interprovinciales e intercantonales de la ciudad, tomando en cuenta los tipos de desplazamientos mencionados en las rutas que conectan las principales áreas de estudio, trabajo, negocios comerciales, relaciones personales y zona social (Valero, 1984, pág. 210).

2.4.2 SELECCIÓN DE VÍAS URBANAS

Para la elaboración de la ruta urbana la selección de vías se basó en torno a aquellas que presentan mayor afluencia de vehículos y que conectan las diferentes parroquias urbanas, además de las vías con mayor congestionamiento vehicular dentro de la ciudad de acuerdo con lo expuesto en el plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Ibarra para los años 2020 y 2021. Para representar las rutas de las personas que utilizan el transporte colectivo como alternativa de movilidad, se tomó en cuenta las vías utilizadas por las cooperativas 28 de Septiembre y San Miguel de Arcángel para conectar las vías mencionadas.

2.4.2.1 Atractores de viaje

Además de las vías propuestas anteriormente se tomó en cuenta la razón de movilidad de las personas dentro de la ciudad de Ibarra, siendo esta determinada por los principales atractores de viajes como son:

- Zonas comerciales tales como centros comerciales, locales y cadenas comerciales, ferias y mercados

- Zonas de estudio como son unidades educativas, institutos tecnológicos e instituciones de educación superior
- Zonas de salud como hospitales, clínicas y centros de salud.
- Zona financiera como bancos y cooperativas de ahorro y crédito
- Zonas sociales como iglesias, lagos, lagunas, parques y bosques
- Zonas de instituciones públicas como alcaldía, gobernación y prefectura
- Zonas de servicio como policía, bomberos, gasolineras, hoteles.



Figura 2.22 Afueras de la Universidad Técnica del Norte

En la Figura 2.22 se puede observar uno de los puntos que se escogió como parte de la ruta urbana. La mayoría de las rutas de las dos cooperativas de la ciudad de Ibarra transitan por el centro histórico de la ciudad lo que encaja directamente con las vías de mayor tráfico, vías más utilizadas y las vías que representan de mejor manera la razón de movilidad de las personas del cantón. Además, la importancia de tomar en cuenta el transporte urbano se basa en que de acuerdo a estudios realizados en la ciudad de Ibarra en el año 2018, tras la toma de datos que utilizan las líneas de transporte se encontró que las dos cooperativas de la ciudad movilizan un total de 158 098 personas al día entre semana y los fines de semana un total de 113 478 individuos, dando un total de 1 017 440 personas a la semana que se movilizan a través de la ciudad en transporte público (Cazares y Cuasapaz, 2018, pág. 75). Luego de realizar un contraste entre la cantidad de personas que se movilizan en transporte público con un total de 158 098 personas al día y la cantidad de automotores matriculados en la ciudad de 35 664 en el año 2019 tomando en cuenta una movilidad mínima de 3 personas por vehículo se puede observar que la mayor movilidad se da por medio de transporte público, razón por la que es de vital importancia tomar en cuenta las rutas de transporte urbano para el diseño de la ruta (Plan de desarrollo y ordenamiento territorial, 2020, pág. 365). En base a los datos presentados previamente se procedió a la selección de las vías urbanas que cumplan con las siguientes características: ser parte de las vías con mayor

afluencia de la ciudad, ser parte de las vías con mayor tráfico de la ciudad y que una de las líneas de buses recorra estas vías. Esto se realizó con la finalidad de tener una representación realística de la movilidad interna de la ciudad tanto del transporte privado como el transporte público, además de abarcar las diferentes parroquias urbanas del cantón por las vías de acceso más concurridas.

2.4.3 SELECCIÓN DE VÍAS SUBURBANAS

Para la elaboración de la ruta suburbana la selección de vías se realizó en base a las vías más transitadas para la conexión del casco urbano con las diferentes parroquias del cantón Ibarra, en especial con las parroquias rurales como son San Antonio, Ambuquí, Angochagua, La Carolina, La Esperanza y Lita. Dentro de estas vías se encontró las vías que transitan la periferia de la ciudad y que se desarrollaron con la finalidad de bajar la acumulación de tráfico interno de la ciudad como son el periférico norte y sur, mismas vías que son utilizadas por las cooperativas de buses interprovinciales que atraviesan el cantón por el anillo vial. Así también por el lado norte de la ciudad se encontró vías tales como la Panamericana E35 que permite conectarse con las parroquias ubicadas en la zona norte del cantón.

Dentro de las vías periféricas y de conexión con las parroquias rurales tenemos:

- Avenida Mariano Acosta – San Antonio
- Corredor periférico Sur – San Antonio
- Anillo Vial – San Antonio
- Avenida Camilo Ponce Enríquez – San Antonio
- Avenida Atahualpa – La Esperanza, Angochagua, La Carolina
- Avenida el retorno – La Esperanza, Angochagua, La Carolina
- Avenida Cristóbal de Troya – Ambuquí, Lita
- Avenida 13 de Abril – Ambuquí, Lita
- Panamericana E35 – Ambuquí, Lita

Un gran porcentaje de estas vías que no atraviesan la zona urbana del cantón permiten alcanzar velocidades de 60 km/h y en la mayoría de los casos al tratarse de avenidas, vías con 2 carriles en cada sentido y la baja cantidad de semáforos esta velocidad se puede mantener sin ningún problema.

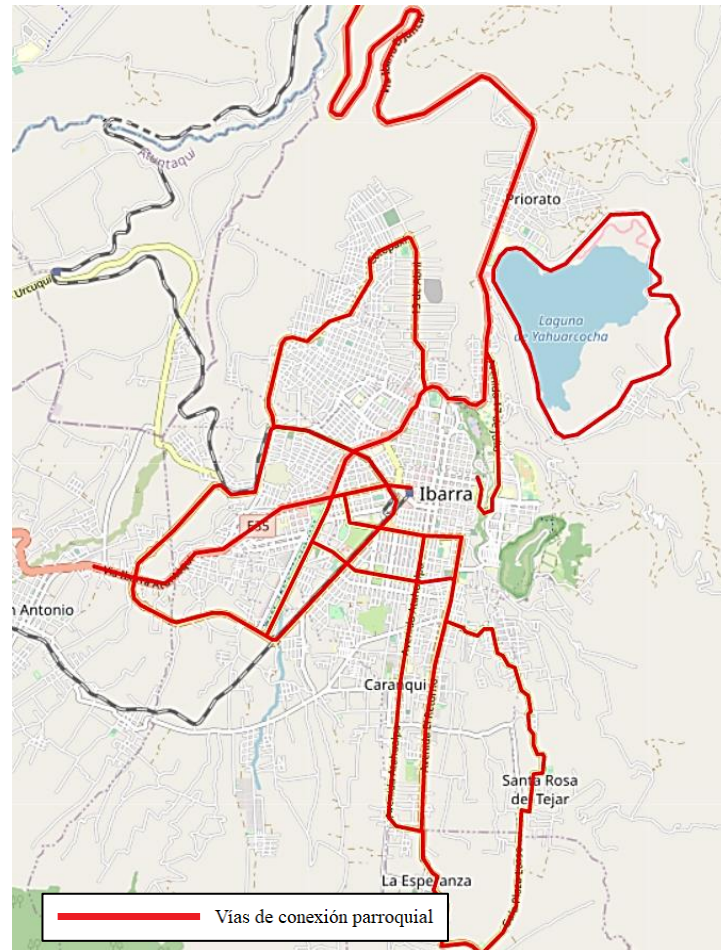


Figura 2.23 Vías de conexión parroquial

(Plan de uso y gestión del suelo, 2020)

La Figura 2.23 muestra las principales vías de conexión entre el núcleo urbano del cantón Ibarra donde se encuentran la zona comercial de la ciudad con las diferentes parroquias del cantón, encontrándose en este caso las vías de acceso a las parroquias rurales de la ciudad como son Ambuquí, La Esperanza y Santa Rosa del Tejar. Para la determinación de las vías se seleccionó a través de las cooperativas de transporte interprovincial e intercantonales que utilizan las principales vías de acceso de la ciudad para realizar la conexión con las parroquias rurales, así como la conexión con las otras capitales de la provincia.

Fue en base a estas vías que se desarrolló la ruta suburbana debido a que la velocidad que se puede tomar es mayor a 60 km/h sin representar demasiado peligro. Esto porque las vías se encuentran en la periferia del cantón lo que posibilitó la realización de las pruebas sin representar peligro para el vehículo de prueba ni para la ciudadanía. Además, permitió representar en gran manera la movilización de las personas que ingresan y salen del cantón hacia las provincias cercanas.

2.4.4 SELECCIÓN DE VÍAS DE AUTOPISTA

Las vías que se utilizó para la elaboración de las rutas de autopista se seleccionaron en base a las vías utilizadas por los buses intercantionales de la provincia de Imbabura para la conexión directa entre la ciudad de Ibarra y las cabeceras cantonales de los demás cantones de la provincia. Las cabeceras cantonales con las que tiene conexión directa el cantón Ibarra son: Pimampiro, Atuntaqui, Otavalo, Urcuquí y Cotacachi. Las cooperativas de transporte, las unidades por cooperativa y la frecuencia de viaje se detallan en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10 Buses de transporte intercantonal de la provincia de Imbabura

ORIGEN	DESTINO	COOPERATIVA	UNIDADES	FRECUENCIA
Ibarra	Pimampiro	Oriental	48	15 minutos
Ibarra	Urcuquí	Urcuquí	79	15 minutos
Ibarra	Urcuquí	Buenos Aires	11	30 minutos a 60 minutos
Ibarra	Atuntaqui	Flota Antaña	225	6 a 7 minutos
Ibarra	Cotacachi	Cotacachi	57	30 minutos
Ibarra	Cotacachi	6 de Julio	41	30 minutos
Ibarra	Otavalo	Imbaburapak	25	30 minutos
Ibarra	Otavalo	Los lagos	91	4 minutos
Ibarra	Otavalo	Otavalo	156	4 minutos

Fuente: (Imbabura Travel, 2021)

Como se puede evidenciar de los datos anteriores se registra un total de 733 buses que recorren las vías directas con las cabeceras cantonales cada día, siendo una fuente representativa de la movilidad cotidiana que se da entre los cantones de la provincia de Imbabura, dentro de las vías más utilizadas por estas cooperativas de transporte se encontró: Avenida Cristóbal de Troya y Panamericana E35 para acceder al cantón Pimampiro, Avenida Cristóbal de Troya, Avenida Fray Vacas Galindo y Vía Ibarra – Urcuquí, para acceder al cantón Urcuquí y finalmente Avenida Mariano Acosta y Panamericana E35 para acceder a Atuntaqui, Otavalo y Cotacachi.

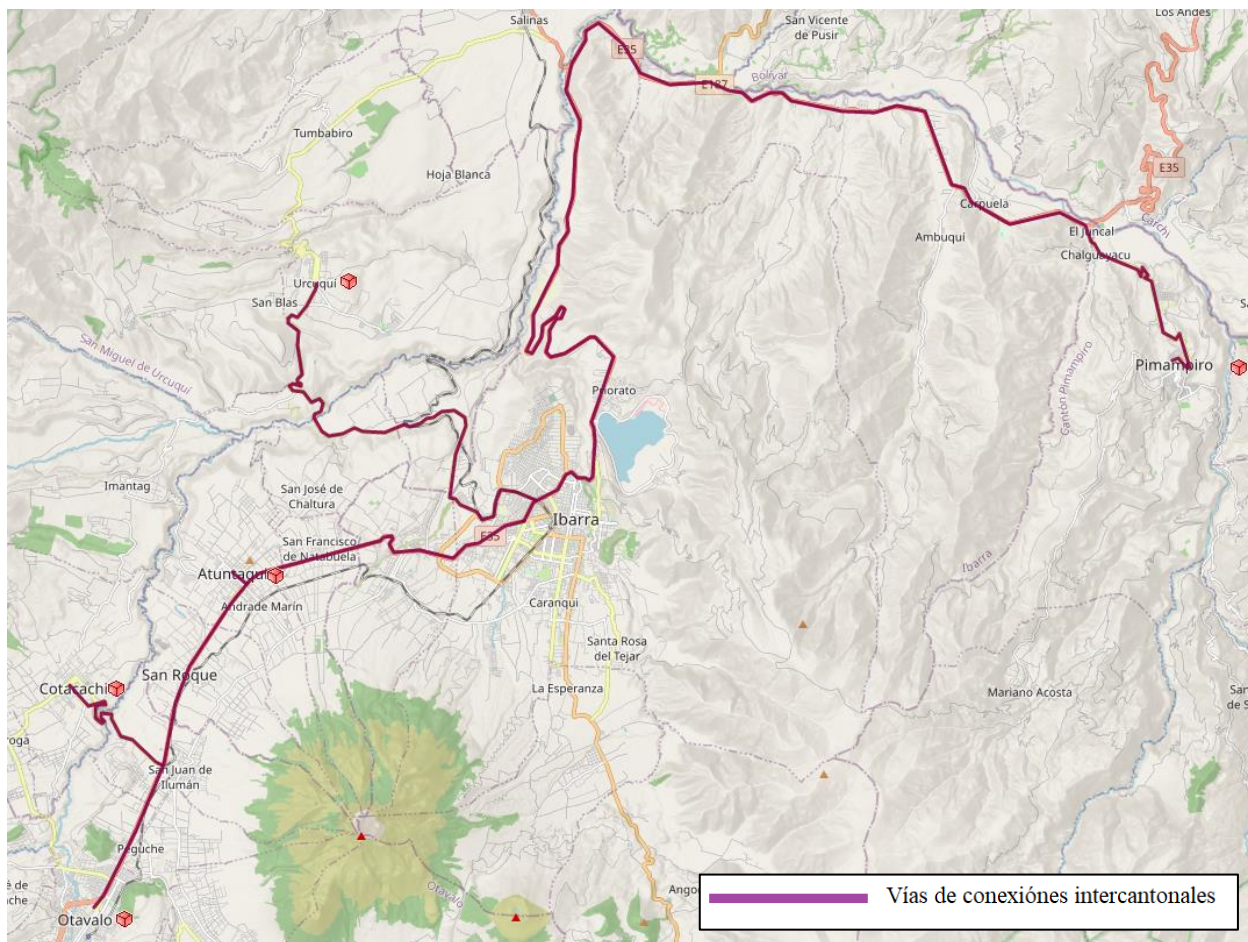


Figura 2.24 Vías de conexión intercantonal

En la Figura 2.24 se puede observar las vías utilizadas como conexión entre las cabeceras cantonales de los cantones de la provincia de Imbabura, tomando como inicio el centro de la ciudad del cantón Ibarra. Las vías presentadas en la figura son vías en las que se pueden alcanzar altas velocidades debido a las ampliaciones de 4 y 6 carriles que presenta cada vía. Para la determinación de las vías se tomó en cuenta la seguridad al momento de realizar las pruebas de ruta por lo que se tomó en cuenta principalmente las vías que tengan un mínimo de dos carriles en cada dirección y permitan alcanzar los 100 km/h con baja probabilidad de perder el control, tomando en cuenta la cantidad de tráfico de la zona y los desniveles a los que se encuentre sujeta la vía. Sobre la base de esto, las vías de acceso a los cantones Urcuquí y Cotaacachi se descartaron por contar con vías de un solo carril en el acceso a sus cabeceras cantonales. Tomándose en cuenta para la ruta la panamericana E35 en sentido norte y sur, seleccionando las rutas que permitan conectar directamente con la ruta suburbana y no represente un peligro al momento de realizar las pruebas.



Figura 2.25 Panamericana E35 al norte de la ciudad de Ibarra

En la Figura 2.25 se puede observar uno de los puntos escogidos para la ruta de autopista.

2.4.5 RUTAS DE PRUEBA

Para la elaboración de las alternativas que cumplan teóricamente con los parámetros determinados en la normativa europea y la selección de la ruta que mejor cumple con estos parámetros se utilizó el siguiente diagrama de selección:

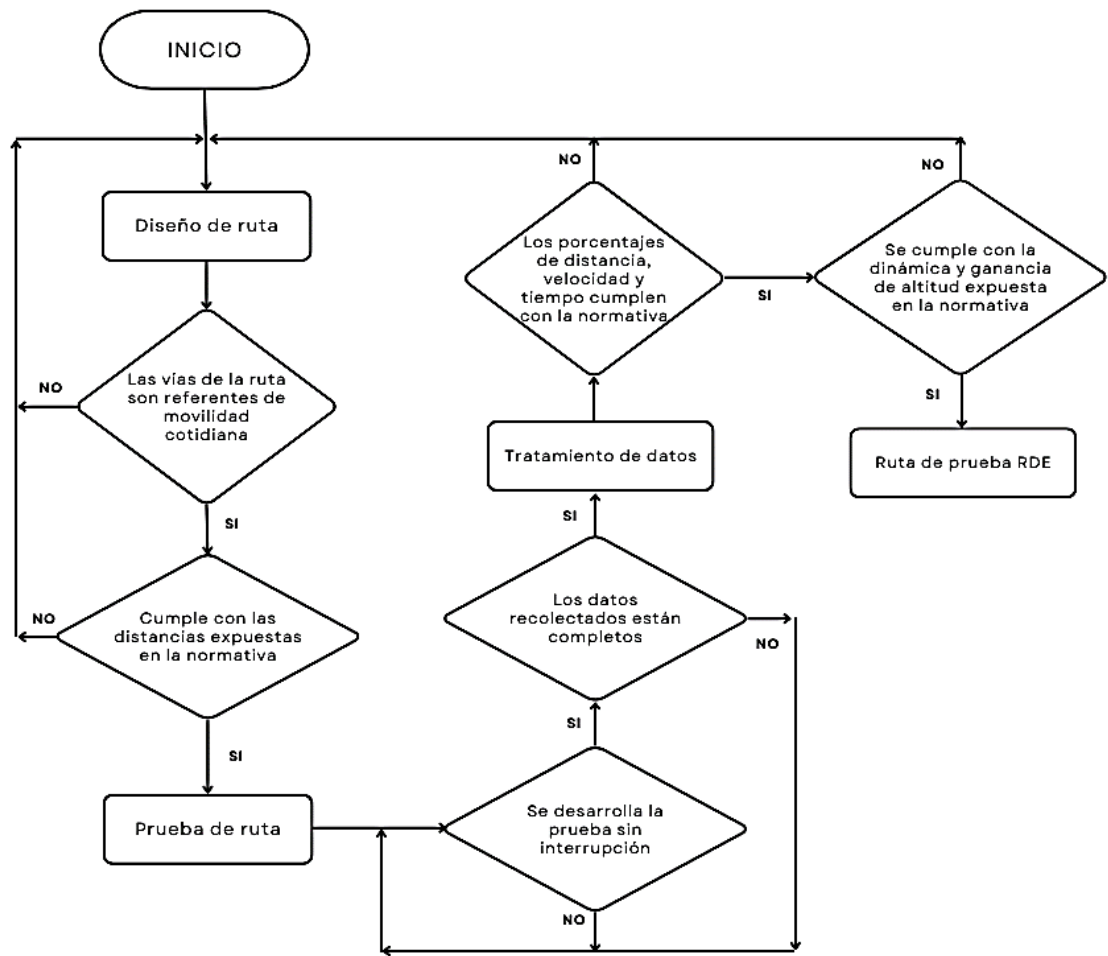


Figura 2.26 Diagrama de selección de la ruta

En la Figura 2.26 se puede observar el proceso que se llevó a cabo para el desarrollo de la ruta RDE.

2.4.5.1 Alternativa 1 – Av. Atahualpa – Panamericana E35

La primera alternativa que se tomó en cuenta para la ruta tuvo como inicio la avenida Atahualpa en el centro de la ciudad, una avenida que presenta una gran cantidad de movimiento de personas al ser un área comercial y como fin del trayecto se propuso la entrada a la Hacienda Tababuela en el sector de los cañaverales, la cual es la principal vía de acceso de los vehículos que ingresan desde la zona norte del país.

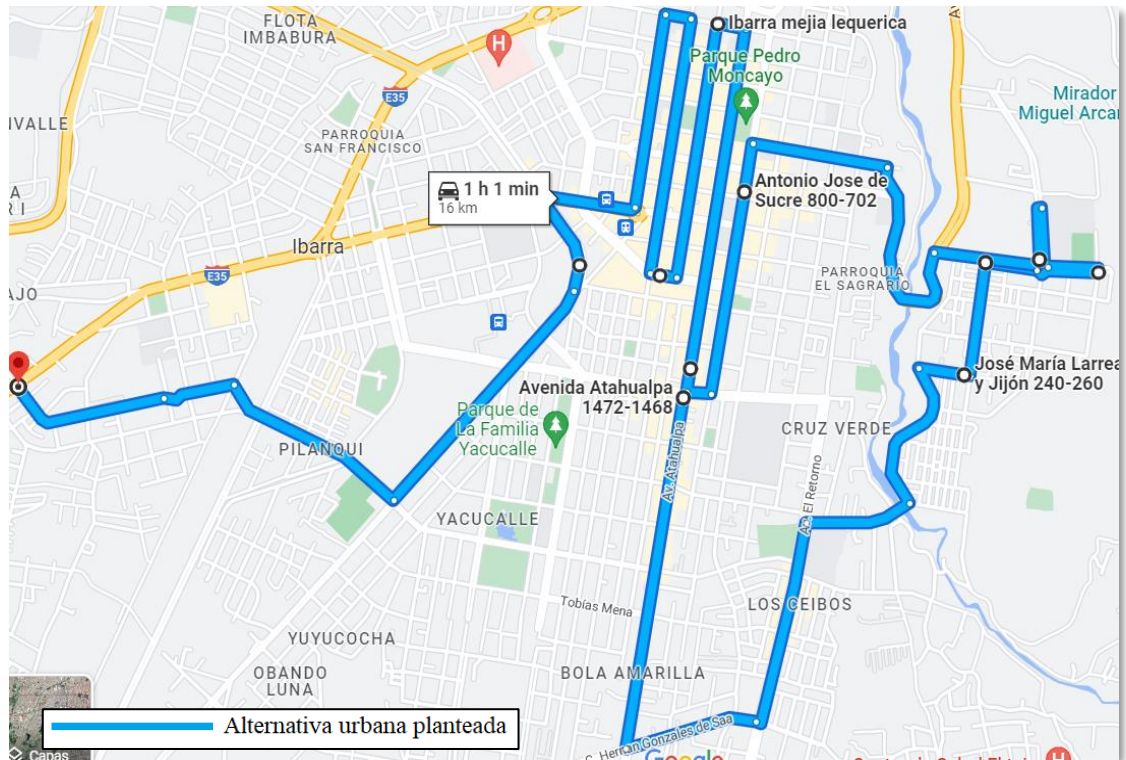


Figura 2.27 Zona Urbana Alternativa 1

En la Figura 2.27 se puede observar el trayecto urbano que se determinó para la alternativa 1, el trayecto cumplió con las condiciones de distancia y velocidades en la mayoría de las vías, presentando a lo largo del trayecto una gran cantidad de detenciones debido a los semáforos y el tráfico de las calles que tienen un carril en cada sentido. En esta alternativa existen lugares que se descartaron como son Universidad Técnica del Norte, hospitales, terminal terrestre y vías utilizadas por el transporte interprovincial para el ingreso y salida del cantón. La ruta tiene inicio en el centro de la urbe y el trayecto se concentra en recorrer la zona Sureste del cantón.

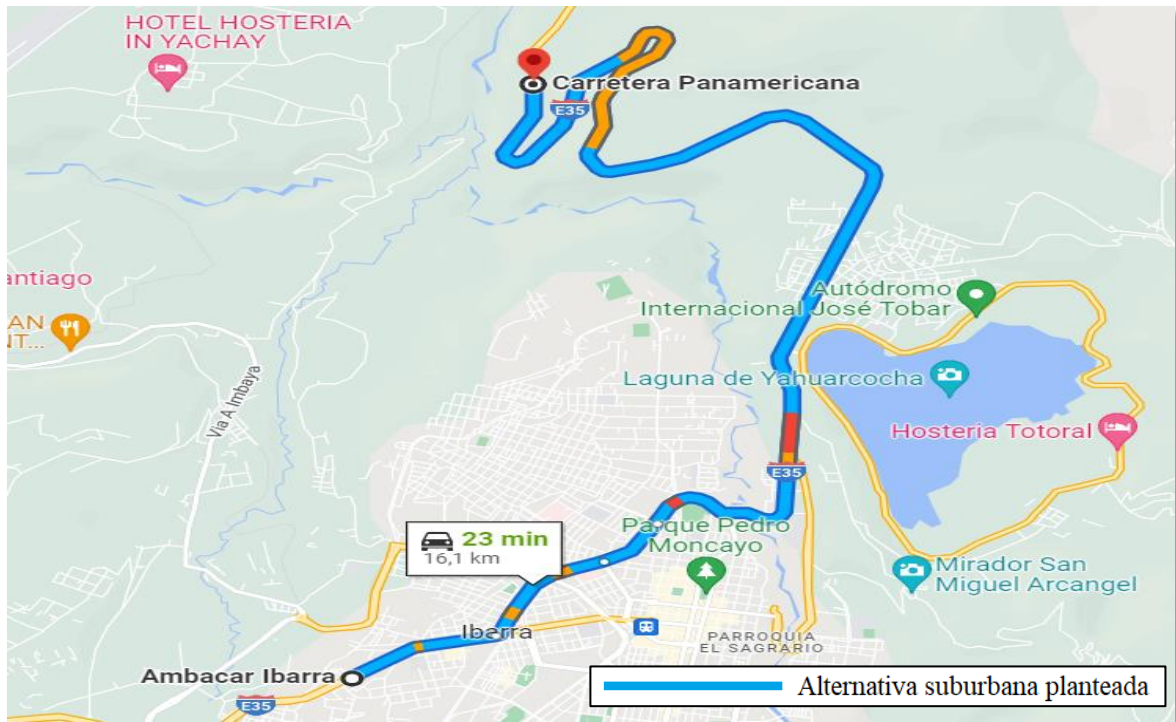


Figura 2.28 Zona suburbana alternativa 1

En la Figura 2.28 se muestra la ruta Suburbana seleccionada para la alternativa 1, como punto inicial en la Av. Mariano Acosta y punto final en la Panamericana E35 al ingreso de la hacienda Tababuela. Luego de realizar las pruebas de ruta se descartó esta ruta ya que tanto en la Av. Mariano Acosta como en la Av. Cristóbal de Troya no fue posible superar los 60 km/h. Y solo fue posible superar esta velocidad en la carretera panamericana a la altura de la Calle Puruhanta, cerca de la bomba de combustible Primax hasta el sector de los cañaverales en la entrada a la hacienda Tababuela con una distancia total de 7,5 km, menos de la mitad de la distancia estipulada en la normativa.

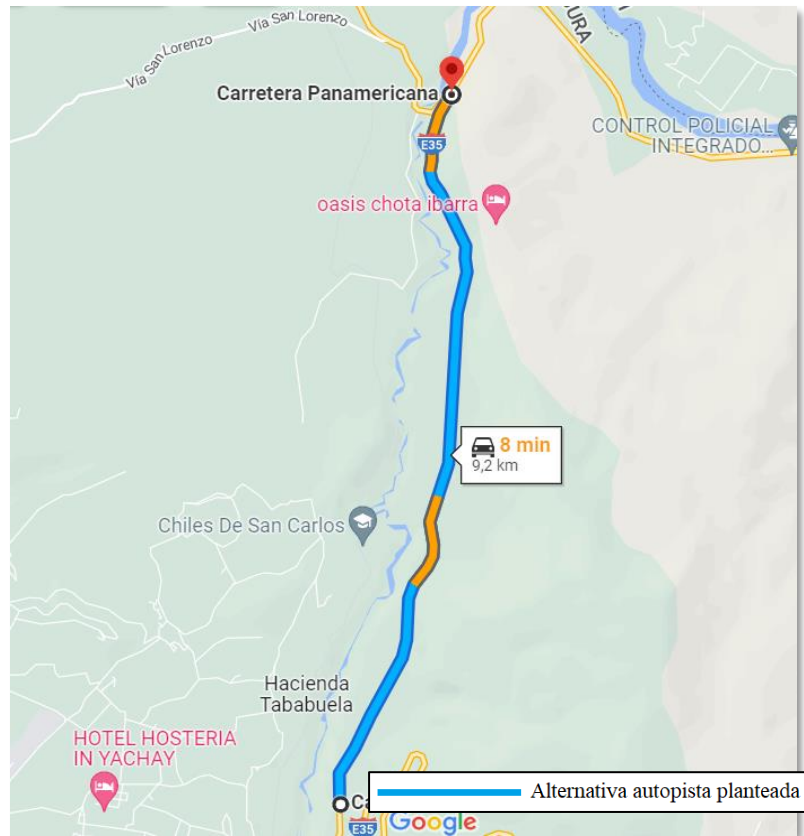


Figura 2.29 Zona de autopista alternativa 1

En la Figura 2.29 se puede observar la ruta de autopista que se seleccionó para esta alternativa, desde el punto que terminó la ruta suburbana en dirección al desvío a la Panamericana E10 donde se realiza un giro en U y se retorna a la entrada a la hacienda Tababuela, sin embargo al realizar la prueba de ruta se pudo determinar que tan solo en 12 km fue posible superar velocidades de 90 km/h, las mismas que fueron registradas en los lugares donde la vía se bifurca en cuatro carriles. Luego de realizar una vuelta completa al trayecto se concluyó que las vías que presentan un carril en cada sentido no permiten alcanzar las velocidades expuestas en la normativa y representan un peligro al momento de realizar la prueba. En la Tabla 2.11 se puede observar las diferentes calles y avenidas que se tomaron en cuenta al momento de diseñar la ruta, así como la razón de movilidad de estos trayectos.









Tabla 2.11 Detalle de ruta Alternativa 1

RUTA		INICIO	FIN		km	RAZÓN DE MOVILIDAD
Urbano		Av. Atahualpa	Hernán Gonzales de Saa		1,3	Área Comercial
Urbano		Hernán Gonzales de Saa	Av. El retorno		0,4	Área Comercial
Urbano		Av. El retorno	Tahuando		0,8	Área Comercial
Urbano		Tahuando	Carlos Barahona		0,5	Estudios
Urbano		Carlos Barahona	José María Larrea y Jijón		0,7	Estudios
Urbano		José María Larrea y Jijón	Hugo Guzmán Lara		0,2	Estudios
Urbano		Hugo Guzmán Lara	Av. Padre Aurelio Polit		0,4	Estudios
Urbano		Av. Padre Aurelio Polit	Av. Padre Aurelio Polit (Josefina Sandoval)		0,4	Estudios
Urbano		Av. Padre Aurelio Polit (Josefina Sandoval)	Av. Jorge Guzmán Rueda		0,3	Estudios
Urbano		Av. Jorge Guzmán Rueda	Av. Jorge Guzmán Rueda		0,2	Estudios
Urbano		Av. Jorge Guzmán Rueda	Av. Padre Aurelio Polit		0,2	Estudios
Urbano		Av. Padre Aurelio Polit	Av. 17 de Julio		0,4	Estudios
Urbano		Av. 17 de Julio	Juan José Flores		0,8	Estudios
Urbano		Juan José Flores	Antonio José de Sucre		0,6	Estudios
Urbano		Antonio José de Sucre	Av. Teodoro Gómez de la Torre		0,9	Estudios
Urbano		Av. Teodoro Gómez de la Torre	Simón Bolívar		0,1	Área Comercial

Tabla 2.11 Detalle de ruta Alternativa 1 (Continuación...)

RUTA		INICIO	FIN		km	RAZÓN DE MOVILIDAD
Urbano		Simón Bolívar	José Mejía Lequerica		1,4	Área Comercial
Urbano		José Mejía Lequerica	José Joaquín de Olmedo		0,1	Área Comercial
Urbano		José Joaquín de Olmedo	Av. Alfredo Pérez Guerrero		0,9	Área Comercial
Urbano		Av. Alfredo Pérez Guerrero	Sánchez y Cifuentes		0,1	Área Comercial
Urbano		Sánchez y Cifuentes	José Mejía Lequerica		1	Área Comercial
Urbano		José Mejía Lequerica	Manuel de la Chica Narváez		0,1	Área Comercial
Urbano		Manuel de la Chica Narváez	Av. Mariano Acosta		0,7	Área Comercial
Urbano		Av. Mariano Acosta	Av. Fray Vacas Galindo		0,4	Regreso al hogar
Urbano		Av. Fray Vacas Galindo	Av. Eugenio Espejo		0,5	Regreso al hogar
Urbano		Av. Eugenio Espejo	Av. Ricardo Sánchez		1	Regreso al hogar
Urbano		Av. Ricardo Sánchez	Judith Granda Almeida		0,7	Regreso al hogar
Urbano		Judith Granda Almeida	Manuelita Cañizares		0,3	Regreso al hogar
Urbano		Manuelita Cañizares	Av. Mariano Acosta		0,6	Regreso al hogar
TOTAL ZONA URBANA					16,0	
Suburbana		Av. Mariano Acosta	Av. Mariano Acosta (Redondel de la madre)		1,3	Vías de acceso buses inter cantonales
Suburbana		Av. Cristóbal de Troya	Av. El olivo		2,70	Vías de acceso buses inter cantonales

Tabla 2.11 Detalle de ruta Alternativa 1 (Continuación...)

RUTA		INICIO	FIN		km	RAZÓN DE MOVILIDAD
Suburbana		Av. El olivo	Panamericana E35		2,40	Vías de acceso buses inter cantonales
Suburbana		Panamericana E35	Panamericana E35 (Hacienda Tababuela)		9,70	Vía de acceso zona norte
TOTAL ZONA SUBURBANA					16,1	
Autopista		Panamericana E35 (Hacienda Tababuela)	Panamericana E35 (Desvío a San Lorenzo)		9.2	Vía de acceso zona norte
Autopista		Panamericana E35 (Desvío a San Lorenzo)	Panamericana E35 (Hacienda Tababuela)		9.2	Vía de acceso zona norte
TOTAL ZONA AUTOPISTA					18.2	

En la alternativa 1 se planteó una ruta urbana con un total de 16 km, ruta suburbana de 16,1 km y ruta de autopista con un total de 18,2 km. Estos valores corresponden con los valores mínimos de distancia a recorrer expuestos en la normativa EU para pruebas de ensayo RDE. Los porcentajes de cada ruta se dividieron de la siguiente manera, zona urbana 31,81 %, zona suburbana, 32,01% y zona de autopista 36,18%, el tiempo de prueba que se estimó fue de 100 minutos aproximadamente, el cual se encuentra dentro de los valores establecidos en la ruta. La ruta establecida cumplió con los tiempos establecidos en la normativa, sin embargo, al no ser posible alcanzar velocidades constantes en el área suburbana y autopista se descartaron varios tramos de la vía en los que no es posible alcanzar los valores establecidos en la normativa.

2.4.5.2 Alternativa 2 – Panamericana E35 (Priorato) – Panamericana E35 (Natabuela)

La alternativa 2 contempló una distancia total de 50,2 km, divididos en los siguientes porcentajes: zona urbana 32,07 %, zona suburbana 32,47 % y zona de autopista 35,46 %. Esta ruta es de mayor velocidad en relación con la alternativa 1 ya que utiliza arterias viales de alta velocidad dentro del cantón utilizando las principales vías de acceso por la zona norte

y sur, en la zona urbana de la ciudad se tomó en cuenta las vías en las que se pueden alcanzar velocidades más altas por la baja cantidad de tráfico y una menor presencia de semáforos.

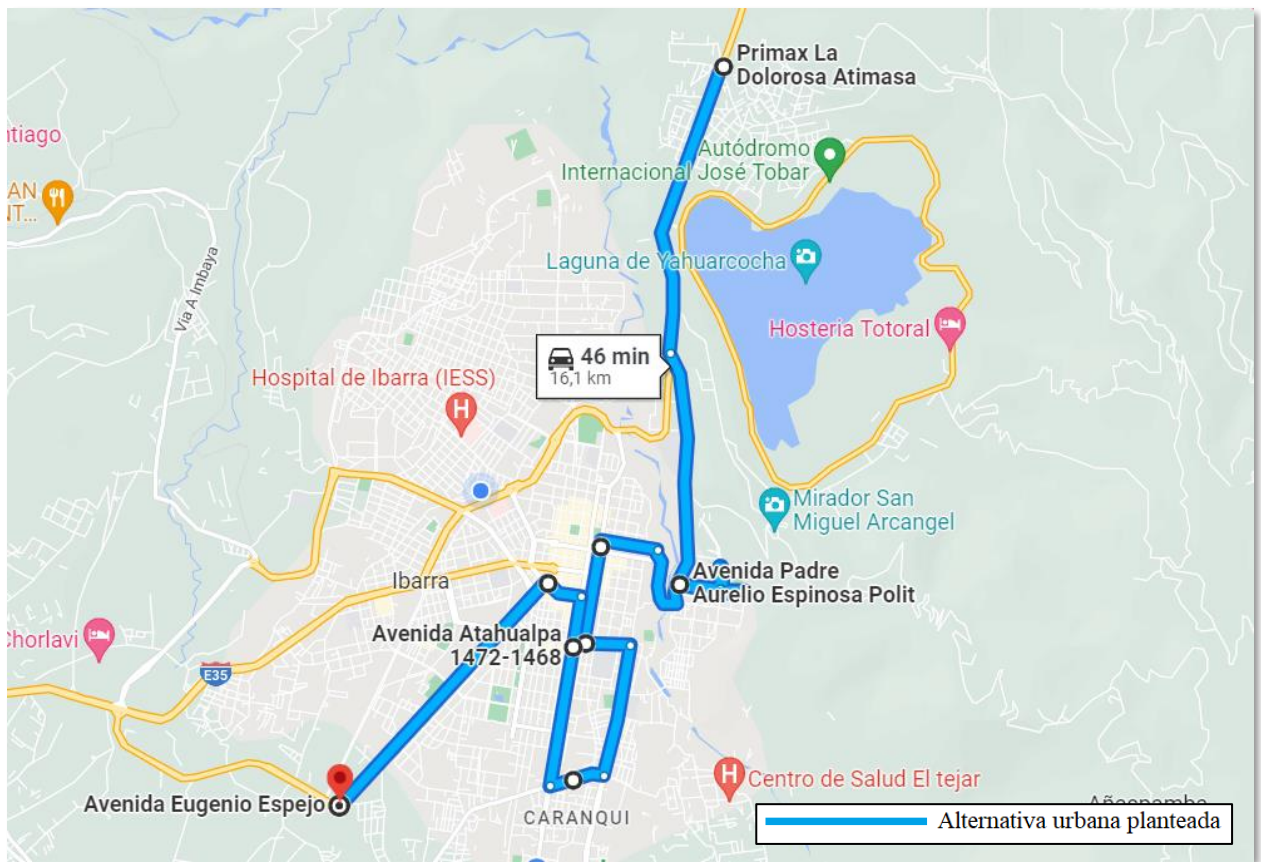


Figura 2.30 Zona urbana alternativa 2

En la Figura 2.30 se observa el mapa de la ruta urbana tomado en cuenta para la alternativa 2, en este caso la ruta cruza la ciudad en sentido Norte - Sur con una distancia total de 16,1 km, distancia que permite el cumplimiento de lo expuesto en la normativa EU, el tiempo utilizado para completar este tramo fue menor ya que presento vías sin mucha congestión vehicular como la Panamericana E35, Av. 17 de Julio y la Av. Eugenio Espejo, lo que facilitó la movilización.

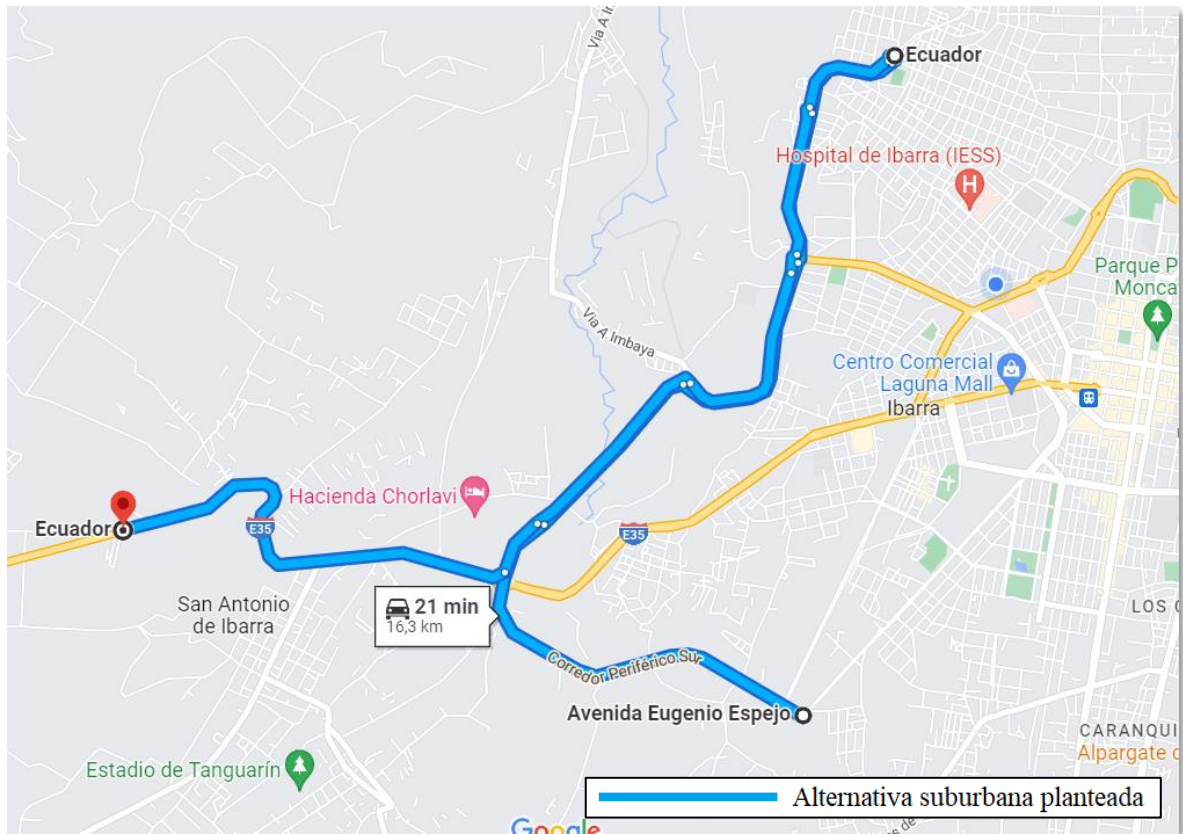


Figura 2.31 Zona suburbana alternativa 2

El tramo de la ruta suburbana que se tomó en cuenta para la alternativa 2 se puede observar en la Figura 2.31, esta ruta tiene como inicio el Corredor periférico sur en sentido Este – Oeste, seguido de las vías externa de la ciudad por el anillo vial. La ruta tiene una distancia total teórica de 16,3 km, cumplía con lo expuesto en la normativa RDE, sin embargo al momento de realizar la prueba de ruta se pudo evidenciar que en la vía panamericana que atraviesa San Antonio de Ibarra no es posible superar los 60 km/h de forma continua, esto debido a la geografía del lugar así como a la cantidad de semáforos presentes en la vía, dando como resultado un total de 14 km en los que puede superarse las velocidades propuestas en la normativa y por tanto no permite cumplirla en su totalidad.

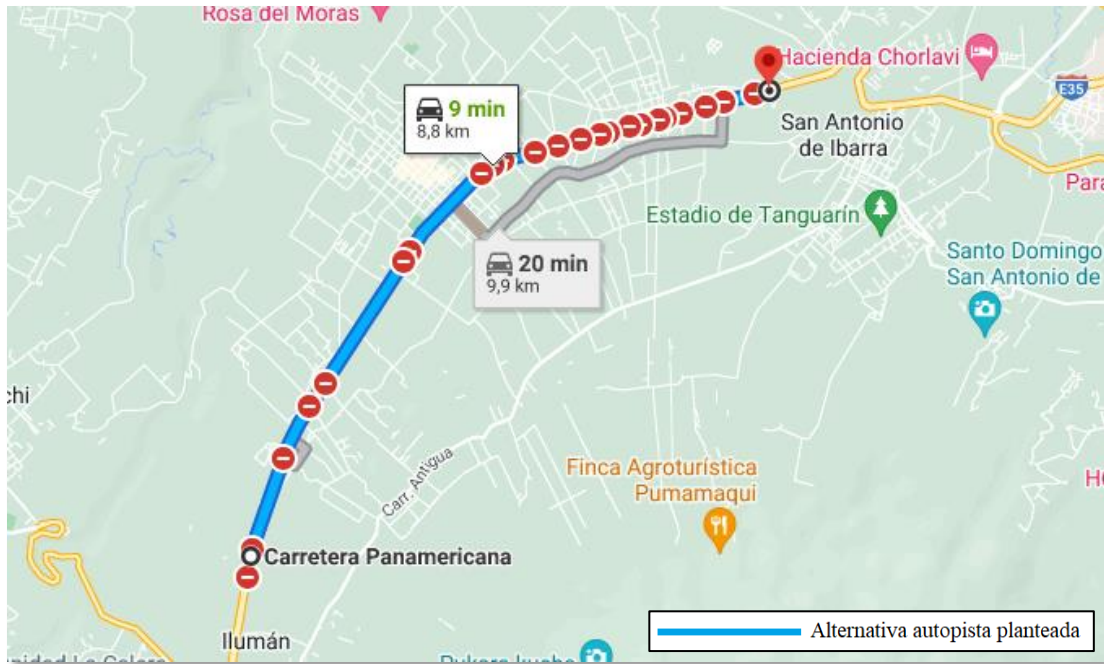


Figura 2.32 Zona de autopista alternativa 2

En la Figura 2.32 se puede apreciar las vías seleccionadas como alternativa 2 para la zona de autopista, tomando como inicio la Panamericana E35 a la altura de la empresa Tecnipuertas en dirección sur hacia el peaje de San Roque en donde luego de un giro en U se retorna nuevamente a la Carretera Panamericana E35 hasta la altura de la calle Mariano Beltrán en el sector de Chaltura. Este tramo tiene un total teórico de 17,8 km cumpliendo con la distancia mínima requerida en la normativa, sin embargo, al realizar las pruebas de ruta, la distancia recorrida a una velocidad superior a los 90 km/h es de 9 km, esto debido en parte a la cantidad de semáforos presentes en la vía, así como a los desniveles presentados a lo largo del trayecto.

En la Tabla 2.12 se puede observar las vías seleccionadas para la segunda alternativa, la cual tuvo inicio en la zona norte del cantón en la Carretera Panamericana a la altura de la Calle Puruhanta en la Gasolinera Primax del ingreso norte al cantón y recorre el cantón en sentido Norte – Sur, hasta su punto final en la Carretera Panamericana a la altura de la calle Mariano Beltrán en el sector Natabuela. Las zonas de mediana y alta velocidad son utilizadas por vehículos de transporte que utilizan vías como el corredor periférico Sur y el anillo vial para evitar el ingreso al centro de la urbe.

Tabla 2.12 Detalle de ruta Alternativa 2























































RUTA		INICIO:	FIN:		km	RAZÓN DE MOVILIDAD
Urbano		Panamericana E35 (Gasolinera Primax)	Av. El olivo		1,5	Zonas sociales
Urbano		Av. El olivo	Av. 17 de Julio		1,3	Estudios
Urbano		Av. 17 de Julio	Av. Padre Aurelio Polit		2,1	Estudios
Urbano		Av. Padre Aurelio Polit	Av. Padre Aurelio Polit (Josefina Sandoval)		0,7	Estudios
Urbano		Av. Padre Aurelio Polit (Josefina Sandoval)	Av. Jorge Guzmán Rueda		0,3	Estudios
Urbano		Av. Jorge Guzmán Rueda	Av. Jorge Guzmán Rueda		0,2	Estudios
Urbano		Av. Jorge Guzmán Rueda	Av. Padre Aurelio Polit		0,2	Estudios
Urbano		Av. Padre Aurelio Polit	Av. 17 de Julio		0,4	Estudios
Urbano		Av. 17 de Julio	Juan José Flores		0,8	Estudios
Urbano		Juan José Flores	Antonio José de Sucre		0,6	Estudios
Urbano		Antonio José de Sucre	Av. Teodoro Gómez de la Torre		0,9	Estudios
Urbano		Av. Teodoro Gómez de la Torre	Av. El retorno		0,3	Área Comercial
Urbano		Av. El retorno	Hernán Gonzales de Saa		1,3	Área Comercial
Urbano		Hernán Gonzales de Saa	Av. Atahualpa		0,5	Área Comercial
Urbano		Av. Atahualpa	Simón Bolívar		1,3	Área Comercial
Urbano		Simón Bolívar	Av. Alfredo Pérez Guerrero		0,4	Área Comercial
Urbano		Av. Alfredo Pérez Guerrero	Av. Eugenio Espejo		0,4	Área Comercial
Urbano		Av. Eugenio Espejo	Corredor periférico Sur		2,9	Regreso al hogar

Tabla 2.12 Detalle de ruta Alternativa 2 (Continuación...)

RUTA		INICIO:	FIN:		km	RAZÓN DE MOVILIDAD
TOTAL ZONA URBANA					16,1	
Suburbana		Corredor periférico Sur	Av. Fray Vacas Galindo		4,4	Vías de acceso Inter cantonales
Suburbana		Av. Fray Vacas Galindo	Av. Monseñor Leónidas Proaño		1,6	Vías de acceso Inter cantonales
Suburbana		Av. Monseñor Leónidas Proaño	Av. Monseñor Leónidas Proaño (Redondel Calle Latacunga)		1,8	Vías de acceso Inter cantonales
Suburbana		Av. Monseñor Leónidas Proaño (Redondel Calle Latacunga)	Av. Fray Vacas Galindo		1,8	Vías de acceso Inter cantonales
Suburbana		Av. Fray Vacas Galindo	Corredor periférico Sur		1,6	Vías de acceso Inter cantonales
Suburbana		Corredor periférico Sur	Carretera Panamericana E35		1,9	Vía de acceso zona sur
Suburbana		Carretera Panamericana E35	Carretera Panamericana E35 (Tecnipuestas)		3,2	Vía de acceso zona sur
TOTAL ZONA SUBURBANA					16,3	
Autopista		Carretera Panamericana E35 (Tecnipuestas)	Carretera Panamericana E35 (Peaje San Roque)		9	Vía de acceso zona sur
Autopista		Carretera Panamericana E35 (Peaje San Roque)	Carretera Panamericana E35 (Calle Mariano Beltrán)		8,8	Vía de acceso zona sur
TOTAL ZONA AUTOPISTA					17,8	

Es importante aclarar que esta ruta no abarcó rutas generalmente utilizadas dentro de la ciudad para el ingreso y salida de transporte inter cantonal como son la Av. Cristóbal de Troya y Av. Mariano Acosta. Luego de la prueba realizada se llegó a la conclusión de que superar las velocidades estipuladas para las zonas suburbanas y de autopista no fue posible por la gran afluencia de vehículos en la zona, así como los pasos por desniveles que supone un peligro para los ocupantes del vehículo de prueba y para los demás vehículos que transitan por la vía, por el riesgo de descarrilamiento.

2.4.5.3 Alternativa 3 – Av. 17 de Julio (UTN) – Panamericana E35 (Fin de bifurcación cañaverales)

Habiendo realizado las respectivas evaluaciones de velocidades y tiempo en las alternativas previamente expuestas, así como tomar en cuenta las vías en las que fue posible cumplir con las velocidades expuestas en la normativa EU sin presentar un peligro al momento de conducir, se procedió a elaborar una tercera ruta, que cruce la ciudad de Ibarra en todos sentidos Norte – Sur, Este – Oeste y viceversa, haciendo uso de las vías de alta velocidad presentes en el cantón.

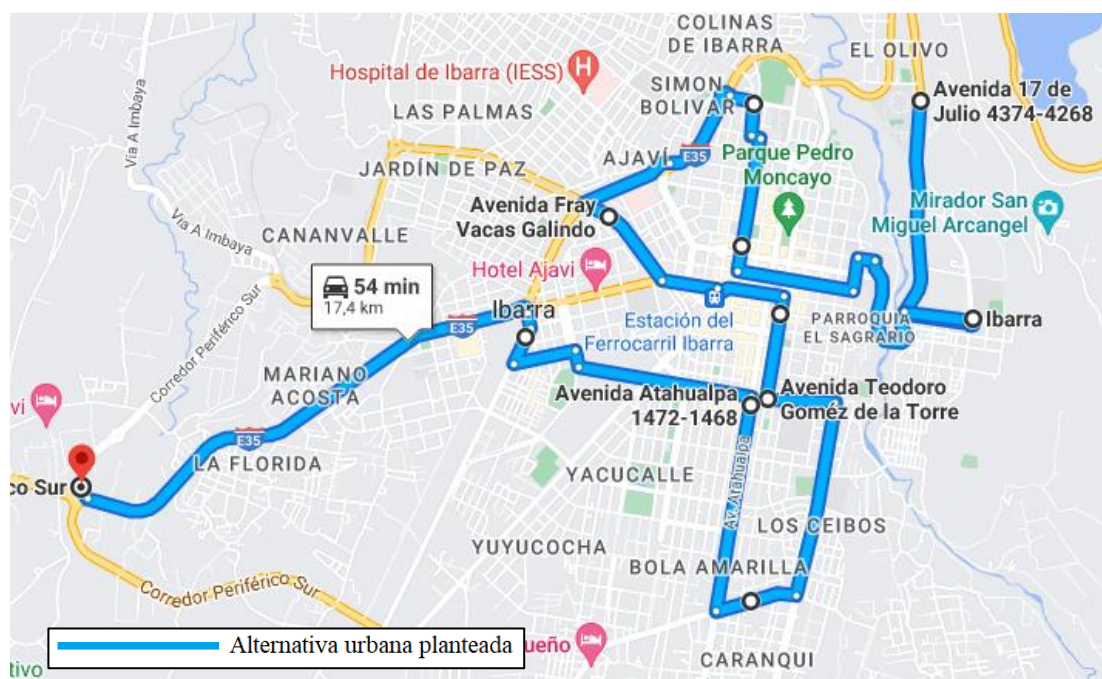


Figura 2.33 Zona urbana alternativa 3

En la Figura 2.33 se puede observar la zona urbana que fue tomada en cuenta para la realización de la prueba, en este tramo se inició en la Universidad Técnica del Norte para una mejor referencia al iniciar la prueba. La ruta se basa en la parte inicial de la alternativa número 2 anexando vías utilizadas para el ingreso del transporte intercantonales como es la Av. Cristóbal de Troya, de esta manera incluyendo en la ruta la zona central y Noreste del cantón, se retomó las áreas de zonas comerciales que se encuentran en el sector de los Ceibos y Av. Atahualpa, luego con el fin de incluir a los vehículos de transporte que se dirigen hacia el Sur del cantón se procedió a añadir la ruta que toman estos desde la Terminal terrestre hasta la bifurcación en el Corredor periférico Sur. Al momento que se realizó la prueba se pudo evidenciar que tanto la velocidad del vehículo, los tiempos de parada y la distancia

recorrida cumplen con lo expuesto en la normativa, siendo una de las mejores elecciones para desarrollar la ruta de prueba urbana.

La ruta suburbana se dividió en dos diferentes tramos, tomando como base las pruebas realizadas previamente se pudo determinar que, debido a las condiciones geográficas de las vías del cantón y la longitud de estas, no existen muchas vías en las que se pudo alcanzar las velocidades estipuladas en la normativa y cumplir con que la zona de autopista sea continua al área suburbana.

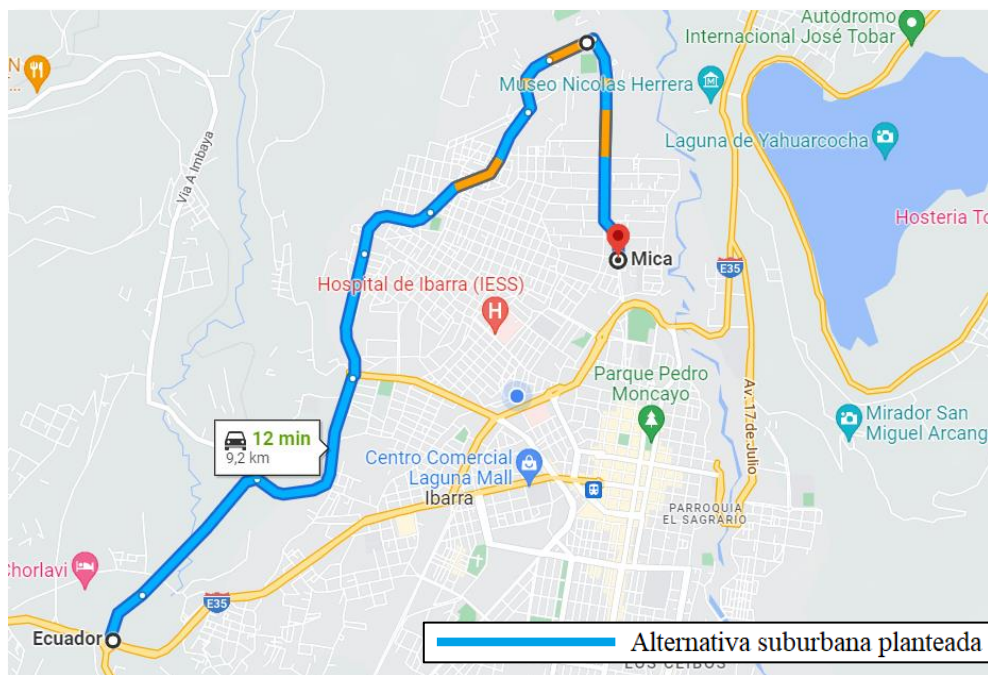


Figura 2.34 Primera parte de la zona suburbana alternativa 3

En la Figura 2.34 se presenta la primera parte de la ruta suburbana, la misma que tomó como base la sección del periférico sur y el anillo vial de la alternativa 2, vías que permiten alcanzar velocidades superiores a 60 km/h de manera continua y son las principales vías utilizadas para el ingreso y salida de vehículos interprovinciales. La poca presencia de semáforos hasta las vías cercanas al Estadio Universitario permite mantener velocidades continuas para el cumplimiento de la normativa EU.

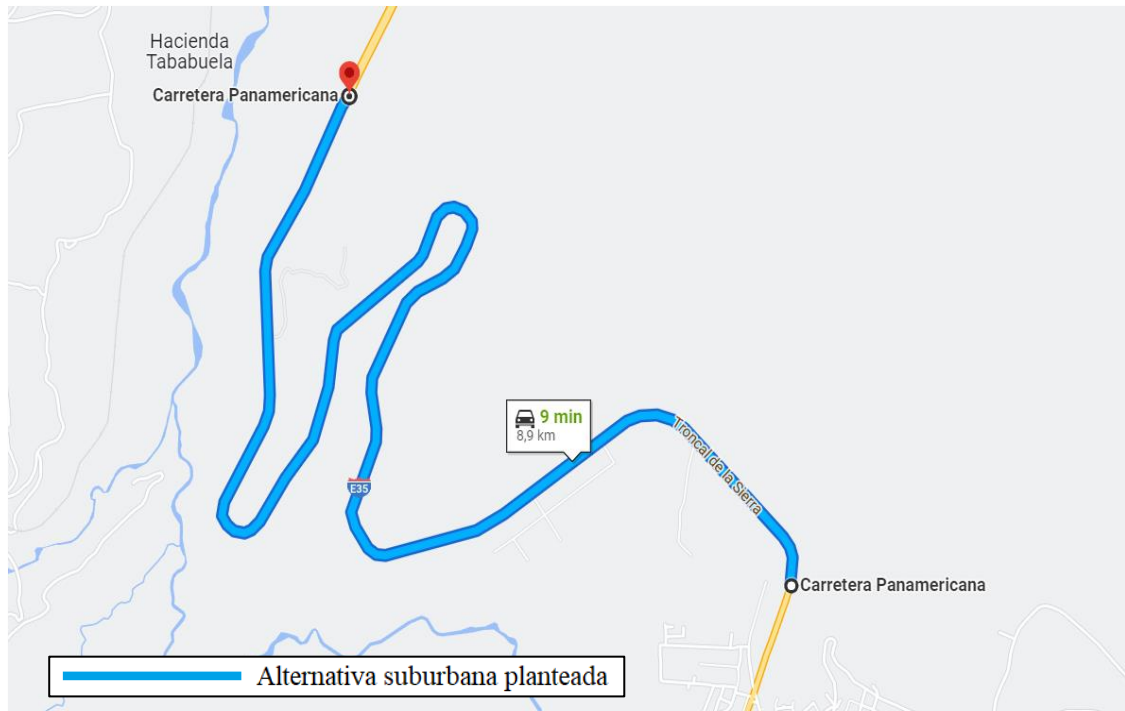


Figura 2.35 Segunda parte de la zona suburbana alternativa 3

En la Figura 2.35 se puede observar el segundo tramo de la vía suburbana, misma que se basó en las pruebas realizadas en la alternativa 1 y cuyo trayecto fue el que permitió alcanzar las velocidades estipuladas en la normativa de manera continua, así como la conexión entre la ruta suburbana y autopista. Esta ruta es la principal vía de acceso desde el norte del cantón para cantones y provincias aledañas, además la inexistencia de semáforos en este tramo permitió alcanzar las velocidades de forma continua.

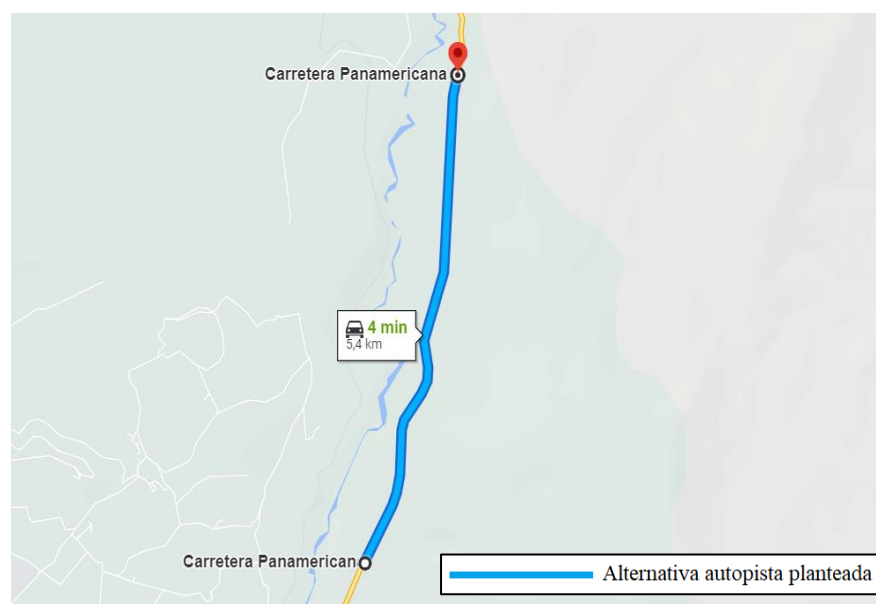


Figura 2.36 Zona de autopista alternativa 3

La trayectoria seleccionada para la ruta de autopista se puede observar en la Figura 2.36, esta trayectoria se tomó en consideración en base a la alternativa 1 ya que al momento de realizar las pruebas se pudo alcanzar velocidades superiores a los 90km/h de manera continua, además la geografía de este tramo, la afluencia de tráfico y la inexistencia de semáforos permitió superar velocidades de 90 km/h sin representar una amenaza a la integridad del vehículo, de los ocupantes y de los demás automotores en la vía. La Tabla 3.15 presenta las vías tomadas en cuenta para la alternativa 3 así como la distancia recorrida en cada uno de los sectores.

Tabla 2.13 Detalle de ruta Alternativa 3



























RUTA		DE:	A:		km	RAZÓN DE MOVILIDAD
Urbano		Av. 17 de Julio - Universidad Técnica del Norte (Entrada Principal)	Av. Padre Aurelio Polit		1,4	Estudios
Urbano		Av. Padre Aurelio Polit	Redondel Universidad Católica del Ecuador		0,4	Estudios
Urbano		Redondel Universidad Católica del Ecuador	Av. 17 de Julio		0,4	Estudios
Urbano		Av. 17 de Julio	Juan José Flores		0,8	Estudios
Urbano		Juan José Flores	Juan Montalvo		0,1	Estudios
Urbano		Juan Montalvo	Pedro Moncayo		0,2	Estudios
Urbano		Pedro Moncayo	Sánchez y Cifuentes		0,7	Trabajo
Urbano		Sánchez y Cifuentes	Fernando Villamar		0,9	Zona comercial
Urbano		Fernando Villamar	Aurelio Mosquera Narváez		0,05	Trabajo
Urbano		Aurelio Mosquera Narváez	Av. Jaime Roldós Aguilera		0,15	Trabajo
Urbano		Av. Jaime Roldós Aguilera	Av. Cristóbal de Troya (Redondel de la policía)		0,20	Trabajo
Urbano		Av. Cristóbal de Troya (Redondel de la policía)	Av. Fray Vacas Galindo		1,20	Vías de acceso Inter cantonales
Urbano		Av. Fray Vacas Galindo	Av. Mariano Acosta (Laguna Mall)		0,7	Zona comercial

Tabla 2.13 Detalle de ruta Alternativa 3 (Continuación...)





































Urbano		Av. Mariano Acosta (Laguna Mall)	Antonio José de Sucre		0,8	Zona comercial
Urbano		Antonio José de Sucre	Av. Teodoro Gómez de la Torre		0,7	Estudios
Urbano		Av. Teodoro Gómez de la Torre	Av. El retorno		0,4	Zona comercial
Urbano		Av. El retorno	Hernán Gonzales de Saa		1,3	Zona comercial
Urbano		Hernán Gonzales de Saa	Av. Atahualpa		0,5	Zona comercial
Urbano		Av. Atahualpa	Av. Teodoro Gómez de la Torre		1,3	Zona comercial
Urbano		Av. Teodoro Gómez de la Torre	Av. Heleodoro Ayala		1,1	Zona comercial
Urbano		Av. Heleodoro Ayala	Av. José Tobar y Tobar		0,1	Vías de acceso Inter cantonales
Urbano		Av. José Tobar y Tobar	Av. Camilo Ponce Enríquez		0,4	Vías de acceso Inter cantonales
Urbano		Av. Camilo Ponce Enríquez	Av. Mariano Acosta (Redondel de la madre)		0,4	Vías de acceso Inter cantonales
Urbano		Av. Mariano Acosta (Redondel de la madre)	Corredor Periférico Sur		3,2	Vías de acceso Inter cantonales
TOTAL ZONA URBANA					17,4	
Suburbana		Corredor Periférico Sur	Av. 13 de Abril (Estadio UTN)		7,3	Vías de acceso Inter provincial
Suburbana		Av. 13 de Abril - Obispo Jesús Yerovi	Quito - Obispo Jesús Yerovi		1,9	Vías de acceso Inter provincial
Suburbana		Quito - Obispo Jesús Yerovi	E35 (El triángulo)		3,6	Vías de acceso Inter provincial
Suburbana		E35 (El triángulo)	E35 (Bifurcación Sector Cañaverales) 0°24'52.5"N 78°07'34.1"W		8,9	Vía de acceso zona norte
TOTAL ZONA SUBURBANA					18,1	
Autopista		E35 (Bifurcación Sector Cañaverales) 0°24'52.5"N 78°07'34.1"W	E35 (Bifurcación Sector Salinas) 0°24'52.5"N 78°07'34.1"W		5,4	Vía de acceso zona norte

Tabla 2.13 Detalle de ruta Alternativa 3 (Continuación...)

Autopista		E35 (Bifurcación Sector Salinas) 0°24'52.5"N 78°07'34.1"W	E35 (Bifurcación Sector Cañaverales) 0°24'52.5"N 78°07'34.1"W		5,4	Vía de acceso zona norte
Autopista		E35 (Bifurcación Sector Cañaverales) 0°24'52.5"N 78°07'34.1"W	E35 (Bifurcación Sector Salinas) 0°24'52.5"N 78°07'34.1"W		5,4	Vía de acceso zona norte
TOTAL ZONA AUTOPISTA					16,2	

La alternativa 3 se basó en la parte inicial de la alternativa 2 en el área de estudios de universidades y unidades educativas, la parte urbana concerniente a áreas comerciales y de trabajo se basó en lo propuesto en la alternativa 1. Además, se añadió las vías de acceso y retorno de los buses intercantonales de la zona norte del cantón y las vías de salida desde la terminal terrestre hacia los cantones del sur, esto con el fin de representar el flujo de personas que se movilizan en los distintos medios de transporte.

2.4.5.4 Ensayos en las rutas alternativas

En las rutas alternativas se realizaron pruebas en forma total o parcial para determinar las velocidades que se podía alcanzar en las diferentes vías que las componen. En la Tabla 2.14 se presenta las fechas en las que se realizaron las pruebas, los vehículos, equipos empleados y la alternativa de ruta.

Tabla 2.14 Pruebas de ruta realizadas en las alternativas propuestas

RUTA	VEHICULO	EQUIPO	FECHA
Alternativa 1	Kia - Sportage	Odómetro de vehículo - odómetro app móvil – GPS	26 septiembre 2021
Alternativa 1	Kia - Sportage	Odómetro de vehículo - odómetro app móvil – GPS	08 octubre 2021
Alternativa 2	Toyota - Yaris	CANedge2 - odómetro de vehículo - odómetro app móvil – CANmod.gps	29 abril 2022
Alternativa 2	Toyota - Yaris	CANedge2 - odómetro de vehículo - odómetro app móvil - CANmod.gps	30 abril 2022
Alternativa 2	Toyota - Yaris	CANedge2 - odómetro de vehículo - odómetro app móvil - CANmod.gps	01 mayo 2022
Alternativa 2	Chevrolet - Aveo active	CANedge2 - odómetro de vehículo - odómetro app móvil - CANmod.gps	02 mayo 2022

Tabla 2.14 Pruebas de ruta realizadas en las alternativas propuestas (**Continuación...**)

Alternativa 3	Kia - Sportage	Odómetro de vehículo - odómetro app móvil – gps móvil	08 mayo 2022
Alternativa 3	Toyota - Yaris	CANedge2 - odómetro de vehículo - odómetro app móvil - CANmod.gps	15 mayo 2022
Alternativa 3	Toyota - Yaris	CANedge2 - odómetro de vehículo - odómetro app móvil - CANmod.gps	28 mayo 2022
Alternativa final	Toyota - Yaris	CANedge2 - odómetro de vehículo - odómetro app móvil - CANmod.gps	02 julio 2022
Alternativa final	Chevrolet - Aveo Active	CANedge2 - odómetro de vehículo - odómetro app móvil - CANmod.gps	03 julio 2022
Alternativa 3	Chevrolet - Aveo Active	Interfaz de diagnóstico OBD	09 julio 2022

A partir de las pruebas de ruta realizadas se procedió a determinar las vías que mejor permiten cumplir con los tiempos, velocidades y distancias requeridas por la normativa europea. De esta manera, los datos obtenidos de las pruebas de ruta de las alternativas 1 y 2 las cuales se encuentran orientadas hacia los diferentes puntos de la ciudad permitieron generar la alternativa 3 y la ruta RDE definitiva.

CANedge2 se empleó en conjunto con CANmod.gps para registrar datos GNSS y OBD en los ensayos de las rutas alternativas. Pero no se usaron en la etapa de pruebas finales en la ruta RDE definitiva, porque CANedge2 no registró la tasa de combustible del motor, el cual es un dato indispensable para estimar las emisiones de CO₂. En CANedge2 se configuró el registro de la tasa de combustible del motor con el PID 5E (hexadecimal) de OBD2, sin embargo, como se mencionó anteriormente no hubo registro de este dato en los vehículos de prueba. La razón no fue porque el equipo estuviese averiado o por mal uso, sino porque los vehículos en los que el equipo fue probado no permitían la lectura de este dato. En efecto, CANedge2 y CANmod.gps solamente se emplearon para ajustar y editar el trayecto hasta determinar la ruta RDE definitiva. Además, hubo casos en los cuales solo se usó la funcionalidad de registrar datos GNSS, porque CANedge2 solo registra datos OBD cuando el vehículo tiene protocolo BUS CAN. Por esta razón, en las pruebas en las cuales se usó un vehículo sin red CAN solo se pudo registrar información GNSS.

El inconveniente de no poder registrar la tasa de combustible del motor en la etapa de pruebas finales en la ruta definitiva se solucionó por medio de ocupar de forma articulada la interfaz de diagnóstico OBD con la aplicación móvil de paga Torque PRO. Este equipo sí permitió el registro de la tasa de combustible del motor. Sin embargo, no por medio del PID 5E de

OBDII, sino a través del PID ff125d propio de la aplicación móvil Torque PRO. De acuerdo con los comentarios que las personas publican en el foro de la página web de Torque PRO se pudo concluir que la aplicación móvil no registra la tasa de combustible desde la ECU del vehículo, ya que si ese fuera el caso debería hacerlo por medio del PID 5E. Entonces, la aplicación móvil calculó la tasa de combustible del motor con el empleo de datos que no están claramente definidos por el programador. Hubo la tentación de pensar que los cálculos de Torque PRO no son válidos. Sin embargo, cabe mencionar que en la aplicación móvil existe la opción de crear un perfil de vehículo. En donde se solicita al usuario llenar campos con especificaciones propias del vehículo, los cuales se recomienda llenarlos con los datos más reales posibles. Esta información pudo haber influido de alguna manera sobre el cálculo de la tasa de combustible del motor.

2.5 DISEÑO DE LA CAMPAÑA EXPERIMENTAL

Se procedió a desarrollar en la ruta RDE definitiva tres ensayos en diferentes horarios para poder representar de mejor manera la movilización de las personas a lo largo del día. Además, para determinar qué ensayo cumple mejor con la dinámica de la ruta. El detalle de la ruta se encuentra en el capítulo Resultados y discusión. Las pruebas se desarrollaron en horario de la mañana, horario de la tarde y horario nocturno. El punto de inicio fue una intersección de calles para una mejor ubicación y el final del ensayo se tomó en cuenta de acuerdo con que la parada no produzca afectaciones al tráfico presente en cada horario. Además, se realizó una conducción normal dentro de la ciudad evitando exigir el motor del vehículo para alcanzar velocidades y priorizando la seguridad del vehículo de prueba y de los vehículos externos en lugar de la obtención de las velocidades. En casos de que las pruebas no se hubiesen podido completar por motivos como arreglos en la vía o problemas con el vehículo, la prueba se dará como no válida y se procederá a reiniciar la prueba. En la Tabla 2.15 se puede apreciar los horarios de realización de la prueba, el vehículo, el equipo utilizado, así como el máximo de intentos que se podrían realizar en caso de encontrar obstáculos que imposibiliten la realización normal de la prueba.

Tabla 2.15 Cronograma de la campaña experimental

HORARIO	VEHÍCULO	EQUIPO	COMBUSTIBLE (%)	OCUPANTES	MÁXIMO INTENTOS
09h00 – 12h00	Chevrolet - Aveo Active	Interfaz de diagnóstico OBD	100	2	3
13h00 – 16h00	Chevrolet - Aveo Active	Interfaz de diagnóstico OBD	100	2	3
17h00 – 20h00	Chevrolet - Aveo Active	Interfaz de diagnóstico OBD	100	2	3

Los datos registrados más relevantes se presentan en la Tabla 2.16. En lo que se refiere a GPS no fue necesario emplear un GPS externo porque Torque PRO recolectó los datos GPS empleando el GPS del teléfono móvil. Los datos OBD con un asterisco a un lado son aquellos que Torque PRO no obtuvo directamente de la ECU, sino mediante cálculos.

Tabla 2.16 Datos registrados

OBD	UNIDADES	GPS	UNIDADES
Avance de tiempo	grados	Longitud	grados decimales
Carga de motor	%	Latitud	grados decimales
Tasa de flujo de combustible *	l/h	Velocidad	km/h
Par *	Nm	Altitud	m s.n.m.
Posición del acelerador	%	Rumbo	grados decimales
Presión del colector de admisión	psi		
Régimen de giro del motor	rpm		
Temperatura del aire de admisión	°C		
Temperatura del refrigerante del motor	°C		
Velocidad	km/h		

2.6 EJECUCIÓN DE LA CAMPAÑA EXPERIMENTAL

Para este caso de estudio la técnica que se utilizó para la obtención de datos en la ruta es la técnica On Board que se basa en representar un estilo de conducción cotidiano dentro de la ciudad de Ibarra, adaptándose a los diferentes horarios, tanto de horas pico como de horas

valle. Este tipo de conducción permitió recabar información con datos reales de conducción como son datos de velocidad, aceleración, posicionamiento, latitud, entre otros. Se descartó el método de persecución ya que debido al procedimiento y las características de la prueba RDE existen tramos de vía en donde los vehículos objetivos no pueden superar las velocidades punta o pueden poner en peligro a los ocupantes de los dos vehículos por un posible accidente, así como también se tomó en cuenta que los tramos de alta velocidad son más difíciles de alcanzar con este método.

Se procedió a conectar los equipos en el punto de inicio de la ruta tomando un tiempo de 5 segundos antes de realizar la prueba para permitir una correcta conexión entre el equipo y el computador del vehículo. Antes del inicio de cada prueba se comprobó que el nivel de combustible se encuentre al máximo para priorizar la repetibilidad de la prueba y una correcta toma de datos. En todas las pruebas el conductor fue el mismo para que los datos obtenidos se puedan diferenciar debido al tráfico presente en la ciudad y no en base a una conducción más pasiva o agresiva por el cambio de conductor.



Figura 2.37 Posicionamiento de inicio del ensayo

En la Figura 2.37 se puede observar el punto de inicio de los ensayos, el cual fue en las afueras de la Universidad Técnica del Norte cerca de la puerta principal.

2.7 PREPARACIÓN DE DATOS

Una vez ejecutada la campaña experimental, cada archivo de registro fue importado a una PC. A partir de ese momento se comenzó una etapa de preparación de los datos. Esto con la finalidad de disponer de información comprensible, limpia y confiable. En primer lugar, se procedió con la limpieza de los datos, la cual empezó desde dar un nombre correcto a cada

archivo de registro. Los archivos de registro fueron almacenados dentro de una carpeta denominada “Sin Procesar”.

El formato de nombre que se dio a cada archivo fue el siguiente:

Equipo_Fecha_Ensayo_Vehículo_Frecuencia.csv

Donde:

Equipo: Referencia del equipo empleado

Fecha: En formato DDMMAA

Ensayo: Número de ensayo

Vehículo: Nombre de vehículo

Frecuencia: Frecuencia de muestreo

La Tabla 2.17 indica los nombres que se dieron a cada uno de los archivos de registro.

Tabla 2.17 Nombre de los archivos de registro

N° ENSAYO	NOMBRE DEL ARCHIVO
1	Torque_16072022_1_Aveo_1Hz.csv
2	Torque_17072022_2_Aveo_1Hz.csv
3	Torque_17072022_3_Aveo_1Hz.csv

Seguidamente, se realizó la lectura de cada uno de los archivos de registro en el software RStudio.

```
A1 <- read.csv("C:/Users/pc/Sin procesar/Torque_16072022_1_Aveo_1Hz.csv",
              encoding="LATIN1", row.names=NULL, na.strings="-")
```

Donde:

A1:	Dataframe en que se almacena el archivo de registro
read.csv():	Función de lectura de archivo de registro
"C:/Users/pc/Sin procesar/Torque_16072022_1_Aveo_1Hz.csv":	Ubicación de archivo de registro
encoding="LATIN1":	Permite la lectura de datos con ñ o con tildes
row.names=NULL:	Permite numerar las filas
na.strings="-":	R entiende como datos nulos los espacios donde exista el símbolo “-”

Figura 2.38 Código para leer los archivos de registro

La Figura 2.38 indica el código que se empleó para la lectura de los archivos de registro. Cada archivo de registro se almacenó en un data.frame. El data.frame se nombró de acuerdo con el número de ensayo de la siguiente manera:

- A1: Primer ensayo realizado, horario de la noche
- A2: Segundo ensayo realizado, horario de la mañana
- A3: Tercer ensayo realizado, horario de la tarde

Una vez realizada la lectura de cada uno de los archivos de registro, se procedió a sincronizar las variables GPS y las variables OBD.

2.7.1 SINCRONIZACIÓN DE LOS DATOS GPS Y OBD

Para empezar, Torque PRO almacenó los datos GPS y OBD en un solo archivo. Sin embargo, ambos registros estaban desfasados. En efecto, se procedió a sincronizar ambos tipos de datos por medio de sus velocidades. Este proceso solo se puede realizar si existe una variable de velocidad en ambos tipos de datos. Es decir, debe existir una variable de velocidad como parte de los datos GPS, y asimismo otra variable de velocidad en los datos OBD. Convenientemente se poseía variables de velocidad en ambos registros.

A continuación, se indica el procedimiento que se siguió para realizar la sincronización. Primeramente, se identificó cual velocidad estaba atrasada con respecto de la otra mediante graficar ambas velocidades.

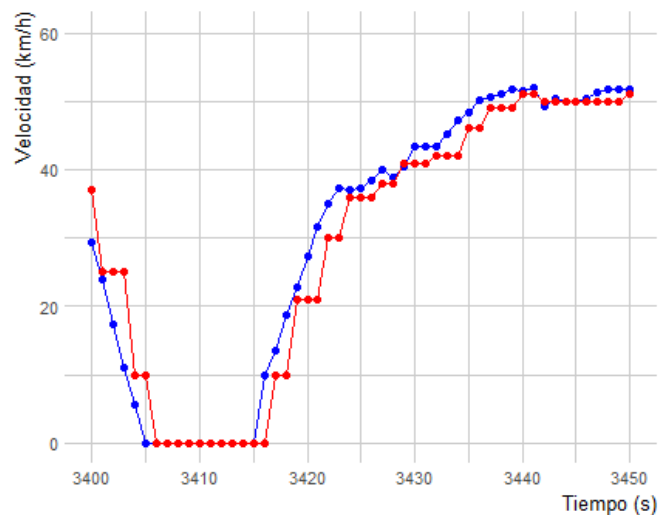


Figura 2.39 Desfase entre velocidad OBD (rojo) y velocidad GPS (azul)

La Figura 2.39 muestra que la velocidad OBD estaba atrasada con respecto a la velocidad GPS. Después, los datos OBD y datos GPS fueron separados del data.frame original y fueron almacenados en dos data.frames diferentes, uno con las variables GPS, y otro con las

variables OBD. La Tabla 2.18 presenta las variables clasificadas por su tipo. Cabe resaltar que desde ese momento se realizó la eliminación de algunas variables porque se consideraron innecesarias. Dichas variables tienen la palabra “eliminada” a un lado de su nombre.

Tabla 2.18 Clasificación de las variables

VARIABLES OBD	VARIABLES GPS
1. Device Time	1. GPS Time
2. Timing Advance (°)	2. Longitude
3. Engine Load (%)	3. Latitude
4. Fuel flow rate/hour (l/hr)	4. GPS Speed (Meters/second) (eliminada)
5. Torque (Nm)	5. GPS vs OBD Speed difference (km/h) (eliminada)
6. Throttle Position (Manifold) (%)	6. Horizontal Dilution of Precision (eliminada)
7. Intake Manifold Pressure (psi)	7. Altitude
8. Engine RPM (rpm)	8. Bearing
9. Intake Air Temperature (°C)	9. G(x) (eliminada)
10. Engine Coolant Temperature (°C)	10. G(y) (eliminada)
11. Speed (OBD) (km/h)	11. G(z) (eliminada)
	12. G(calibrated) (eliminada)
	13. Speed (GPS) (km/h)

Posteriormente, la variable de velocidad atrasada (OBD) se almacenó en un data.frame al cual se denominó “senal 1”, mientras que la otra variable de velocidad (GPS) se almacenó en otro data.frame al cual se denominó “senal 2”. Seguidamente, se identificó el tiempo de desfase entre las dos variables de velocidad mediante calcular la correlación cruzada con la función “ccf”:

```
eval_desfase = ccf(senal_1,senal_2,lag.max = 400, plot =FALSE,na.action = na.pass)
```

eval_desfase: Lista que contiene el resultado de ccf
 ccf: Función que permite calcular la correlación cruzada
 senal 1: Dataframe que contiene los datos de la velocidad OBD (variable atrasada)
 senal 2: Dataframe que contiene los datos de la velocidad GPS
 lag.max: lag máximo al que se calcula el acf
 plot: “False” para que no se trace el acf
 na.action: Permite trabajar con valores perdidos. “na.pass” devuelve el objeto sin cambios

Figura 2.40 Explicación del código para evaluar el desfase

La Figura 2.40 muestra el código empleado en RStudio y brinda una breve explicación sobre los argumentos utilizados. Una vez ejecutado el código, la lista “eval_desfase” contenía el resultado de aplicar la función “ccf”. Entonces, se procedió a extraer de la lista “eval_desfase” los valores de correlación (acf) y los valores de desfase (lag) a un mismo data.frame. En este nuevo data.frame se identificó la correlación máxima, la cual corresponde a la correlación de desfase de la velocidad OBD con la velocidad GPS. En el

mismo número de fila que la correlación máxima, pero en la columna de los valores de desfase, se halló el valor de desfase de ambas velocidades. Este valor indicó el tiempo de desfase de la velocidad OBD con la velocidad GPS. Estos valores se muestran a continuación:

- Correlación de desfase (correlación máxima): 0.998
- Tiempo de desfase: +1

Es importante mencionar que todos los archivos de registro tenían este mismo tiempo de desfase. Este valor (tiempo de desfase) indicó que la velocidad OBD estaba atrasada en 1 segundo con respecto a la velocidad GPS. Es decir, todos los datos OBD estaban atrasados en 1 segundo en relación con los datos GPS. Para corregir este desfase entre ambos tipos de datos, se eliminó la primera observación del data.frame OBD. Esta observación correspondió a ese 1 segundo de atraso, de manera que, al eliminar esta observación, ambos tipos de datos quedaron sincronizados. Es decir, las variables del data.frame OBD y las variables del data.frame GPS ya coincidieron en el tiempo. Además, se eliminó la última observación del registro GPS para que ambos registros tuviesen el mismo número de observaciones. Al contar con el mismo número de observaciones, ambos registros fueron unidos en un solo data.frame.

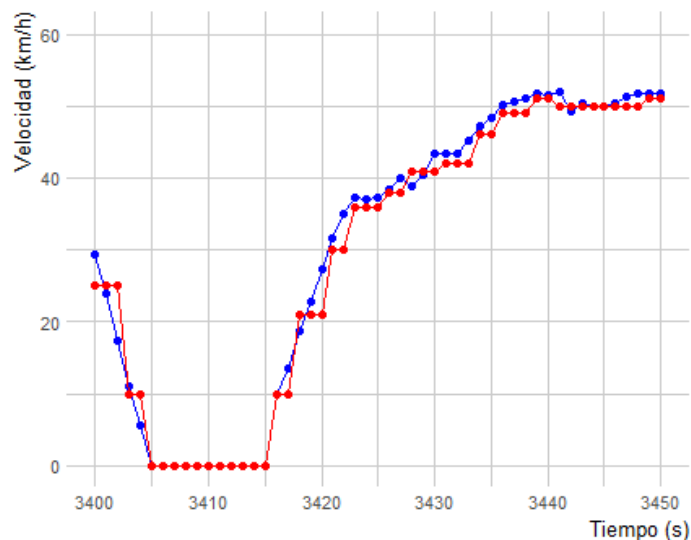


Figura 2.41 Velocidad OBD (rojo) y velocidad GPS (azul) sincronizadas

La Figura 2.41 muestra la gráfica de ambas velocidades después de culminar el proceso de sincronizado.

2.7.2 LIMPIEZA DE DATOS AUTOMÁTICA

Después de sincronizar las variables OBD con las variables GPS de cada archivo de registro, en RStudio se programó una función a la cual se denominó “automático”. Tal como su nombre lo indica permitió realizar el resto del proceso de limpieza de datos de forma automática. A continuación, se describe más detalles sobre esta función.

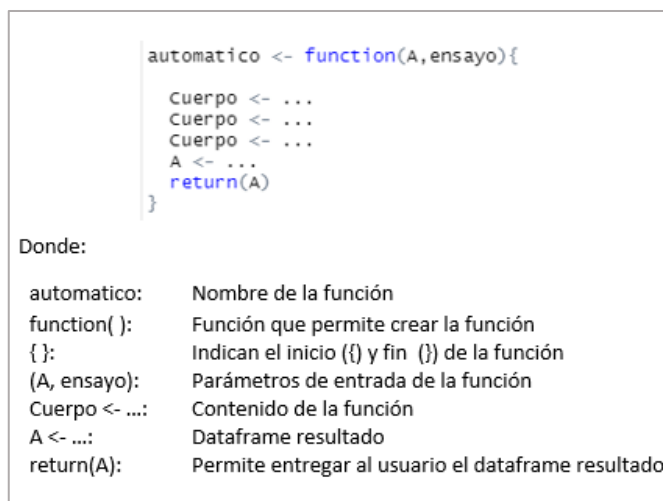


Figura 2.42 Función automático

La Figura 2.42 indica de forma muy simplificada el código de la función “automático”. No es el código real, sino que se ha colocado de esta manera para facilitar su explicación. El código real se encuentra en el ANEXO III, en donde se ha colocado además algunos comentarios para ayudar al lector a comprender lo que se realiza en cada línea de código. A continuación, se describe la función:

Parámetros de entrada:

- “A”: Es de tipo data.frame y contiene el archivo de registro
- “ensayo”: Es de tipo numérico y corresponde al número de ensayo

Cuerpo de la función:

El “Cuerpo” contiene todas las líneas de código que se encargaron de realizar el proceso de limpieza de datos al data.frame de entrada “A”. Las modificaciones que la función realizó en “A” fueron las siguientes:

- Eliminación del corte de la ruta suburbana
- Nombramiento correcto de las variables
- Comprobación de datos nulos o faltantes

- Creación de variables “Fecha” y “Hora”
- Eliminación de variables innecesarias
- Creación de nuevas variables: “N” (número de filas u observaciones), “Ensayo” (número de ensayo), Zona (tipo de ruta), “Tiempo_s” (El tiempo en segundos, por ejemplo 0,1,2,3, ...,n)
- Suavizado de la velocidad GPS
- Clasificación de cada observación de acuerdo con la velocidad instantánea (Urbano, Suburbano o Autopista)
- Ordenamiento de variables

Salida:

- La función entregó el data.frame “A” modificado y listo para ser utilizado en la etapa de procesamiento de datos.

A continuación, se explica algunas de las tareas realizadas por la función, solamente aquellas que requieren de una aclaración para su comprensión:

2.7.2.1 Eliminación del corte en la ruta suburbana

Para este proceso, se tomó en cuenta coordenadas de latitud y longitud. En primer lugar, se determinó las coordenadas geográficas de los puntos presentados en la Tabla 2.19. Con estos datos se programó en la función “automático” un código que elimine el corte de la ruta suburbana. A continuación, se describe su funcionamiento. Primeramente, el código buscó en el dataframe el número de fila en el que termina la ruta urbana. Para ello comparó cada observación de latitud y longitud del data.frame con los valores de latitud y longitud correspondientes al final de la ruta urbana, los cuales se presentan en la Tabla 2.19. Después, a partir del número de fila del fin de la ruta urbana buscó el número de fila correspondiente al inicio del corte de la ruta suburbana. Para esto, utilizó las coordenadas geográficas pertenecientes al inicio del corte de la ruta suburbana, presentados en la Tabla 2.19. Luego, desde el número de fila del inicio del corte buscó el número de fila del final del corte. De la misma forma, usó para esto, las coordenadas geográficas del fin del corte de la ruta suburbana mostradas en la Tabla 2.19.

Tabla 2.19 Coordenadas geográficas de la ruta empleadas en la función "automático"

PUNTO DE LA RUTA	LATITUD 1 (°)	LONGITUD 1 (°)	LATITUD 2 (°)	LONGITUD 2 (°)
Final de ruta urbana (solo referencia no la real)	0.337061	-78.157800	0.337061	-78.156400
Inicio de corte de ruta suburbana	0.36460	-78.120335	0.36460	-78.119650
Final de corte de ruta suburbana	0.38953	-78.108503	0.38953	-78.106507

Una vez identificados los números de fila tanto del inicio como del fin del corte de la ruta suburbana, el código eliminó estas filas juntamente con todas las observaciones intermedias, las cuales pertenecían al corte de la ruta suburbana. De esta manera, el corte de la ruta suburbana fue eliminado del data.frame.

2.7.2.2 Nombramiento, eliminación, creación y ordenamiento de variables

Una de las tareas más importantes de la función “automático” fue que dio un nombre adecuado a las variables del data.frame. La Tabla 2.20 muestra las variables iniciales que tenía el data.frame “A”. Una vez aplicada la función, el código de programación procesó estas variables, eliminó algunas y añadió nuevas. El resultado fue un data.frame con variables nombradas y ordenadas correctamente.

Tabla 2.20 Variables iniciales y finales

VARIABLES INICIALES	VARIABLES FINALES	VARIABLES FINALES
1. GPS Time	1. N	19. Altitud_m
2. Device Time	2. Fecha	20. Rumbo_grados
3. Longitude	3. Hora	21. Velocidad_GPS_km_h
4. Latitude	4. Ensayo	22. Velocidad_Suav_km_h
5. Altitude	5. Zona	23. Alarma
6. Bearing	6. Tiempo_s	
7. Timing Advance(°)	7. Par_Nm	
8. Engine Load(%)	8. Avance_tiempo_grados	
9. Fuel flow rate/hour(l/hr)	9. Carga_motor_porc	
10. Torque(Nm)	10. Tasa_Combustible_l_h	
11. Throttle	11. Pos_Acelerador_porc	
Position(Manifold)(%)	12. P_Colector_Admission_psi	
12. Intake Manifold Pressure(psi)	13. RPM_Motor_rpm	
13. Engine RPM(rpm)	14. T_Aire_Admission_C	
14. Intake Air Temperature(°C)	15. T_Refrigerante_Motor_C	
15. Engine Coolant	16. Velocidad_OBD_km_h	
Temperature(°C)	17. Longitud_grados	
16. Speed (GPS)(km/h)	18. Latitud_grados	
17. Speed (OBD)(km/h)		

Cabe mencionar que la variable final “Alarma” tuvo dos valores posibles: “Válido” o “No válido”. “Válido” indicó que el dataframe no tiene datos faltantes y que puede emplearse en la etapa de procesamiento de datos (explicada más adelante), mientras que “No válido” mostró que el dataframe tiene datos faltantes y que no puede usarse en la etapa de procesamiento de datos. Antes de que el código determine si existen o no valores faltantes en el data.frame primero extrajo del data.frame la variable “Par_Nm” porque esta variable tenía la particularidad de presentar muchos datos faltantes, no por alguna falla sino porque Torque PRO registra esta variable de esa manera. Es importante mencionar que la variable “Velocidad_GPS_km_h” fue la variable original a la que se le aplicó el proceso de suavizado. Mientras que la variable denominada “Velocidad_Suav_km_h” fue la que contenía los datos de la velocidad suavizada.

2.7.2.3 Suavizado de la velocidad GPS

Fue necesario la realización del suavizado de la velocidad porque la curva de velocidad GPS poseía muchos picos. Como el lector supondrá el proceso de suavizado cambió un poco los datos de velocidad originales. Cabe mencionar que este cambio no provocó que la ruta ya no cumpliera con la normativa en cuanto a la verificación dinámica. A continuación, se presenta cómo la función “automático” realizó el suavizado de la velocidad GPS. En primer lugar, enceró de la velocidad original los valores menores o iguales a 2,5 km/h. Esto permitió que el proceso de suavizado modifique lo menos posible los valores de la velocidad original, específicamente aquellos que son menores a 2,5 km/h. De manera tal que aún los tiempos de parada casi no fueron alterados. Seguidamente, se suavizó la velocidad original mediante la función “rollapply”:

```
A2$velocidad_suav_km_h <- round((rollapply(A2$Speed..GPS..km.h.,width=4,
                                         FUN=mean, partial=TRUE)),2)
```

A2\$Velocidad_Suav_km_h:	Crea una variable para guardar los valores de la velocidad suavizada
round(, 2):	Función que permite redondear los valores a un número de decimales, en este caso: 2
rollapply ()	Función que permite suavizar la curva
A2\$Speed..GPS..km.h.	Variable de velocidad original
width=4	Ancho de la ventana, en este caso: 4
FUN=mean	La función para aplicar, en este caso: mean
partial=TRUE	Igual a TRUE permite aplicar la función para cada observación

Figura 2.43 Código de suavizado de la curva de velocidad

La Figura 2.43 presenta una breve explicación sobre el código que permitió suavizar la velocidad GPS. Seguidamente, se pudo graficar y observar la velocidad original y la suavizada:

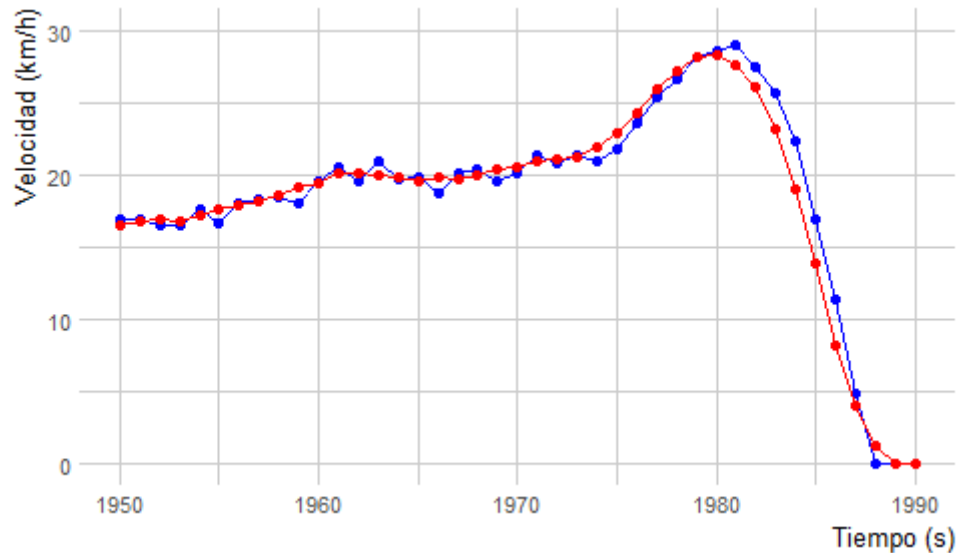


Figura 2.44 Velocidad sin suavizar (azul) y velocidad suavizada (rojo)

La Figura 2.44 muestra la diferencia existente entre la curva original (sin suavizar) y la curva ya suavizada.

2.7.2.4 Clasificación de cada observación de acuerdo con la velocidad instantánea

El código clasificó cada observación y almacenó el resultado dentro de la variable “Zona”. Las categorías de clasificación fueron tres: Urbano, Suburbano y Autopista. La clasificación se realizó en base a los valores de la velocidad suavizada instantánea y de acuerdo con la normativa europea:

- Urbano: Velocidades menores o iguales a 60 km/h
- Suburbano: Velocidades mayores a 60 km/h y menores o iguales a 90 km/h
- Autopista: Velocidades mayores a 90 km/h

Estas son las tareas que la función “automático” realizó en cada data.frame. A continuación, se presenta el código de la función aplicada a los tres data.frames:

```
A1=automatico(A=A1, ensayo=1)
A2=automatico(A=A2, ensayo=2)
A3=automatico(A=A3, ensayo=3)
```

Figura 2.45 Aplicación de la función "automático"

La Figura 2.45 muestra la función “automático” aplicada a los tres data.frames. Como se puede observar se ingresa dos parámetros de entrada a la función, primero el data.frame sin procesar y después el número de ensayo correspondiente. En RStudio lo que fue más complicado y tomó más tiempo fue crear la función. Sin embargo, una vez que la función fue creada, su aplicación se resumió a una línea de código para cada data.frame. Finalmente, los data.frames preparados se imprimieron dentro de una carpeta llamada “Procesado”:

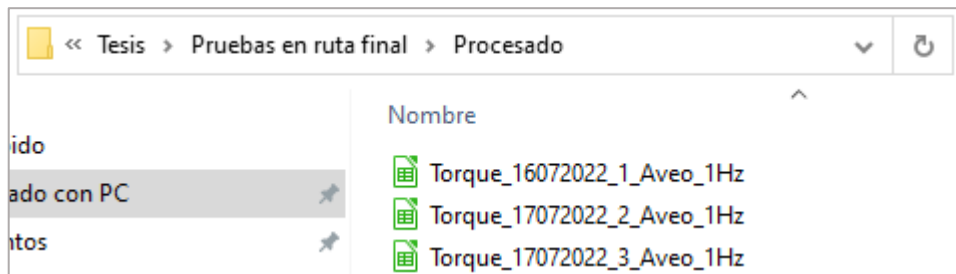


Figura 2.46 Contenido de la carpeta "Procesado"

En la Figura 2.46 se puede observar los archivos de registro preparados y almacenados dentro de una nueva carpeta. En el caso de que se desee volver a usar la función “automático” se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- El data.frame “A” debe contener las mismas variables.
- El archivo de registro debe ser grabado en la misma ruta RDE del presente proyecto.

2.7.3 CLASIFICACIÓN DE CADA OBSERVACIÓN EN FUNCIÓN DE LAS COORDENADAS GEOGRÁFICAS

Después, se clasificó cada fila del data.frame del ensayo 2 de acuerdo con las coordenadas geográficas del tipo de ruta al que pertenecían. Las categorías fueron: Urbana, Suburbana y Autopista. El resultado se almacenó dentro de una variable denominada “Ruta”. La diferencia entre las variables “Zona” y “Ruta” es que la primera fue una clasificación realizada en función de la velocidad instantánea, mientras que la segunda fue una clasificación realizada sobre la base de las coordenadas geográficas. La clasificación por velocidad instantánea sirvió en su mayoría solo para realizar la verificación de la dinámica de la ruta de acuerdo con la normativa europea. Mientras que la clasificación por coordenadas geográficas permitió analizar los datos de acuerdo con el tipo de ruta. Solo se realizó en el ensayo 2 (prueba de la mañana) porque este cumplió con la mayor parte de los requisitos de la normativa europea.

2.8 PROCESAMIENTO DE DATOS

Cada archivo de registro contenido en la carpeta “Procesado” fue leído en Excel. El ensayo que cumplió con la mayor parte de lo expuesto en la normativa fue el de la mañana. Por esta razón, se realizó de este ensayo la verificación de la dinámica de la ruta, también se calculó la ganancia de altitud positiva. De la misma manera, el archivo de registro de esta prueba fue leído en RStudio, en donde se calculó lo siguiente: consumo de combustible, emisiones de CO₂, potencia de tracción, energía de tracción y factores de emisión de CO₂ con la finalidad de analizar el rendimiento del vehículo en la ruta RDE. Todos estos cálculos se describen a continuación:

2.8.1 PRETRATAMIENTO DE DATOS

Para verificar que la ruta seleccionada cumple con los requisitos expuestos en la normativa es necesario verificar la dinámica de la ruta, por lo cual es necesario tomar los datos con una frecuencia de 1 Hz es decir 1 dato por segundo.

En un vehículo es posible determinar la velocidad con respecto al sensor de velocidad de la caja de cambios, así como también en base a los sensores de rueda con que cuenta cada vehículo. En este caso se recomienda la utilización de los sensores de rueda para determinar la velocidad instantánea del vehículo que se encuentra expresada en km/h. La curva de velocidad resultante no debe tener escalones, datos inexistentes o saltos en la gráfica por lo que fue necesario corregir a través de un suavizado de datos, el cual se explica en una sección más adelante.

2.8.2 DISTANCIA

Este parámetro es necesario en la prueba para determinar si se completa la cantidad de espacio recorrido a lo largo de la ruta y en cada zona, para esto se toma en cuenta desde el segundo 1 hasta el último segundo de la prueba, para lo cual se utilizó la ecuación siguiente:

$$d_i = \frac{V_i}{3,6}, \quad i = 1 \text{ a } N_t \quad [2.1]$$

Donde:

- d_i : El valor de la distancia recorrida en el $t = i$ expresada en (m)
 V_i : El valor de la velocidad en el $t = i$ expresada en (km/h)
 N_t : Número total de muestras

2.8.3 ACELERACIÓN

La aceleración se define como la variación de velocidad entre dos puntos, en este caso esta variable se determinó a partir de dos velocidades, una velocidad anterior y una superior y se determinó con la siguiente fórmula:

$$a_i = \frac{V_{i+1} - V_{i-1}}{2 * 3,6}, \quad i = 1 \text{ a } N_t \quad [2.2]$$

Donde:

- a_i : El valor de la aceleración en el $t = i$ expresada en (m/s^2)

Es importante tomar en cuenta que para $i = 1$ el valor de $V_{i-1} = 0$ y para el último segundo el valor de $V_{i+1} = 0$.

2.8.4 VELOCIDAD POR ACELERACIÓN

Luego de calcular los parámetros anteriores se procedió a calcular el valor del producto de velocidad por aceleración en el tiempo t , que se utilizó para la discretización de los datos. Se determinó el valor de velocidad por aceleración con la fórmula siguiente:

$$(v * a)_i = \left(\frac{v_i * a_i}{3,6} \right), \quad i = 1 \text{ a } N_t \quad [2.3]$$

Donde:

- v_i : El valor de la velocidad en el $t = i$ expresada en (km/h)
 $(v * a)_i$: El producto de la velocidad y la aceleración en el $t = i$ expresada en (m^2/s^3)

2.8.5 DISCRETIZACIÓN DE DATOS

En este punto se realizó el reordenamiento de todas las variables calculadas, distancia, velocidad, aceleración y producto de velocidad y aceleración en los tiempos t . Este reordenamiento se lo realizó en orden creciente de la velocidad del vehículo. Los datos con velocidades menores o iguales a 60 km/h pertenecen al intervalo de velocidad urbana, los valores superiores a 60 km/h y menores o iguales a 90 km/h pertenecen a la zona suburbana y todos los conjuntos de datos mayores a 90 km/h pertenecen a velocidad de autopista. Además, se comprobó que por cada intervalo de velocidad deben existir más de 150 datos con valores de aceleración mayores a $0,1(m/s^2)$. Es importante mencionar que esta clasificación fue realizada automáticamente en la sección 2.7.2.4.

2.8.6 VELOCIDAD MEDIA

Luego de reordenar las variables en relación con las velocidades se calculó la velocidad media en cada intervalo. La velocidad media se puede definir como el promedio de velocidades en un intervalo de tiempo o muestras. Para calcular la velocidad media de cada intervalo se utilizó la siguiente fórmula:

$$\bar{v}_k = \frac{\sum_{i=1}^{N_k} v_{i,k}}{N_k}, \quad k = u, r, a \quad [2.4]$$

Donde:

- N_k : número total de muestras en cada intervalo
- k : intervalo de vías (urbano, suburbano o autopista)
- \bar{v}_k : velocidad media en el intervalo de vías (urbano, suburbano o autopista) (km/h)
- u : urbano
- r : suburbano
- a : autopista

2.8.7 PERCENTIL 95 DEL PRODUCTO DE VELOCIDAD Y ACELERACIÓN POSITIVA

Al tratarse del tratamiento de una gran cantidad de datos estadísticos se procedió a realizar el cálculo estadístico del percentil 95 de los valores de velocidad por aceleración positiva.

El percentil 95 es el valor que ocupa el puesto del 95% luego de haber ordenado los valores en orden ascendente. Por lo tanto, se procedió a clasificar en orden creciente con respecto a los conjuntos con la siguiente consideración.

$$a_{i,k} > 0,1 \text{ m/s}^2 \quad a_{i,k} \geq 0,1 \text{ m/s}^2$$

El valor más bajo de $v * a_{pos}$ se consideró el percentil $1/M_k$, donde M_k es el número total de muestras.

El segundo valor más bajo de $v * a_{pos}$ se consideró el percentil $2/M_k$

El tercer valor más bajo de $v * a_{pos}$ se consideró el percentil $3/M_k$

Finalmente, el valor más alto de $v * a_{pos}$ se consideró el percentil M_k/M_k

El término a_{pos} es el valor de aceleración superior a $0,1 \text{ m/s}^2$. Además, M_k es el número total de muestras en las diferentes zonas con aceleración superior a $0,1 \text{ m/s}^2$

El cálculo del percentil 95 en el presente trabajo se realizó en el software Excel aplicando el siguiente comando:

=PERCENTIL.INC(“Rango de celdas”;0,95)

2.8.8 ACELERACIÓN POSITIVA RELATIVA

La aceleración positiva se da cuando un cuerpo se encuentra aumentando la rapidez con la que se desplaza, en el presente caso de estudio para determinar la aceleración positiva relativa en relación con el intervalo de velocidad, se calculó a partir de la Ecuación [2.5]:

$$RPA_k = \sum_{j=1}^{M_k} (\Delta t \cdot (v \cdot a_{pos})_{j,k}) / \sum_{i=1}^{N_k} d_{i,k}, \quad k = u, r, a \quad [2.5]$$

Donde:

RPA_k : Aceleración positiva relativa en cada zona expresada en $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$

Δ_i : Intervalo de tiempo

M_k : Número de muestras de cada zona con aceleración positiva

N_k : Número total de muestras de cada zona

$(v \cdot a_{pos})_{j,k}$: Velocidad por aceleración positiva en la zona respectiva

$d_{i,k}$: Distancia en $t = i$ para cada zona

M_k : Número de muestras en las zonas, con una a_{pos} mayor a $0,1 \frac{m}{s}$

2.8.9 VERIFICACIÓN DE LA VALIDEZ DE LA RUTA

Luego de la realización de estos cálculos se procedió a verificar si la ruta cumple con lo establecido en la normativa a través del 95 percentil por intervalo de velocidad y la verificación de RPA por intervalo de velocidad.

En el caso de la verificación por el percentil 95, si estas condiciones se cumplen el trayecto no es válido, caso contrario se valida el trayecto.

$$Si \quad \bar{v}_k \leq 74,6 \frac{km}{h} \quad y \quad (v * a_{pos})_{k-[95]} > (0,136 * \bar{v}_k + 14,44)$$

$$Si \quad \bar{v}_k > 74,6 \frac{km}{h} \quad y \quad (v * a_{pos})_{k-[95]} > (0,0742 * \bar{v}_k + 18,966)$$

En el caso de la verificación RPA por intervalo de velocidad, si estas condiciones se cumplen el trayecto no es válido, caso contrario se valida el trayecto.

$$Si \quad \bar{v}_k \leq 94,05 \frac{km}{h} \quad y \quad RPA_k < (-0,0016 * \bar{v}_k + 0,1755)$$

$$Si \quad \bar{v}_k > 94,05 \frac{km}{h} \quad y \quad RPA_k < (-0,025)$$

2.8.10 CORRECCIÓN DE DATOS E INTERPOLACIÓN

Para la determinación de la ganancia de altitud positiva se empieza por asignar un valor de segundos desde el primer valor obtenido en la prueba hasta el valor final de velocidad, asignando para cada valor el respectivo valor de altitud obtenido a través del GPS. Para el primer suavizado de datos se utiliza los valores de altitud del GPS debido a que representan un bajo margen de variación con respecto al trayecto realizado, a continuación, se procedió a realizar una corrección de la altitud por medio de la comparación entre los valores de altitud y velocidad, esto con la finalidad de corroborar que cuando la velocidad del vehículo sea inferior a 1 km/h no exista una variación en la altitud.

Luego de verificar que no existe variación de altitud cuando el vehículo no presenta movimiento se procedió a asignar una variable de distancia por cada segundo y se sumó cada

distancia por cada segundo. Para la determinación de la distancia se dividió la velocidad en km/h para 3,6 y se pudo determinar los metros recorridos por cada segundo. Por otra parte, para cada segundo del trayecto se procedió a sumar la distancia recorrida el segundo anterior para poder determinar la distancia acumulativa cada segundo en el trayecto.

Para la segunda parte de la ganancia de altitud se colocó en la primera columna los valores de distancia acumulativa desde el primer segundo en el que se empieza a mover el vehículo hasta el último segundo de movimiento, esto permitió un mejor control sobre la distancia recorrida y los segundos de movimiento. En la segunda columna se procedió a colocar el t (0) el cual es el segundo inmediatamente anterior a la distancia recorrida, es decir si el primer movimiento se da en $t = 11$ segundos, t (0) es igual a 10 segundos. Esto se aplica de igual manera en la tercera $d(0)$ y cuarta $d(1)$ columnas en donde se colocarán las distancias instantáneas del segundo anterior y posterior respectivamente, de esta manera si se tiene el segundo 10 se procedería a colocar en $d(0)$ la distancia recorrida a los 10 segundos y en $d(1)$ la distancia recorrida a los 12 segundos respectivamente.

Utilizando los pasos previos se procedió a completar la quinta y sexta columna con los valores anteriores y posteriores de altitud con respecto al segundo que se está analizando, completando con $h(0)$ y $h(1)$ respectivamente. Luego de tener estos datos, se procede a la obtención de alturas instantáneas a través de calcular por medio de interpolación la altitud corregida utilizando la siguiente ecuación.

$$a_{int} = a_{corr}(0) + \frac{a_{corr}(1) - a_{corr}(0)}{d_1 - d_0} x (d - d_0) \quad [2.6]$$

Donde:

a_{int} :	Altitud interpolada en el punto de ruta de la distancia acumulativa d
$a_{corr}(0)$:	Altitud corregida en el punto instantáneo anterior al punto de ruta de la distancia acumulativa d
$a_{corr}(1)$:	Altitud corregida en el punto instantáneo posterior al punto de ruta de la distancia acumulativa d
d :	Distancia acumulativa en el punto de ruta de la distancia acumulativa d
d_0 :	Distancia acumulativa en el punto instantáneo anterior al punto de ruta de la distancia acumulativa d
d_1 :	Distancia acumulativa en el punto instantáneo posterior al punto de ruta de la distancia acumulativa d

Para el proceso de suavizado de datos se procedió a realizar dos fases de suavizado, las cuales permiten determinar los grados de carretera, utilizando los grados de ganancia o pérdida para adicionar o restar a los grados de altitud interpolada.

2.8.11 PRIMER SUAVIZADO DE DATOS E INTERPOLACIÓN DE DATOS

Para este paso se procede a utilizar las alturas interpoladas y distancias acumulativas para calcular el grado de pendiente de la carretera, esto se realiza para tres diferentes secciones, el primer grupo es el de distancias menores a 200 metros, el segundo grupo abarca entre las distancias mayores a 200 metros y la distancia recorrida total menos 200 metros y el tercer grupo abarca desde los datos de 200 metros antes de la distancia acumulativa final hasta la distancia recorrida total. Estas variaciones de ecuaciones permitieron obtener valores continuos a lo largo del trayecto de altitud suavizado.

Para la primera sección de distancias acumulativas inferiores a los 200 metros se procedió a utilizar la siguiente ecuación:

$$Corr_{pend\ 1}(d) = \frac{a_{int}(d + 200m) - a_{int}(d_i)}{(d + 200m)} \quad [2.7]$$

Donde:

$Corr_{pend\ 1}(d)$: Primera corrección del grado de pendiente de la carretera en el punto instantáneo d obtenido luego del primer suavizado.

$a_{int}(d)$: Altitud interpolada en el punto instantáneo d

d : Distancia acumulativa recorrida hasta el punto instantáneo d

d_i : Punto de referencia a una distancia inicial de 0 metros

Para la segunda sección de datos entre los 200 metros y el valor de distancia total menos 200 metros se utilizó la siguiente ecuación.

$$Corr_{pend\ 1}(d) = \frac{a_{int}(d + 200m) - a_{int}(d - 200m)}{(d + 200m) - (d - 200m)} \quad [2.8]$$

Donde:

$Corr_{pend\ 1}(d)$: Primera corrección del grado de pendiente de la carretera en el punto instantáneo d obtenido luego del primer suavizado.

$a_{int}(d)$: Altitud interpolada en el punto instantáneo d

d : Distancia acumulativa recorrida hasta el punto instantáneo d
Finalmente, para el tercer grupo de distancias entre la distancia total menos 200 metros hasta el final de los datos se utilizó la siguiente ecuación.

$$Corr_{pend\ 1}(d) = \frac{a_{int}(d_f) - a_{int}(d - 200m)}{d_f - (d - 200m)} \quad [2.9]$$

Donde:

$Corr_{pend\ 1}(d)$: Primera corrección del grado de pendiente de la carretera en el punto instantáneo d obtenido luego del primer suavizado

$a_{int}(d)$: Altitud interpolada en el punto instantáneo d

d : Distancia acumulativa recorrida hasta el punto instantáneo d

d_f : Punto de referencia final de la distancia acumulativa

Para la altitud interpolada suavizada luego del primer suavizado de datos se utilizó la siguiente ecuación:

$$a_{int,1s}(d_i) = a_{int}(d_i) + Carr_{grado\ 1}(d_i) \quad \text{para } d = d_i \quad [2.10]$$

$$a_{int,1s}(d) = a_{int}(d - 1m) + Carr_{grado\ 1}(d) \quad \text{para } d > d_i \quad [2.11]$$

Donde:

$a_{int,1s}$: Altitud interpolada suavizada luego de la primera ronda de suavizado en el punto instantáneo d

$a_{int}(d)$: Altitud interpolada en el punto instantáneo d

d : Distancia acumulativa recorrida hasta el punto instantáneo d

d_i : Punto de referencia a una distancia inicial de 0 metros

2.8.12 SEGUNDO SUAVIZADO DE DATOS E INTERPOLACIÓN DE DATOS

Luego de la obtención de la corrección de la altitud interpolada se procedió a realizar un segundo suavizado de los datos para realizar una correcta medición de la variación de altitud. Para este segundo suavizado se procedió a utilizar las siguientes ecuaciones.

Para la primera sección de distancias inferiores a los 200 m:

$$Corr_{pend\ 2}(d) = \frac{a_{int,1s}(d + 200m) - a_{int,s1}(d_i)}{(d + 200m)} \quad [2.12]$$

Donde:

$Corr_{pend\ 2}(d)$: Segunda corrección del grado de pendiente de la carretera en el punto instantáneo d obtenido luego del primer suavizado.

$a_{int,s1}(d)$: Altitud interpolada luego del primer suavizado en el punto instantáneo d obtenido luego del primer suavizado

d : Distancia acumulativa recorrida hasta el punto instantáneo d

d_i : Punto de referencia a una distancia inicial de 0 metros obtenido luego del primer suavizado

Para la segunda sección de datos de suavizado encontrado en distancias superiores a los 200 m e inferiores a la distancia total recorrida menos 200 m, se utilizó la siguiente ecuación:

$$Corr_{pend\ 2}(d) = \frac{a_{int,1s}(d + 200m) - a_{int,1s}(d - 200m)}{(d + 200m) - (d - 200m)} \quad [2.13]$$

Donde:

$Corr_{pend\ 2}(d)$: Segunda corrección del grado de pendiente de la carretera en el punto instantáneo d obtenido luego del primer suavizado.

$a_{int,1s}(d)$: Altitud interpolada en el punto instantáneo d obtenido luego del primer suavizado

d : Distancia acumulativa recorrida hasta el punto instantáneo d obtenido luego del primer suavizado

Finalmente, para el tercer grupo de distancias entre la distancia total menos 200 metros hasta el final de los datos se utiliza la siguiente ecuación:

$$Corr_{pend\ 2}(d) = \frac{a_{int,1s}(d_f) - a_{int,1s}(d - 200m)}{d_f - (d - 200m)} \quad [2.14]$$

Donde:

$Corr_{pend\ 2}(d)$: Segunda corrección del grado de pendiente de la carretera en el punto instantáneo d obtenido luego del primer suavizado.

$a_{int,1s}(d)$: Altitud interpolada en el punto instantáneo d obtenido luego del primer suavizado

d : Distancia acumulativa recorrida hasta el punto instantáneo d obtenido luego del primer suavizado

d_f : Punto de referencia final de la distancia acumulativa obtenido luego del primer suavizado

2.8.13 CÁLCULO TOTAL DE GANANCIA DE ALTITUD POSITIVA

Para la realización de este cálculo se procedió a sumar los grados de variación de la pendiente de la carretera luego del segundo suavizado de datos, es decir todos los valores superiores a 0 metros, lo que nos da un valor de la ganancia de altitud positiva en comparación con la distancia total de la ruta y es necesario expresar estos valores en referencia a una distancia de 100 km.

2.8.14 ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CO₂

Es importante mencionar que los cálculos a partir de esta etapa fueron realizados sobre la base de la clasificación por tipo de ruta por coordenadas geográficas mas no sobre la clasificación de acuerdo con la velocidad instantánea. Esto con la finalidad de que los resultados obtenidos en el presente proyecto puedan ser comparados con estudios previos. La clasificación por velocidades instantánea está sujeta a los cambios que puedan generarse debido al tráfico, mientras que la clasificación por coordenadas geográficas siempre sería la misma a menos que una de las calles que forman parte del trayecto sea modificada. Primeramente, la tasa de flujo de combustible instantánea obtenida de los registros fue transformada a masa de combustible por medio de la Ecuación [2.15].

$$m_i = \frac{d \cdot V_i}{1\ 000} \quad [2.15]$$

Donde:

m_i : masa de gasolina instantánea (g)

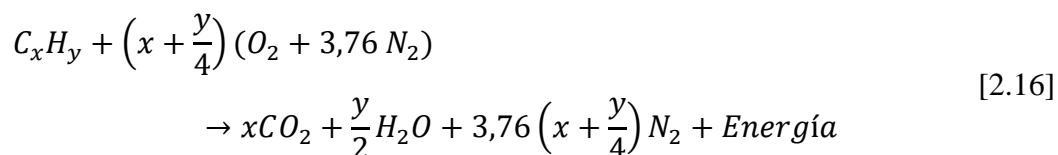
d : densidad de la gasolina (kg/m³)

V_i : volumen de gasolina instantáneo (m³)

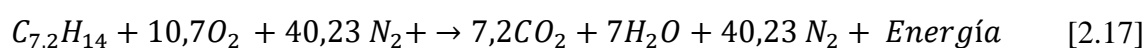
1 000: factor de conversión de kg a g

El volumen instantáneo se obtuvo de la tasa de flujo de combustible instantánea expresada en m³/s. Porque la tasa de combustible instantánea expresada en esas unidades indica el volumen de gasolina que fluyó en ese segundo. El combustible que se empleó en el vehículo de prueba fue gasolina extra. Por lo tanto, el valor de la densidad del combustible utilizado

fue de 720 kg/m³ para una gasolina extra de 80 octanos (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2012). Una vez obtenida la masa de combustible instantánea se realizó la estimación de la emisión de masa de CO₂ mediante estequiometría. A continuación, se presenta la ecuación química que se empleó:



La ecuación anterior indica que el hidrocarburo (C_xH_y) reacciona en presencia de oxígeno y nitrógeno para formar dióxido de carbono, agua, nitrógeno y como parte de la reacción se libera energía. Además, presenta variables que permiten balancear correctamente la reacción de acuerdo con el hidrocarburo empleado, con la finalidad de que cumpla con la ley de la conservación de la materia. Balancear la reacción significa que lo que se tiene en el lado de los productos (parte izquierda de la reacción) tiene que reproducirse de alguna forma en el lado de los reactivos (parte derecha de la reacción). Por ejemplo: si se tiene 7,2 átomos de carbono en los reactivos se debe tener 7,2 átomos de carbono en el lado de los productos, y así sucesivamente con los demás elementos de la reacción. En este caso el hidrocarburo (gasolina) se formuló como nafta, cuya fórmula química es C_{7,2}H₁₄, e indica que está formada por 7,2 átomos de carbono y 14 átomos de hidrógeno. Después de reemplazar la nafta en la ecuación química, la reacción resultante fue la siguiente:



La ecuación [2.17] muestra la reacción química correctamente balanceada e indica que 1 mol de nafta reacciona con 10,7 moles de oxígeno y 40,23 moles de nitrógeno, para producir 7,2 moles de dióxido de carbono, 7 moles de agua, 40,23 moles de nitrógeno y se libera energía. Luego, se calculó las masas molares de las moléculas de la nafta y dióxido de carbono. Para ello se empleó los pesos atómicos del carbono, el hidrógeno y el oxígeno, los cuales son 12,011, 1,008 y 15,999 g/mol, respectivamente. En la Tabla 2.21 se muestra el proceso realizado para el cálculo de las masas molares. En donde se puede observar que el cálculo de la masa molar de la nafta consistió, en primer lugar, en multiplicar el número de átomos del carbono por el peso atómico del elemento. En segundo lugar, se multiplicó el número de átomos del hidrógeno por el peso atómico del elemento. Finalmente, la masa

molar de la nafta resultó de sumar ambos resultados. De forma similar se procedió para calcular la masa molar del CO₂.

Tabla 2.21 Cálculo de las masas molares

Molécula	C _{7,2} H ₁₄	CO ₂
Proceso	7,2.12,011 (g/mol) + 14.1,008 (g/mol)	1.12,011 (g/mol) + 2.15,999 (g/mol)
Resultado (Masa molar)	100,5912 g/mol	44,009 g/mol

Posteriormente, se calculó la masa de la nafta y el dióxido de carbono en la reacción. Para esto, se tomó en cuenta el número de moles de cada molécula en la reacción. La Tabla 2.22 muestra el proceso que se realizó, el cual consistió en multiplicar el número de moles que la molécula tiene en la reacción, por su masa molar.

Tabla 2.22 Cálculo de las masas

Molécula	C _{7,2} H ₁₄	CO ₂
N° de moles	1	7,2
Proceso	(1 mol) (100,5912 g/mol)	(7,2 mol) (44,009 g/mol)
Resultado (Masa)	100,5912 g	316,8648 g

Una vez calculadas las masas de la nafta y del dióxido de carbono, se aplicó una regla de tres para estimar las emisiones de masa de CO₂ de la siguiente forma: Si 100,5912 g de nafta producen 316,8648 g de dióxido de carbono, entonces, tal valor en gramos de nafta produce tantos gramos de CO₂. Como ya se calculó la masa de gasolina (nafta) instantánea, solamente se tenía una variable: la emisión de masa de CO₂ instantánea. La siguiente ecuación resultó por medio de aplicar la regla de tres:

$$CO_{2,i} = \frac{m_i \cdot 316,8648}{100,5912} \quad [2.18]$$

Donde:

CO_{2,i}: emisión de masa de CO₂ instantánea (g)

2.8.15 CÁLCULO DE LA POTENCIA DE TRACCIÓN

Para obtener la potencia de tracción, en primer lugar, se calculó las potencias de tracción siguientes:

2.8.15.1 Potencia instantánea de resistencia a la rodadura

Se calculó con la siguiente fórmula:

$$P_{rr,i} = \frac{m \cdot g \cdot C_{rr} \cdot V_i \cdot \cos\left(\text{atan}\left(\frac{\alpha_i}{100}\right)\right)}{1000} \quad [2.19]$$

Donde:

$P_{rr,i}$: potencia instantánea de resistencia a la rodadura (kW)

m : masa total del vehículo (1 283 kg)

g : gravedad (9,807 m/s²)

C_{rr} : coeficiente de resistencia a la rodadura (0,015)

V_i : velocidad instantánea del vehículo (m/s)

α_i : pendiente instantánea (%)

1 000: factor de conversión de W a kW

La masa total del vehículo se obtuvo a partir de sumar el peso en vacío del vehículo (1 162 kg), más el peso aproximado de dos ocupantes y cualquier otro objeto que representó un aumento de peso (121 kg). C_{rr} se obtuvo de un estudio en el que se evaluaba un vehículo liviano (Kamal, Mukai, Murata y Kawabe, 2013, pág. 6). En cuanto a α_i , se empleó la variable $CORR_{pend2}$ calculada en la sección 2.8.12. Se multiplicó esta variable por 100 para poder transformarla en porcentaje y así poder emplearla en la fórmula.

2.8.15.2 Potencia aerodinámica instantánea

Se obtuvo por medio de la siguiente ecuación:

$$P_{W,i} = \frac{\rho_a \cdot C_D \cdot A_{Frontal} \cdot (V_i + V_a)^2 \cdot V_i}{2 000} \quad [2.20]$$

Donde:

$P_{w,i}$: potencia aerodinámica instantánea (kW)

ρ_a : densidad del aire (0,929 kg/m³)

C_D : coeficiente de rozamiento aerodinámico (0,32)

$A_{Frontal}$: área de la superficie frontal del vehículo (2,25 m²)

V_a : velocidad del viento (0,56 m/s)

El valor de C_D se obtuvo de la misma fuente que C_{rr} , mientras que $A_{Frontal}$ se calculó de la siguiente forma:

$$A_{Frontal} \approx 0,9 \cdot \text{ancho del vehículo} \cdot \text{altura del vehículo} \quad [2.21]$$

Donde:

0,9: Factor de forma

Se empleó V_a porque la campaña experimental fue ejecutada durante una temporada con viento. El dato fue el valor medio anual registrado por la estación meteorológica de Ibarra (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2017, pág. 132). En cuanto al valor de ρ_a , este se calculó mediante una versión simplificada de la fórmula CIPM-2007. Cabe resaltar que esta fórmula en su versión original fue recomendada por el Comité Internacional de Pesas y Medidas (Peña y Becerra, 2010, pág. 3). La ecuación utilizada fue la siguiente:

$$\rho_a = \frac{0,34848p - 0,009h_r \cdot e^{(0,061t)}}{273,15 + t} \quad [2.22]$$

Donde:

p : presión barométrica en Ibarra (773,5 hPa)

h_r : humedad relativa del aire (80%)

t : temperatura del aire (16,9 °C)

Los datos para calcular la densidad del aire se tomaron de fuentes locales (Chávez, 2018, pág. 55; INAMHI, 2017, pág. 132). Además, la humedad relativa se dividió para cien para poder emplearse en la fórmula.

2.8.15.3 Potencia instantánea de resistencia por la pendiente

Se calculó con la siguiente fórmula:

$$P_{pendiente,i} = \frac{m \cdot g \cdot \text{sen} \left(\text{atan} \left(\frac{\alpha_i}{100} \right) \right) \cdot V_i}{1\ 000} \quad [2.23]$$

Donde:

$P_{pendiente,i}$: potencia instantánea de resistencia a la pendiente (kW)

2.8.15.4 Potencia instantánea de resistencia a la aceleración

Se calculó con la siguiente ecuación:

$$P_{A,i} = \frac{m \cdot a_i (1 + \varepsilon_i) \cdot V_i}{1\ 000} \quad [2.24]$$

Donde:

$P_{A,i}$: potencia instantánea de resistencia a la aceleración (kW)

a_i : aceleración instantánea (m/s²)

ε_i : factor de masa para las masas rotacionales (~0,1)

Concerniente a la aceleración instantánea, esta se obtuvo de forma diferente que la fórmula de aceleración de la normativa europea, ya que esta fórmula daba un resultado distinto al obtenido con la ecuación de la aceleración del movimiento rectilíneo uniformemente variado. De manera que se optó por usar la ecuación del movimiento rectilíneo uniformemente variado:

$$a_i = \frac{V_i - V_{i-1}}{\Delta_t} \quad [2.25]$$

Donde:

V_{i-1} : Velocidad en el instante i-1 (m/s)

Δ_t : tiempo de muestreo (1 s)

En relación con el término ε_i , este es cambiante con la marcha de la caja de velocidades de acuerdo con la bibliografía consultada. Sin embargo, en un estudio en el que se empleó vehículos livianos gasolina y diésel con transmisiones automáticas y transmisiones manuales de 5 y 6 marchas este valor fue considerado como ~ 0,1 (Mera, Varrella, Baptista, Duarte y Rosero, 2022, pág. 4).

2.8.15.5 Potencia de tracción

La potencia de tracción instantánea fue calculada mediante la siguiente ecuación:

$$P_{tr,i} = P_{rr,i} + P_{W,i} + P_{pendiente,i} + P_{A,i} \quad [2.26]$$

Donde:

$P_{tr,i}$: potencia de tracción instantánea (kW)

Si se reemplaza cada uno de los términos de la ecuación anterior se tiene:

$$P_{tr,i} = \frac{m \cdot g \cdot C_{rr} \cdot \cos\left(\operatorname{atan}\left(\frac{\alpha_i}{100}\right)\right) \cdot V_i}{1000} + \frac{\rho_a \cdot C_D \cdot A_{Frontal} \cdot (V_i + V_a)^2 \cdot V_i}{2000} + \frac{m \cdot g \cdot \operatorname{sen}\left(\operatorname{atan}\left(\frac{\alpha_i}{100}\right)\right) \cdot V_i}{1000} + \frac{m \cdot a_i \cdot (1 + \varepsilon_i) \cdot V_i}{1000} \quad [2.27]$$

Una vez obtenidas las potencias de tracción instantáneas, se pudo identificar los siguientes modos sobre la base de los valores de la potencia de tracción de acuerdo con la bibliografía consultada:

- Tracción: Los valores de potencia de tracción positivos indican que las ruedas motrices aceptan la potencia del motor e impulsan al vehículo hacia adelante.
- Frenado: Los valores de potencia de tracción negativos se presentan al frenar, es decir cuando el sistema de frenos disipa energía cinética del vehículo.
- Permanencia: Los valores de potencia de tracción iguales a cero indican que el vehículo está en reposo.
- Coast: Los valores de potencia de tracción iguales a cero, se presentan cuando las fuerzas de resistencia igualan a la disminución de la energía cinética. En otras palabras, el valor resultante de la suma de las fuerzas de resistencia a la rodadura, aerodinámica y pendiente es igual a la fuerza de resistencia a la aceleración. Este último término tiene signo negativo porque la energía cinética está disminuyendo. Por lo tanto, los dos términos sumados se anulan, en consecuencia, la fuerza de tracción y la potencia de tracción son cero.

2.8.16 CÁLCULO DE LA ENERGÍA

Posteriormente, se analizó la energía de cada uno de estos modos, a excepción de los modos de permanencia y coast porque la potencia de tracción en ellos es nula. Para el cálculo de la energía de tracción instantánea se tomó en cuenta solo las potencias del modo tracción porque estas indican los momentos en los que las ruedas motrices aceptan la potencia del motor e impulsan al vehículo hacia adelante. La ecuación empleada fue la siguiente:

$$E_{tr,i} = \frac{P_{tr,i,pos}}{3\,600} \quad [2.28]$$

Donde:

$E_{tr,i}$: energía de tracción instantánea (kWh)

$P_{tr,i,pos}$: potencia de tracción instantánea positiva (kW)

Posteriormente, se calculó el factor de energía de tracción específico de la distancia para la ruta “x”. Es importante mencionar que se calculó la energía de tracción y otras variables posteriores como factores específicos de la distancia recorrida en cada ruta, con la finalidad de tener a la distancia como una base sobre la cual comparar dichas variables.

$$F_{Etr,x} = \frac{\sum_{i=1}^{N_x} E_{tr,i,x}}{\sum_{i=1}^{N_x} d_{i,x}}, \quad x = u, r, a \quad [2.29]$$

Donde:

$F_{Etr,x}$: factor de energía de tracción específico de la distancia para la ruta x (kWh/km)

N_x : número de muestras en la ruta x

$E_{i,x}$: energía de tracción instantánea en la ruta x (kWh)

x : ruta, la cual puede ser urbana, suburbana o autopista

u : urbana

r : suburbana

a : autopista

d_i : distancia instantánea (km)

Para el cálculo del factor de energía de tracción específico de la distancia total se descartó el subíndice x.

Concerniente a la energía de frenado, esta se obtuvo de la misma manera que la energía de tracción, pero en lugar de las potencias de tracción del modo tracción se empleó las potencias

de tracción del modo de frenado. La energía de frenado es la energía cinética disipada por el sistema de frenos al frenar. Esta energía de frenado, en caso de frenado por fricción es convertida en productos de desgaste producidos por la fricción y en energía térmica:

$$E_{fr,i} = \frac{P_{tr,i,neg}}{3\,600} \quad [2.30]$$

Donde:

$E_{fr,i}$: energía de frenado instantánea (kWh)

$P_{tr,i,neg}$: potencia de tracción instantánea negativa (kW)

A continuación, se calculó el factor de energía de frenado específico de la distancia para la ruta x de la siguiente manera:

$$F_{Efr,x} = \frac{\sum_{i=1}^{N_x} E_{fr,i,x}}{\sum_{i=1}^{N_x} d_{i,x}}, \quad x = u, r, a \quad [2.31]$$

Donde:

$F_{Efr,x}$: Factor de energía de frenado específico de la distancia para la ruta x (kWh/km)

Asimismo, para el cálculo del factor de energía de frenado específico de la distancia total se omitió el subíndice x.

2.8.17 CÁLCULO DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE

El factor de consumo de combustible específico de la distancia (g/km) para la ruta x, el cual en otras palabras es la masa de combustible consumida por kilómetro recorrido en la ruta x se obtuvo mediante:

$$F_{Combustible,x} = \frac{\sum_{i=1}^{N_x} m_{i,x}}{\sum_{i=1}^{N_x} d_{i,x}}, \quad x = u, r, a \quad [2.32]$$

Donde:

$m_{i,x}$: masa instantánea de combustible consumido en la ruta x (g)

Para el cálculo del factor de consumo de combustible específico de la distancia (g/km) total se descartó el subíndice x. Los factores de consumo de combustible específicos de la

distancia obtenidos se analizaron de acuerdo con lo siguiente: el motor de combustión interna que emplea menos combustible emite menos gases contaminantes y es más eficiente.

Posteriormente, se obtuvo el consumo de combustible en litros por 100 km (l/100 km) a partir del factor de consumo de combustible específico de la distancia total ($F_{\text{Combustible}}$) para compararlo con el consumo de combustible combinado que especifica el fabricante del vehículo. El $F_{\text{Combustible}}$ en g/km se transformó a l/km. Para ello se tomó en cuenta que la densidad es igual a la masa sobre el volumen ($d=m/v$), en efecto, el volumen es igual a la masa sobre la densidad, por lo cual $F_{\text{Combustible}}$ se dividió para la densidad de la gasolina (720 g/l). Después, este resultado en l/km se multiplicó por cien para obtener el consumo de combustible en l/100 km. El consumo de combustible en l/100 km de toda la ruta se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Consumo de combustible} = \frac{F_{\text{Combustible}} \cdot 100}{720} \quad [2.33]$$

Donde:

720: Densidad de la gasolina (g/l)

2.8.18 CÁLCULO DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

El factor de emisión de masa de CO₂ específico de la distancia (g/km) para la ruta x, es, en otras palabras, la emisión de masa de CO₂ por kilómetro recorrido en la ruta x y se calculó con la siguiente ecuación:

$$FE_x = \frac{\sum_{i=1}^{N_x} \dot{m}_{i,x} \cdot \Delta t}{\sum_{i=1}^{N_x} d_{i,x}}, \quad x = u, r, a \quad [2.34]$$

Donde:

$m_{i,x}$: emisión de masa de CO₂ instantánea en la ruta x (g/s)

Δt : tiempo de muestreo (1 s)

El término m_i representa la emisión de masa instantánea de CO₂ producida en la distancia instantánea d_i en la ruta x. Para el cálculo del factor de emisión de masa de CO₂ específico de la distancia total simplemente se omitió el subíndice x.

Por otro lado, el factor de emisión de masa de CO₂ específico de la energía de tracción (g/kWh) para la ruta x, es, en otras palabras, la emisión de masa de CO₂ por energía de tracción demandada en la ruta x y se calculó con la siguiente ecuación:

$$FE_x = \frac{\sum_{i=1}^{N_x} \dot{m}_{i,x} \cdot \Delta t}{\sum_{i=1}^{N_x} E_{tr,i,x}}, \quad x = u, r, a \quad [2.35]$$

El término m_i en la ecuación anterior representa la emisión de masa de CO₂ instantánea producida por la energía de tracción instantánea demandada en la ruta x. De la misma manera, para calcular el factor de emisión de masa de CO₂ específico de la energía de tracción total se descartó el subíndice x.

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la presente sección se muestran las vías seleccionadas para la elaboración de las rutas urbana, suburbana y autopista, determinadas por las vías de mayor movilización para el tránsito interno de la ciudad, movilización inter cantonal e interprovincial. Estas vías cumplen con las velocidades expuestas en la normativa, distancias de trayecto y son transitadas por líneas de buses de transporte, intra cantonal, inter cantonal e interprovincial. Además, se presentan los datos obtenidos luego de realizar las pruebas de ruta y los resultados se comparan con las condiciones de verificación expuestas en la normativa RDE: velocidades promedio, aceleración relativa positiva y percentil de aceleración positiva que permiten verificar el cumplimiento de la dinámica del trayecto, así como la ganancia de altitud positiva de la prueba. Finalmente, se presentan datos del motor del ensayo de la mañana sobre la base de la clasificación de tipo de ruta por coordenadas geográficas. Entre estos resultados están: régimen de giro del motor, consumo de combustible, factores de emisión de masa de CO₂, potencia de tracción, energía de tracción y energía de frenado.

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA RUTA PROPUESTA

La ruta propuesta tiene una distancia total para el área urbana de 19,07 km atravesando la zona central de la ciudad con velocidades entre 0 y 60 km/h, lo que permite cumplir con lo propuesto en la normativa EU, este trayecto además cumple con los tiempos de parada en la zona urbana debido a la cantidad de semáforos encontrados en la zona central de la ciudad, estas paradas además no superan los 300 segundos debido a que el tiempo de parada por semáforo es de un máximo de 45 segundos. La zona suburbana cumple un total de 19,80 km recorridos por la periferia de la zona Noroeste de la ciudad en vías de 2 carriles por sentido con velocidades entre los 60 km/h a 90km/h. Finalmente, la ruta de autopista cuenta con un total de 21,40 km en los que es posible alcanzar velocidades superiores a los 90 km/h y alcanzar velocidades superiores a 100 km/h por un mínimo de 5 minutos. La ruta planteada presenta una proporción de zona urbana de 31,64 %, zona suburbana de 32,85 % y zona de autopista de 35,51%, con un tiempo total de trayecto de 1 hora y 44 minutos en total de la ruta. Las diferentes zonas de prueba se encuentran conectadas en sus puntos finales, en el siguiente orden: zona urbana, zona suburbana y zona de autopista. Las vías utilizadas en la

zona urbana son principalmente adoquinadas con tramos asfaltados, mientras que las vías suburbanas y autopista son pavimentadas en su totalidad.

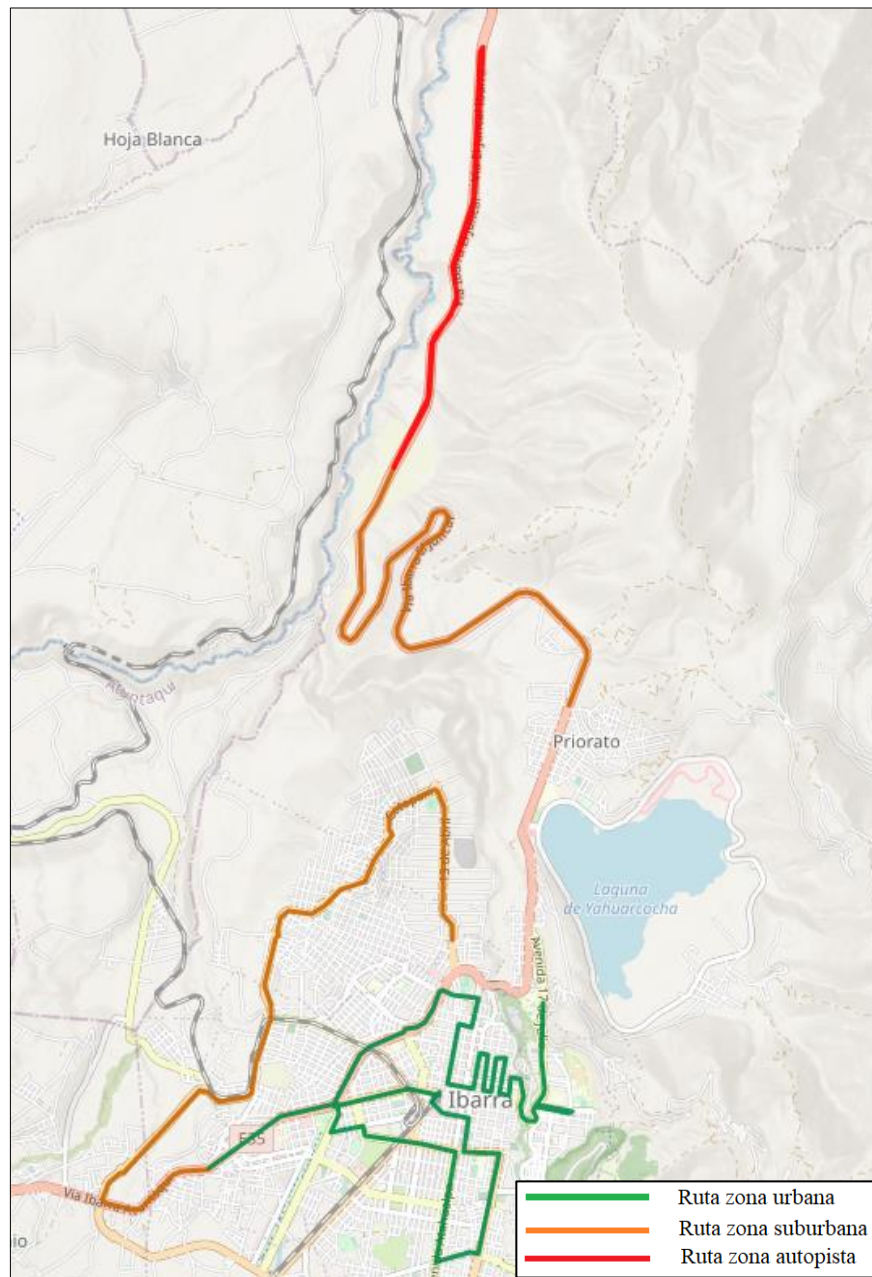


Figura 3.1 Ruta RDE ciudad Ibarra

En la Figura 3.1 se puede observar la propuesta de las rutas concadenas en el orden respectivo, en color verde se observa la ruta urbana en el centro de la ciudad, en color amarillo se observa la ruta de la zona suburbana y en color rojo la ruta propuesta para la zona de autopista. Se puede observar además que la ruta propuesta atraviesa la ciudad en sentido norte – sur y este – oeste, ubicando las vías de mediana y alta velocidad en la periferia de la ciudad y en vías externas con un mínimo de dos carriles en cada sentido para poder alcanzar

las velocidades expuestas en la normativa sin representar un peligro para el tráfico presente en las mismas.

En la Tabla 3.1 se presentan algunos parámetros de la ruta obtenidos del ensayo de la mañana sobre la base de la clasificación de tipo de ruta por coordenadas geográficas. En orden de izquierda a derecha está lo siguiente: tipo de ruta, velocidad promedio, ganancia de altitud positiva acumulativa, ganancia de altitud positiva acumulativa dividida para la distancia, aceleración positiva promedio y pendiente positiva promedio.

Tabla 3.1 Parámetros por tipo de ruta

RUTA	\bar{V} (km/h)	h_{pos} acumulativa (m)	h_{pos} acumulativa /d (m/km)	\bar{a}_{pos} (m/s ²)	$\bar{\alpha}_{pos}$ (°)
Urbana	18,35	25,92	1,45	0,45	0,78
Suburbana	60,34	31,98	1,61	0,35	2,93
Autopista	92,78	21,31	1,05	0,29	4,69
Total	38,1	79,21	1,36	0,4	1,68

3.2 RUTA URBANA

Las vías seleccionadas para el diseño de la ruta urbana se basan en las principales calles utilizadas por la ciudadanía para la movilización de la ciudad tanto en vehículos particulares como en transporte público, esto que se representa por la cantidad de tráfico encontrado en estas vías. Las principales arterias viales conectan diferentes zonas de estudios, zonas financieras, zonas sociales entre otras, estas rutas se conectan a través de las rutas de las dos cooperativas de buses que atraviesan la ciudad que permite una conexión en todos los sentidos cardinales. La ruta urbana toma como punto inicial la entrada principal de la Universidad Técnica del Norte en el rompe velocidades, esto con finalidad de una repetibilidad de la prueba en caso de necesitar la programación y uso de equipos proporcionados por la universidad. La ruta atraviesa zonas de estudio como por ejemplo universidades, institutos tecnológicos y unidades educativas. Zonas financieras como bancos y cooperativas, zonas de servicio como gasolineras, servicio de policía y terminal terrestre, zonas comerciales como mercados y centros comerciales, así como zonas sociales como parques y centros polideportivos.

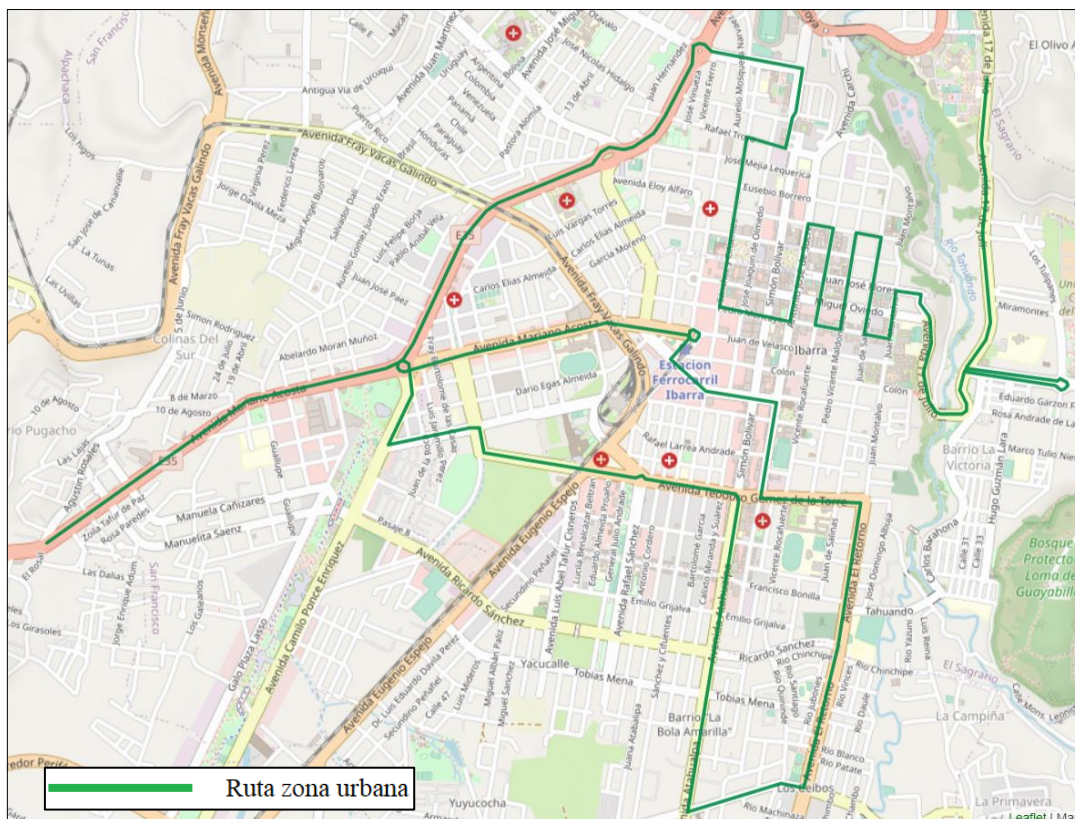


Figura 3.2 Vía urbana ruta RDE

En la Figura 3.2 se observa la ruta seleccionada para el área urbana, la ruta urbana atraviesa la ciudad en los sentidos Norte – Sur, Este – Oeste y viceversa respectivamente. En la zona norte se ubica el punto más lejano en la entrada principal de la Universidad Técnica del Norte y el redondel de la policía, en la zona sur los puntos más alejados son el polideportivo del sector Los Ceibos y el sector de las cuatro esquinas en el barrio Caranqui. En la zona este se encuentra el lugar más alejado en el redondel ubicado en la Universidad Católica del Ecuador y en la zona oeste el lugar más alejado se encuentra en la Av. Mariano Acosta y Agustín Rosales. La ruta atraviesa la ciudad por el centro histórico de la ciudad, lugar que abarca una gran cantidad de comerciales, las principales vías de buses interurbanos, entidades financieras, catedrales, parques y zonas de estudio. Vías de alto flujo como son las principales avenidas de ingreso de buses intercantonales tales como Av. Mariano Acosta y Av. Cristóbal de Troya. Así también, se encuentran vías de alto tránsito como Av. El retorno, Av. Atahualpa, Av. 17 de Julio y Av. Teodoro Gómez de la Torre. En el ANEXO I se presentan las vías seleccionadas dentro del área urbana de la ciudad de Ibarra para el desarrollo de las pruebas experimentales, tomando como base las velocidades expuestas en la normativa RDE, se tiene el nombre de la vía seleccionada, el sentido de movilidad, los

puntos de inicio y final del trayecto, distancia recorrida, la razón de movilidad y las rutas de buses que recorren estas vías.

3.3 RUTA SUBURBANA

En el diseño de la ruta suburbana se tomó en cuenta las principales vías de conexión de los buses interparroquiales e interprovinciales, que rodean la ciudad por medio de las vías del anillo vial y líneas de acceso de la zona norte del cantón. La ruta suburbana recorre las vías de salida de la ciudad utilizadas por las cooperativas de buses interparroquiales tanto por el área norte y sur de la ciudad. Además de utilizar las vías de los buses interprovinciales que acceden a la ciudad de Ibarra. Abarcando en este trayecto vías de dos carriles en cada sentido, siendo lugares como redondeles los principales puntos en los que se reduce la velocidad por razones de seguridad.

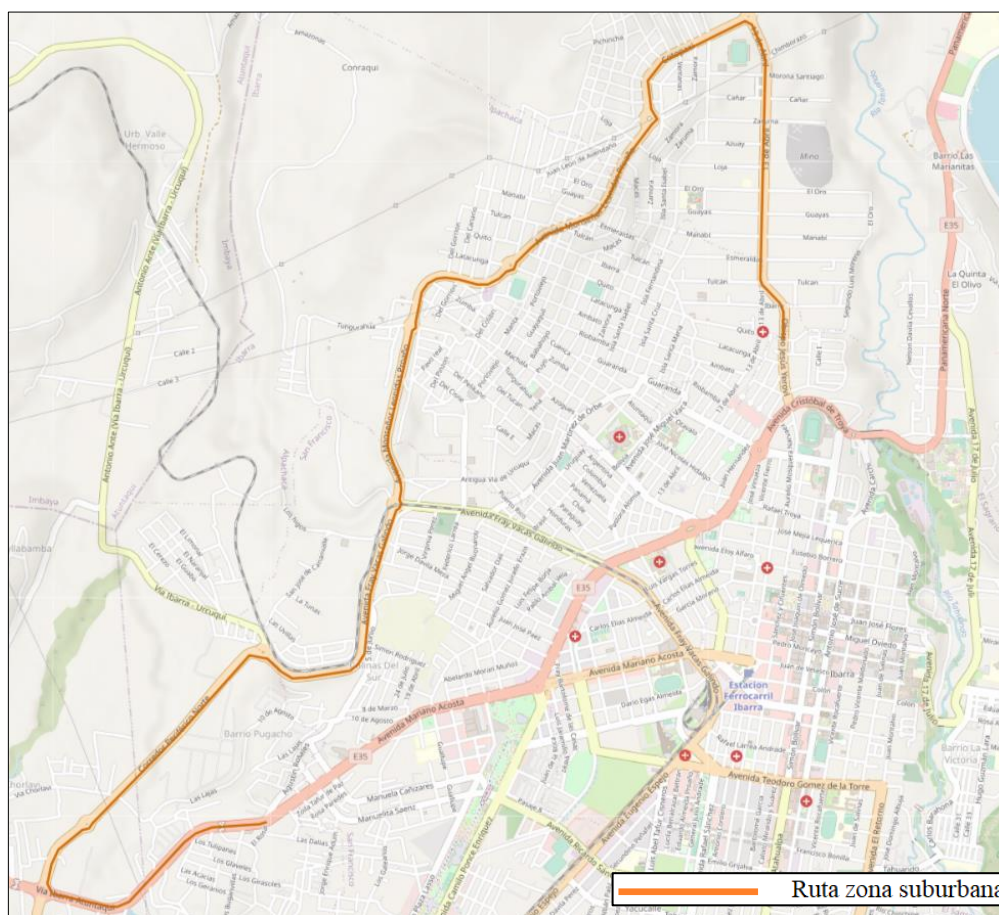


Figura 3.3 Vía suburbana ruta RDE parte 1

Como se puede observar en la Figura 3.3 la primera parte de la ruta suburbana rodea la periferia de la zona Noroeste del cantón Ibarra, estas vías son efectivas para la realización

de estas pruebas debido a que la conexión entre vías permite alcanzar velocidades superiores a 60km/h sin un peligro de causar un accidente por la amplitud de las vías seleccionadas. El diseño de la ruta permite alcanzar velocidades constantes debido a la poca cantidad de semáforos en la vía al haber sido diseñada como líneas de desfogue de los buses interprovinciales, tanto para el ingreso como para la salida de estos.

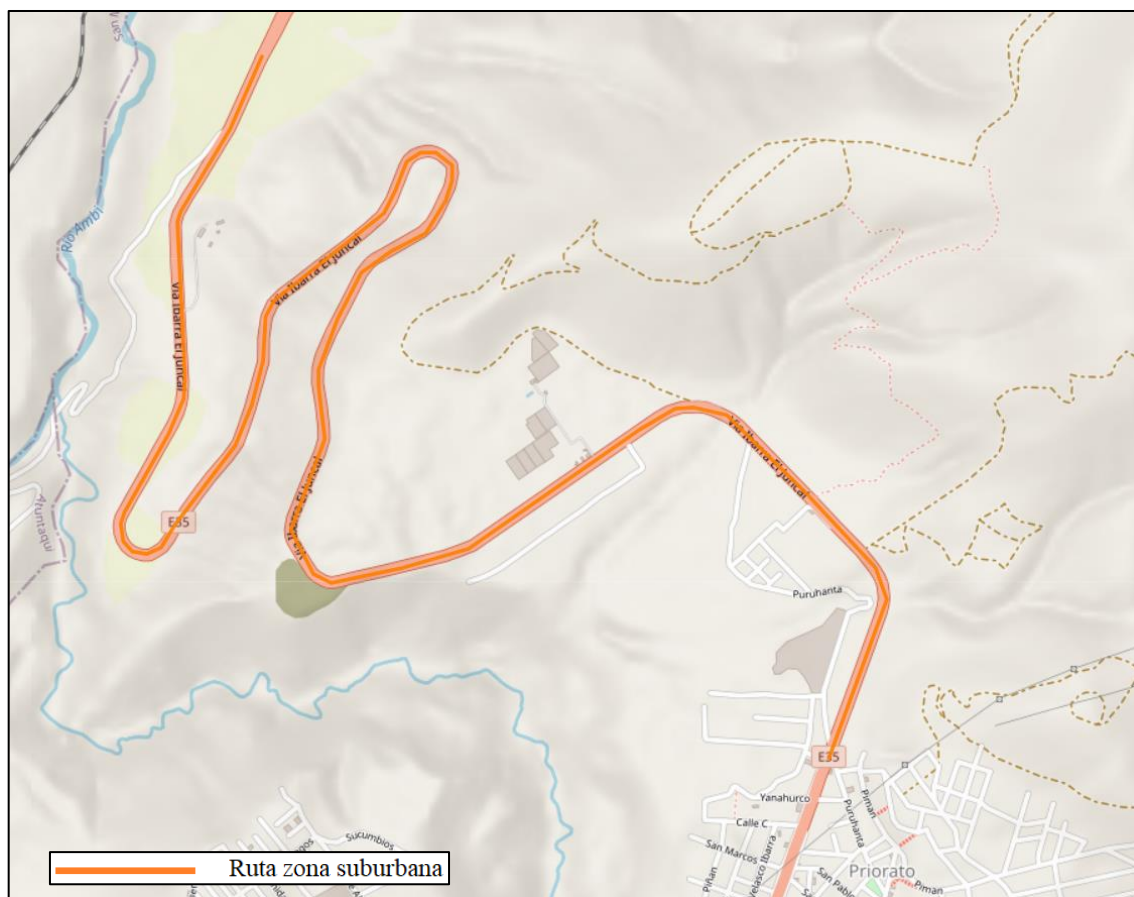


Figura 3.4 Vía suburbana ruta RDE parte 2

En la Figura 3.4 se observa el segundo tramo de la zona suburbana utilizado para el ingreso y salida de flujo vehicular de la zona norte del cantón, vías utilizadas para el transporte de pasajeros, transporte de alimentos, transporte liviano y pesado. En esta vía se transita buses intercantonales, interparroquiales e interprovinciales, vehículos particulares y vehículos de transporte pesado. Esta vía permite alcanzar velocidades mayores a 60 km/h y mantenerlas constantes gracias a la inexistencia de semáforos en la vía y las pocas áreas de construcción a lo largo de la vía. En el ANEXO II se puede apreciar las vías utilizadas para la ruta suburbana, detallando los puntos de inicio de la ruta, sentidos de vía, distancias y rutas de buses de conexión de la vía. Igualmente, se presenta las coordenadas geográficas expresadas

en grados decimales del punto final de la primera parte y el punto de inicio de la segunda parte de la ruta suburbana.

3.4 RUTA DE AUTOPISTA

En el diseño de la ruta de autopista se seleccionó la vía que permitió superar las velocidades mayores a 90 km/h con un mínimo de 2 carriles en cada sentido para disminuir la posibilidad de accidentes. La ruta de autopista utiliza la vía Panamericana E35 desde la bifurcación en el sector de los cañaverales cerca al ingreso a la hacienda Tababuela hasta el final de la ampliación de a 4 carriles en la bifurcación del sector cercano al desvío de San Lorenzo, esta vía cuenta con una distancia aproximada de 5,4 km por lo que es necesario recorrer este tramo por cuatro ocasiones. Las diferentes zonas de inicio de la bifurcación marcan los puntos iniciales y finales de cada tramo, siendo muy reducidos los periodos de tiempo en los que la velocidad disminuye los 90 km/h.

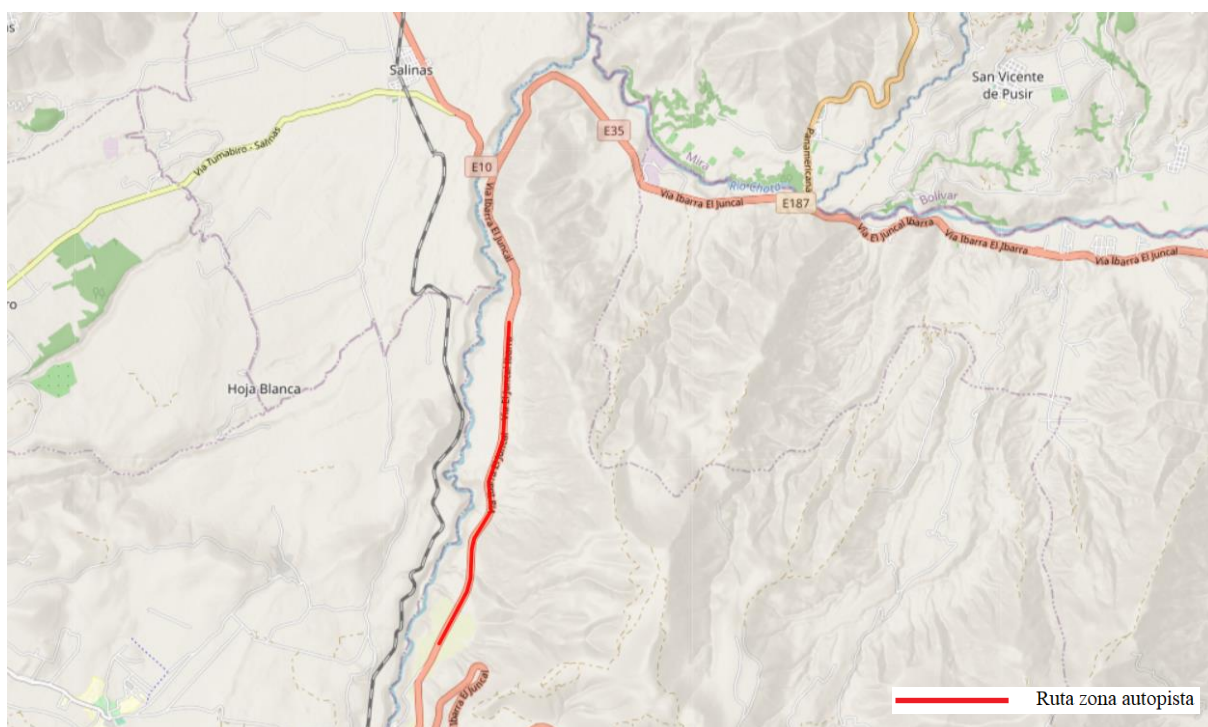






Figura 3.5 Vía autopista ruta RDE

En la Figura 3.5 se puede observar el trayecto seleccionado para vía de autopista de la ruta RDE, se puede observar que la vía describe un trayecto continuo con pocas curvaturas, esto al unirse con la ampliación a 4 carriles permite realizar un trayecto recto con velocidades constantes mayores a 90 km/h a lo largo del trayecto.

Las velocidades de los vehículos de transporte público, así como las velocidades de vehículos particulares superan los 80 km/h a lo largo de este trayecto, lo que facilita en gran manera cumplir con las velocidades expuestas en la normativa. Además, no existen semáforos a lo largo del trayecto y la altitud presenta poca variación. Esto permite realizar la prueba sin peligros para los vehículos que circulan en la vía. En la Tabla 3.2 se puede apreciar los puntos utilizados como referencia de inicio y fin de la ruta de autopista, misma vía utilizada para el transporte de pasajeros y vehículos particulares para movilizarse por las parroquias y ciudades de la zona norte del cantón.

Tabla 3.2 Propuesta de vías de movilización de la ruta autopista

VÍA	SENTIDO	DE:	A:		DISTANCIA (km)	BUS – RUTA RECORRIDA
Panamericana E35	S - N	Bifurcación – Sector los Cañaverales	Bifurcación – Sector San Lorenzo		5,40	Buses Interparroquiales Buses Intercantoniales Buses Interprovinciales Transporte pesado y liviano
Panamericana E35	N - S	Bifurcación – Sector San Lorenzo	Bifurcación – Sector los Cañaverales		5,40	Buses Interparroquiales Buses Intercantoniales Buses Interprovinciales Transporte pesado y liviano
Panamericana E35	S - N	Bifurcación – Sector los Cañaverales	Bifurcación – Sector San Lorenzo		5,40	Buses Interparroquiales Buses Intercantoniales Buses Interprovinciales Transporte pesado y liviano
Panamericana E35	N - S	Bifurcación – Sector San Lorenzo	Bifurcación – Sector los Cañaverales		5,40	Buses Interparroquiales Buses Intercantoniales Buses Interprovinciales Transporte pesado y liviano

3.5 ANÁLISIS DE PERFILES DE VELOCIDAD EN LA RUTA CON DIFERENTES HORARIOS

Se procedió a desarrollar tres pruebas de ruta en los diferentes horarios de conducción de la ciudad para determinar el mejor horario para poder realizar el recorrido con la menor cantidad de interrupciones y que permitieron cumplir de mejor manera con las distancias y tiempos expuestos en la normativa RDE.

3.5.1 PRUEBAS DE RUTA HORARIO MAÑANA

La prueba de ruta en horario matutino toma como inicio las 09h54 y tiene como tiempo final las 11h36. Con un total de tiempo recorrido de 91 minutos luego de la eliminación de los datos de la conexión entre la primera y segunda parte de la zona suburbana. De acuerdo con las velocidades alcanzadas durante la prueba de ruta se tiene un tiempo de 67 minutos con 6 segundos de velocidades entre 0 y 60 km/h, 14 minutos y 6 segundos de velocidades entre 60 km/h y 90 km/h y finalmente 10 minutos con velocidades mayores a 90 km/h.

El tiempo de parada a lo largo de la prueba fue de un total de 19 minutos con 35 segundos, representando un total de 29,20 % del total de la ruta urbana recorrida. El tiempo en el que el vehículo consigue superar una velocidad de 100 km/h es de 7 minutos con 36 segundos, superando con éxito el tiempo expuesto en la normativa RDE. Siendo el horario que mejor cumple con las características expuestas en la normativa.

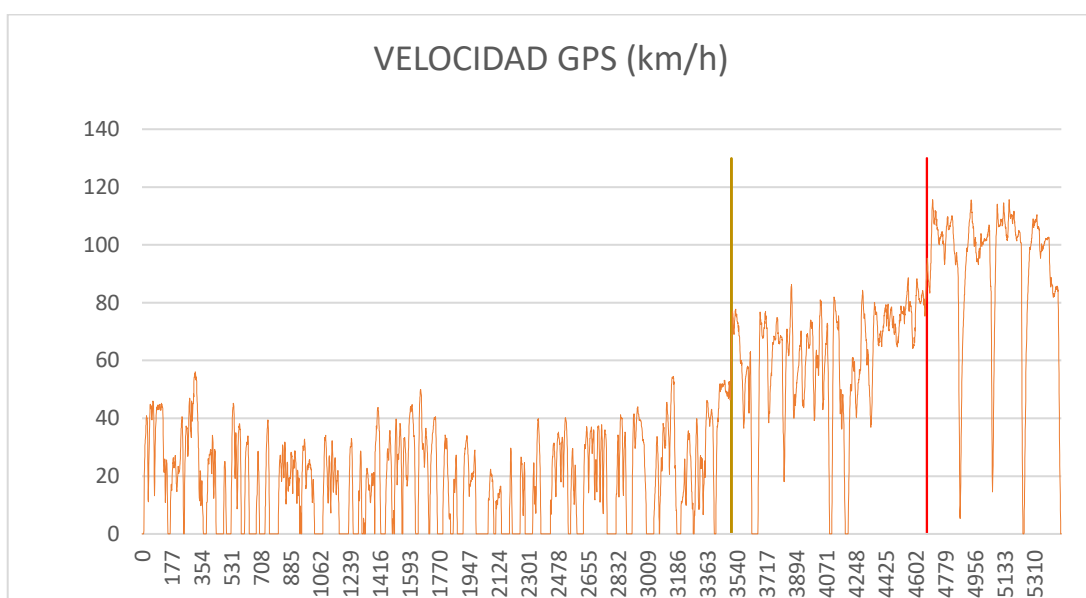


Figura 3.6 Velocidad vs tiempo prueba de ruta mañana

En la Figura 3.6 se puede observar un diagrama de velocidad vs tiempo de la prueba realizada en el horario matutino, los picos inferiores son los tiempos de parada a los que se sometió el vehículo a lo largo de la prueba, mismos que son más notorios en la zona urbana debido a la cantidad de paradas en semáforos del centro de la ciudad. Aproximadamente a los 3 454 segundos empieza la zona suburbana en donde las velocidades superan los 60 km/h y con áreas con picos inferiores ubicados en los redondeles que atraviesa la ruta. Finalmente se puede observar en la zona final de la ruta velocidades superiores a los 90km/h con picos cercanos a los 120 km/h, los picos inferiores representan los puntos de giro de la zona de autopista.

3.5.2 PRUEBA DE RUTA HORARIO TARDE

La prueba realizada en la tarde tiene inicio a las 14h42 y finaliza a las 16h25, completando un tiempo de recorrido valido de 95 minutos con 16 segundos, luego de los procesos de limpieza de datos. La zona urbana con velocidades de 0 a 60 km/h, suburbana con velocidades de 60 a 90 km/h y de autopista con velocidades mayores a 90 km/h tienen tiempos de 71 minutos con 6 segundos, 13 minutos con 10 segundos y 10 minutos con 1 segundo, respectivamente.

A lo largo de la ruta urbana se tiene un total de 20 minutos con 32 segundos de tiempo de parada, representando un total de 28,48% del trayecto urbano. Velocidades superiores a 100 km/h se logran mantener por un total de 4 minutos con 57 segundos, faltando 3 segundos para cumplir el tiempo mínimo especificado en la normativa RDE. Debido a los parámetros expuestos en la normativa sobre el tiempo de velocidades mantenido en velocidades superiores a los 100 km/h el horario de la tarde no permite cumplir con el parámetro expuesto en la normativa, por lo cual este horario no es recomendado para la replicación de la prueba de ruta.

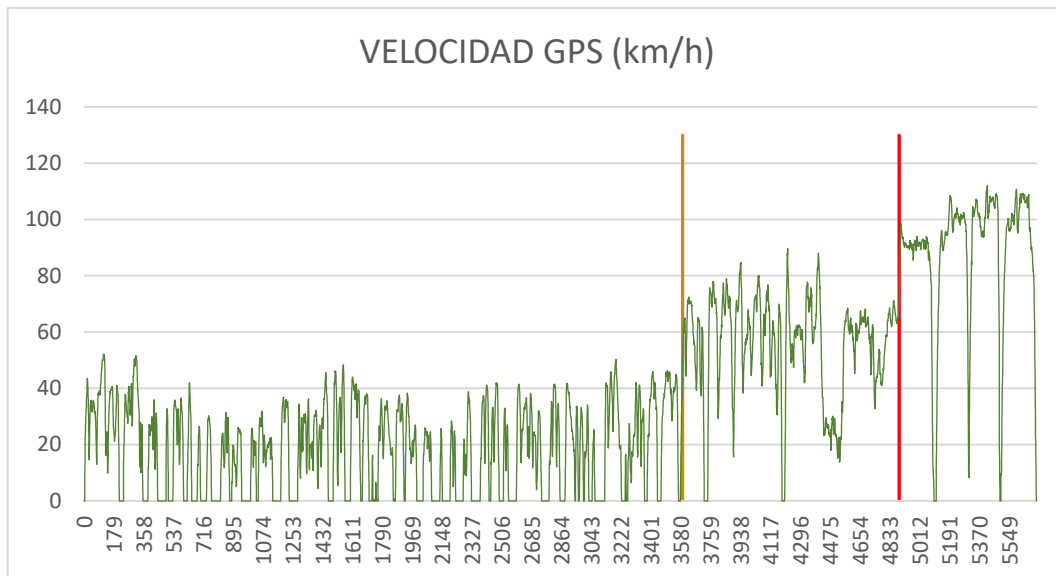


Figura 3.7 Velocidad vs tiempo prueba de ruta tarde

En la Figura 3.7 se puede observar la comparativa de velocidad vs tiempo de la prueba realizada en el horario de la tarde, se puede apreciar los picos inferiores con mayor presencia en las zonas iniciales por la cantidad de semáforos de la zona urbana. Los picos inferiores de la zona suburbana y zona de autopista se presentan debido a las zonas con presencia de redondeles, giros pronunciados y giros en u.

3.5.3 PRUEBAS DE RUTA HORARIO TARDE – NOCHE

Durante el trayecto realizado en la tarde – noche, se tiene las 17h19 como tiempo de inicio y como fin las 19h17, luego de los respectivos cortes de la zona suburbana se tiene como resultado un total de 1 hora 49 minutos y 17 segundos de trayecto. La zona urbana que mantiene velocidad de 0 a 60 km/h tienen un total de 1 hora 29 minutos y 19 segundos, la zona suburbana con velocidades entre 60km/h y 90 km/h tiene una duración de 14 minutos y la zona de autopista tiene un total de 5 minutos y 58 segundos.

El porcentaje de tiempo de parado en esta prueba es de un 29,61 % del total de trayecto urbano, con un total de 26 minutos con 47 segundos. Las velocidades superiores a los 100 km/h tuvo lugar durante un tiempo de 1 minuto con 44 segundos. De acuerdo con los resultados de esta prueba se puede determinar que el horario nocturno no permite cumplir con los tiempos estipulados en el área de autopista de acuerdo con la normativa RDE.

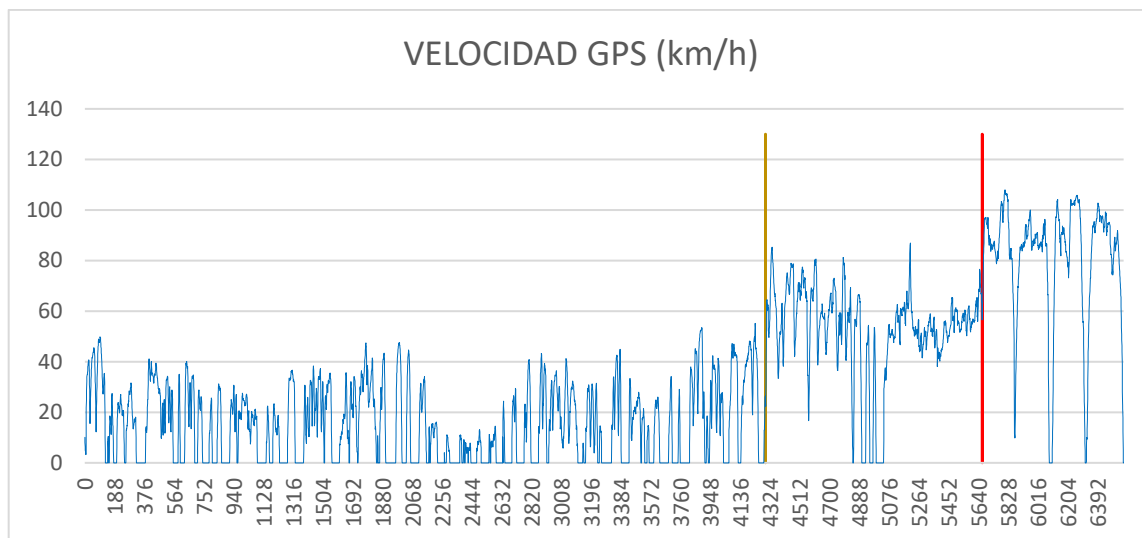


Figura 3.8 Velocidad vs tiempo prueba de ruta nocturna

En la Figura 3.8 se puede observar la variación de la velocidad con respecto al tiempo durante la prueba nocturna, la zona suburbana presenta una elevada cantidad de picos menores a 60 km/h debido a la elevada presencia de tráfico encontrada en la vía en horas de la noche, debido a que la segunda zona suburbana en donde se realiza el trayecto se encuentra en una vía que contiene un carril en cada sentido y por tanto la cantidad de vehículos de carga pesada y la seguridad con la que circulan los vehículos ralentizan el trayecto por esta zona. En la zona de autopista se puede observar que se superan los 90 km/h, sin embargo, superar los 100 km/h no es posible debido a que los vehículos en ambos sentidos transitan con las luces encendidas, las cuales provocan una reducción de velocidad para los conductores y por seguridad se decide no elevar demasiado la velocidad.

3.6 PORCENTAJE DE REVOLUCIONES DE LA RUTA PROPUESTA

A lo largo del trayecto seleccionado como alternativa de ruta de prueba RDE se encuentra una variedad de cambios de marchas dependiendo de la zona por la que se encuentra circulando el vehículo. Encontrándose con mayor frecuencia valores menores a 1 000 revoluciones por minuto en zonas urbanas por la alta cantidad de paradas en semáforos y vías de baja velocidad y valores mayores a las 3 000 revoluciones por minuto en vías de alta velocidad en las que es posible mantener velocidades altas durante un largo periodo de tiempo.

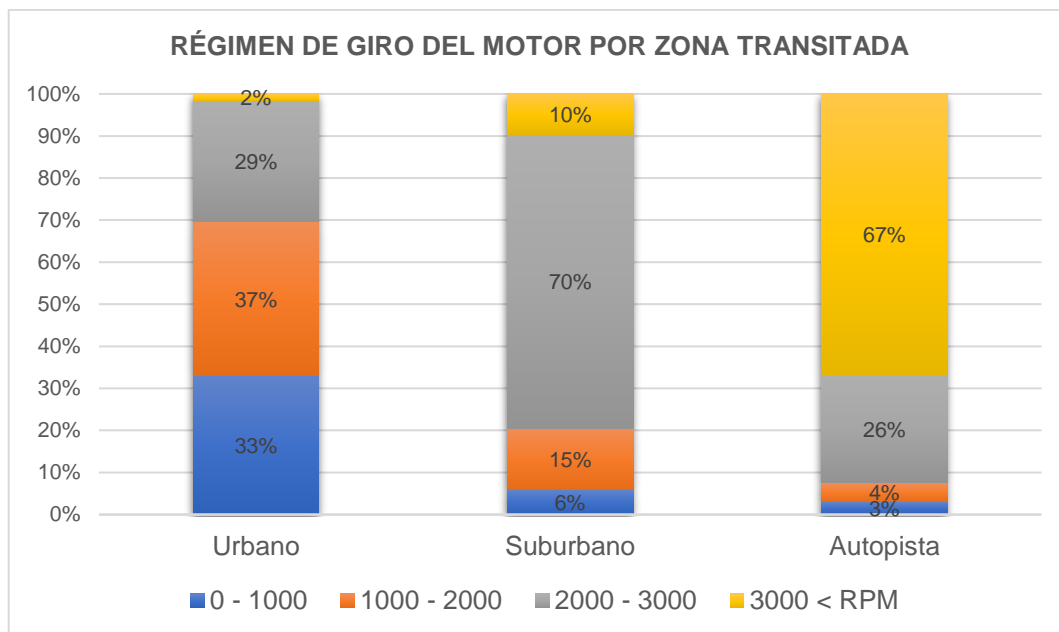


Figura 3.9 Porcentaje de régimen de giro del motor de acuerdo con zona transitada

En la Figura 3.9 se puede apreciar el rango de revoluciones que se presentó con mayor frecuencia en cada zona de la ruta propuesta en el ensayo de la mañana. Es importante mencionar que, en la figura, las zonas de ruta no están clasificadas por velocidades sino por coordenadas geográficas del trayecto. En la zona urbana las revoluciones con mayor frecuencia se encuentran entre las 1 000 y 2 000 RPM, en gran parte esto se debe a las paradas en los semáforos de la ciudad y que las velocidades en las que se puede transitar en estas vías son muy bajas. Para la zona suburbana el mayor porcentaje de revolución se encuentra entre las 2 000 y 3 000 RPM, esta diferencia se puede observar porque las velocidades alcanzadas en esta zona son más altas, y para alcanzarlas es necesario utilizar marchas más altas, por ejemplo, tercera marcha. Finalmente, para la zona de autopista se encuentra en mayor cantidad revoluciones entre las 2 000 y mayores a 3 000 RPM, esto debido a que para superar las velocidades necesarias en esta zona se utilizaron marchas altas durante la mayor cantidad de tiempo, lo que implica una mayor cantidad de tiempo en revoluciones altas.

3.7 VERIFICACIÓN DINÁMICA DEL TRAYECTO

Luego de determinar la ruta que mejor cumple con los parámetros expuestos en la normativa y determinar el mejor horario para realizarla, es necesario verificar que la dinámica del trayecto cumple con los parámetros de la normativa RDE. Para esta verificación se procede

a clasificar las velocidades obtenidas en la prueba de acuerdo con los intervalos de velocidad, clasificando las velocidades menores a 60 km/h como zona urbana, velocidades mayores a 60km/h y menores o iguales a 90 km/h como zona suburbana, y finalmente velocidades mayores a 90 km/h se clasifican como zona de autopista.

Los métodos de verificación por los intervalos de velocidad son:

- Verificación del 95 percentil de velocidad por aceleración positiva por intervalo de velocidad
- Verificación de aceleración positiva relativa por intervalo de velocidad

Para esta verificación es necesario determinar los siguientes parámetros: velocidad media de la zona, numero de muestras por zona, sumatoria de velocidad por aceleración positiva por variación de tiempo, distancia total de trayecto de cada zona, percentil 95 de velocidad por aceleración positiva y aceleración positiva relativa en cada zona determinada. En la Tabla 3.3 se muestran los resultados obtenidos luego de clasificar los datos de velocidad de acuerdo con los parámetros expuestos en la normativa.

Tabla 3.3 Parámetros por zona

ZONA URBANA – HORARIO MAÑANA			
PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	CUMPLE
Distancia	23,293	km	SI
Porcentaje del trayecto total	40,204	%	SI
Tiempo total del trayecto	01:07:04	hh:mm:ss	
Tiempo de parada	19:35	mm:ss	
Porcentaje de parada	29,200	%	SI
ZONA SUBURBANA – HORARIO MAÑANA			
Distancia	17,281	km	SI
Porcentaje del trayecto total	29,827	%	SI
Tiempo total del trayecto	00:14:03	hh:mm:ss	SI
ZONA AUTOPISTA – HORARIO MAÑANA			
Distancia	17,363	km	SI
Porcentaje del trayecto total	29,969	%	SI
Tiempo total del trayecto	00:10:04	hh:mm:ss	SI
Tiempo V > 100 km/h	07:36	mm:ss	SI

Se puede observar que las velocidades y porcentajes dinámicos como los porcentajes al momento de diseñar la ruta cumplen la normativa ya que se encuentran dentro del porcentaje de 33% con el rango de aceptabilidad de más y menos 10%.

3.7.1 VERIFICACIÓN DEL 95 PERCENTIL DE VELOCIDAD POR ACELERACION POSITIVA POR INTERVALO DE VELOCIDAD

Para esta verificación es necesario calcular el percentil 95 de la tabla de valores de velocidad por aceleración positiva de cada intervalo de velocidad, para esto se proceden a calcular los valores de velocidad por aceleración de acuerdo con la aceleración mayor a $0,1 \text{ m/s}^2$ y se ordenan los valores en orden ascendente y mediante la utilización del programa Microsoft Excel se calcula el percentil 95 de cada zona de velocidad. La variación de los datos de velocidad por aceleración positiva.

3.7.1.1 Verificación de la zona urbana

Luego de clasificar las zonas de acuerdo con las velocidades de prueba se tiene un total de 4 024 datos clasificados como zona urbana con velocidades que van desde 0 km/h a 60 km/h. En la Tabla 3.4 se muestran los datos recolectados a lo largo de la zona urbana durante la ruta de prueba, mismos que son utilizados para la determinación del percentil 95 y comparados con los datos expuestos en la normativa de acuerdo con los estándares establecidos para la comparación de los resultados.

Tabla 3.4 Verificación de la zona urbana

ZONA URBANA – HORARIO MAÑANA			
PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	CUMPLE
$\sum_i v_{i,k}$	83 855,962	km/h	
N_k	4 024	-	
\bar{v}_k	20,84	km/h	
$v. a_{pos-}[95]$	11,100		
VERIFICACIÓN DE VALIDEZ DEL TRAYECTO			
Verificación del $v. a_{pos-}[95]$ por intervalo de velocidad en (km/h)			
20,838 km/h	≤	74,6 km/h	SI
11,100	>	17,274	NO
VÁLIDO			

La velocidad media del trayecto es de 28,84 km/h, menor a 74,6 km/h, por tanto, para que sea válido la validez del trayecto el percentil 95 debe ser menor a 17,274 que es el resultado de un proceso de multiplicación de la velocidad promedio por constantes, en el caso de la prueba realizada el percentil obtenido a partir de 1 315 datos de velocidad por aceleración positiva se obtiene 11,100. Al ser el valor percentil 95 menor al expuesto en la normativa, se da como válida la verificación del trayecto con respecto al percentil 95 de la zona urbana.

3.7.1.2 Verificación de la zona suburbana

La zona suburbana se clasifica por las velocidades superiores a 60km/h y menores o iguales a 90 km/h, dando un total de 843 datos que se encuentran en este rango de velocidades. En la Tabla 3.5 se presentan los resultados obtenidos a partir de la prueba de ruta en la zona suburbana que permiten calcular datos de velocidades promedio para calcular la dinámica con respecto al percentil 95.

Como se puede observar en la Tabla 3.5 la velocidad promedio de la zona suburbana es de 73,80 km/h, la cual es inferior a 74,6 km/h, que es la base del intervalo de velocidad propuesto en la zona suburbana como comparación del percentil 95. A partir de un total de 321 datos se obtiene un percentil de 19,96, el cual es menor a 24,48, el cual es el resultado de 0,136 por la velocidad promedio más 14,44. Al darse este resultado se da como válido la verificación dinámica con respecto al percentil 95.

Tabla 3.5 Verificación de la zona suburbana

ZONA SUBURBANA – HORARIO MAÑANA			
PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	CUMPLE
$\sum_i v_{i,k}$	62 212,396	km/h	
N_k	843	-	
\bar{v}_k	73,8	km/h	
$v. a_{pos-}[95]$	19,958		
VERIFICACIÓN DE VALIDEZ DEL TRAYECTO			
Verificación del $v. a_{pos-}[95]$ por intervalo de velocidad en (km/h)			
73,799 km/h	≤	74,6 km/h	SI
19,958	>	24,477	NO
VÁLIDO			

3.7.1.3 Verificación de la zona autopista

Dentro de la zona de autopista se clasifican las velocidades que superan los 90 km/h, encontrándose en este rango un total de 604 muestras correspondientes al 29,97% del trayecto total. En la Tabla 3.6 se puede observar la velocidad promedio obtenida en la ruta de prueba, así como el tiempo total de la zona urbana y la cantidad de segundos que el vehículo supera los 100 km/h.

Tabla 3.6 Verificación de la zona autopista

ZONA AUTOPISTA – HORARIO MAÑANA			
PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	CUMPLE
$\sum_i v_{i,k}$	62 508,185	km/h	
N_k	604	-	
\bar{v}_k	103,49	km/h	
$v. a_{pos-}[95]$	18,291		
VERIFICACIÓN DE VALIDEZ DEL TRAYECTO			
Verificación del $v. a_{pos-}[95]$ por intervalo de velocidad en (km/h)			
103,490 km/h	>	74,6 km/h	SÍ
18,291	>	26,645	NO
VÁLIDO			

A partir de un total de 190 datos obtenidos como el resultado de velocidad por aceleración positiva en la zona clasificada como autopista se tiene un percentil de 18,29. Para la evaluación de estos valores se toma como referencia que la velocidad promedio de la zona es de 103,49 km/h, valor que es superior al establecido por la normativa de 74,6 km/h y por tanto se utiliza la siguiente ecuación para determinar el valor de comparación del percentil 95, 0,0742 por velocidad promedio más 18,966. Como el resultado del percentil 95 18,29 es menor a 26.65, se da como válido el trayecto realizado para la zona de autopista.

3.7.2 VERIFICACIÓN DE LA ACELERACIÓN POSITIVA RELATIVA POR INTERVALO DE VELOCIDAD

Esta verificación toma como base el cálculo de la aceleración positiva relativa a lo largo de las zonas determinadas como urbana, suburbana y autopista. Para esto, se utiliza la Ecuación [2.5] y se realiza la comparación respectiva dependiendo de la ecuación utilizada por la velocidad promedio de cada zona. En esta verificación la velocidad promedio para

determinar la fórmula de comparación es de 94,05 km, mucho mayor que la verificación del percentil 95, en caso de ser menor a 94,05 km/h se compara si el resultado es menor a $(-0,0016 \cdot \bar{v}_k + 0,1755)$ y en caso de ser mayor a 94,05 km/h se compara si es menor a $(-0,025)$.

3.7.2.1 Verificación RPA de la zona urbana

Para las velocidades inferiores que se clasifican como zona urbana se tiene un total de 4 024 datos a partir de los cuales se proceden a seleccionar las diferentes sumatorias que permiten determinar el RPA de la zona urbana. En la Tabla 3.7 se presentan los resultados obtenidos de las sumatorias utilizadas para determinar el RPA de la zona urbana, así como la velocidad promedio de esta zona.

Tabla 3.7 Verificación RPA de la zona urbana

ZONA URBANA – HORARIO MAÑANA			
PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	CUMPLE
$\sum_i v_{i,k}$	83 855,962	km/h	
N_k	4 024	-	
\bar{v}_k	20,839	km/h	
$\sum_j (\Delta t \cdot (v \cdot a_{pos})_{j,k})$	5 558,943	m ² /s ²	
$\sum_i d_{i,k}$	23 293,323	m	
RPA_k	0,239	m/s ²	
Verificación de la RPA por intervalo de velocidad en (km/h)			
20,838 km/h	≤	94,05 km/h	SÍ
0,239	<	0,142	NO
VALIDO			
DINÁMICA GENERAL DEL TRAYECTO			SI

Dentro del área urbana se tiene una velocidad promedio de 20,84 km/h, el cual es inferior a los 94,05 km/h, por tanto, luego de utilizar la ecuación respectiva se tiene un valor de comparación de 0,142. El valor de RPA de la zona urbana es de 0,239 el cual es inferior al valor de comparación 0,142, de esta manera se da como válida la verificación de la zona urbana por medio de este método.

3.7.2.2 Verificación RPA de la zona suburbana

En la zona suburbana clasificada por las velocidades superiores a 60km/h e inferiores o iguales a 90 km/h se tiene un total de 843 datos que se utilizan para determinar los valores RPA de la zona suburbana. En la Tabla 3.8 se presentan los resultados obtenidos de la zona suburbana a lo largo del trayecto, utilizadas para determinar velocidades promedio y la RPA.

Tabla 3.8 Verificación RPA de la zona suburbana

ZONA SUBURBANA – HORARIO MAÑANA			
PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	CUMPLE
$\sum_i v_{i,k}$	62 212,396	km/h	
N_k	843	-	
\bar{v}_k	73,799	km/h	
$\sum_j (\Delta t \cdot (v \cdot a_{pos})_{j,k})$	2 562,391	m ² /s ²	
$\sum_i d_{i,k}$	17 281,221	m	
RPA_k	0,148	m/s ²	
Verificación de la RPA por intervalo de velocidad en (km/h)			
73,799 km/h	≤	94,05 km/h	SÍ
0,148	<	0,057	NO
VALIDO			
DINÁMICA GENERAL DEL TRAYECTO			SÍ

La zona suburbana tiene un valor de 73,80 km/h el cual es inferior a 94,05 km/h, esto nos da como resultado un valor de comparación de 0,057, el valor obtenido RPA de la zona suburbana es de 0,148. El valor es superior al resultado de la ecuación que utiliza la velocidad promedio, por tanto, se da como válida la prueba de RPA de la zona suburbana.

3.7.2.3 Verificación RPA de la zona autopista

La zona clasificada como autopista, tiene un total de 604 datos de velocidades superiores a los 90 km/h a lo largo de la ruta, estos datos obtenidos abarcan un total de 456 datos con velocidades superiores a 100 km/h. En la Tabla 3.9 se presenta las velocidades promedio de la zona, sumatorias de velocidad por aceleración positiva y sumatoria de distancia recorrida a lo largo de la zona determinada como autopista.

Tabla 3.9 Verificación RPA de la zona autopista

ZONA AUTOPISTA – HORARIO MAÑANA			
PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	CUMPLE
$\sum_i v_{i,k}$	62 508,185	km/h	
N_k	604	-	
\bar{v}_k	103,490	km/h	
$\sum_j (\Delta t \cdot (v \cdot a_{pos})_{j,k})$	1 509,678	m ² /s ²	
$\sum_i d_{i,k}$	17 363,385	m	
RPA_k	0,087	m/s ²	
Verificación de la RPA por intervalo de velocidad en (km/h)			
103,490 km/h	>	94,05 km/h	SÍ
0,087	<	-0,025	NO
VALIDO			
DINAMICA GENERAL DEL TRAYECTO			SÍ

La velocidad promedio obtenida en la zona de autopista es de 103,49 km/h que es superior 94,05 km/h. El valor establecido como comparación para los valores de aceleración positiva relativa correspondiente a esta velocidad promedio es de -0,025. El valor de RPA de la zona de autopista es 0,087 valor que es mayor a -0,025 lo que implica que el trayecto es válido y cumple con la dinámica del trayecto con respecto a la aceleración positiva relativa.

3.8 CÁLCULO DE LA GANANCIA DE ALTITUD POSITIVA ACUMULATIVA

Para la obtención de la ganancia de altitud positiva se realiza la corrección de datos obtenidos durante la prueba y se procede a correlacionar con los datos de altitud, velocidad y tiempo.

3.8.1 CORRECCIÓN DE DATOS DE ALTITUD RECOPIADOS DE LA PRUEBA DE RUTA

Los datos obtenidos durante la prueba se proceden a clasificar de acuerdo con las velocidades anteriores y posteriores, así como con los datos de altitud en cada segundo del recorrido. En la Tabla 3.10 se presenta los datos organizados en una tabla, esto con márgenes de separación para evitar la saturación de datos.

Tabla 3.10 Corrección de datos

TIEMPO t [s]	v (t) [km/h]	a GPS (t) [m]	a corr (t) [m]	d i [m]	d acum [m]
0	0,0	2 219,7	2 219,7	0,0	0,0
1	0,0	2 219,7	2 219,7	0,0	0,0
10	0,0	2 219,7	2 219,7	0,0	0,0
11	4,4	2 220,1	2 220,1	1,2	1,2
12	9,5	2 220,1	2 220,1	2,6	3,8
-	-	-	-	-	-
32	36,8	2 219,9	2 219,9	10,2	191,0
33	33,1	2 220,2	2 220,2	9,2	200,2
34	27,8	2 220,3	2 220,3	7,7	207,9
-	-	-	-	-	-
913	26,6	2 198,8	2 198,8	7,4	4 997,9
914	25,7	2 197,9	2 197,9	7,1	5 005,1
915	24,7	2 198,2	2 198,2	6,9	5 011,9
-	-	-	-	-	-
1 971	21,0	2 212,0	2 212,0	5,8	9 996,9
1 972	21,2	2 212,0	2 212,0	5,9	10 002,8
1 973	21,3	2 212,3	2 212,3	5,9	10 008,7
-	-	-	-	-	-
3 670	38,5	2 208,0	2 208,0	10,7	19 987,5
3 671	45,3	2 207,7	2 207,7	12,6	20 000,0
3 672	52,1	2 205,3	2 205,3	14,5	20 014,5
-	-	-	-	-	-
4 309	67,0	2 206,2	2 206,2	18,6	29 995,3
4 310	66,6	2 206,7	2 206,7	18,5	30 013,8
4 311	64,7	2 206,0	2 206,0	18,0	30 031,8
-	-	-	-	-	-
4 765	101,9	1 783,8	1 783,8	28,3	39 996,2
4 766	101,5	1 783,3	1 783,3	28,2	40 024,4
4 767	100,8	1 781,8	1 781,8	28,0	40 052,4
-	-	-	-	-	-
5 148	101,9	1 769,6	1 769,6	28,3	49 989,2
5 149	102,2	1 771,8	1 771,8	28,4	50 017,6
5 150	102,4	1 772,1	1 772,1	28,4	50 046,0
-	-	-	-	-	-
5 449	84,7	1 867,4	1 867,4	23,5	57 724,8
5 450	83,5	1 867,4	1 867,4	23,2	57 748,0
5 451	81,5	1 867,6	1 867,6	22,7	57 770,7
-	-	-	-	-	-
5 465	6,5	1 866,4	1 866,4	1,8	57 934,8
5 466	3,1	1 864,5	1 864,5	0,9	57 935,7
5 467	1,1	1 863,9	1 863,9	0,3	57 936,0
5 468	0,0	1 864,4	1 863,9	0,0	57 936,0

3.8.2 SUAVIZADO DE DATOS E INTERPOLACIÓN

En la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** se presenta los datos sometidos a dos filtros de suavizado e interpolación de los datos de altitud obtenidos previamente, entre los datos tenemos la distancia a partir del primer dato de distancia, tiempo, distancias previa y posterior a la distancia analizada, altitudes corregidas y altitudes interpoladas.

Tabla 3.11 Corrección de datos

d [m]	t 0 [s]	d 0 [m]	d 1 [m]	a 0 [m]	a 1 [m]	a int (d) [m]	Corr pend, 1s, [m/m]	a int, 1s,t (t) [m/m]	Corr pend, 2s, [m/m]
0,0	9	0,0	1,2	2 219,7	2 220,1	2 219,70	0,00100	2 219,70	0,00138
1,2	10	0,0	3,8	2 219,7	2 220,1	2 219,83	0,00248	2 219,70	0,00213
3,8	11	1,2	8,1	2 220,1	2 220,2	2 220,14	0,00294	2 219,83	0,00278
8,1	12	3,8	14,0	2 220,1	2 220,4	2 220,22	0,00288	2 220,14	0,00428
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
191,0	31	180,8	200,2	2 219,7	2 220,2	2 219,96	0,01356	2 219,82	0,01389
200,2	32	191,0	207,9	2 219,9	2 220,3	2 220,12	0,01349	2 219,98	0,01144
207,9	33	200,2	213,9	2 220,2	2 220,3	2 220,26	0,01149	2 220,13	0,01358
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 997,9	912	4 990,5	5 005,1	2 199,3	2 197,9	2 198,59	0,03483	2 200,02	0,03173
5 005,1	913	4 997,9	5 011,9	2 198,8	2 198,2	2 198,49	0,03687	2 198,62	0,03493
5 011,9	914	5 005,1	5 018,5	2 197,9	2 198,3	2 198,10	0,04214	2 198,54	0,03697
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9 996,9	1 970	9 991,1	10 002,8	2 212	2 212	2 212,00	-0,00123	2 212,05	-0,00095
10 002,8	1 971	9 996,9	10 008,7	2 212	2 212,3	2 212,15	-0,00270	2 212,00	-0,00118
10 008,7	1 972	10 002,8	10 014,8	2 212	2 213,4	2 212,69	-0,00322	2 212,15	-0,00265
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19 987,5	3 669	19 976,8	20 000,0	2 208,3	2 207,7	2 208,02	-0,06326	2 208,21	-0,06259
20 000,0	3 670	19 987,5	20 014,5	2 208	2 205,3	2 206,74	-0,06575	2 207,96	-0,06347

Tabla 3.11 Corrección de datos (Continuación...)

d [m]	t 0 [s]	d 0 [m]	d 1 [m]	a 0 [m]	a 1 [m]	a int (d) [m]	Corr pend, 1s, [m/m]	a int, 1s,t (t) [m/m]	Corr pend, 2s, [m/m]
20 014,5	3 671	20 000,0	20 030,8	2 207,7	2 204,7	2 206,29	-0,06725	2 206,68	-0,06596
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29 995,3	4 308	29 976,7	30 013,8	2 206,2	2 206,7	2 206,45	-0,09019	2 206,26	-0,08861
30 013,8	4 309	29 995,3	30 031,8	2 206,2	2 206	2 206,10	-0,08766	2 206,36	-0,08998
30 031,8	4 310	30 013,8	30 049,1	2 206,7	2 206,2	2 206,45	-0,08427	2 206,01	-0,08744
39 996,2	4 764	39 967,9	40 024,4	1 785,1	1 783,3	1 784,20	-0,11624	1 784,33	-0,11693
40 024,4	4 765	39 996,2	40 052,4	1 783,8	1 781,8	1 782,80	-0,11163	1 784,09	-0,11608
40 052,4	4 766	40 024,4	40 080,4	1 783,3	1 783,4	1 783,35	-0,10975	1 782,69	-0,11148
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
49 989,2	5 147	49 960,9	50 017,6	1 769,9	1 771,8	1 770,85	-0,10914	1 770,69	-0,11501
50 017,6	5 148	49 989,2	50 046,0	1 769,6	1 772,1	1 770,85	-0,10603	1 770,74	-0,10884
50 046,0	5 149	50 017,6	50 074,6	1 771,8	1 772,9	1 772,35	-0,09764	1 770,75	-0,10573
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
57 701,3	5 448	57 677,7	57 724,8	1 865,7	1 867,4	1 866,55	-0,00610	1 865,64	-0,00256
57 724,8	5 449	57 701,3	57 748,0	1 866,2	1 867,4	1 866,80	-0,00706	1 866,54	-0,00490
57 748,0	5 450	57 724,8	57 770,7	1 867,4	1 867,6	1 867,50	-0,00928	1 866,80	-0,00584
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
57 934,8	5 464	57 933,0	57 935,7	1 865,9	1 864,5	1 864,95	-0,00524	1 866,17	-0,00816
57 935,7	5 465	57 934,8	57 936,0	1 866,4	1 863,9	1 864,53	-0,00315	1 864,95	-0,00210
57 936,0	5 466	57 935,7	57 936,0	1 864,5	1 863,9	1 863,90	0,00000	1 864,53	0,00000

3.8.3 GANANCIA DE ALTITUD POSITIVA ACUMULADA

De acuerdo con los datos obtenidos luego del suavizado y tomando en cuenta los valores positivos, se tiene un valor total de 79,21 m por 57,94 km que en relación con 100 km dará un total de 149,46 m. El valor obtenido se compara con el expuesto como base en la normativa europea el cual debe ser inferior a 1 200 m / 100 km, lo que en este caso cumple con esta condición.

3.9 ALTITUD ENTRE PUNTO INICIAL Y FINAL

Con respecto a la variación de altitud entre el punto inicial y final, la ruta RDE planteada tiene como inicio una altitud de 2 219 m s.n.m ubicado en la Av. 17 de Julio y tiene como fin una altitud de 1 853 m s.n.m en la Panamericana E35 a la altura de los cañaverales, con una variación de 366 metros de diferencia, la normativa estipula que no exista una diferencia mayor a los 100 metros entre inicio y fin para obtener datos de emisiones reales al momento de realizar pruebas con un equipo PEMS, es así como la ruta no cumple con la variación de altitud expuesta en la normativa, esto debido a que las vías del cantón para acceder a vías de alta velocidad tienen que ascender o descender grandes distancias debido a que se encuentran en una zona andina rodeada de la cordillera de los Andes.

Es así como para analizar las mejores condiciones para una lectura correcta con un equipo PEMS se procede a analizar las diferentes rutas planteadas, como inicio de la ruta urbana toma como inicio la entrada de la Universidad Técnica del Norte que cuenta con una altitud inicial de 2 219 m s.n.m y como final de la ruta se tiene una altitud final de 2 240 m s.n.m, con una variación positiva de 21 metros entre inicio y final de la ruta urbana. La primera parte de la ruta suburbana tiene como inicio los 2 240 m s.n.m a la altura de la Calle Mariano Acosta y la calle Agustín Rosales hasta la altura de las calles Obispo Jesús Yerovi e Ibarra con una altitud de 2 209 m s.n.m con una variación negativa de 31 metros de altura.

En la segunda parte de la ruta suburbana se toma como inicio la Panamericana E35 a la altura de la calle Puruhanta con una altura de 2 230 m s.n.m y como fin se tiene una altitud de 1 853 m s.n.m. con una variación negativa de 377 m s.n.m., la variación de 377 metros se produce debido a las vías utilizadas para la conexión entre las rutas propuestas, debido a que la ciudad se encuentra ubicada en la cordillera de los Andes y por tanto las vías no mantienen una superficie uniforme, en el caso del estudio con un equipo PEMS para el estudio de los

gases de escape se recomendaría la utilización del primer trayecto de la ruta suburbana para que no exista una variación debido al cambio de altitud. Finalmente, el punto de inicio de la ruta de autopista tiene como inicio una altura de 1 853 m s.n.m y termina en el mismo punto con una variación de 0 metros de altitud. Al no tomar en cuenta el segundo tramo de la zona suburbana se tendría como resultado una variación negativa de 10 m s.n.m lo cual sería adecuado para realizar la prueba con un equipo PEMS por una variación uniforme de altitud y por tanto la producción de gases de escape entre tramos de ascenso y descenso logran equipararse y se tiene una representación media de los gases emitidos.

La producción de gases contaminantes de los vehículos depende de aspectos como la altitud, pendientes, resistencia a la rodadura, consumo de combustible entre otros. En el caso de la altitud inicial y final se toma en cuenta que no exista una variación mayor a 100 metros ya que las emisiones producidas en pendientes de ascenso y descenso son compensadas. De acuerdo con un estudio realizado en Estados Unidos se encontró que en pendientes en descenso se reduce el consumo de combustible aproximadamente en un 19% lo que afecta directamente las emisiones producidas por el vehículo (Díaz, 2020, pág. 40). El descenso de 277 metros en la segunda parte de la ruta suburbana en relación con la reducción de consumo de combustible afecta directamente la producción de gases de escape, al utilizar un medidor PEMS la cantidad de gases emitidos serán menores que una vía con pendientes de 0%. Con respecto a las concentraciones de CO₂ de acuerdo con un estudio realizado en California se produce un total de 16 – 34 g/l en pendientes en descenso y un total de 27 – 75 g/l en el ascenso representando un 60% menos de emisiones de CO₂. Con respecto a la producción de NO_x en descenso se produce un total de 1,1 – 3,3 g/l y en ascenso 3,8 – 5,3 g/l representando entre un 30 y un 50% menos de emisiones de NO_x. Finalmente, la producción de HC en contraste con los anteriores gases en el descenso se produce 3 veces más es decir un total de 300 % en este caso. Es necesario considerar estos valores al momento de la realización de pruebas con un equipo PEMS ya que el segundo tramo de la ruta suburbana presentará una baja cantidad de CO₂, NO_x y en contraste una cantidad alta de HC por lo que no representará de forma fidedigna el trayecto total de la ruta (Díaz, 2020, pág. 41).

3.10 ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DEL VEHÍCULO EN LA RUTA RDE

Este apartado inicia con un análisis sobre cómo Torque PRO estima la tasa de flujo de combustible. Posteriormente, se analiza la energía de tracción, energía de frenado, consumo de combustible y factores de emisión de CO₂ de la prueba de la mañana. Al final se realiza una comparación entre los factores de emisión de CO₂ del vehículo evaluado en el presente proyecto con los de otros estudios.

Para analizar la tasa de flujo de combustible estimada por Torque PRO se selecciona un lapso comprendido entre los 3 500 – 4 125 segundos de la tasa de consumo de combustible y otras variables obtenidas a partir del sistema OBD del vehículo en el ensayo de la mañana.

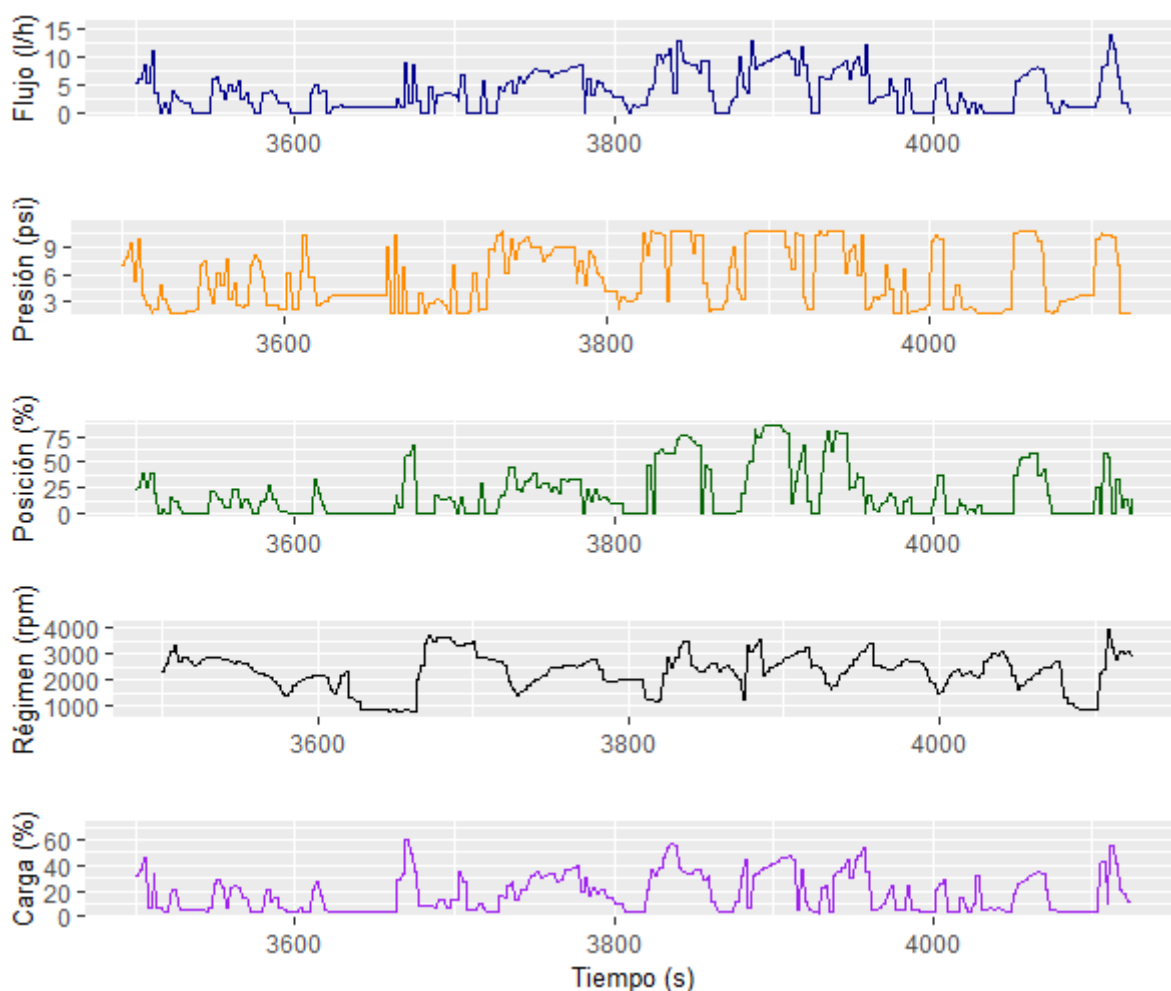


Figura 3.10 Tasa de flujo de combustible y parámetros del sistema OBD

La Figura 3.10 muestra las gráficas de la tasa de flujo de combustible (l/h) estimada por Torque PRO y de algunos parámetros obtenidos del sistema OBD: la presión del múltiple de

admisión (psi), la posición del acelerador (%), el régimen de giro del motor (rpm) y la carga calculada (%) en función del tiempo (s). Como se explicó anteriormente la estimación de la tasa de flujo de combustible de Torque PRO se realiza sobre la base de parámetros que el programador no da a conocer. En efecto, se consideró realizar un análisis sobre los parámetros OBD que Torque PRO pudo haber tomado en cuenta para realizar dicha estimación con la finalidad de tratar de comprender cómo pudo haber sido realizada.

Torque PRO podría emplear parámetros OBD para el cálculo de la tasa de flujo de combustible tales como: el ancho de pulso de inyección, la Carga calculada, además, de otra información obtenida a partir de sensores del vehículo tales como: el MAP, TPS, CKP e IAT. Las razones se explican a continuación:

Torque PRO podría emplear la información del ancho de pulso de inyección para detectar los lapsos en los que la ECU realizó corte de combustible. Como se puede observar en la gráfica de la tasa de flujo de combustible, a los 3 516, 3 520, 3 540, 3 576, 3 600, 3 621, 3 681 segundos, entre otros, este parámetro es cero. De manera que la tasa de flujo de combustible puede ser cero en los momentos en los que hubo corte de combustible. Además, Torque PRO podría calcular la tasa de flujo de combustible empleando la presión del múltiple de admisión (que se obtiene a partir del sensor MAP) porque la gráfica de este parámetro es correspondiente con la presión del múltiple de admisión (Figura 3.10). En otras palabras, cuando aumenta la presión en el múltiple de admisión, también la tasa de flujo de combustible, y viceversa. El vehículo probado no tiene sensor MAF, por esta razón se asume estar ante uno de los sistemas de inyección que emplean la señal del MAP para calcular los requerimientos de combustible. En estos sistemas, en la ECU se compara la señal del MAP junto con otros parámetros tales como: sensores de posición del acelerador, régimen de giro del motor y temperatura de carga de aire para calcular el ancho de pulso del inyector (Denton, 2011, pág. 204). Torque PRO pudo considerar la presión del colector de admisión para estimar la tasa de flujo de combustible porque ambas gráficas tienen cierta correspondencia entre sí. Sin embargo, se puede observar que la tasa de combustible no es directamente proporcional con la presión en el colector de admisión. Esto se puede evidenciar a los 3 560, 3 580, 3 600, 3 665, 3 730, 3 785 segundos, entre otros, donde se puede observar que las dos señales no cambian proporcionalmente entre sí. Por esta razón, Torque PRO podría estar incluyendo otras variables para estimar la tasa de combustible, por ejemplo, como se mencionó anteriormente: la posición del acelerador, el régimen de giro del motor y la

temperatura de carga de aire porque las gráficas del régimen de giro del motor y la posición del acelerador tienen cierta correspondencia con la tasa de flujo de combustible (Figura 3.10). Torque PRO podría considerar la posición del acelerador (que se obtiene a partir del sensor TPS) porque la ECU emplea este valor para controlar el suministro de combustible. Cuando en un vehículo la mariposa de aceleración está en posición de parcialmente abierta (aproximadamente del 5 al 70%), existe un funcionamiento normal con un control cercano de la entrega de combustible y las emisiones de escape. Mientras que en posición del acelerador completamente abierto (70 a 100%), se suministra el enriquecimiento de la mezcla a plena carga. Asimismo, en un vehículo frente a un movimiento rápido de la mariposa de aceleración existe un enriquecimiento de aceleración, sobre la base de la tasa de movimiento de la mariposa y las tensiones de señal del sensor.

Por otro lado, el régimen de giro del motor (obtenido a partir de la señal del sensor CKP) podría ser empleado por Torque PRO porque la ECU también calcula los requerimientos de combustible a partir de este dato. Como se puede observar en la Figura 3.10, ambas gráficas se corresponden una con la otra. Aún más, en un artículo científico se considera el valor de régimen de giro del motor junto con la presión en el múltiple de admisión, la temperatura del aire de admisión, la eficiencia de volumen, la cilindrada del motor, la masa molar del aire, la constante de los gases ideales y la densidad del combustible para calcular el flujo de combustible (Meseguer, Calafate, Cano, Manzoni, 2015, pag. 4). Además, la temperatura del aire de admisión (que se percibe a partir del sensor IAT) también podría usarse por la aplicación móvil porque la densidad y el volumen del aire varían en función de su temperatura. En todo el ensayo esta temperatura varió entre los 25 y 48 °C. Por esta razón, en un vehículo la medición del MAP debe ser corregida por temperatura, con la finalidad de que la ECU calcule de manera precisa la cantidad de combustible necesaria para una relación de mezcla aire-combustible correcta. En consecuencia, Torque PRO podría considerar la temperatura del aire de admisión en el cálculo de la tasa de flujo de combustible.

Torque PRO podría emplear la Carga calculada para estimar la tasa de flujo de combustible porque ambas gráficas tienen cierta correspondencia entre sí (Figura 3.10). En un artículo científico se considera la Carga calculada para estimar el flujo de combustible, sin embargo, se menciona que este parámetro no toma en cuenta la temperatura actual, la presión y la eficiencia volumétrica del motor, por esta razón se deben compensar estos valores. Para calcular el flujo de combustible emplean la Carga calculada junto con la eficiencia

volumétrica, la cilindrada del motor, la presión en el múltiple de admisión, la temperatura del aire de entrada, la densidad del combustible, entre otras variables (Ribeiro, Rodrigues y Aguiar, 2013, pág. 3). La Carga calculada se calcula con datos como el flujo de aire actual, el pico de flujo de aire con el acelerador completamente abierto a una temperatura y presión estándar como una función del régimen de giro del motor, además, la presión barométrica y la temperatura ambiente. Por esta razón, debe relacionarse con otros valores para el cálculo del flujo de combustible. Se menciona que Torque PRO pudo emplear la Carga calculada porque la aplicación móvil solicita al usuario la cilindrada del motor y el tipo de combustible. Estas variables pudieron ser consideradas para operarse con la Carga calculada para obtener el flujo de combustible, de forma similar a lo expuesto en el artículo científico citado. En resumen, Torque PRO podría estimar la tasa de flujo de combustible utilizando datos que solicita al usuario: cilindrada del motor y tipo de combustible junto con parámetros del sistema OBD tales como: Carga calculada, ancho de pulso de inyección, posición del acelerador, régimen de giro del motor, presión del múltiple de admisión y temperatura del aire de admisión.

3.10.1 POTENCIA DE TRACCIÓN Y ENERGÍA

En la siguiente gráfica se ilustra la potencia de tracción junto con la velocidad registrada por el GPS y la altitud:

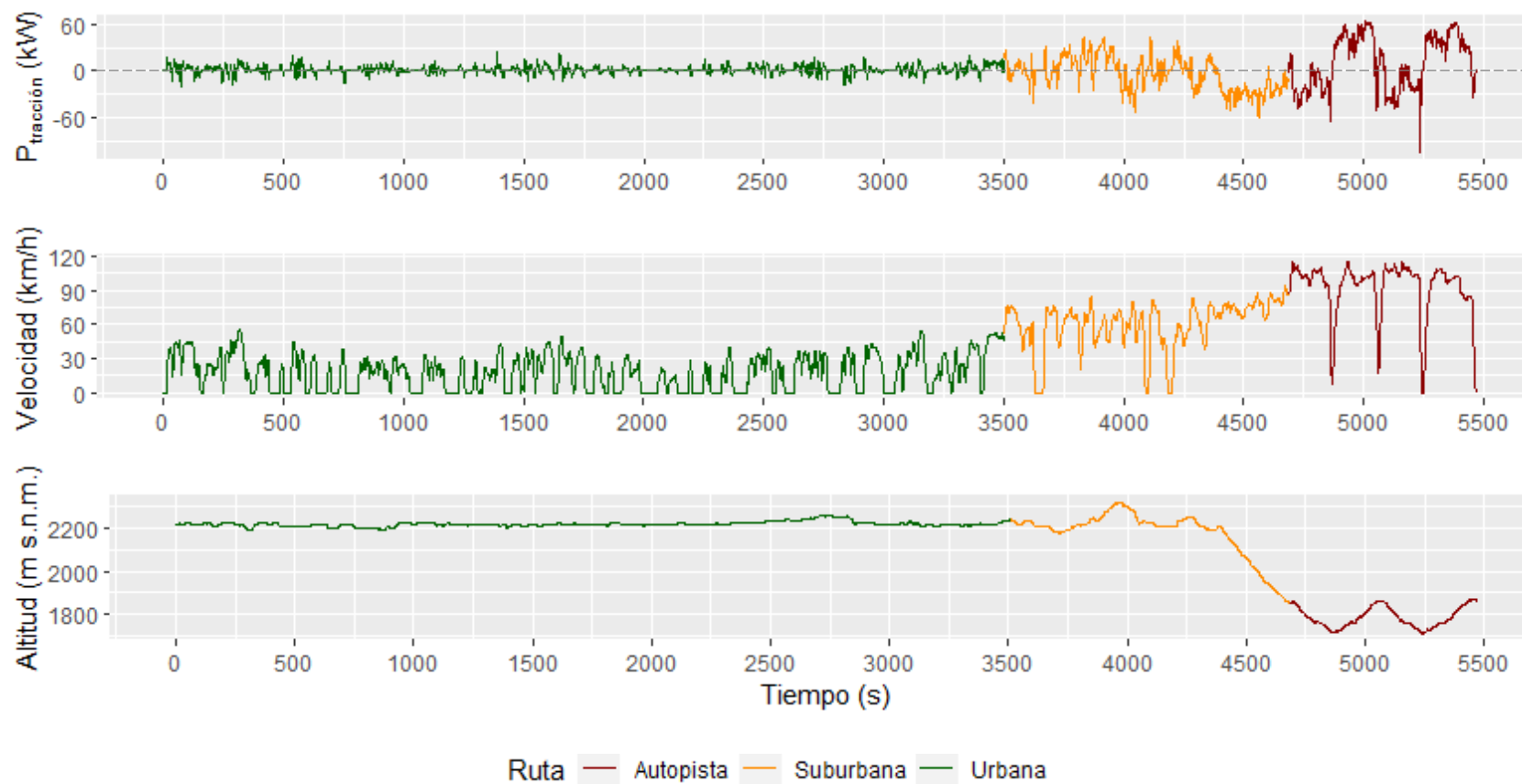


Figura 3.11 Potencia de tracción, velocidad y altitud de toda la ruta

En la Figura 3.11 se puede observar el progreso de la potencia de tracción en función del tiempo, asimismo, la velocidad del vehículo y la altitud de acuerdo con el tipo de ruta. En la ruta urbana los picos de potencia de tracción son menores en comparación con las otras rutas. El vehículo desarrolla velocidades entre los 0 a 60 km/h. El trayecto tiene una pendiente positiva promedio de $0,78^\circ$ (1,36%) y una pendiente máxima de $5,49^\circ$ (9,61%) en la Avenida 17 de Julio antes de la intersección con la calle Juan José Flores.

En la ruta suburbana se presentan picos de potencia de tracción más altos que en la ruta urbana. El vehículo alcanza velocidades cercanas a los 90 km/h. La ruta cuenta con una pendiente positiva promedio aproximada de $2,93^\circ$ (5,12%) y una pendiente máxima de $7,86^\circ$ (13,8%) en la Avenida Monseñor Leonidas Proaño antes de llegar a la intersección con la calle Del Cardenal. Finalmente, en la ruta de autopista los picos de potencia de tracción son más altos en comparación con las demás rutas. El vehículo alcanza velocidades superiores a los 90 km/h. La carretera cuenta con una pendiente positiva promedio de $4,69^\circ$ (8,2%) y una pendiente máxima de $8,02^\circ$ (14%) en la Panamericana E35 aproximadamente a 1,1 km antes del inicio de la bifurcación en el sector de los cañaverales. Si se compara las pendientes promedio positivas y máximas de los tres tipos de ruta, se puede notar que el vehículo estuvo sometido a pendientes positivas más pronunciadas en el contexto de autopista en comparación con las demás. Asimismo, tuvo que superar pendientes positivas más pronunciadas en el contexto suburbano que en el urbano.

Por otro lado, también se puede observar que la potencia de tracción toma valores nulos, positivos y negativos a lo largo de la ruta. De acuerdo con estos valores se puede identificar los modos: tracción, frenado, permanencia y coast, cuyo significado se presentó en la sección 2.8.15.5. A continuación, se presenta un análisis sobre la energía en el modo tracción, la cual se denomina energía de tracción. Los resultados son abordados de acuerdo con el tipo de ruta: urbana, suburbana, autopista y total (toda la prueba).

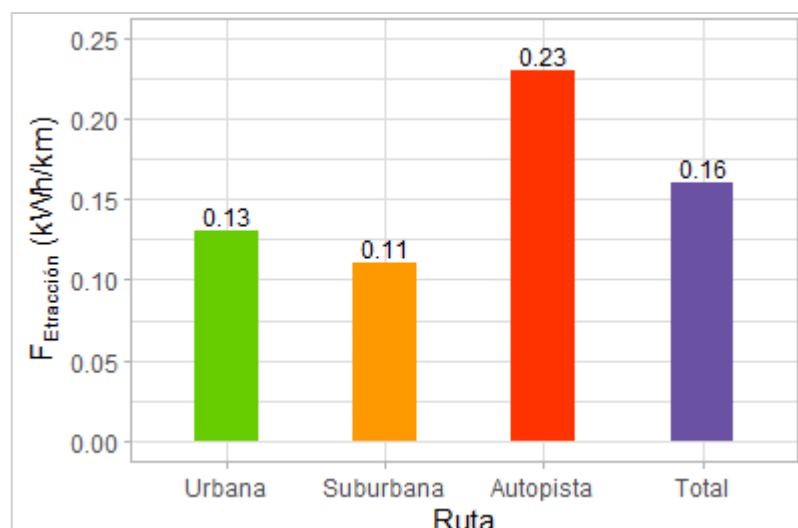


Figura 3.12 Factor de energía de tracción específico de la distancia por tipo de ruta

En la Figura 3.12 se puede observar el factor de energía de tracción específico de la distancia ($F_{Etracción}$) de cada tipo de ruta, es decir, la energía que la carreta demanda a las ruedas motrices por kilómetro recorrido en cada ruta. El $F_{Etracción}$ del contexto de autopista es 43 y

52% más alto que los $F_{\text{Etracción}}$ de las rutas urbana y suburbana, respectivamente. Además, el $F_{\text{Etracción}}$ de la ruta urbana es 15% más alto que el $F_{\text{Etracción}}$ de la ruta suburbana. Esto muestra que, en autopista, se demandó aproximadamente el doble de energía a las ruedas motrices en comparación con las demás rutas. Asimismo, en el contexto urbano, se demandó 15% más de energía a las ruedas motrices en comparación con la ruta suburbana. A simple vista se pensaría que el $F_{\text{Etracción}}$ total debería ser mayor que los demás. Sin embargo, no es así ya que una magnitud específica de alguna variable, en este caso la energía de tracción específica de la distancia solo es un valor promedio, de manera que el $F_{\text{Etracción}}$ total es una cifra que toma en cuenta los datos de las tres rutas: urbana, suburbana y autopista. Entonces, a pesar de tomar en cuenta la cifra alta en la ruta de autopista, también toma en cuenta la cifra baja en la ruta suburbana, así como la cifra intermedia en la ruta suburbana. Por esta razón, el $F_{\text{Etracción}}$ de toda la prueba no es el mayor.

Seguidamente, se da a conocer un análisis sobre la energía en el modo de frenado, la cual se denomina energía de frenado:

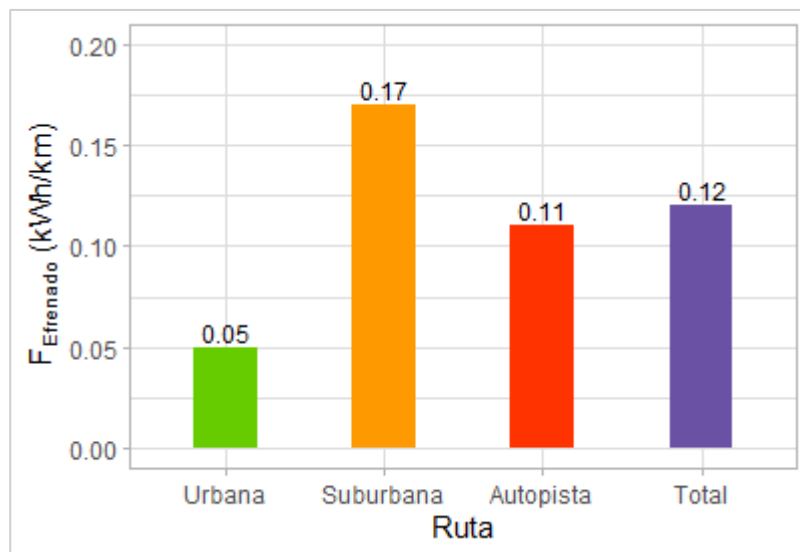


Figura 3.13 Factor de energía de frenado específico de la distancia por tipo de ruta

La Figura 3.13 muestra los factores de energía de frenado específicos de la distancia (F_{Efrenado}) de toda la ruta y de cada tipo de ruta, en otras palabras, la energía cinética disipada por el sistema de frenos por kilómetro recorrido en cada ruta. El F_{Efrenado} en la ruta suburbana es 35 y 71% más alto que los F_{Efrenado} de las rutas de autopista y urbana, respectivamente. Asimismo, el F_{Efrenado} de la autopista es 54% más alto en comparación con el F_{Efrenado} de la ruta urbana. De acuerdo con esto, se concluye que el sistema de frenos disipa 35 y 71% más de energía cinética en la ruta suburbana en comparación con la energía cinética que disipa

en las rutas autopista y urbana, respectivamente. Además, el sistema de frenos disipa 54% más de energía cinética en la autopista en comparación con la energía cinética que disipa en la ruta urbana. Cabe mencionar que los vehículos eléctricos, eléctricos híbridos, y de celdas de combustible recuperan una cierta cantidad de la energía de frenado con el freno regenerativo y la almacenan, para luego reutilizarla para propulsar el vehículo. Pero en el presente proyecto, como se empleó un vehículo con motor de combustión interna sin freno regenerativo, toda la energía de frenado o la energía disipada por el sistema de frenos, se perdió irremediablemente.

3.10.2 CONSUMO DE COMBUSTIBLE

El siguiente gráfico ilustra los factores de consumo de combustible por tipo de ruta:

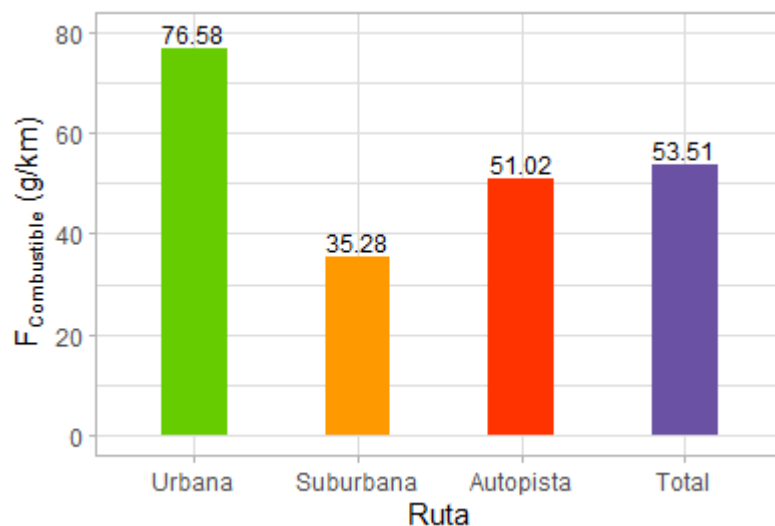


Figura 3.14 Factor de consumo de combustible específico de la distancia por tipo de ruta

En la Figura 3.14 se puede observar el factor de consumo de combustible específico de la distancia ($F_{\text{Combustible}}$) de cada ruta, en otras palabras, la cantidad de combustible utilizada por kilómetro recorrido en cada ruta. El $F_{\text{Combustible}}$ de la ruta urbana es 33 y 54% más alto que los $F_{\text{Combustible}}$ de las rutas autopista y suburbana, respectivamente. Por otro lado, el $F_{\text{Combustible}}$ de la autopista es 31% más alto en comparación con el $F_{\text{Combustible}}$ de la ruta suburbana. En otras palabras, el motor de combustión interna consume 33 y 54% más masa de combustible en la ruta urbana en comparación con la masa de combustible que se consume en la ruta autopista y suburbana, respectivamente. Asimismo, el motor de combustión interna consume 31% más masa de combustible en la autopista que la masa de combustible que utiliza en la ruta suburbana. En conclusión, de acuerdo con la distancia recorrida por el

vehículo, el motor de combustión interna fue más eficiente en la ruta suburbana en comparación con las demás rutas, además, fue menos eficiente en la ruta urbana. Es importante mencionar que el factor de consumo de combustible en la ruta suburbana no es un dato confiable como se explica en la sección 3.9, por lo tanto, tampoco el factor de consumo de combustible total porque incluye dentro de su cálculo el consumo de combustible en la ruta suburbana.

3.10.2.1 Comparación con consumos de combustible obtenidos de otras fuentes

Seguidamente, una comparación entre el consumo de combustible del vehículo evaluado en el presente proyecto con datos de consumo de combustible obtenidos de otras fuentes:

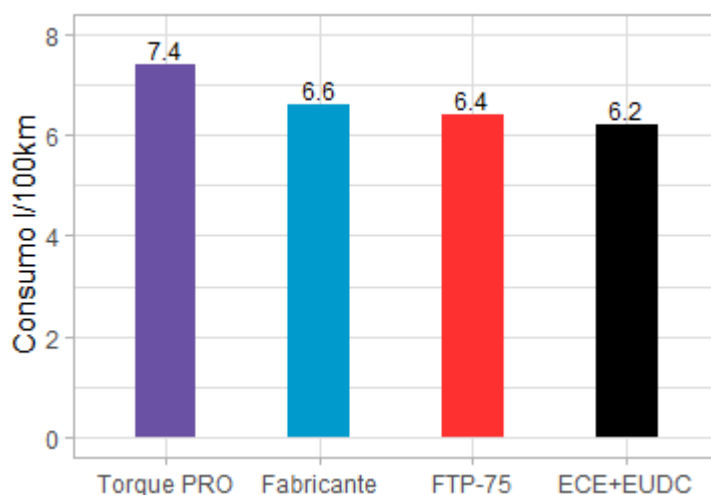


Figura 3.15 Comparación de consumo de combustible en l/100km

En la Figura 3.15 se puede observar diferentes consumos de combustible en unidades de litros por 100 kilómetros del mismo modelo de vehículo evaluado en el presente proyecto. De izquierda a derecha se puede observar el consumo calculado en el presente trabajo en condiciones reales de funcionamiento, el consumo combinado (urbano y extraurbano) expuesto por el fabricante, el consumo en el ciclo de conducción americano FTP-75 y el consumo en el ciclo de conducción europeo ECE+EUDC. Los dos últimos datos pertenecen a un proyecto en el cual se evaluó un Aveo 1,6 L, 2012, con gasolina Super sobre un dinamómetro en el laboratorio de ensayo de emisiones CCICEV en la ciudad de Quito (Zurita, 2022, pág. 134).

El consumo de combustible del vehículo evaluado en el presente proyecto es 11 % mayor que el consumo de combustible combinado expuesto por el fabricante. En este trabajo el consumo de combustible se obtuvo a partir de la tasa de combustible estimada por Torque

PRO. Por lo tanto, para este caso de estudio la variación entre el consumo de combustible obtenido con Torque PRO en comparación con el consumo combinado expuesto por el fabricante del vehículo es de 11%. Esta diferencia podría atribuirse, por un lado, a que el vehículo evaluado en el presente proyecto tiene un kilometraje considerable, y por otro a que el consumo de combustible en condiciones reales de funcionamiento es mayor que el que se obtiene en ensayos de laboratorio. Se menciona esto porque el consumo de combustible reportado por el fabricante para el año 2011, debió haber sido obtenido a partir de pruebas de laboratorio.

Por otro lado, el consumo de combustible del vehículo evaluado en el presente proyecto es 14 y 16 % mayor que los consumos de combustible con los ciclos FTP-75 y ECE+EUDC, respectivamente. Cabe resaltar que dichos ciclos de conducción fueron probados sobre un dinamómetro. Mientras que en este proyecto el vehículo fue evaluado en condiciones reales de funcionamiento. En conclusión, en condiciones reales de funcionamiento el vehículo evaluado en el presente proyecto tiene un consumo de combustible 15% mayor en comparación con otro estudio en el que se evaluó el mismo modelo de vehículo en ensayos de laboratorio con los ciclos de conducción FTP-75 y ECE+EUDC. Esto corroboró que el consumo de combustible en condiciones reales de funcionamiento es mayor que el obtenido en ensayos de laboratorio.

3.10.3 FACTOR DE EMISIÓN DE CO₂ ESPECÍFICO DE LA DISTANCIA

En primer lugar, se presenta los factores de emisión (FE) de CO₂ específicos de la distancia para el tipo de ruta. En otras palabras, la masa de CO₂ que se emite por kilómetro recorrido.

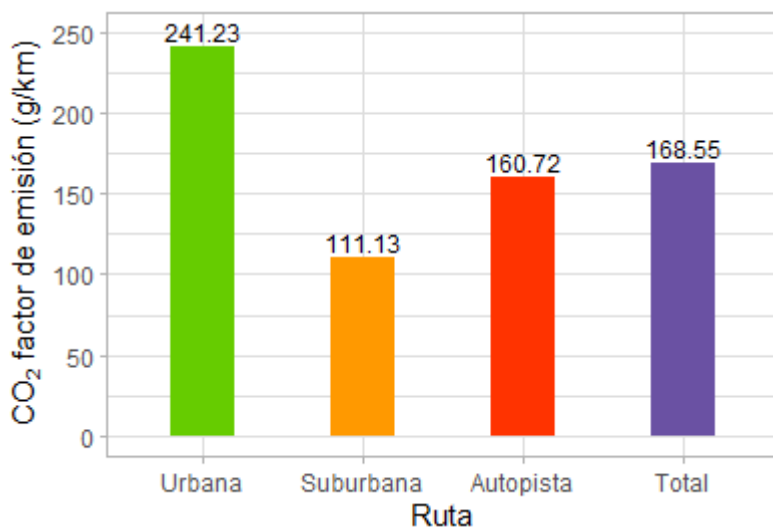


Figura 3.16 FE de CO₂ específico de la distancia por tipo de ruta

En la Figura 3.16 se puede observar en orden descendente que la ruta que presenta el FE CO₂ mayor es la ruta urbana, seguida de la ruta de autopista y finalmente la suburbana. El FE CO₂ de la ruta urbana es 33 y 54% más alto que los FE CO₂ de las rutas autopista y suburbana, respectivamente. Además, el FE CO₂ de la autopista es 31% más alto en comparación con el FE CO₂ de la ruta suburbana. En virtud de los resultados, se concluye que, sobre la base del método de estequiometría, en la ruta urbana se emite 33 y 54% más masa de CO₂ en comparación con la ruta autopista y suburbana, respectivamente. Asimismo, en autopista se emite 31% más masa de CO₂ que en la ruta suburbana. Es importante mencionar que el FE CO₂ en la ruta suburbana no es un dato confiable como se explicó en la sección 3.9, en consecuencia, tampoco el FE CO₂ total porque en su cálculo incluye las emisiones de masa de CO₂ de la ruta suburbana .

Si se compara la presente figura con la Figura 3.14, se puede observar que en la ruta donde se consume más combustible hay más emisiones de CO₂. La correspondencia entre las emisiones de CO₂ y el consumo de combustible, ya se esperaba porque es sabido que las emisiones de CO₂ son directamente proporcionales al consumo de combustible. Es más, el método de estequiometría aplicado hace que la masa de emisión de CO₂ estimada sea directamente proporcional al combustible consumido. Como conclusión, en la ruta urbana existe un consumo de combustible y emisión de masa de CO₂ 33 % más altos en comparación con la autopista. Además, en la ruta urbana existe aproximadamente el doble de consumo de combustible y emisión de masa de CO₂ que en la ruta suburbana. De igual modo, en la autopista se presenta un consumo de combustible y emisión de masa de CO₂ 31% más altos en comparación con la ruta suburbana.

3.10.3.1 Comparación con FE de CO₂ (g/km) de otras fuentes

A continuación, una comparación entre el FE CO₂ total del presente trabajo y FE CO₂ obtenidos en un laboratorio bajo los ciclos de conducción FTP-75 y ECE+EUDC:

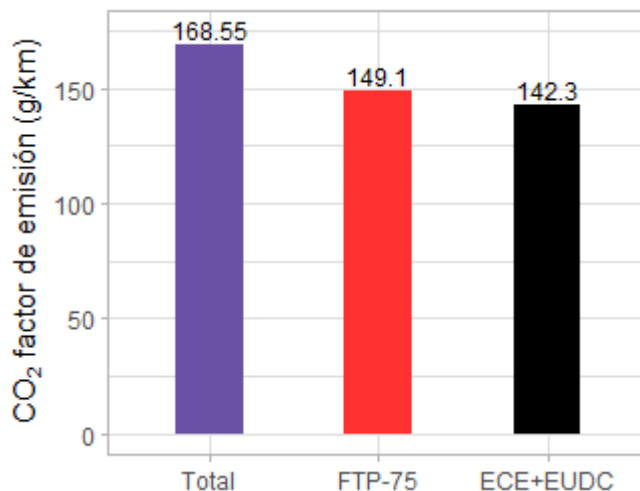


Figura 3.17 Comparación con FE CO₂ de ciclos de conducción

En la Figura 3.17 se puede observar de derecha a izquierda el FE CO₂ total del presente proyecto, el FE CO₂ obtenido en el ciclo FTP-75 y el FE CO₂ registrado en el ciclo ECE+EUDC. Cabe resaltar que los FE CO₂ de emisión de los ciclos de conducción fueron tomados del mismo trabajo realizado en el laboratorio de ensayo de emisiones CCICEV. El FE CO₂ total es 12 y 16% mayor que los FE CO₂ conseguidos empleando los ciclos de conducción FTP-75 y ECE+EUDC, respectivamente. En otras palabras, en condiciones reales de funcionamiento el vehículo emite en promedio un 14 % más masa de CO₂ que en ensayos de laboratorio empleando los ciclos de conducción FTP-75 y ECE+EUDC. Este resultado corroboró que las emisiones de CO₂ en condiciones reales de funcionamiento son mayores que las obtenidas en ensayos de laboratorio.

Seguidamente, se realiza una comparación de los FE de CO₂ del vehículo evaluado en el presente proyecto (Ibarra) con los FE CO₂ de otros estudios, en los cuales el vehículo funciona en carretera. La Tabla 3.12 muestra el detalle de los FE CO₂ de emisión de dichos estudios. La variable TIPO se refiere al tipo de ruta al que el FE CO₂ pertenece.

Tabla 3.12 FE de CO₂ de otros trabajos (g/km)

CIUDAD	VEHÍCULO	RUTA	EQUIPO	FE CO ₂ (g/km)	TIPO
Área Metropolitana de Lisboa	Liviano, gasolina, 1,5 L, EURO 6b, inyección en puerto, TM de 6 marchas, TWC	RDE	PEMS	145	Urbano
				115	Suburbano
				112,5	Autopista
				125	Total
Leeds	Ford Mondeo, gasolina, 1,8 L, EURO 4, TM, 4 cilindros, inyección de combustible en puerto, TWC	Arranque en caliente en ruta urbana con congestionamiento de tráfico	FTIR	318,18	Urbano
Tianjin	Vehículo de pasajeros ligero, Citroen ZX, gasolina, 1,6 L, MPI, TWC.	8 km carretera arterial, 4 km carretera rápida y 3 km de carretera local	PEMS	379	Total

Fuente: (Mera, Varrella, Baptista, Duarte y Rosero, 2022, pág. 7; Khalfan, Li y Andrews, 2015, pág. 7; Qu et al., 2021, pág. 19)

Como se puede observar el factor de emisión en la ruta urbana en Lisboa es mayor en comparación con las demás rutas, el mismo resultado que en el presente proyecto. Por otro lado, el FE CO₂ total de Ibarra es 26% mayor en comparación con el FE CO₂ total de Lisboa. El estudio en Lisboa fue realizado a alturas que rondan los 10 a 200 m s.n.m., mientras que, en Ibarra el proyecto fue realizado a una altura alrededor de los 2 000 m s.n.m. Como el motor de combustión interna es más eficiente a alturas cercanas al nivel del mar, en Ibarra el motor es menos eficiente. En efecto, este consume más combustible, y emite más de masa de CO₂ por kilómetro recorrido. Como conclusión, el factor de emisión total en Ibarra es un 26% mayor que el del Área Metropolitana de Lisboa posiblemente debido a que Ibarra se halla a mayor altitud que Lisboa.

El FE CO₂ de Leeds se obtuvo mediante dividir la emisión de CO₂ acumulada por la distancia del viaje. Este valor es aproximadamente un 24% mayor en comparación con el FE CO₂ urbano de Ibarra. Leeds presenta una altitud media de 10,34 m s.n.m, menor en comparación con Ibarra. De manera que la desigualdad de altitud influye en la diferencia entre los factores

de emisión, sin embargo, existe otro factor que hace que el FE CO₂ de Leeds sea superior al de Ibarra. Una podría ser la agresividad en la conducción. Sin embargo, la calle principal de la ruta en Leeds tiene un solo carril de circulación en cada dirección (Khalfan, 2016, pág. 96). Es más, el límite de velocidad en las calles de la ruta es de 48 km/h, en efecto, no podría haberse realizado una conducción agresiva. Otro posible causa sería que el consumo total de combustible en condiciones de congestiónamiento de tráfico podría duplicarse en comparación con el viaje en flujo libre (Khalfan, Li y Andrews, 2015, pág. 18). Por su parte, el ensayo de Ibarra fue desarrollado en condiciones que se consideraron de menor congestiónamiento en comparación con las demás pruebas. Mientras que la calle principal de la ruta en Leeds es famosa por presentar mayor congestiónamiento de tráfico en el Reino Unido. En resumen, la congestión de tráfico que se presentó en la ruta de Leeds es probablemente la causante de que su FE CO₂ sea mayor que el de Ibarra.

El FE CO₂ en Tianjin es aproximadamente 56% más alto que el FE CO₂ total de Ibarra. Como la altitud en Tianjin ronda los 11 m s.n.m, entonces, al igual que el estudio anterior, el FE CO₂ está influenciado por la desigualdad de altitud entre Tianjin e Ibarra. Pero por alguna/s causa/s el FE CO₂ de emisión en Tianjin es mayor que el de Ibarra. El trayecto en Tianjin estuvo compuesto de carreteras arteriales, rápidas y locales. En cierta ciudad de China los límites de velocidad en carreteras arteriales mayores, arteriales menores y locales son 110, 50 y 30 km/h, respectivamente (Mi, Dong, Li, Lin, Shao y Fan, 2021, pág. 4). Entonces, pudo presentarse una conducción agresiva en la carretera rápida y arterial del ensayo de Tianjin. Aún más, porque las autopistas en el país asiático cuentan con 4 carriles, en partes se extienden a 6 carriles y la velocidad límite es de 120 km/h. Mientras que en el cantón Ibarra en carreteras rectas el límite es 100 km/h. Las velocidades máximas elevadas son características de la conducción agresiva, la cual aumenta las emisiones de CO₂ hasta en un 24% (Comisión Europea, 2016, pág. 66, 71). Asimismo, existe la posibilidad de que en Tianjin se haya presentado congestiónamiento del tráfico en ciertas áreas porque esta ciudad es parte de la región BTH en China donde se dice que la congestión de tráfico es severa (M. Guo y Meng, 2019, pág. 2). En pocas palabras, el FE CO₂ en Tianjin es mayor que el de Ibarra posiblemente por dos razones: por un lado, agresividad en la conducción en la ciudad asiática y, por otro, el congestiónamiento de tráfico en la misma.

Es importante mencionar que la comparación con los FE CO₂ de emisión de otros estudios que evaluaron las emisiones del vehículo en carretera permite tener la certeza de que los

valores calculados en el presente proyecto no son valores sin sentido, ya que están dentro de los rangos de FE CO₂ que se obtienen alrededor del mundo con instrumentos más sofisticados que el que se usó en este proyecto: una interfaz de diagnóstico junto con Torque PRO.

3.10.4 FACTOR DE EMISIÓN DE CO₂ ESPECÍFICO DE LA ENERGÍA DE TRACCIÓN

En el siguiente gráfico se presenta los factores de emisión (FE) de CO₂ específicos de la energía de tracción en cada tipo de ruta. En otras palabras, la masa de CO₂ emitida por kWh que la carretera demanda a las ruedas de tracción para que el vehículo pueda circular.

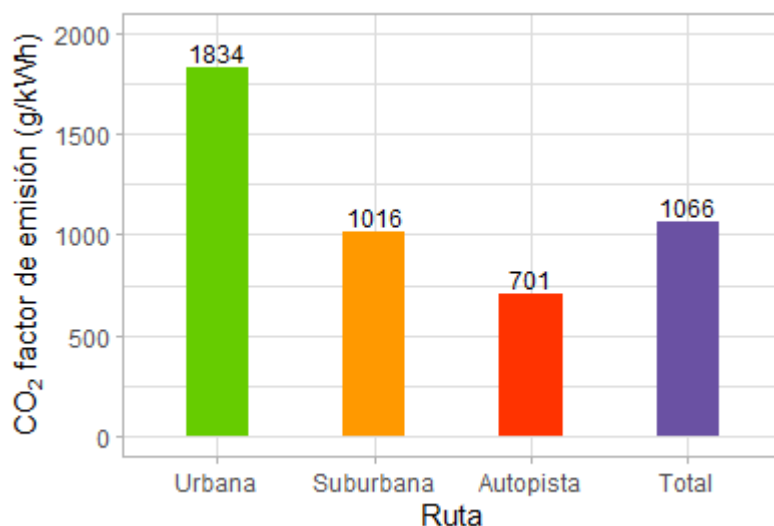


Figura 3.18 Factor de emisión de CO₂ específico de la energía de tracción por tipo de ruta

En la Figura 3.18 se puede notar en orden descendente que la ruta que tiene el mayor FE CO₂ es la urbana, seguida de la ruta suburbana y autopista. El FE CO₂ urbano supera en 45 y 62% a los FE CO₂ de las rutas suburbana y autopista, respectivamente. El FE CO₂ suburbano supera en 31% al FE CO₂ de la autopista. Es decir, en la ruta urbana se emite un 45% más de masa de CO₂ en comparación con la ruta suburbana por kWh. En la ruta urbana se emite un 62% más de masa de CO₂ en comparación con la autopista por kWh demandado por la carretera. Asimismo, en la ruta suburbana se emite 31% más de masa de CO₂ que en la autopista por kWh.

Si se compara la Figura 3.18 con la Figura 3.16 se puede notar que el FE CO₂ de la ruta urbana supera a los respectivos FE CO₂ de las demás rutas. En conclusión, en la ruta urbana

el vehículo emite más masa de CO₂ que en las demás rutas, tanto por kilómetro recorrido como por kWh demandado por la carretera a las ruedas motrices. Como el consumo de combustible es directamente proporcional a las emisiones de CO₂, se concluye que el motor de combustión interna es menos eficiente en la ruta urbana en comparación con la ruta suburbana o autopista.

3.10.4.1 Comparación con FE de CO₂ (g/kWh) de otras fuentes

Posteriormente, se realiza una comparación del FE CO₂ urbano del vehículo evaluado en el presente proyecto (Ibarra) con los FE CO₂ urbanos de otros estudios. La comparación se realizó solo en el contexto urbano debido a la falta de investigaciones en los que se calcule este tipo de FE CO₂ para vehículos gasolina. La Tabla 3.13 presenta el detalle de los FE CO₂ de otros trabajos.

Tabla 3.13 FE de CO₂ de otros trabajos (g/kWh)

CIUDAD	VEHÍCULO	RUTA	EQUIPO	FE CO ₂ (g/kWh)
Leeds	Ford Mondeo, gasolina, 1,8 L, EURO 4, TM, 4 cilindros, inyección de combustible en puerto, TWC	Arranque en frío en ruta urbana con flujo libre	FTIR	1 579
		Arranque en caliente en ruta urbana con congestiónamiento de tráfico	FTIR	1 615
		Ruta urbana con menor congestiónamiento	FTIR	1 202

Fuente: (Khalfan, Li y Andrews, 2015, pág. 7; Khalfan, 2016, pág. 107)

Los tres FE CO₂ se obtuvieron mediante dividir la emisión de CO₂ acumulada para el trabajo realizado acumulado/energía de tracción. Los dos primeros FE CO₂ pertenecen al mismo estudio que se realizó en Leeds, citado en la sección de los FE CO₂ de CO₂ específicos de la distancia. Por otro lado, el tercer FE CO₂ fue tomado de una tesis presentada por uno de los autores del anterior estudio. El FE CO₂ de emisión en Ibarra supera en 14, 12 y 34 % a los FE CO₂ en Leeds, respectivamente. Estas desigualdades pueden ser debido a la disminución de la eficiencia del motor en función de la altitud. Así, el FE CO₂ en Ibarra es mayor que los FE CO₂ en Leeds posiblemente debido a que Ibarra está a mayor altitud que Leeds. Esta

comparación permite entender que los FE CO₂ calculados en el presente proyecto no son valores sin sentido, porque los FE CO₂ de Leeds e Ibarra son parecidos, en el sentido de que ambos están en unidades de mil.

Es importante mencionar que los FE CO₂ específicos de la distancia y específicos de la energía de tracción del vehículo evaluado en este trabajo tienen ciertas incertidumbres debido al empleo de Torque PRO para la obtención de la tasa de combustible y estequiometría para calcular las emisiones de CO₂. Sin embargo, estos FE CO₂ están dentro del rango de FE CO₂ obtenidos en estudios de otros países en los que se usa equipos más fiables.

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- En base a la Normativa Europea (EU) 2017/1151, la cual establece los requerimientos y procedimientos para el desarrollo de Ensayos (RDE), el presente estudió diseño satisfactoriamente una ruta RDE para la ciudad de Ibarra. Esta ruta diseñada incluyó tres tipos de zonas: urbana, suburbana y autopista. El recorrido de la zona urbana, con un 31,64%, incluyó los sectores El Olivo, Centro histórico, Los Ceibos, Supermaxi; mientras la ruta suburbana con un 32,85%, comprendió el anillo vial y las vías periféricas de Ibarra. En el caso de la autopista, esta incluyó un tramo de la panamericana Norte E35 con 35,51%. En general, los porcentajes obtenidos y los valores dinámicos de velocidad para cada zona cumplieron con lo requerido por la Norma.
- La ruta RDE diseñada tenía una velocidad promedio de 38,13 km/h y una aceleración positiva promedio de 0,4 m/s². De hecho, las velocidades promedio para las zonas urbana, suburbana y autopista fueron de 18,4, 60,3, y 92,8 km/h, respectivamente. Por otra parte, la ganancia de altitud positiva a lo largo del trayecto fue de 79,21 m/100 km, lo que permite cumplir con los valores exigidos en la norma. Sin embargo, es importante mencionar que entre la altitud inicial (2 219 m s.n.m) y final (1 853 m s.n.m) del recorrido total hubo una variación de 336 m, valor superior a los 100 m requeridos en la norma. Debido a la geografía de las rutas de Ibarra, este parámetro no pudo ser cumplido.
- En la ruta RDE propuesta, los factores de consumo de combustible y de emisiones de CO₂ para un vehículo Chevrolet Aveo fueron de 76,58 y 168,55 g/km, respectivamente. Estos valores eran aproximadamente un 15% superiores a los reportados por otro estudio ecuatoriano que evaluó el mismo vehículo en condiciones de laboratorio bajo los ciclos de conducción FTP-75 y ECE+EUDC. Este resultado corroboró que el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ en el mundo real son mayores que las obtenidas en laboratorios.
- En términos de energía de tracción, los factores de emisión de CO₂ para las zonas urbana, suburbana y autopista fueron de 1834, 1016 y 701 g/kWh, respectivamente.

Esto demuestra que el vehículo es menos eficiente en la zona urbana. De hecho, el factor de emisión de la ruta urbana fue un 62% superior al de autopista. Este resultado puede estar relacionado con el hecho de que, en zonas urbanas, el motor de un vehículo suele operar con alta frecuencia en zonas de bajo par y régimen de giro, donde la eficiencia térmica es baja.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda el desarrollo de un proyecto para sugerir al INEN la actualización de la normativa de límites de emisiones contaminantes para vehículos que usan gasolina (NTE INEN 2 204). Porque contiene ciclos de conducción antiguos (FTP-75 y ECE+EUDC) para el control de las emisiones contaminantes. Además, los límites de emisiones corresponden a la normativa EURO 3, mientras que actualmente en Europa están vigentes la EURO 6 y pruebas RDE.
- Se sugiere la utilización de la ruta RDE planteada para futuros trabajos de investigación realizados en el cantón Ibarra, con la finalidad de poder comparar resultados obtenidos en diferentes tipos de vehículos para valores de energía de tracción, consumo de combustible y factores de emisiones, además del ahorro de tiempo al no tener que diseñar una nueva ruta para cada estudio.
- Se recomienda la utilización de la ruta planteada para futuros estudios comparativos entre datos obtenidos en el dinamómetro (Ciclos FTP 75 y ECE/EUDC) y los datos obtenidos en una prueba real de conducción (RDE).
- El programador de Torque PRO no declara los parámetros sobre los cuales realiza la estimación de la tasa de flujo de combustible del motor. Por lo tanto, se recomienda emplear métodos existentes en estudios para calcular el flujo de combustible instantáneo a partir de parámetros del sistema OBDII, y comparar estos resultados con los datos registrados con un flujómetro de combustible. Con la finalidad de encontrar el método más preciso para la estimación del flujo de combustible. De esta manera, se conocería los parámetros que intervienen en la estimación de ese dato.
- Se sugiere optar por alternativas de medición del consumo de combustible como: flujómetros de combustible, estimación de flujo de combustible instantáneo con parámetros del sistema OBDII, o aplicaciones móviles (por ejemplo: Torque PRO), en lugar de tratar de registrar la tasa de combustible del motor por medio del PID 5E del sistema OBD II. Intentar registrar este dato por medio del PID 5E requiere buscar algún vehículo que permita su lectura, cabe resaltar que ninguno de los vehículos evaluados en este proyecto permitió registrar este dato. Esta búsqueda podría resultar en una pérdida de esfuerzo y tiempo debido a que se requiere realizar pruebas a diferentes vehículos sin la garantía de tener éxito

- Se recomienda que en caso de completarse proyectos de vías que permitan la conexión entre la ruta urbana y ruta de autopista sean utilizados para evitar los cortes incluidos en el presente trabajo de investigación en la zona suburbana y comparar los resultados con los obtenidos en el presente trabajo.
- Se sugiere utilizar la ruta RDE diseñada para el estudio y comparación entre vehículos de combustión interna, vehículos híbridos y en caso de ser posible vehículos eléctricos, para determinar sus comportamientos en la ruta de prueba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Álvarez, B. (2020). Optimisation of energy recovery systems for formula E. (Tesis de master). Cranfield University, Cranfield, Reino Unido.
2. Azhari, A., Abdul N., Othman, M., Latif, M., Juneng, L., Nurzawani S., Stocker, J. y Johnson K. (2021). Highly Spatially Resolved Emission Inventory of Selected Air Pollutants in Kuala Lumpur's Urban Environment. *Atmospheric Pollution Research*, 12(2), 12–22. doi: 10.1016/j.apr.2020.10.004.
3. Benavides, K., y Fiallos, L. (2019). Propuesta De Un Modelo Para La Valoración De La Gestión De Seguridad Vial En Vías Estatales Del Ecuador - Caso De Estudio, Vía Riobamba – Biblián. (Tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
4. Buoli, M., Grassi, S., Caldiroli, A., Carnevali, G. S., Mucci, F., Iodice, S., Cantone, L., Pergoli, L. y Bollati, V. (2018). Is there a link between air pollution and mental disorders?. *Environment International*, 118, 154–168. doi: 10.1016/j.envint.2018.05.044
5. Cazares, B., y Cuasapaz, E. (2018). Análisis de la tasa de ocupación de las rutas de buses urbanos en la ciudad de Ibarra. (Tesis). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
6. Comparativa de los factores de emisión entre el ciclo europeo y el FTP75 para un vehículo de ciclo otto categoría M1
7. Chávez, C. (2018). Identificación de las emisiones de gases de escape en motores diésel con normativa euro 3 a diferentes alturas sobre el nivel del mar. (Tesis). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
8. Comisión Europea. (2016). Revisión de los factores en uso que afectan el consumo de combustible y las emisiones de CO2 de los automóviles de pasajeros. Recuperado de: <https://data.europa.eu/doi/10.2790/140640> (Noviembre, 2022).
9. Consejo Nacional de Planificación. (2017). Plan Nacional del Buen vivir 2017-2021. Recuperado de: <https://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/09/Plan-Nacional-para-el-Buen-Vivir-2017-2021.pdf> (Septiembre, 2020).

10. Consorcio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador. (2019). Plan de desarrollo vial integral de la provincia de Imbabura. Recuperado de: <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2020/09/Imbabura-plan-vial-integral.pdf> (Febrero, 2021).
11. Coria, J., Hennlock, M., y Sterner, T. (2021). Interjurisdictional externalities, overlapping policies and NO_x pollution control in Sweden. *Journal of Environmental Economics and Management*, 107(C). doi: 10.1016/j.jeem.2021.102444.
12. Denton, T. (2011). *Automobile Mechanical and Electrical Systems*. Recuperado de: <https://www.freepdfbook.com/pdf-automobile-mechanical-electrical-systems/> (Enero, 2023).
13. Díaz, F. (2019). Caracterización de las rutas de buses de transporte público de la ciudad de Ibarra para la implementación de buses híbridos y eléctricos GPS. (Tesis). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
14. Donateo, T., y Giovinazzi, M. (2017). Building a cycle for Real Driving Emissions. *Energy Procedia*, 126, 891–898. doi: 10.1016/j.egypro.2017.08.307.
15. Du, B., Zhang, L., Geng, Y., Zhang, Y., Xu, H., y Xiang, G. (2020). Testing and evaluation of cold-start emissions in a real driving emissions test. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 86. doi: 10.1016/j.trd.2020.102447.
16. Ehsani, M., Gao, Y., & Emadi, A. (2010). *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design* (2nd ed.). Recuperado de: <https://libgen.li/edition.php?id=135997049> (Agosto, 2022).
17. Estacio, J. (2013). Análisis de vulnerabilidad cantón San Miguel de Ibarra. *Análisis de Vulnerabilidad Cantón San Miguel de Ibarra*, 1, 169.
18. Faria, M., Varella, R., Duarte, G., Farias, T. L. y Baptista. (2018). Engine cold start analysis using naturalistic driving data: City level impacts on local pollutants emissions and energy consumption. *Science of The Total Environment*, 630, 544–559. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.232.
19. Frutos, O. D., Quijano, G., Aizpuru, A., y Muñoz, R. (2018). A state-of-the-art review on nitrous oxide control from waste treatment and industrial sources. *Biotechnology Advances*, 36(4), 1025–1037. doi: 10.1016/j.biotechadv.2018.03.004.

20. Giakoumis, E., y Zachiotis, A. (2017). Investigation of a Diesel-Engined Vehicle's Performance and Emissions during the WLTC Driving Cycle—Comparison with the NEDC. *Energies*, 10(2), 240. doi: 10.3390/en10020240.
21. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra Orientación. (2020). Actualización Del Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón Ibarra. Recuperado de: https://www.ibarra.gob.ec/site/docs/estrategico/PDYOT_2020.pdf (Febrero, 2021).
22. Guo, H., Wei, J., Li, X., Ho, H. C., Song, Y., Wu, J., y Li, W. (2021). Do socioeconomic factors modify the effects of PM1 and SO2 on lung cancer incidence in China?. *Science of The Total Environment*, 756. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143998
23. Guo, M., y Meng, J. (2019). Exploring the driving factors of carbon dioxide emission from transport sector in Beijing-Tianjin-Hebei region. *Journal of Cleaner Production*, 226, 692–705. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.095
24. Guzzella, L., y Sciarretta, A. (2007). Vehicle propulsion systems (2nd ed.). Recuperado de: [https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/ADVANCED ENGINE TECHNOLOGY AND PERFORMANCE/epdf.pub_vehicle-propulsion-systems-introduction-to-modelin-3.pdf](https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/ADVANCED_ENGINE_TECHNOLOGY_AND_PERFORMANCE/epdf.pub_vehicle-propulsion-systems-introduction-to-modelin-3.pdf) (Agosto, 2022).
25. . Hu, Z., Lu, Z., Song, B., y Quan, Y. (2021). Impact of test cycle on mass, number and particle size distribution of particulates emitted from gasoline direct injection vehicles. *Science of The Total Environment*, 762, 143. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143128.
26. Imbabura Travel. (2021). Terminal Terrestre - Frecuencia de buses. Recuperado de: <https://imbaburatravel.ec/documentos/transportes.pdf> (Julio, 2022).
27. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2017). Anuario Meteorológico. Recuperado de: https://www.inamhi.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf (Agosto, 2022).
28. Jiménez, F., Román, A., y López, J. (2013). Determinación de ciclos de conducción en rutas urbanas fijas. *Dyna Ingeniería e Industria*, 88(3), 681–688. doi: 10.6036/5751.

29. Jiménez-Palacios, J. (1999). Understanding and quantifying motor vehicle emissions with vehicle specific power and TILDAS remote sensing. (Tesis doctoral). Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, Estados Unidos.
30. Joo, Y. S., Kim, J., Lee, J., y Chung, I.-J. (2021). Understanding the link between exposure to fine particulate matter and internalizing problem behaviors among children in South Korea: Indirect effects through maternal depression and child abuse. *Health & Place*, 68, 102531. doi: 10.1016/j.healthplace.2021.102531.
31. Kamal, A., Mukai, M., Murata, J., y Kawabe, T. (2013). Model predictive control of vehicles on urban roads for improved fuel economy. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 21(3), 831–841. doi: 10.1109/TCST.2012.2198478
32. Kang, G., Lee, J., Park, J., Cha, J., y Chon, M. S. (2017). Development of Korean RDE Routes for On-road Emissions Measurement of Light Duty Vehicles. *Transactions of The Korean Society of Automotive Engineers*, 25(3), 287–296. doi: 10.7467/KSAE.2017.25.3.287
33. Kermenidou, M., Balcells, L., Martinez-Boubeta, C., Chatziavramidis, A., Konstantinidis, I., Samaras, T., Sarigiannis, D., y Simeonidis, K. (2021). Magnetic nanoparticles: An indicator of health risks related to anthropogenic airborne particulate matter. *Environmental Pollution*, 271, 116309. doi: 10.1016/j.envpol.2020.116309.
34. Khalfan, Ahmad M M. (2016). Analysis of tailpipe emissions, thermal efficiency and fuel consumption for urban real world driving using a SI passenger car as a probe vehicle. (Disertación doctoral). University of Leeds, Leeds, Reino Unido.
35. Khalfan, A., Li, H. y Andrews, G. (2015). Cold start SI passenger car emissions from real world urban congested traffic. En SAE technical paper series. SAE World Congress, Detroit, USA: Society of Automotive Engineers.
36. Köhl, M. A., Hermanns, H., y Biewer, S. (2018). Efficient Monitoring of Real Driving Emissions. In *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Springer, 11237, 299-315. doi: 10.1007/978-3-030-03769-7_17.

37. Kurnaz, G., y Demir, A. S. (2022). Prediction of SO₂ and PM₁₀ air pollutants using a deep learning-based recurrent neural network: Case of industrial city Sakarya. *Urban Climate*, 41, 101051. doi: 10.1016/j.uclim.2021.101051.
38. Li, J., Yin, P., Wang, L., Zhang, X., Liu, J., Liu, Y. y Zhou, M. (2020). Ambient ozone pollution and years of life lost: Association, effect modification, and additional life gain from a nationwide analysis in China. *Environment International*, 141, 105771. doi: 10.1016/j.envint.2020.105771.
39. Lin, Y., Jiang, F., Zhao, J., Zhu, G., He, X., Ma, X., Li, S., Sabel, C. E., y Wang, H. (2018). Impacts of O₃ on premature mortality and crop yield loss across China. *Atmospheric Environment*, 194, 41–47. doi: 10.1016/j.atmosenv.2018.09.024.
40. Loachamín, D. (2017). Diagnóstico de la calidad del aire de la ciudad de Ibarra del periodo 2012-2015. (Tesis). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
41. Lopez, V. (2015). Propuesta de lineamientos técnicos para la implantación de un esquema de nomenclatura vial en la parroquia San Francisco del cantón Ibarra. (Tesis). Pontífica Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
42. Lyu, M., Bao, X., Wang, Y., y Matthews, R. (2020). Analysis of emissions from various driving cycles based on real driving measurements obtained in a high-altitude city. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 234(6), 1563–1571. doi:10.1177/0954407019898959.
43. Mattiuzzi, C., y Lippi, G. (2020). Worldwide epidemiology of carbon monoxide poisoning. *Human & Experimental Toxicology*, 39(4), 387–392. doi:10.1177/0960327119891214.
44. Mera, Z., Varella, R., Baptista, P., Duarte, G., y Rosero, F. (2022). Including engine data for energy and pollutants assessment into the vehicle specific power methodology. *Applied Energy*, 311. doi: 10.1016/J.APENERGY.2022.118690
45. Merksisz, J., y Pielecha, J. (2018). Comparison of Real Driving Emissions tests. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 421. doi: 10.1088/1757-899X/421/4/042055.
46. Meseguer, J., Calafate, C., Cano, J., & Manzoni, P. (2015). Assessing the impact of driving behavior on instantaneous fuel consumption. 2015 12th Annual IEEE

- Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 443–448. doi: 10.1109/CCNC.2015.7158016
47. Mi, X., Dong, C., Li, N., Lin, Y., Shao, C., y Fan, B. (2021). Operating Safety Evaluation of Battery-Electric Taxi Based on Spatio-Temporal Speed Parameters. *Sustainability*, 13(23). doi: 10.3390/su132313446
48. Ministerio del Ambiente. (2014). Inventario Preliminar de las Emisiones de Contaminantes del Aire, de los cantones Ambato, Riobamba, Santo Domingo de los Colorados, Latacunga, Ibarra, Manta, Portoviejo, Esmeraldas y Milagro. Recuperado de: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/Libro-Resumen-Inventario-13-02-2014-prensa.pdf> (Noviembre, 2020).
49. Montoya, O., Marrero, S., Romero, G., Torrealba, J., Moran, A., & Palencia, A. (2017). Evaluación de la exposición a benceno en trabajadores de diferentes áreas laborales. *Salud Uninorte*, 33(3), 363–372.
50. NovAtel Inc. (2015). *An introduction to GNSS* (2nd ed.). Recuperado de: <https://en.calameo.com/read/00191579602f9b13b088e?authid=9leJ1niQkK75> (Abril, 2022).
51. Paradis, E. (2003). *R para principiantes* (Ahumada, J., Trad.). Recuperado en: <https://www.studocu.com/es/document/uned/estadistica-basica/r-para-principiantes-libro/6854503> (Abril, 2022)
52. Pavlovic, J., Tansini, A., Fontaras, G., Ciuffo, B., Garcia Otura, M., Trentadue, G., Suarez Bertoa, R., & Millo, F. (2017). The Impact of WLTP on the Official Fuel Consumption and Electric Range of Plug-in Hybrid Electric Vehicles in Europe. *SAE Technical Papers*. doi: 10.4271/2017-24-0133.
53. Peña, L., y Becerra, L. (2010). Impacto de la nueva fórmula de la densidad del aire CIPM-2007. Recuperado de: <https://www.cenam.mx/sm2010/info/pmiercoles/sm2010-mp03a.pdf> (Agosto, 2022).
54. Pinto, D., Moser, H., Waclawek, J. P., Dello Russo, S., Patimisco, P., Spagnolo, V., y Lendl, B. (2021). Parts-per-billion detection of carbon monoxide: A comparison between quartz-enhanced photoacoustic and photothermal spectroscopy. *Photoacoustics*, 22, 100244. doi: 10.1016/j.pacs.2021.100244.

55. Prefectura del Carchi. (2022). Carchi te enamora. Recuperado de: <https://www.carchi.gob.ec/turistico/index.php/servicios/transporte> (Julio, 2022).
56. Qi, W., Liu, J., y Leung, F. (2019). A framework to quantify impacts of elevated CO₂ concentration, global warming and leaf area changes on seasonal variations of water resources on a river basin scale. *Journal of Hydrology*, 570, 508–522. doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.01.015.
57. Qu, L., Wang, W., Li, M., Xu, X., Shi, Z., Mao, H., y Jin, T. (2021). Dependence of pollutant emission factors and fuel consumption on driving conditions and gasoline vehicle types. *Atmospheric Pollution Research*, 12(2), 137–146. doi: 10.1016/j.apr.2020.10.016
58. Ribeiro, V., Rodrigues, J., y Aguiar, A. (2013). Mining geographic data for fuel consumption estimation. 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013), 124–129. doi:10.1109/ITSC.2013.6728221
59. Rovira, A., y Muñoz, M. (2015). Motores de combustión interna. Recuperado de: <https://lopezva.files.wordpress.com/2019/11/343564272-motores-de-combustion-interna.pdf> (Diciembre, 2020).
60. Saleem, A., Liu, N., Junjie, H., Iqbal, A., Hayyat, M., y Mateen, M. (2020). Modelling of an electric vehicle for tractive force calculation along with factors affecting the total tractive power and energy demand. 2020 3rd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (ICoMET), November, 1–5. doi: 10.1109/iCoMET48670.2020.9073845
61. Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2002). Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diésel. [2207]. <http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/>
62. Servicio Ecuatoriano de Normalización. (enero de 2017). Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que emplean gasolina. [2204]. <http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/>
63. Suarez-Bertoa, R., Valverde, V., Clairotte, M., Pavlovic, J., Giechaskiel, B., Franco, V., Kregar, Z., y Astorga, C. (2019). On-road emissions of passenger cars beyond the

- boundary conditions of the real-driving emissions test. *Environmental Research*, 176, 108572. doi: 10.1016/j.envres.2019.108572.
64. Sun, Z., y Zhu, G. G. (2014). Design and control of automotive propulsion systems. doi: 10.1201/b17947
65. Tang, G., Liu, Y., Zhang, J., Liu, B., Li, Q., Sun, J., Wang, Y., Xuan, Y., Li, Y., Pan, J., Li, X., & Wang, Y. (2021). Bypassing the NOx titration trap in ozone pollution control in Beijing. *Atmospheric Research*, 249, 105333. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105333>.
66. Tinajero, A. G. (2019). Las contravenciones de tránsito detectadas por foto radar en la ciudad de Ibarra en el año 2016 y el derecho a la defensa. (Tesis). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ibarra, Ecuador.
67. Unión Europea. (1 de Junio de 2017). Reglamento (UE) 2017/1151 de la Comisión, de 1 de junio de 2017, que complementa el Reglamento (CE) no 715/2007 del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre la homologación de tipo de los vehículos de motor por lo que se refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6) y sobre el acceso a la información relativa a la reparación y el mantenimiento de los vehículos, modifica la Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y los Reglamentos (CE) no 692/2008 y (UE) no 1230/2012 de la Comisión y deroga el Reglamento (CE) no 692/2008 de la Comisión (Texto relevante a efectos del EEE). [Reglamento (UE) 2017/1151]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/es/TXT/?uri=CELEX%3A32017R1151>
68. Valero, Á. (1984). Movilidad espacial en Madrid. In *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 4, 207-225.
69. Vidal, M., Machado, A., Araujo, C., y Ochoa, Á. (2002). Determinación del consumo de combustible en un vehículo que utiliza gasolina o GNC mediante la simulación de su comportamiento dinámico. *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería Universidad Del Zulia*, 25(3), 158–165. Recuperado de: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702002000300004&lng=es&nrm=iso&tlng=es (Agosto, 2022).

70. Wang, J., Luo, Y., Quan, Q., Ma, F., Tian, D., Chen, W., Wang, S., Yang, L., Meng, C., y Niu, S. (2021). Effects of warming and clipping on CH₄ and N₂O fluxes in an alpine meadow. *Agricultural and Forest Meteorology*, 297(108278). doi: 10.1016/j.agrformet.2020.108278
71. Weilenmann, M., Favez, J.-Y., y Alvarez, R. (2009). Cold-start emissions of modern passenger cars at different low ambient temperatures and their evolution over vehicle legislation categories. *Atmospheric Environment*, 43(15), 2419–2429. doi: 10.1016/j.atmosenv.2009.02.005
72. Yu, L. [Lei], Wang, Z., Qiao, F., y Qi, Y. (2008). Approach to Development and Evaluation of Driving Cycles for Classified Roads Based on Vehicle Emission Characteristics. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2058(1), 58–67. doi: 10.3141/2058-08
73. Yu, L. [Longfei], Zhu, J., Ji, H., Bai, X., Lin, Y., Zhang, Y., Sha, L., Liu, Y., Song, Q., Dörsch, P., Mulder, J., y Zhou, W. (2021). Topography-related controls on N₂O emission and CH₄ uptake in a tropical rainforest catchment. *Science of The Total Environment*, 775. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145616
74. Zare, A., Bodisco, T. A., Jafari, M., Verma, P., Yang, L., Babaie, M., Rahman, M., Banks, A., Ristovski, Z. D., Brown, R. J., y Stevanovic, S. (2021). Cold-start NO_x emissions: Diesel and waste lubricating oil as a fuel additive. *Fuel*, 286, 119430. doi: 10.1016/j.fuel.2020.119430
75. Zhao, S., Liu, S., Hou, X., Cheng, F., Wu, X., Dong, S., y Beazley, R. (2018). Temporal dynamics of SO₂ and NO_x pollution and contributions of driving forces in urban areas in China. *Environmental Pollution*, 242, 239–248. doi: 10.1016/j.envpol.2018.06.085
76. Zheng, J., Liu, J., Han, S., Wang, Y., y Wei, Y. (2020). N₂O emission factors of full-scale animal manure windrow composting in cold and warm seasons. *Bioresource Technology*, 316. doi: 10.1016/j.biortech.2020.123905
77. Zubizarreta Solá, A., Martínez Menéndez, J., Rivas Pérez, P., Gómez Iglesias, S., y Sanz Borrás, A. (2018). Revisión de la literatura sobre efectos nocivos de la exposición

laboral a hidrocarburos en trabajadores en ambiente externo. *Medicina y Seguridad Del Trabajo*, 64(252), 271–294.

78. Zurita, B. (2022). Comparativa de los factores de emisión entre el ciclo europeo y el FTP75 para un vehículo de ciclo OTTO categoría M1. (Tesis). Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador.
<http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4830>







PÁGINAS WEB

1. Climate-data.org. (s.f.). Climate-data.org. <https://es.climate-data.org/>
2. CSS Electronics. (s.f.). <https://www.csselectronics.com/>
3. El Universo. (2020a). Latacunga, Papallacta y San Gabriel son las localidades ecuatorianas donde se ha registrado más frío en lo que va del 2020. Recuperado de: <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/09/23/nota/7988179/lugares-frios-ecuador-temperatura-inamhi-grados-ciudades/> (Febrero, 2021).
4. El Universo. (2020b). Sucumbíos, Loja, Orellana y Guayas son algunas de las provincias con las temperaturas máximas extremas más altas en el 2020. <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/09/24/nota/7989802/temperatura-maxima-ecuador-extremas-guayaquil-oriente-calor/#:~:text=Ecuador%2C,Sucumbi%2C Loja%2C Orellana y Guayas son algunas de las provincias,de 39%2C4 °C> (Febrero, 2021).
5. iLCTM. iLC OBD herramienta de escáner. Recuperado de: <https://ilctech.myshopify.com/products/ilc-obd-obd2-bluetooth-auto-diagnostic-scanner-tool-reader-engine-light-check-wireless-data-feed-to-your-cell-phone-compatible-with-android-windows-devices-not-for-apple-os-iphone-ipad> (Julio, 2022).
6. Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2019). Tabulados del Anuario de Transporte 2019. Recuperado de: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/transporte/> (Febrero, 2021).
7. Ministerio del Ambiente y Agua. (2020). Controlar la contaminación ambiental contribuye a mejorar la calidad de vida de la población.








<https://www.ambiente.gob.ec/controlar-la-contaminacion-ambiental-contribuye-a-mejorar-la-calidad-de-vida-de-la-poblacion/>











ANEXO


ANEXO I
PROPUESTA DE VÍAS DE MOVILIZACIÓN DE LA RUTA URBANA

VÍA	SENTIDO	DE:	A:		DISTANCIA (km)	RAZON DE MOVILIDAD - REFERENCIA	BUS – RUTA RECORRIDA
Av. 17 de Julio	N - S	Universidad Técnica del Norte (Entrada Principal)	Av. Padre Aurelio Polit		1,40	Estudios Universidad Técnica del Norte	28 de septiembre Católica – Alpachaca
Av. Padre Aurelio Polit	O - E	Av. 17 de Julio	Redondel Universidad Católica del Ecuador		0,40	Estudios Universidad Católica del Ecuador	28 de septiembre Católica – Alpachaca
Av. Padre Aurelio Polit	E - O	Redondel Universidad Católica del Ecuador	Av. 17 de Julio		0,40	Estudios Universidad Católica del Ecuador	28 de septiembre Católica – Alpachaca
Av. 17 de Julio	N – E	Av. Padre Aurelio Polit	Juan José Flores		0,80	Estudios U.E. San Francisco	28 de septiembre Católica – Alpachaca
Juan José Flores	E - O	Av. 17 de Julio	Juan Montalvo		0,10	Estudios U.E. San Francisco	28 de septiembre Católica – Alpachaca
Juan Montalvo	N - S	Juan José Flores	Pedro Moncayo		0,20	Estudios Antiguo Hospital UTN	28 de septiembre Chorlaví – La victoria
Pedro Moncayo	E - O	Juan Montalvo	Juan de Salinas		0,10	Salud Centro médico Ser Mujer	28 de septiembre Chorlaví – La victoria


VÍA	SENTIDO	DE:	A:		DISTANCIA (km)	RAZON DE MOVILIDAD - REFERENCIA	BUS – RUTA RECORRIDA
Juan de Salinas	S - N	Pedro Moncayo	German Grijalva		0,40	Estudios Universidad Uniandes	28 de septiembre San Antonio - Azaya
German Grijalva	E - O	Juan de Salinas	Pedro Vicente Maldonado		0,10	Estudios U.E. 28 de septiembre	28 de septiembre San Antonio - Azaya
Pedro Vicente Maldonado	N - S	German Grijalva	Pedro Moncayo		0,40	Comercial Casa de Troya	28 de septiembre Pugacho - Huertos familiares
Pedro Moncayo	E - O	Pedro Vicente Maldonado	Vicente Rocafuerte		0,10	Comercial World Computers	28 de septiembre Chorlavi – La victoria
Vicente Rocafuerte	S - N	Pedro Moncayo	Germán Grijalva		0,40	Financiero Coop. 29 de Octubre Coop. Tulcán	San Miguel de Ibarra Caranqui - Universidades
Germán Grijalva	E - O	Vicente Rocafuerte	Antonio José de Sucre		0,10	Público Contraloría General del Estado	San Miguel de Ibarra Caranqui - Universidades
Antonio José de Sucre	N - S	Germán Grijalva	Pedro Moncayo		0,40	Social Parque Pedro Moncayo Catedral Católica de Ibarra	28 de septiembre Yahuarcocha - Milagro
Pedro Moncayo	E - O	Antonio José de Sucre	Sánchez y Cifuentes		0,30	Financiero Banco del Pacífico Banco Internacional	28 de septiembre Chorlaví – La victoria

VÍA	SENTIDO	DE:	A:		DISTANCIA (km)	RAZON DE MOVILIDAD - REFERENCIA	BUS – RUTA RECORRIDA
Sánchez y Cifuentes	S - N	Pedro Moncayo	Rafael Troya		0,90	Social Parque la Merced	San Miguel de Ibarra Ejido de Caranqui – Miravalle
Rafael Troya	O - E	Sánchez y Cifuentes	Av. Víctor Manuel Peñaherrera		0,17	Salud Laboratorio Clínico Sto. Domingo	San Miguel de Ibarra Caranqui – Universidades
Av. Víctor Manuel Peñaherrera	S - N	Rafael Troya	Av. Jaime Roldós Aguilera		0,35	Social Parque Boyacá	San Miguel de Ibarra Caranqui – Universidades
Av. Jaime Roldós Aguilera	E - O	Av. Víctor Manuel Peñaherrera	Av. Cristóbal de Troya (Redondel de la policía)		0,45	Servicios Comando de Policía Nacional	San Miguel de Ibarra Caranqui – Universidades
Av. Cristóbal de Troya	N - O	Av. Jaime Roldós Aguilera	Av. Mariano Acosta (Redondel de la madre)		2,00	Comercial – Salud Antojitos Colombianos Hospital San Vicente de Paúl	28 de septiembre San Francisco - Universidades
Av. Mariano Acosta	O - E	Av. Cristóbal de Troya (Redondel de la madre)	Eugenio Espejo (Obelisco)		1,40	Comercial – Estudios Laguna Mall U.E Ibarra	28 de septiembre San Antonio - Azaya
Eugenio Espejo	N - S	Av. Mariano Acosta (Obelisco)	Alfredo Pérez Guerrero		0,10	Servicios - Comercial Estación del Ferrocarril Mercado la bahía	San Miguel de Ibarra Chugchupungo - La Florida

VÍA	SENTIDO	DE:	A:		DISTANCIA (km)	RAZON DE MOVILIDAD - REFERENCIA	BUS – RUTA RECORRIDA
Alfredo Pérez Guerrero	O - E	Eugenio Espejo (Obelisco)	Antonio José de Sucre		0,50	Comercial Tía Mercado Amazonas	28 de septiembre Pugacho - Huertos familiares
Antonio José de Sucre	N - S	Alfredo Pérez Guerrero	Av. Teodoro Gómez de la Torre		0,40	Comercial Almacenes Ferroeléctrico	28 de septiembre Pugacho - Huertos familiares
Av. Teodoro Gómez de la Torre	O - E	Antonio José de Sucre	Av. El retorno		0,40	Estudios U.E. Teodoro Gómez de la Torre	28 de septiembre San Francisco - Universidades
Av. El retorno	N - S	Av. Teodoro Gómez de la Torre	Hernán Gonzales de Saa		1,30	Servicios – Estudios Cementerio San Miguel de Ibarra U.E. Víctor Manuel Guzmán	28 de septiembre San Francisco - Universidades
Hernán Gonzales de Saa	E - O	Av. El retorno	Av. Atahualpa		0,50	Social Polideportivo Los Ceibos	San Miguel de Ibarra Ejido de Caranqui – Miravalle
Av. Atahualpa	S - N	Hernán Gonzales de Saa	Av. Teodoro Gómez de la Torre		1,30	Comercial – Servicio Cusumbos bar – Coctiki Gasolinera Jerusalén	San Miguel de Ibarra Caranqui – Aduana
Av. Teodoro Gómez de la Torre	E - O	Av. Atahualpa	Av. Heleodoro Ayala		1,10	Servicio - Social Terminal terrestre Parque de la familia	28 de septiembre Santa Rosa – Los Ceibos
Av. Heleodoro Ayala	S - N	Av. Teodoro Gómez de la Torre	Av. José Tobar y Tobar		0,10	Servicio Terminal Terrestre	28 de septiembre Pugacho – Huertos familiares
Av. José Tobar y Tobar	E - O	Av. Heleodoro Ayala	Av. Camilo Ponce Enríquez		0,40	Servicio Farmacias Económicas	Salida Buses Inter cantonales e Inter parroquiales
Av. Camilo Ponce Enríquez	S - N	Av. José Tobar y Tobar	Av. Mariano Acosta (Redondel de la madre)		0,40	Social Parque Ciudad Blanca	Salida Buses Inter cantonales e Inter parroquiales

VÍA	SENTID O	DE:	A:		DISTAN CIA (km)	RAZON DE MOVILIDAD - REFERENCIA	BUS – RUTA RECORRIDA
Av. Mariano Acosta	E - O	Av. Camilo Ponce Enríquez	Agustín Rosales		1,70	Comercial - Financiero Plaza shopping Banco Pichincha	28 de septiembre Tanguarin - Priorato

ANEXO II
PROPUESTA DE VÍAS DE MOVILIZACIÓN DE LA RUTA SUBURBANA

VÍA	SENTIDO	DE:	A:		DISTANCIA (km)	BUS – RUTA RECORRIDA
Primera zona de ruta suburbana						
Av. Mariano Acosta	E - O	Agustín Rosales	Corredor periférico sur		1,40	Buses Interparroquiales La Esperanza
Corredor periférico sur	S - N	Av. Mariano Acosta	Av. Fray Vacas Galindo		1,90	Buses Interprovinciales Quito - Tulcán
Av. Fray Vacas Galindo	S - N	Corredor periférico sur	Av. Monseñor Leónidas Proaño		1,50	Buses Interprovinciales Quito – Tulcán
Av. Monseñor Leónidas Proaño	S - N	Av. Fray Vacas Galindo	Corredor Periférico Norte		3,10	Buses Interprovinciales Quito – Tulcán
Corredor Periférico Norte	S - N	Av. Monseñor Leónidas Proaño	Av. 13 de Abril		0,90	Buses Interprovinciales Quito – Tulcán
Av. 13 de Abril	N - S	Corredor Periférico Norte	Obispo Jesús Yerovi (0.364619, -78.120017)		1,60	Buses Interprovinciales Quito - Tulcán
Segunda zona de ruta suburbana						
Panamericana E35	S - N	Puruhanta (0.389505, -78.107597)	Bifurcación Los Cañaverales		9,4	Buses Interparroquiales Campesinor

ANEXO III

CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE FUNCIÓN “AUTOMÁTICO”

```

1 #Función
2 automatico<- function(A,ensayo){
3
4 #Eliminación de corte de la ruta suburbana
5 ##Código para reconocer un punto de referencia de fin de ruta urbana
6 i=NULL
7 A_Ref_Final_Urbana= NULL
8 A_Inicio_corte = NULL
9 A_Fin_corte= NULL
10 for(i in 1:nrow(A)){
11 if(A[i, 3]>0.337061 & A[i, 2]>-78.157800 & A[i, 2]<=-78.156400){
12 A_Ref_Final_Urbana = i-1
13 break
14 }
15 }
16 ##Código para reconocer puntos de inicio y fin de corte
17 for(i in A_Ref_Final_Urbana:nrow(A)){
18 if(A[i, 3]<=0.36460 & A[i, 2]>-78.120335 & A[i, 2]<=-78.119650){
19 A_Inicio_corte = i
20 break
21 }
22 }
23 for(i in A_Inicio_corte:nrow(A)){
24 if(A[i, 3]>0.38953 & A[i, 2]>-78.108503 & A[i, 2]<=-78.106507){
25 A_Fin_corte = i-1
26 break
27 }
28 }
29 ##Eliminación de filas pertenecientes a corte
30 A<- A[-c(A_Inicio_corte:A_Fin_corte), ]
31 rownames(A)=NULL
32
33 #Nombramiento de variables
34 colnames(A)<-c("Fecha_hora_GPS", "Longitud_grados", "Latitud_grados",
35 "Altitud_m", "Rumbo_grados", "Velocidad_GPS_km_h",
36 "Fecha_Hora_Dispositivo", "Avance_Tiempo_grados",
37 "Carga_Motor_porc", "Tasa_Combustible_l_h",
38 "Par_motor_Nm", "Pos_Acelerador_porc", "P_Colector_Admission_psi",
39 "RPM_Motor_rpm", "T_Aire_Admission_C", "T_Refrigerante_Motor_C",
40 "Velocidad_OBD_km_h", "Tiempo_s")
41 #Comprobación de datos nulos
42 ##Extraigo Par motor
43 Par_motor <- A$Par_motor_Nm
44 ##Elimino Par motor del dataframe
45 A<- A[, -11]
46 ##Compruebo si hay datos nulos
47 A_Comprobar_Nulos = A[ complete.cases(A), ]
48 ##Condicional para la alarma de datos nulos
49 if(nrow(A_Comprobar_Nulos)==nrow(A)){
50 A$Alarma = "valido"
51 } else{
52 A$Alarma = "No valido"
53 }

```

```

53 #Procesamiento de variable FECHA HORA
54 library(stringr)
55 ##Creo dos variables FECHA Y HORA
56 A = cbind(A, "Fecha" = rep("0",nrow(A)), "Hora" = rep("0", nrow(A)))
57 x = NULL
58 for(x in 1:nrow(A)){
59   A[x, 19] <- substr(A[x, "Fecha_Hora_Dispositivo"], 1, 12)
60   A[x, 20] <- substr(A[x, "Fecha_Hora_Dispositivo"], 14, 21)
61 }
62 ##Elimino variables antiguas de fecha y hora
63 A <- A[ , -c(1,7)]
64 #Creación de nuevas variables
65 A = cbind(A, "N" = 1:nrow(A), "Ensayo" = rep(ensayo, nrow(A)),
66           "Par_motor_Nm"=Par_motor,"Zona"="No clasificado")
67 #Creación de la variable tiempo
68 A$Tiempo_s<- 0:(nrow(A)-1)
69 #Encero v menores o iguales a 2.5
70 A$Velocidad_GPS_km_h[A$Velocidad_GPS_km_h<=2.5] <- 0
71 #Suavizo la velocidad
72 library(zoo)
73 A$Velocidad_Suav_km_h <- round((rollapply(A$Velocidad_GPS_km_h,width=4,
74                                         FUN=mean, partial=TRUE)),2)

75 #Clasificación segun zona de trayecto por velocidades
76 i=NULL
77 for(i in 1:nrow(A)){
78   if(A[i,"velocidad_Suav_km_h"]<=60){
79     A[i,"Zona"]="Urbano"
80   } else{
81     if(A[i,"velocidad_Suav_km_h"]>60 & A[i,"velocidad_Suav_km_h"]<=90){
82       A[i,"Zona"]="Suburbano"
83     }else{
84       A[i,"Zona"]="Autopista"
85     }
86   }
87 }
88 #Ordenamiento de variables
89 A<-A[ ,c(19,17,18,20,22,15,21,6:14,1:5,23,16)]
90 #Entrego dataframe modificado
91 return(A)
92 }

```

ANEXO IV

PARÁMETROS RESUMIDOS DE RESULTADOS DE PRUEBA DE LA MAÑANA EN FUNCIÓN DE LA CLASIFICACIÓN POR VELOCIDAD INSTANTÁNEA

N°	PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	N°	PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
1.	Distancia total del trayecto	57,94	km	17.	RPAk k=urbana	0,239	m/s ²
2.	Duración total del trayecto	01:31:00	h:min:s	18.	Distancia de la parte suburbana	17,28	km
3.	Tiempo total de parada	19:35	min:s	19.	Duración de la parte suburbana	00:14.03	min:s
4.	Velocidad media del trayecto	38,13	km/h	20.	Tiempo de parada de la parte suburbana		min:s
5.	Velocidad máxima del trayecto	115,67	km/h	21.	Velocidad media de la parte suburbana	73,80	km/h
6.	Altitud en el punto de inicio del trayecto	2 219,7	m s.n.m	22.	Velocidad máxima de la parte suburbana	90	km/h
7.	Altitud en el punto final del trayecto	1 866,4	m s.n.m	23.	(V*apos) _k – [95] k=suburbana	19,958	m ² /s ³
8.	Ganancia de altitud acumulativa durante el trayecto	149,46	m/100km	24.	RPAk k=suburbana	0,148	m/s ²
9.	Masa acumulada de CO ₂	9 765,24	g	25.	Distancia de la parte autopista	17,36	km
10.	Emisiones de CO ₂ del trayecto total	168,55	g/km	26.	Duración de la parte autopista	00:10:04	min:s
11.	Distancia de la parte urbana	23,29	km	27.	Tiempo de parada de la parte autopista		min:s
12.	Duración de la parte urbana	01:07:04	h:min:s	28.	Velocidad media de la parte autopista	103,49	km/h
13.	Tiempo de parada de la parte urbana	19:35	min:s	29.	Velocidad máxima de la parte autopista	115,67	km/h
14.	Velocidad media de la parte urbana	20,84	km/h	30.	(V*apos) _k – [95] k=autopista	18,291	m ² /s ³
15.	Velocidad máxima de la parte urbana	60	km/h	31.	RPAk k=autopista	0,087	m/s ²
16.	(V*apos) _k – [95] k=urbana	11,100	m ² /s ³				

ANEXO V

INTERCAMBIO DE DATOS DE LA PRUEBA DE LA MAÑANA

N°	PARÁMETRO	VALOR
1	Id del ensayo	Prueba mañana
2	Ficha del ensayo	Día/mes/año
3	Organización que supervisa	UTN
4	Lugar del ensayo	Ibarra, Ecuador
5	Persona que supervisa el ensayo	Narváez Kevin
6	Conductor del ensayo	Pablo Narváez
7	Tipo de Vehículo	Aveo Activo
8	Fabricante del vehículo	Chevrolet
9	Año del modelo del vehículo	2011
10	ID del vehículo	8LATD5866B0061979
11	Kilometraje inicial del ensayo	149 492 km
12	Kilometraje final del ensayo	149 551 km
13	Categoría del vehículo	SEDÁN
14	Tipo de motor	Encendido por chispa
15	Potencia nominal del motor	85 kW
16	Par máximo	155 Nm
17	Cilindrada del motor	1 598 cm ³
18	Transmisión	Manual
19	Numero de marchas hacia adelante	5
20	Combustible	Combustible Extra
21	Lubricante	Aceite 10W30
22	Tamaño de los neumáticos	
23	Presión de los neumáticos de los ejes delanteros y posteriores	36 psi
24	Hora de inicio del trayecto	09h54
25	Hora de conclusión del trayecto	11h36

ANEXO VI

CONEXIÓN DE EQUIPOS



ANEXO VII

PRUEBAS EN RUTA

