



# **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**

**TEMA:  
ESTUDIO DE PATRONES DE MOVILIDAD MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE  
DATOS DE REDES DE TECNOLOGÍA MÓVIL**

**AUTOR:  
ROBINSON CARLOS CAMPUÉS IPIALES**

**DIRECTOR:  
ING. CHRISTIAN EDMUNDO LEÓN CÁRDENAS**

**Ibarra, enero 2019**

## CERTIFICADO

### ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

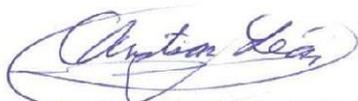
En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

### CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es “ESTUDIO DE PATRONES DE MOVILIDAD MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE DATOS DE REDES DE TECNOLOGÍA MÓVIL” presentado por el señor: Campués Ipiales Robinson Carlos con número de cédula 100383480-9, 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 31 días del mes de enero del 2019.

Atentamente;



Ing. Christian León MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



# AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

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			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100383480-9		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Campués Ipiales Robinson Carlos		
<b>DIRECCIÓN:</b>	El Tejar		
<b>EMAIL:</b>	rccampuesi@utn.edu.ec / robincampues@gmail.com		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	(06) 2 604-453	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0959463285
DATOS DE LA OBRA			
<b>TÍTULO</b>	ESTUDIO DE PATRONES DE MOVILIDAD MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE DATOS DE REDES DE TECNOLOGÍA MÓVIL		
<b>AUTORES:</b>	Campués Ipiales Robinson Carlos		
<b>FECHA:</b>	31/01/2019		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
<b>PROGRAMA:</b>	Pregrado		
<b>TITULO POR EL QUE OPTA</b>	Ingeniería en Mantenimiento Automotriz		
<b>ASESOR/DIRECTOR</b>	Ing. Christian Edmundo León Cárdenas MSc.		

## 2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 31 días del mes de enero de 2019.

**EI AUTOR:**



---

Robinson Carlos Campués Ipiales

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por estar siempre a mi lado y que fueron mi apoyo incondicional en todo momento, que me supieron guiar por el camino correcto con cariño y amor, en los buenos y malos momentos de la vida.

A mis hermanas, con quien compartí mi infancia, por estar siempre a mi lado siendo ellas mi inspiración para superarme cada día.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme la fortaleza, paciencia y sabiduría para poder cumplir todos los objetivos que me he impuesto a lo largo de mi vida.

A la Universidad Técnica de Norte por brindarme los conocimientos necesarios para prepararme como profesional y a mis maestros por impartir su sabiduría con confianza y dedicación.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

		PÁGINA
<b>RESUMEN</b>		<b>xii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>		<b>xiv</b>
<b>1</b>	<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>1</b>
1.1	Antecedentes	1
1.2	Planteamiento del problema	2
1.3	Objetivos	3
1.3.1	Objetivo general	3
1.3.2	Objetivos específicos	3
1.4	Alcance	3
1.5	Justificación	4
1.6	Transporte	5
1.6.1	Clases de transporte terrestre	5
1.6.2	Transporte interprovincial	8
1.7	Carretera Panamericana Norte E35	10
1.8	Patrones de conducción	11
1.9	Factores que afectan los patrones de conducción	12
1.9.1	Tipo de vía	12
1.9.2	Tipo de vehículo	13
1.9.3	Horario	13
1.9.4	Modo de conducción	14
1.10	Ciclos de conducción	15
1.10.1	Ciclos de conducción estacionarios	16
1.10.2	Ciclos de conducción transitorios	17
1.11	Ciclos de conducción estándar	18
1.12.	Técnicas para la obtención de ciclos de conducción	21
1.12.1	On-Board	22
1.12.2	Persecución del vehículo	23
1.13	Equipos de rastreo satelital	24
1.14	Factores que afectan al consumo de combustible	25
1.14.1	Conductor	26
1.14.2	Situación Geográfica	26

1.14.3	Tecnología del motor	27
1.15	Emisiones vehiculares	28
1.15.1	Monóxido de carbono (CO)	29
1.15.2	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	30
1.15.3	Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	31
1.15.4	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	31
1.15.5	Compuestos orgánicos volátiles (COV)	32
1.15.6	Material particulado (MP)	33
1.16	Tratamiento de gases de escape	33
1.17	Normativa de emisión	35
<b>2</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>37</b>
2.1	Desarrollo de la investigación	37
2.2	Caracterización de buses interprovinciales Ibarra-Tulcán	38
2.2.1	Condiciones previas	38
2.2.2	Caracterización	39
2.2.3	Frecuencia de los buses interprovinciales	39
2.2.4	Frecuencia de los buses interprovinciales de salida desde Ibarra	41
2.2.5	Frecuencia de los buses interprovinciales de salida desde Tulcán	41
2.3	Selección de dispositivo de seguimiento GPS	42
2.3.1	Variables y parámetros de la cinemática del vehículo	43
2.3.2	GPS GL-770	44
2.4	Planificación para levantamiento de datos	46
2.4.1	Encuestas	46
2.4.2	Análisis de horarios y días	49
2.5	Levantamiento de datos	51
2.5.1	Recolección de datos de recorrido Ibarra-Tulcán	51
2.5.2	Recolección de datos de recorrido Tulcán-Ibarra	52
2.6	Extracción y lectura de datos obtenidos	52
2.7	Almacenamiento de los datos	54
2.8	Elaboración de base de datos	55
2.9	Procesamiento de datos	56
2.9.1	Lectura de datos	57
2.9.2	Limpieza de datos	58
2.9.3	Creación de variables cinemáticas	59
2.9.4	Cálculo de las variables cuantitativas	60

2.9.5	Unión de data frames	64
2.9.6	Creación y cálculo de las variables para el análisis de resultados en RStudio	65
2.9.7	Cálculo de las características cinemáticas de los buses interprovinciales Ibarra-Tulcán	70
2.9.8	Cálculo cinemático en curvas de alto riesgo	74
<b>3</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>81</b>
3.1	Proceso de análisis de resultados	81
3.2	Análisis cinemático de los estados de conducción de los buses interprovinciales	81
3.2.1	Estados de conducción por días	81
3.2.2	Estados de conducción por edad del conductor	85
3.2.3	Estados de conducción por zonas	86
3.2.4	Estados de conducción por operadora	90
3.3	Análisis cinemático de la velocidad máxima y promedio de los buses interprovinciales	91
3.3.1	Velocidad máxima y promedio por días	92
3.3.2	Velocidad máxima y promedio por edad del conductor	93
3.3.3	Velocidad máxima y promedio por zonas	95
3.3.4	Velocidad máxima y promedio por operadora	96
3.4	Análisis cinemático de la aceleración y desaceleración máxima de los buses interprovinciales	98
3.4.1	Aceleración y desaceleración máxima por día	98
3.4.2	Aceleración y desaceleración máxima por edad del conductor	99
3.4.3	Aceleración y desaceleración máxima por zonas	100
3.4.4	Aceleración y desaceleración máxima por operadora	101
3.5	Análisis cinemático de la aceleración y desaceleración promedio de los buses interprovinciales	101
3.5.1	Aceleración y desaceleración promedio por día	102
3.5.2	Aceleración y desaceleración promedio por edad del conductor	102
3.5.3	Aceleración y desaceleración promedio por zonas	103
3.5.4	Aceleración y desaceleración promedio por operadora	104
3.6	Análisis de nivel de consumo de combustible	105
3.6.1	Análisis de nivel de consumo de combustible por días	106
3.6.2	Análisis de nivel de consumo de combustible por edad del conductor	107
3.6.3	Análisis de nivel de consumo de combustible por zonas	108
3.6.4	Análisis de nivel de consumo de combustible por operadora	109
3.7	Análisis de equilibrio dinámico de buses interprovinciales en curvas de alto riesgo	109

<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>114</b>
4.1.	Conclusiones	115
4.2.	Recomendaciones	116
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>118</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>122</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA NÚM.</b>	<b>PÁGINA</b>
1.1 Horas de mayo congestión vehicular en el día	13
1.2 Límite máximo de emisiones para motor de diésel (ciclos americanos)	35
1.3 Límite máximo de emisiones para motor de diésel (ciclos europeos)	36
1.4 Límites máximos de opacidad de fuentes móviles con motor de diésel	36
2.1 Características de buses de la cooperativa Expreso Turismo	39
2.2 Horario de salida desde el Terminal de Ibarra	41
2.3 Horario de salida desde Terminal Terrestre de Tulcán	42
2.4 Características generales de dispositivos con GPS	43
2.5 Respuestas jornada de la mañana horario Ibarra-Tulcán	47
2.6 Respuestas jornada en el medio día horario Ibarra-Tulcán	47
2.7 Respuestas Jornada de la tarde horario Ibarra-Tulcán	47
2.8 Respuestas jornada de la mañana horario Tulcán-Ibarra	48
2.9 Respuestas jornada del medio día horario Tulcán-Ibarra	48
2.10 Respuestas jornada de la tarde horario Tulcán-Ibarra	49
2.11 Respuestas días de mayor afluencia de personas ruta Ibarra-Tulcán	49
2.12 Cuadro de planificación para el levantamiento de datos	50
2.13 Distribución de zonas por longitud y latitud	67
2.14 Latitud y longitud de curvas de alto riesgo	75
3.1 Total de equilibrio dinámico en curvas recorrido Ibarra-Tulcán	111
3.2 Total de equilibrio dinámico en curvas recorrido Tulcán-Ibarra	113

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM.		PÁGINA
1.1	Clases de transporte terrestre	6
1.2	Bus interprovincial del Ecuador	8
1.3	Distribución de unidades del transporte público interprovincial del Ecuador	9
1.4	Carretera Ibarra-Tulcán	10
1.5	Ejemplo de patrones de conducción	11
1.6	El ciclo de conducción para EVs generado en Beijing	16
1.7	Ejemplo de un ciclo Modal	17
1.8	Ejemplo de ciclo transitorio	18
1.9	Ciclo de conducción NEDC	19
1.10	Ciclo de conducción FTP	20
1.11	Ciclo de conducción HWFET	20
1.12	Ciclo de conducción JC08	21
1.13	Comparación de los ciclos de conducción	22
1.14	Ciclo de conducción de Singapur SDC y ciclo NEDC	24
1.15	Aplicación Android MyCarTracks	25
1.16	Cambio de la economía del combustible, el peso y la potencia 1975-2017	27
1.17	Ciclo de funcionamiento de un motor diésel	28
1.18	Depuración catalítica de un catalizador de tres vías	33
1.19	Sistema EGR	34
1.20	Catalizador de oxidación diésel	34
2.1	Metodología para el desarrollo de la investigación	37
2.2	GPS Recorder GL-770	45
2.3	Información recibida de GPS Recorder GL-770 en Transystem Inc.	46
2.4	Recorrido de un bus interprovincial Ibarra-Tulcán mostrado de Google Earth	51
2.5	Datos del dispositivo GPS mostrados en LogView	53
2.6	Mapa de Google mostrado a través de Log View	53
2.7	Formatos para guardar en el PC datos del dispositivo GPS	54
2.8	Asignación de letras y numeros para cada seguimiento	55
2.9	Formato de datos del lunes con recorrido Ibarra-Tulcán y Tulcán-Ibarra	56
2.10	Codigo de programación de R para leer datos (.csv) desde la carpeta guardada	57

<b>2.11</b>	Ejemplo de datos (.csv) leídos del día lunes	57
<b>2.12</b>	Código de programación de R para eliminación de filas en data frame	58
<b>2.13</b>	Código de programación de R para la selección de columnas en RStudio	58
<b>2.14</b>	Código de programación de R para cambiar el nombre a las columnas	59
<b>2.15</b>	Data frame eliminado filas y columnas con sus respectivos nombres	59
<b>2.16</b>	Código de programación de R para la creación de nuevas variables utilizando cbind	60
<b>2.17</b>	Código de programación de R para la transformación de las variables a numérico	60
<b>2.18</b>	Código de programación de R para calcular la aceleración	61
<b>2.19</b>	Código de programación de R para el estado de ralentí	62
<b>2.20</b>	Código de programación de R para velocidad crucero	62
<b>2.21</b>	Código de programación de R para la aceleración	63
<b>2.22</b>	Código de programación de R para la desaceleración	63
<b>2.23</b>	Valores de los estados de operación	64
<b>2.24</b>	Código de programación de R para la unión de data frame por días	64
<b>2.25</b>	Código de programación de R para la unión por semanas	65
<b>2.26</b>	Código de programación de R para la unión de data frame en una sola tabla	65
<b>2.27</b>	Código de programación de R para la creación de variables cualitativas y cuantitativas	66
<b>2.28</b>	Zonificación de la ruta Ibarra-Tulcán	66
<b>2.29</b>	Código de programación de R para la distribución de las zonas de la ruta Ibarra-Tulcán	68
<b>2.30</b>	Código de programación de R para la creación de la variable cualitativa edad	68
<b>2.31</b>	Código de programación de R para la creación de la variable cualitativa día	69
<b>2.32</b>	Código de programación de R para el cálculo de las variables cuantitativas acelera y desacelera	69
<b>2.33</b>	Código de programación de R para calcular porcentaje de permanencia de ralentí	70
<b>2.34</b>	Código de programación de R para calcular porcentaje de permanencia de crucero	71
<b>2.35</b>	Código de programación de R para calcular porcentaje de permanencia de ralentí	71
<b>2.36</b>	Código de programación de R para calcular porcentaje de permanencia de desaceleación	71
<b>2.37</b>	Código de programación de R para calcular la velocidad máxima	72

<b>2.38</b>	Código de programación de R para calcular la velocidad promedio	72
<b>2.39</b>	Código de programación de R para calcular la aceleración máxima	73
<b>2.40</b>	Código de programación de R para calcular la aceleración promedio	73
<b>2.41</b>	Código de programación de R para calcular la desaceleración máxima	74
<b>2.42</b>	Código de programación de R para calcular la desaceleración promedio	74
<b>2.43</b>	Código de programación de R para selección de las curvas	76
<b>2.44</b>	Código de programación de R para cálculo de velocidad promedio en curvas	76
<b>2.45</b>	Cuerda y flecha de la curva medida en Google Eart	77
<b>2.46</b>	Cálculo en Excel del radio de la curva	78
<b>3.1</b>	Permanencia en ralentí por días	82
<b>3.2</b>	Permanencia en cruceo por días	83
<b>3.3</b>	Permanencia en aceleración por días	84
<b>3.4</b>	Permanencia en desaceleración por días	85
<b>3.5</b>	Permanencia de estados de conducción por edad del conductor	86
<b>3.6</b>	Permanencia en ralentí por zonas	87
<b>3.7</b>	Permanencia de cruceo por zonas	88
<b>3.8</b>	Permanencia de aceleración por zonas	89
<b>3.9</b>	Permanencia de desaceleración por zonas	90
<b>3.10</b>	Estados de conducción por operadora	91
<b>3.11</b>	Velocidad máxima por días	92
<b>3.12</b>	Velocidad promedio por días	93
<b>3.13</b>	Velocidad máxima por edad del conductor	94
<b>3.14</b>	Velocidad promedio por edad del conductor	94
<b>3.15</b>	Velocidad máxima por zonas	95
<b>3.16</b>	Velocidad promedio por zonas	96
<b>3.17</b>	Velocidad máxima por operadora	97
<b>3.18</b>	Velocidad promedio por operadora	97
<b>3.19</b>	Aceleración y desaceleración máxima por días	98
<b>3.20</b>	Aceleración y desaceleración máxima por edad del conductor	99
<b>3.21</b>	Aceleración y desaceleración máxima por zonas	100
<b>3.22</b>	Aceleración y desaceleración máxima por operadora	101
<b>3.23</b>	Aceleración y desaceleración promedio por días	102
<b>3.24</b>	Aceleración y desaceleración promedio por edad del conductor	103

<b>3.25</b>	Aceleración y desaceleración por zona	104
<b>3.26</b>	Aceleración y desaceleración promedio por operadora	105
<b>3.27</b>	Nivel de consumo de combustible por días	106
<b>3.28</b>	Nivel de consumo de combustible por edad del conductor	107
<b>3.29</b>	Nivel de consumo de combustible por zonas	108
<b>3.30</b>	Nivel de consumo de combustible por operadora	109
<b>3.31</b>	Equilibrio dinámico en curvas recorrido Ibarra-Tulcán	110
<b>3.32</b>	Equilibrio dinámico en curvas recorrido Tulcán-Ibarra	112

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>ECUACIÓN NÚM.</b>		<b>PÁGINA</b>
<b>1.1</b>	Combustión de un MCI	28
<b>1.2</b>	Formación del Monóxido de carbono (CO)	29
<b>1.3</b>	Formación del Óxido de nitrógeno	31
<b>2.1</b>	Cálculo del radio de la curva	77
<b>2.2</b>	Fuerza centrífuga	78
<b>2.3</b>	Fuerza de resistencia con peso	78
<b>2.4</b>	Fuerza de resistencia con masa y gravedad	79
<b>2.5</b>	Igualdad fuerza centrífuga y fuerza de resistencia	79
<b>2.6</b>	Igualdad fuerza centrífuga y fuerza de resistencia sin masa	79
<b>2.7</b>	Igualdad fuerza centrífuga y fuerza de resistencia con peralte	80
<b>2.8</b>	Coefficiente de fricción máxima logitudinal	80
<b>2.9</b>	Igualdad fuerza centrífuga y fuerza de resistencia con coeficiente máximo	80

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO</b>		<b>PÁGINA</b>
<b>NÚM.</b>		
<b>1.</b>	Herramientas Utilizadas en la investigación	123
<b>2.</b>	Tablas de resultados	125
<b>3.</b>	Curvas seleccionadas de la ruta Ibarra-Tulcán	129

## RESUMEN

Los ciclos de conducción son curvas de velocidad vs tiempo que contienen los patrones típicos de conducción en una ruta seleccionada. Los patrones de conducción determinados de manera local ayudan a la evaluación de consumo del combustible y emisiones vehiculares. En el presente trabajo de investigación se determinará los ciclos de conducción para los buses interprovinciales que circulan por la ruta Ibarra-Tulcán para calcular los estados de conducción de acuerdo con diferentes variables. Se realizó una caracterización de los buses interprovinciales Ibarra-Tulcán. La recolección de datos se realizó mediante el dispositivo GPS GL-770 seleccionado previamente, que recolectó datos de velocidad, aceleración, trayectoria y posición de los buses interprovinciales con frecuencia de muestreo de 1 HZ, características adecuadas para la investigación. Se realizó una planificación de los días y las horas para realizar el levantamiento de datos mediante encuestas dirigidas a los conductores de los buses interprovinciales para conocer las horas oportunas de las pruebas de campo. Los datos recolectados fueron cargados a RStudio que es un software de estadística y gráficos que maneja grandes cantidades de datos, en el cual se realizó la limpieza, tratamiento y cálculos de variables cualitativas y cuantitativas mediante códigos. También, se realizó cálculos del comportamiento que tienen los buses interprovinciales en las curvas a partir de la velocidad promedio y el radio de la curva que se obtuvo con Google Earth, para analizar si circulan con una conducción segura o insegura. Los estados de conducción se analizaron en función de los días de la semana, la edad del conductor, las zonas de la ruta y la operadora. Los resultados muestran que no se encontró diferencias relevantes con respecto a los días, la edad del conductor y la operadora, sin embargo, se puede apreciar que por zona los estados varían, en la zona 3 y 5 en ralentí se tiene 1,86 % y 29,86 %, cruce 28,56 % y 20,36 %, aceleración 37,59 % y 26,49 % y desaceleración 31,97 % y 23,27 % respectivamente para cada zona, lo que indica cambios considerables en la topografía de la carretera. La velocidades máximas y promedio para cada variable no tienen cambios notables al igual que en aceleraciones y desaceleraciones máximas y promedios. Con respecto al equilibrio dinámico en curvas en el recorrido Ibarra-Tulcán y Tulcán-Ibarra se presenta un 61,11 % y 66,67 % de conducción insegura respectivamente.

## ABSTRACT

Driving cycles are speed vs. time curves that show typical driving patterns of a selected city or route. Locally determined, driving patterns help to evaluate fuel consumption and vehicle emissions. This research determined the driving cycles for the interprovincial buses that circulate in the route Ibarra-Tulcán in order to calculate the driving states according to different variables. A characterization of the Ibarra-Tulcán interprovincial buses was carried out. Data collection was performed using the previously selected GPS GL-770 device, which collects data on speed, acceleration, trajectory and position of interprovincial buses with a sampling frequency of 1 HZ that are suitable for this research. A plan was made of the days and hours to carry out the data collection through surveys directed to the drivers of the interprovincial buses to know the schedule for the field tests. Collected data was uploaded to RStudio, which is a statistical and graphics software that handles large amounts of data, in which the cleaning, processing and calculation of qualitative and quantitative variables were carried out using codes. Also, the behavior of interprovincial buses was analyzed in the curves along the route, based on the average speed and radius of the curve obtained with Google Earth, to analyze whether they travel with safe or unsafe driving speeds. The driving states were analyzed according to the days of the week, the age of the driver, the areas of the route and the operator. The results show that no relevant differences were found with respect to the days, the age of the driver and the operator, however, it can be seen that by zone the states vary, in zone 3 and 5, at idle there is 1.86 % and 29.86 %, cruise 28.56 % and 20.36 %, acceleration 37.59 % and 26.49 % and deceleration 31.97 % and 23.27 % respectively for each zone, which indicates considerable changes in the topography of the road. The maximum and average speeds for each variable do not have significant changes as in acceleration and deceleration maximum and average. With respect to the dynamic balance in curves in the Ibarra-Tulcán and Tulcán-Ibarra route, 61.11 % and 66.67 % of unsafe driving respectively.

## INTRODUCCIÓN

El presente estudio está enfocado en la recolección de patrones de movilidad mediante la utilización de tecnología móvil GPS para los buses interprovinciales con ruta Ibarra-Tulcán. Esta investigación se encuentra dividida en cuatro capítulos que permiten un adecuado desarrollo de la investigación con el fin de obtener buenos resultados de la cinemática de los buses interprovinciales Ibarra-Tulcán. El primer capítulo está compuesto de la problemática relacionada a los buses interprovinciales que general contaminación por el consumo de combustible al no conocer los ciclos de conducción en esa ruta. También se describen los objetivos de la investigación con el alcance de estos y finalmente la fundamentación teórica relacionada con información de transporte público, ciclos de conducción, dispositivos GPS, normativas de transporte público que se obtuvo a partir de libros, artículos científicos, sitios web, documentos electrónicos, etc., que se necesitan para consolidar el desarrollo de la investigación y establecer la metodología adecuada para el estudio. El siguiente capítulo trata de la metodología de la investigación el cual está compuesto por 7 pasos que van desde la caracterización de los buses interprovinciales Ibarra-Tulcán con la frecuencia de sus viajes, la planificación del levantamiento de datos mediante encuestas dirigidas a los conductores y el almacenamiento de los datos con los cálculos de las variables cuantitativas y cualitativas obtenidos del rastreo de los buses en su recorrido diario para poder determinar los estados de conducción. En el tercer capítulo se encuentran los resultados de la investigación de los cálculos presentados en el anterior capítulo analizando los estados de conducción, las velocidades máximas y mínimas, las aceleraciones máximas y mínimas de acuerdo con diferentes variables relevantes para la investigación. También, se realiza un análisis del equilibrio dinámico en curvas de los buses interprovinciales con respecto a su velocidad y por último se tiene el cuarto capítulo que envuelve las conclusiones y recomendaciones.

# CAPÍTULO I

## 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 ANTECEDENTES

Durante los últimos años existe la preocupación del consumo excesivo de combustible de los automóviles que provoca altos niveles de contaminación ambiental en las ciudades. El aumento vehicular ha hecho que el aire posea niveles de partículas contaminantes por encima del límite de seguridad para mantener la salud humana. Un ciclo de conducción es un perfil de velocidad y tiempo útil para estimar el consumo de combustible en tiempo real de acuerdo con las características geográficas en las que se encuentran circulando los vehículos.

El transporte público es un medio alternativo que se puede usar en lugar de los vehículos particulares, pero debido al tráfico vehicular y otros factores que afectan al consumo de combustible los operadores de autobuses necesitan optimizar sus recursos por lo que es indispensable un estudio de la cinemática de las rutas de los autobuses con el fin de obtener los ciclos de conducción.

Existen organizaciones que se encargan de realizar estas pruebas bajo normativas que establecen los niveles de emisiones aceptables de los vehículos. Las más importantes son: La comunidad europea (CE) y la Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos de América (EPA-US). Estas organizaciones colaboran con empresas automotrices como por ejemplo la Sociedad de Ingenieros Automotrices.

Un ciclo de conducción son las variaciones de velocidades en función del tiempo, lo que manifiesta la forma típica de conducir dentro o fuera de una ciudad, analizando el comportamiento del automóvil bajo condiciones geográficas y condiciones ambientales de la ciudad. (Cárcamo, García, & Medina, 2014, pág. 6)

Con los ciclos de conducción se puede conseguir las características de conducción como pueden ser el tiempo de ralentí, la velocidad y aceleración media. El ciclo de manejo es utilizado para estudios de consumo de combustible, homologación vehicular, desarrollo de nuevos vehículos, planes de desarrollo de ciudades y planes de equilibrio ecológico, etc.

El uso de los ciclos de conducción con ayuda de sistema de posicionamiento global (GPS) según estudios realizados muestra que la aceleración afecta en el consumo de combustible. El uso de ciclo de conducción da como resultado de 8 a 12 % más precisión para estimar el

consumo de combustible en comparación con casos donde no se considera el efecto de la aceleración. (Ramadurai & Reddy Kancharla, 2018, pág. 2)

Existen varias investigaciones para obtener los ciclos de conducción y organizaciones que se encargan de realizar normativas como es el ciclo de prueba europeo (ECE) o el nuevo ciclo de conducción europeo (NEDC), sin embargo, es necesario realizar pruebas individuales por área debido a que las características de conducción varían de una ciudad a otra. (Achour & Olabi, 2016, pág. 1780)

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En distintas ciudades del Ecuador se puede observar la presencia de contaminación ambiental causada por la utilización de vehículos particulares y de transporte. La contaminación existente se debe a tres causas: la baja calidad de combustible existente en el país, la topografía de la ciudad y el congestionamiento vehicular. La contaminación es generada principalmente por los buses de transporte público que circulan a diario.

Debido a que el combustible es de bajo costo porque son subsidiados por el gobierno las personas muestran preferencia por los vehículos particulares esto genera un aumento en la contaminación y, además, dejando a un lado el uso de transporte masivo y solo haciendo uso las personas de escasos recursos económicos. (Rosero, León, Mera, & Rosero, 2017, pág. 3) Otro de los problemas de la contaminación es causado por los buses interprovinciales que recorren grandes distancias y los conductores manejan de manera inadecuada causando consumo excesivo de combustible por tanto emitiendo altos niveles de gases contaminantes en su recorrido.

Actualmente no existen ciclos de conducción que representen la manera típica de conducir de los buses interprovinciales de la ruta Ibarra-Tulcán y para la homologación de vehículos a diésel utilizan ciclos europeos y americanos las cuales no están en conformidad con la topografía del país.

El estudio se basa en el análisis de las características cinemáticas de los buses interprovinciales de la ruta Ibarra-Tulcán para establecer un ciclo de conducción que ayudará a establecer el consumo de combustible, las emisiones contaminantes y controlar el modo de conducción, lo que aporta al Plan Nacional del Buen Vivir en el ámbito de gestión ambiental de la calidad del aire de las ciudades del Ecuador.

También es importante señalar que las investigaciones para obtener los ciclos de conducción se han realizado con vehículos particulares, lo cual es distinto a la forma de manejo de los buses de servicio público.

### **1.3 OBJETIVOS**

En el trabajo de investigación los objetivos corresponden a lo que se desea llegar mediante la ejecución de actividades que permitan lograr el propósito de la investigación.

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Estudiar los patrones de movilidad mediante la utilización de datos de redes de tecnología móvil.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir la metodología para el levantamiento de información de las características cinemáticas de la ruta de autobuses interprovinciales Ibarra-Tulcán.
- Seleccionar un dispositivo móvil para la obtención de datos de posición, trayectoria, velocidad y aceleración en autobuses interprovinciales en la ruta Ibarra-Tulcán.
- Elaborar una base de datos de la información recolectada de las características cinemáticas de la ruta de autobuses Ibarra-Tulcán.
- Determinar los porcentajes de tiempo de cada estado de marcha de los autobuses para el análisis de consumo de combustible.

### **1.4 ALCANCE**

El presente trabajo de investigación tiene como fin el análisis de las características cinemáticas de los buses interprovinciales con ruta Ibarra-Tulcán por lo que el trabajo de

grado consta desde la recolección de datos hasta el cálculo de porcentaje de tiempo de cada estado de marcha durante el recorrido del bus.

Los autobuses con los que se realizará el análisis son todo aquellos que cumplen la ruta de Ibarra-Tulcán. La recolección de datos se realizará con la implementación de un dispositivo de rastreo móvil seleccionado previamente, el cual arrojará datos de posición, trayectoria, velocidad y aceleración durante toda la ruta en el transcurso del día.

Se establecerá condiciones metodológicas para la selección de los buses interprovinciales de la ruta Ibarra-Tulcán de acuerdo con el horario, frecuencia, número y los días para un mejor análisis de los datos que serán recolectados.

Con la ayuda de un software se elaborará una base de datos de las características cinemáticas de los buses interprovinciales con lo que será posible calcular el tiempo promedio de permanecía de cada marcha y analizar la relación con los tiempos de viaje y el consumo de combustible.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

Los buses de transporte público son considerados como un medio de transporte ecológico, a pesar de que los vehículos pesados con motores Diesel son responsables del 45 % de las emanaciones de óxido de nitrógeno y el 74 % de material particulado. (Armijos & Cueva, 2017, pág. 1)

Pese a que existe una revisión de las flotas vehiculares para analizar si cumplen con el bajo consumo de combustible y el menor nivel de emisiones ninguno de estos se ha hecho con ciclos de conducción que reflejen como varía la velocidad en función del tiempo en un sector o ruta específica. Esto se debe a que una región con otra varía en función del diseño de la carretera, tipo de intersecciones, tipo de vecindario local y las condiciones de tráfico. (Palomeque & Navas, 2017, pág. 1)

El ciclo de conducción de los buses interprovinciales es diferente a los vehículos particulares debido a la forma en que trabaja este tipo de transporte. El representar de manera adecuada los ciclos de conducción permitirá relacionar como se encuentra el consumo de combustible y el nivel de gases contaminantes que emiten.

Este estudio está orientado al análisis de las características cinemáticas de la ruta de buses interprovinciales Ibarra-Tulcán para poder obtener datos de los ciclos de conducción que

describan la forma típica de conducir en dicha ruta, lo que permitirá contribuir a la reducir el consumo de combustible y por ende las emisiones contaminantes.

## **1.6 TRANSPORTE**

El transporte tiene como fin trasladar a personas, objetos o animales a su destino desde su origen por medio de infraestructura vial, como son las carreteras previamente establecidas que pasan por distintos sitios de una ciudad.

Se lo puede llamar como un contrato en el cual las personas pagan cierto precio al operador del transporte con el fin de hacer uso del servicio trasladándolos al destino. En el Ecuador el transporte es controlado por empresas privadas pero el gobierno también interviene en ellas para la regulación y control del transporte.

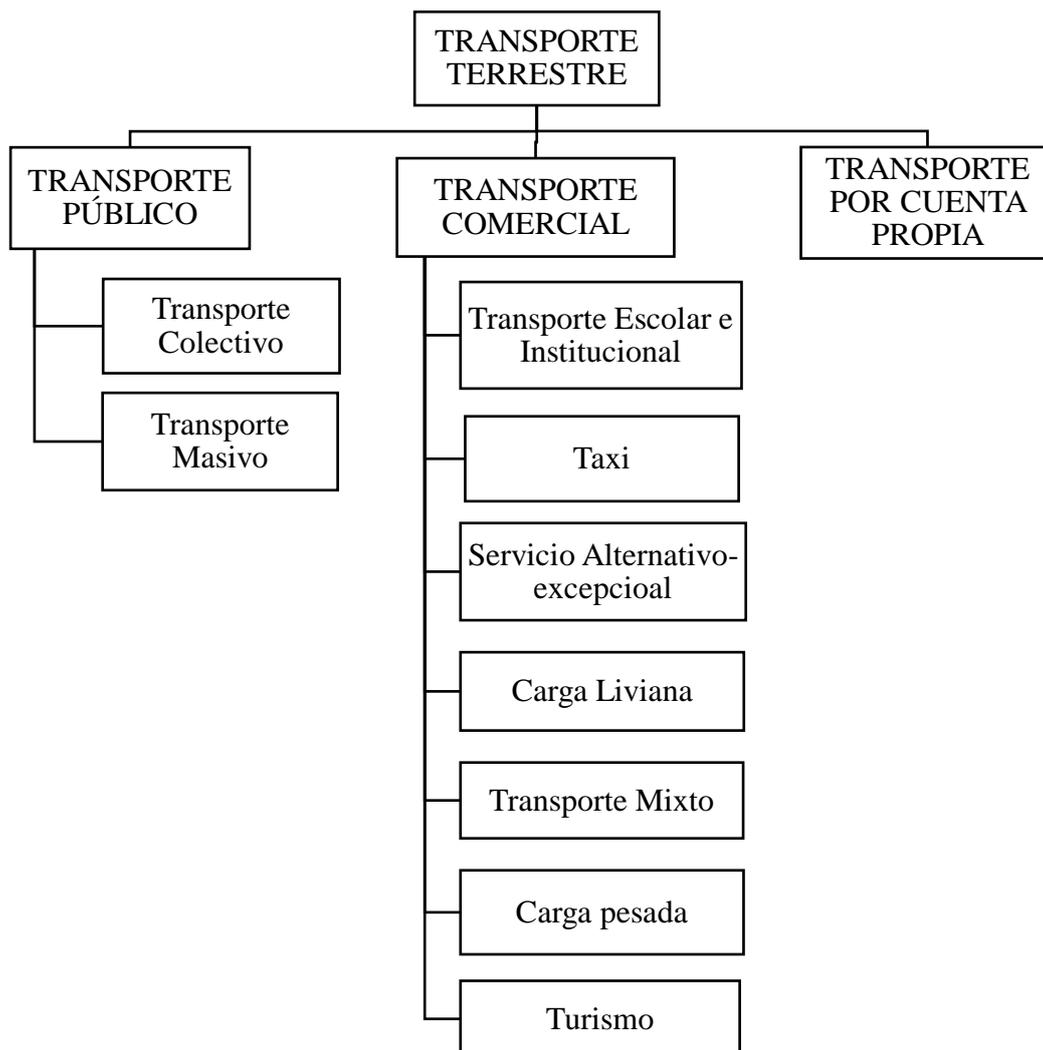
### **1.6.1 CLASES DE TRANSPORTE TERRESTRE**

Para que las personas puedan trasladarse dentro de la ciudad existen varias opciones de transporte del que pueden hacer uso dependiendo de las circunstancias y tiempo en las que se encuentre o al lugar al de destino.

De acuerdo con la ley orgánica de transporte terrestre tránsito y seguridad vial, establece las siguientes clases de servicio de transporte terrestre:

- Publico
- Comercial
- Por cuenta propia

En la siguiente grafica se muestra los vehículos permitidos de acuerdo con las clases de transporte terrestre.



**Figura 1.1** Clases de transporte terrestre

En la Figura 1.1 se presenta la clasificación del transporte terrestre de acuerdo con la ley orgánica de transporte terrestre tránsito y seguridad vial. A continuación, se define los diferentes tipos de transporte de acuerdo con la clasificación anterior:

- Transporte colectivo. Traslada a personas de manera colectiva con estructura exclusiva o no, ajustándose a diferentes horarios, frecuencias y rutas para transportar al mayor número de personas a su destino.
- Transporte masivo. Traslada a personas de manera masiva con estructura exclusiva, ajustándose a diferentes horarios, frecuencias y rutas para transportar al mayor número de personas a su destino.

- Transporte escolar. Es un medio de transporte para llevar a las diferentes instituciones educativas a estudiantes de primaria y secundaria. Estos buses se caracterizan por ser de color amarillo de tamaño medio o pequeño.
- Taxi. Es un transporte publico personalizado con capacidad de hasta 4 pasajeros que lleva al lugar exacto a dónde quieres ir a un precio más alto que el transporte público convencional (autobús). También, al adquirir el servicio va incluido el conductor el cual tiene la obligación de movilizar a las personas al lugar que desean.
- Servicio alternativo-excepcional. Consiste en trasladar a terceras personas hacia su destino sin afectar el transporte público y son regulados por el municipio.
- Carga liviana. Consiste en llevar productos y mercadería, para beneficiar al desarrollo de la ciudad. El vehículo debe tener una capacidad de hasta 3.5 toneladas con la seguridad adecuada.
- Transporte mixto. Consiste en el transporte de personas y sus bienes desde un lugar a otro. El vehículo debe tener una capacidad de hasta 1.2 toneladas
- Carga pesada. Consiste en llevar productos y mercadería en vehículos con una capacidad de más de 3.5 toneladas con la seguridad adecuada
- Turismo. Consiste en el traslado de personas dentro del territorio nacional con motivo exclusivo de turismo.
- Transporte por cuenta propia. Es el medio de transporte que está registrado a nombre de una persona y es utilizado para su propio transporte o de mercancía dentro y fuera de la ciudad con fines personales o de negocios.

Con respecto al transporte público de autobuses de pasajeros, varias personas comparten el mismo medio de movilización. Se ajustan a los diferentes horarios, frecuencias y rutas para transportar al mayor número de personas al destino que desean. Por todo esto, se tiene el transporte público de pasajeros de tipo: intracantonal, intraprovincial, intrarregional e interprovincial, internacional y fronterizo.

El servicio intracantonal circulan dentro de un cantón por zonas urbanas y rurales encargándose de transportar a las personas desde su origen hacia su destino por distintas rutas, horarios y frecuencias.

El servicio intraprovincial trasladan a las personas de un cantón a otro dentro de misma provincia. Los buses interprovinciales transportan a los pasajeros de una provincia a otra dentro de los límites ecuatorianos. Estos medios de transporte son controlados por la Agencia

Nacional del Transporte Terrestre, Transito y Seguridad Vial con el fin de impedir monopolios del transporte público.

### **1.6.2 TRANSPORTE INTERPROVINCIAL**

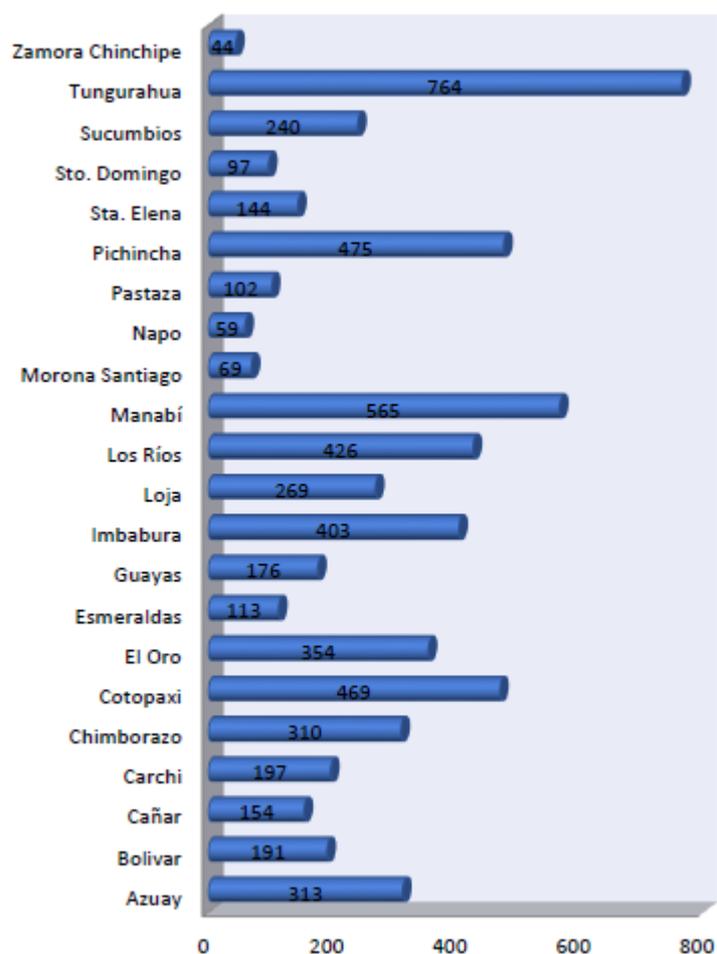
Es un servicio de transporte público el cual cumple el trabajo de trasladar a personas y mercancía de una provincia a otra dentro del territorio nacional. Este servicio es controlado por la Agencia Nacional de Transporte Terrestre, Transito y Seguridad Vial.

El transporte interprovincial es un servicio muy necesario que usas las personas que no pueden adquirir un vehículo propio por sus posibilidades limitadas y ven el transporte interprovincial un método económico para trasladarse.



**Figura 1.2** Bus interprovincial del Ecuador  
(Manjarrés & Santillán, 2016, pág. 15)

En la Figura 1.2 se puede apreciar un bus de transporte público tipo interprovincial. En el Ecuador contamos con 174 empresas que prestan este tipo de servicio de las cuales 138 son cooperativas de transporte y 36 compañías de transporte. A nivel nacional existen 5 934 unidades de buses destinadas al transporte publico interprovincial las cuales se encuentran asignadas en 22 de las 24 provincias del Ecuador. Esto se debe a que en Galápagos y Orellana no tienen cooperativas de transporte interprovincial trabajando oficialmente. (Collaguazo & Santamaría, 2014, pág. 14)



**Figura 1.3** Distribución de unidades del transporte público interprovincial del Ecuador (Bone, Castillo, & Sandoval, 2015, pág. 50)

En la Figura 1.3 se muestra la cantidad de unidades interprovinciales distribuidas en cada provincia. La provincia de Tungurahua es la que tienen mayor número de unidades con 764. Mientras que las provincias de Imbabura y Carchi tienen 403 y 197 respectivamente.

A diario 1 132 000 personas viajan en buses de tipo interprovinciales dentro de los territorios nacionales del país. El servicio cuenta con 3 062 rutas y 142 600 frecuencias. La ruta es el recorrido que realiza desde una provincia hacia otra y la frecuencia es el número de unidades que realizan el recorrido con un horario establecido por la empresa de transporte. (Bone, Castillo, & Sandoval, 2015, pág. 49)

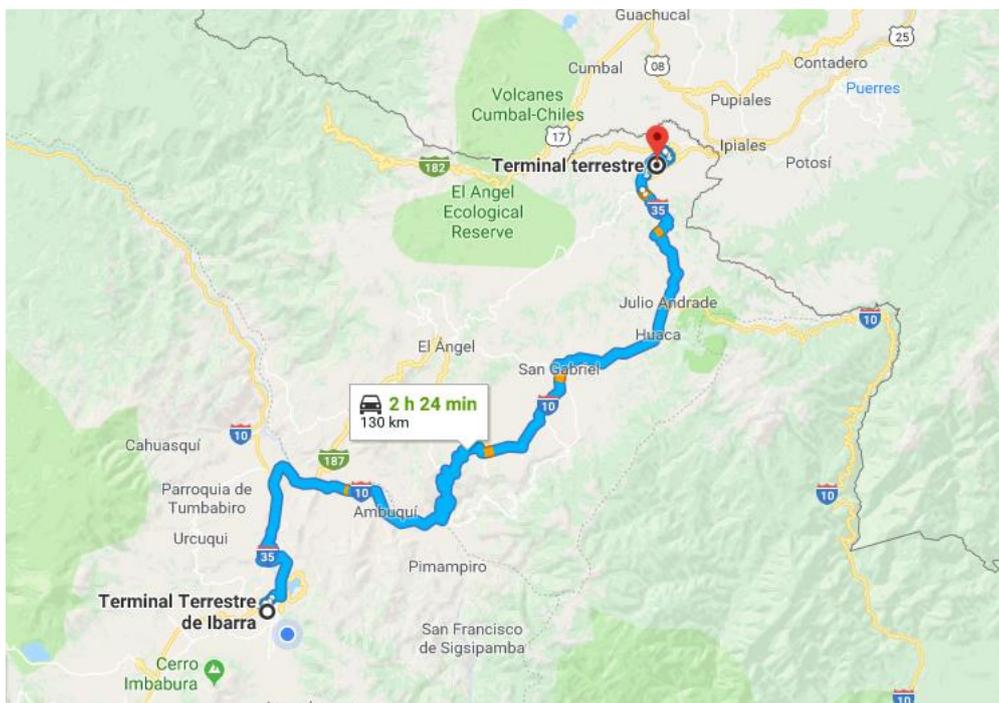
En contraste con los datos anteriores, se infiere que es un servicio con mucha demanda y al tener un costo de viaje económico es accesible para la mayoría de las personas que lo utilizan como medio de transporte para el trabajo, negocios, estudios, comercio, turismo, etc.

## 1.7 CARRETERA PANAMERICANA NORTE E35

La distancia entre Ibarra, Imbabura y Tulcán, Carchi es aproximadamente 131 km y un estimado de 2 horas 20 min de viaje en vehículo particular. La ciudad de Ibarra se encuentra a 2 225 msnm, mientras que Tulcán se encuentra a 2 980 msnm por lo que el trayecto de Ibarra a Tulcán es ascendente.

Existen varias cooperativas de autobuses interprovinciales que se encargan de comunicar a las dos ciudades por medio de esta carretera entre ellas están: San Cristóbal, Expreso Tulcán, Velotax, Expreso Turismo, Flota Imbabura, Tax Gacela, Pullman Carchi, Panamericana y Vencedores.

La principal carretera para trasladarse desde Ibarra a Tulcán es la Panamericana Norte E35 la cual pasa por diferentes comunidades, pueblos y ciudades en donde las personas pueden hacer uso de los buses interprovinciales Ibarra-Tulcán. La carretera atraviesa el valle del chota, las comunidades del Juncal, Ambuquí y Carpuela. Más adelante se encuentra la comunidad de Piquiucho, Cunquer y el Cantón Bolívar pertenecientes a la provincia del Carchi. Continuando con la carretera esta pasa por las ciudades de Cuesaca, La paz, Capulí chico, San Gabriel, Cristóbal Colon, San Pedro de Huacas y Julio Andrade para finalmente entrar por la avenida Veintimilla hacia el centro de Tulcán llegando al Terminal Terrestre.

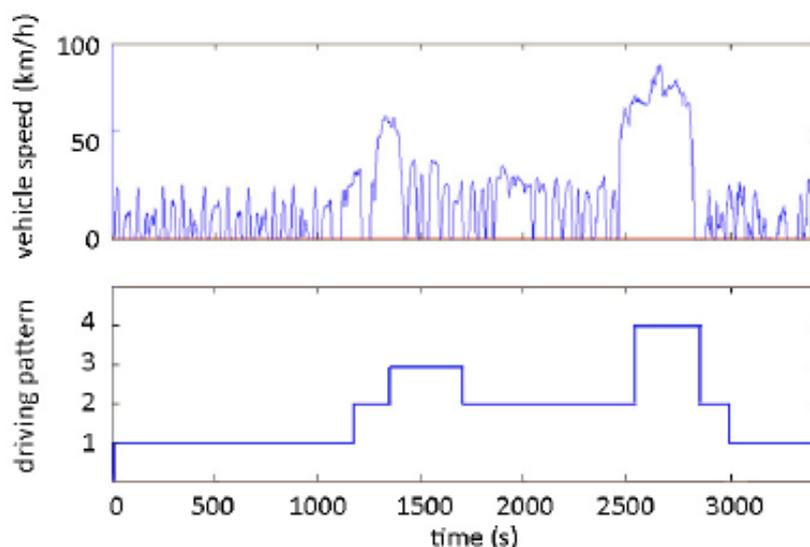


**Figura 1.4** Carretera Ibarra-Tulcán

En la Figura 1.4 se muestra el recorrido desde el Terminal Terrestre de Ibarra hacia el Terminal Terrestre de Tulcán por la Panamericana Norte E35 que pasa por diferentes ciudades hasta llegar a su destino. Esta ruta toma las 9 cooperativas que salen de Tulcán y se trasladan a diferentes provincias del país.

## 1.8 PATRONES DE CONDUCCIÓN

Los patrones son variables características dentro de un ciclo de conducción que representan la forma de conducción bajo condiciones generales y en zonas o rutas específicas de investigación.



**Figura 1.5** Ejemplo de patrones de conducción  
(Wei, Z, & Dunant , 2016, pág. 849)

Las gráficas de los patrones de conducción están en función de la velocidad (km/h) y tiempo (s) como se aprecia en la Figura 1.5, que pueden ser diferentes una de otra de acuerdo con la región, vehículo, ruta, entre otros, que afectan las características de los patrones.

Las variables características dentro de los patrones de conducción son: la aceleración, desaceleración, paradas, tiempo de ralentí y tiempo en operación. De acuerdo con cómo se altere cada una de estas constantes influye de manera evidente en la generación de contaminantes.

Los patrones de conducción están relacionados con el consumo de energía y la emisión de contaminantes, sin embargo, las características geográficas del entorno (pendientes, curvas,

etc.) y el comportamiento de los conductores afectan de manera directa o indirectamente en el consumo. (Braun & Rid , 2017, pág. 172)

Puesto que con los patrones de conducción se logra conocer el consumo de combustible, los costos económicos y los impactos ambientales se están considerando para diseños y controles óptimos de vehículos y en los estudios de infraestructura vial. (Wang, Zhang, & Ouyang, 2015, pág. 2)

## **1.9 FACTORES QUE AFECTAN LOS PATRONES DE CONDUCCIÓN**

Los patrones de conducción se ven afectados por situaciones o características externas haciendo variar las emisiones contaminantes de los vehículos. Estos son: tipo de vía, tipo de vehículo, horario y modo de conducción. Cada una de estas se describen a continuación.

### **1.9.1 TIPO DE VÍA**

Tanto el consumo de combustible como las emisiones contaminantes disminuyen mientras el vehículo se mantenga en velocidad constante en una vía, por lo que la generación de contaminación viene dada por los cambios de velocidad que existen a lo largo del recorrido. Las interrupciones en las vías es lo que causa aceleraciones y desaceleraciones del vehículo. Estas interrupciones pueden ser cruce de vías, la semaforización y las elevaciones e inclinaciones que tienen las carreteras a lo largo de su trayectoria.

En las vías urbanas es donde se produce principalmente las interrupciones ya que tiene cruce de vías, paso a desnivel, rotondas, semaforización, reductores de velocidad, etc. El conductor debe tomar acciones ante la infraestructura vial existente disminuyendo y aumentando la velocidad o deteniéndose completamente.

Para la recolección de datos de ciclos de conducción dentro de una ciudad se toma las rutas que tenga mayores interrupciones en las vías y en horarios donde se generen congestión vehicular para que los datos obtenidos estén acordes al modo de conducción real y conseguir resultados de consumo de combustible y emisiones contaminantes más exactos.

## 1.9.2 TIPO DE VEHÍCULO

Cada vehículo afecta de diferente manera a los patrones de conducción de acuerdo con la forma que se lo use, el peso y la potencia de este. Los vehículos que se encargan de transporte de mercancía como camiones, camionetas, furgonetas, entre otros, llevan más carga por lo que el consumo de combustible es mayor generando altas emisiones contaminantes.

Los taxis al recorrer por toda la ciudad de manera diaria durante muchas horas para realizar su trabajo consumen mayor combustible y provoca que los ciclos de conducción sufran cambios en las aceleraciones y velocidades.

En el caso de los buses de transporte público deben tener la capacidad de transportar a más de una persona y debido a la naturaleza de este, durante su recorrido origen-destino debe realizar paradas para que suban y bajen pasajeros variando la carga del autobús por lo que estará en constante aceleración, desaceleración y estado de ralentí. El impacto de la carga de pasajeros causa que las emisiones de CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> aumentan en 2,66 % y un 2,07 %, respectivamente, el CO aumenta un 1,71 % y el HC un 0,5 %. (Mahesh & Ramadurai, 2017, pág. 1216)

## 1.9.3 HORARIO

En el transcurso del día existen las horas valle y las horas pico. En las horas pico existe mayor congestionamiento vehicular por que los niveles de velocidad y la aceleración de los vehículos disminuye y causando, además, detención de los vehículos por un largo período de tiempo. En la Tabla 1.1 se describe las horas de mayor congestión vehicular de acuerdo con el plan de movilidad del cantón Ibarra:

**Tabla 1.1** Horas de mayor congestión vehicular en el día

Jornada	Hora
Mañana	7:30 h a 9:30 h
Tarde	14:00 h a 15:00 h
Noche	18:30 h a 20:00 h

Cada vehículo tiene su propio patrón de conducción, por lo tanto, se necesita de mucha información para la caracterización de una ruta o zona. En este caso la elección de los periodos de tiempo para el estudio es de mucha importancia.

#### **1.9.4 MODO DE CONDUCCIÓN**

El modo en que los conductores manejan el automóvil afecta de manera considerable los ciclos de conducción. Se encuentran tres tipos de conductores con respecto al modo de conducción:

- Agresivo
- Normal
- Eficiente

El conductor agresivo tiende a tener mayor consumo de combustible y producir altos niveles de gases contaminantes porque efectúa aceleraciones y desaceleraciones más violentas. La agresividad del conductor no se tiene que confundir con la agresividad de conducción, siendo estos dos conceptos diferentes.

La agresividad de conducción viene determinada por factores externos como: tráfico, semaforización, cruce de vías, etc. En donde, necesariamente, el modo de conducción se vuelve variable. (Hernández, 2016, pág. 23)

El conductor normal acelera y mantiene el automóvil a velocidades medias. Es un estilo intermedio entre ambos modos, es el más común o más utilizados por los conductores en sus rutas habituales, También se denota en ciertas partes del recorrido una conducción un tanto agresiva pero no implica ser una conducción de este tipo. La conducción normal no está excluida de los otros modos de conducción, pero estos sólo se efectúan en cortos tiempos. (Martínez, 2016, pág. 58)

El conductor eficiente es el que evita las aceleraciones y desaceleraciones bruscas tratando de mantener el motor a un régimen constante. Esta manera de conducir ayuda a optimizar el combustible, un porcentaje menor en la contaminación ambiental, reducción en los accidentes de tránsito, mayor seguridad y confort para el conductor y los pasajeros.

## 1.10 CICLOS DE CONDUCCIÓN

Un ciclo de conducción es una gráfica estadística entre la velocidad y tiempo en ese instante que representan los patrones de conducción en una área o ruta concreta. Los ciclos de conducción suelen ser usados para evaluar vehículos que la industria automotriz mejora en el aspecto de reducción de consumo de combustible y bajos niveles de emisiones.

Un ciclo de conducción que está predefinido no puede adaptarse a los patrones de conducción reales por el hecho de que cada zona o ruta es diferente una de otra con variables que distorsionan los ciclos de conducción. (Lei, Qin, Liu, Peng, & Lu, 2017, pág. 941)

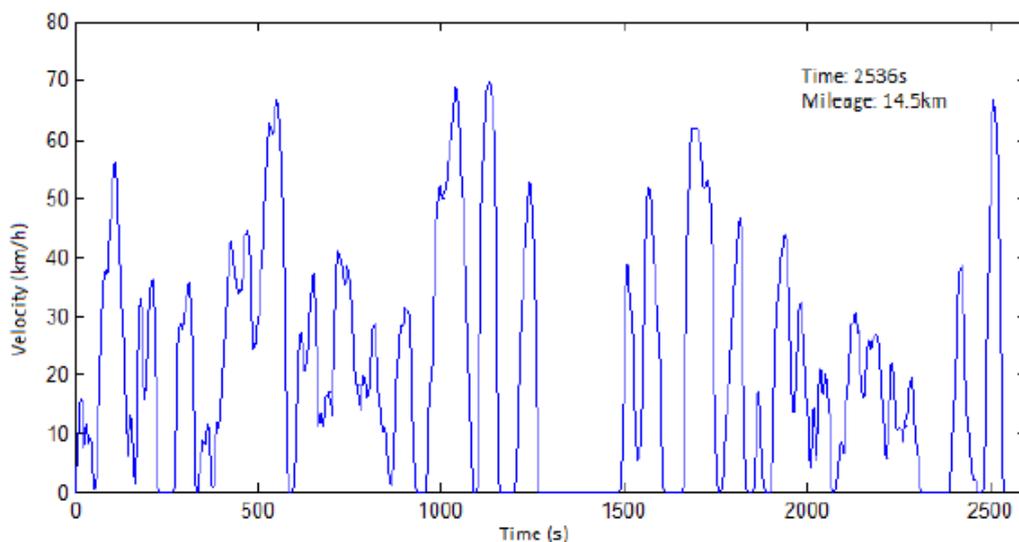
Los ciclos de conducción se pueden clasificar en 4 patrones de conducción:

- Frenar y avanzar: La velocidad media del vehículo es baja ( $< 20$  km/h) en donde existen fases de arrancar, detenerse, acelerar y desacelerar. Generalmente esto sucede cuando se encuentra el automóvil en un congestionamiento vehicular, necesariamente tomando dicha secuencia de acciones.
- Urbano: La velocidad de vehículo es regular (alrededor de 30 km/h) y los cambios de marcha son promedios. Esto se presenta en una vía normal donde no existe tráfico u obstáculos en el camino.
- Suburbano: La velocidad media es alta (alrededor de 60 km/h) y los cambios de marcha de arranques y paradas son mínimos.
- Carretera: La velocidad media es alta (hasta 100 km/h) los cambios de marcha de arranque y parada son cero debido a que el vehículo está continuamente en altas velocidades. (Wei, Z, & Dunant , 2016, pág. 848)

Los ciclos de conducción han sido un tema de investigación en muchos países. Los estudios de los ciclos de conducción son normalmente aplicados para determinar el consumo de combustible de vehículos que circulan por una zona como ocurre en Chennai en la India que se ha venido realizando estudios utilizando los ciclos de conducción para obtener las aceleraciones y desaceleraciones vehiculares y, juntamente con datos de carga y velocidad, estimar el consumo de combustible, mostrando como resultado un ahorro de 8-12 % de combustible al usar los ciclos de conducción.

También los ciclos de conducción pueden ser usados para evaluar el funcionamiento de vehículos eléctricos, como se demuestra en estudios de Beijing creando un nuevo ciclo de conducción para vehículos eléctricos de batería comparando con el ciclo de conducción

europeo, determinando que el nuevo ciclo de conducción se adapta mejor para evaluar con precisión el rendimiento de los vehículos eléctricos en Beijing.



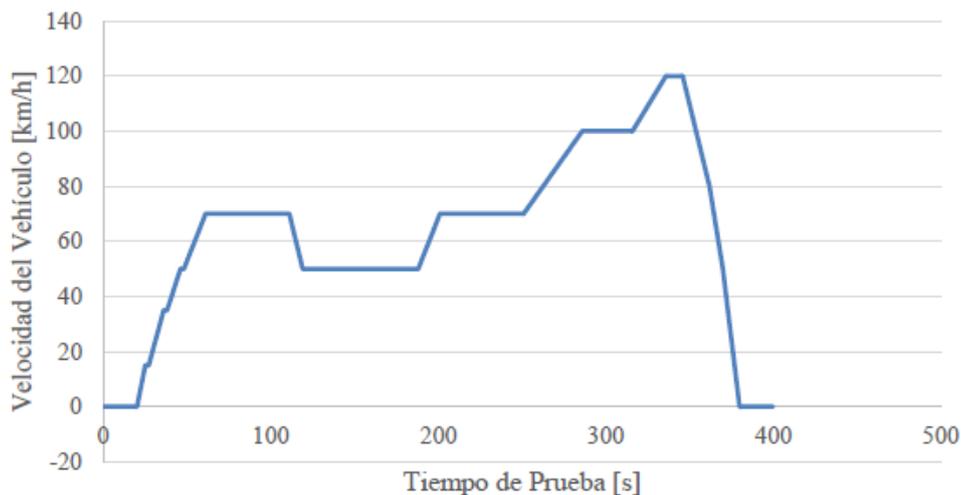
**Figura 1.6** El ciclo de conducción para EVs generado en Beijing  
(Huiming, Yuang, Quigkai, Jie, & Fengchun, 2018, pág. 22)

En la Figura 1.6 se puede observar el ciclo de conducción desarrollado en Beijing para vehículos eléctricos, existiendo variación de velocidad, paradas, aceleraciones y desaceleraciones, en el tiempo que duró la prueba.

Con respecto a cómo se comporta los ciclos de conducción dentro de un tramo, estos pueden ser de dos tipos: estacionarios y transitorios. A continuación, se describen cada uno de ellos y las gráficas que los representan.

### 1.10.1 CICLOS DE CONDUCCIÓN ESTACIONARIOS

Estos ciclos de conducción poseen intervalos de tiempo de velocidad, aceleración y carga constantes en gran parte del tramo. En la Unión Europea la mayoría de los países desarrollaron muchos métodos para elaborar los ciclos de conducción apropiados a su entorno con condiciones de manejo real en carreteras. Estos ciclos de manejo no tienen muchas etapas transitorias por lo que son la mejor representación de los ciclos de conducción estacionarios.



**Figura 1.7** Ejemplo de un ciclo Modal  
(Astudillo, 2016, pág. 16)

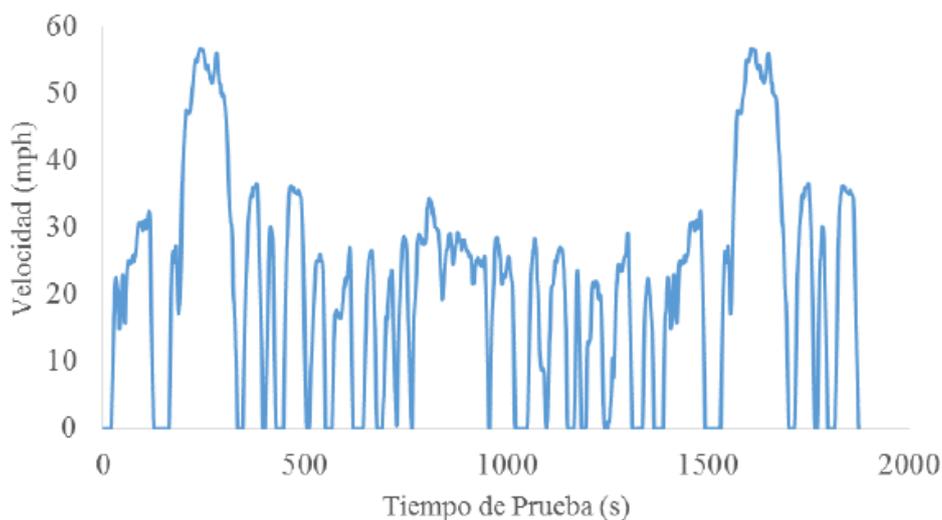
En la Figura 1.7 se muestra un ejemplo de una gráfica de un ciclo modal o estacionario. Se puede observar que a cualquier rango de velocidad del vehículo se mantiene constante por mucho tiempo y no existen picos de aceleraciones y desaceleraciones bruscas. (Astudillo, 2016, pág. 16)

Un ejemplo de ciclo modal o estacionarios son el ciclo NEDC o el modo 10-15 japonés de las cuales se puede observar aceleraciones y desaceleraciones rectas y periodos de velocidad constantes.

El ciclo se repite varias veces en zonas urbanas siendo los cambios de aceleración y desaceleración menor en comparación con otros ciclos, debido a esto, no funcionan para representar condiciones de manejo reales. Los resultados para obtener las emisiones se realizan por cada etapa constante.

### 1.10.2 CICLOS DE CONDUCCIÓN TRANSITORIOS

Los ciclos de conducción transitorios se muestran en su gráfica con alteraciones de la velocidad en cada instante de tiempo que representan el manejo del vehículo en zonas urbanas. Estos ciclos de conducción incluyen cambios de velocidad, aceleración, desaceleración, cambio de carga, etc.



**Figura 1.8** Ejemplo de ciclo transitorio  
(Dávalos, 2017, pág. 5)

En la Figura 1.8 se muestra un ejemplo de una gráfica de un ciclo transitorio. Existen picos de aceleración y desaceleración en cortos instantes de tiempo y el vehículo no se mantiene con velocidad constante. También se puede identificar que el vehículo se detuvo en algunos lugares del recorrido. Este tipo de ciclo de conducción se encuentran en estudios que se realiza en una ruta de una ciudad. (Dávalos, 2017, pág. 5)

Un ejemplo que representen a los ciclos de conducción transitorios es el ciclo FTP-75 de los Estados Unidos y el ciclo Artemis CADC (Common Artemis Driving Cycle) en las que se encuentran muchas variaciones de velocidad que se apegan a las condiciones típicas de conducción en zonas urbanas o en carretera. En el caso de los ciclos transitorios los resultados para obtener las emisiones es colocar el vehículo en un dinamómetro para simular una ruta y las velocidades de condiciones normales.

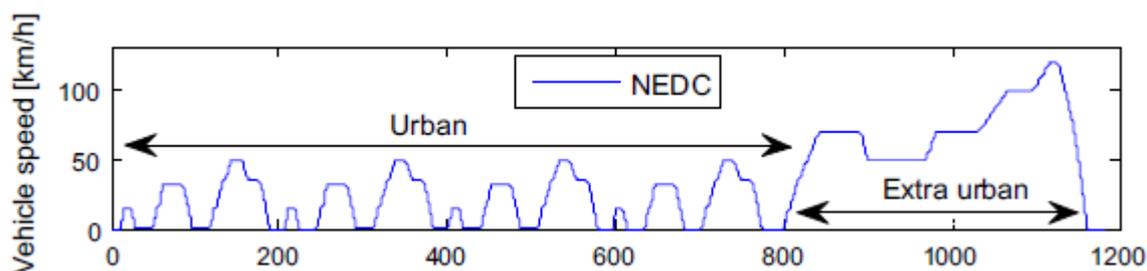
### 1.11 CICLOS DE CONDUCCIÓN ESTÁNDAR

Para la revisión de vehículos varias agencias han desarrollado ciclos de conducción estándar basándose en la región en la que se encuentren.

En Estados Unidos desde los años 70 de acuerdo con las condiciones de manejo de la ciudad y carreteras se tiene los ciclos FTP y HWFET. Desde el 2006 La Agencia de protección ambiental (EPA) emplea el ciclo EPA-5 para vehículos convencionales y de combustibles alternativos. En Europa se evalúan los vehículos el consumo de combustible y las emisiones

con el ciclo NEDC que, posteriormente, China también adaptaría este ciclo para su región. Desde el 2007 Japón adoptó el ciclo JC08 para evaluar los automóviles. (Wang, Zhang, & Ouyang, 2015, pág. 2)

Las Autoridades locales de Europa desarrollaron el nuevo ciclo de conducción europeo NEDC (New European Driving Cycle). Estos son usados tanto en Europa como en otros países para procesos de homologación vehicular. Este ciclo está compuesto por dos partes, la primera parte se asemeja la conducción urbana similar en 4 secciones sucesivas de 3 minutos y 15 segundos, realizando la prueba con una velocidad máxima de 50 km/h a una distancia aproximada de 4 km; mientras que la segunda parte se muestra una conducción extraurbana con velocidad constante (50 km, 70 km, 100 km, 120 km) aceleraciones, desaceleraciones y ralentí, realizando la prueba a una velocidad máxima de 120 km/h durante 6 minutos con una distancia recorrida de 7 km. (Mehdi, Jerrelind, & Stensson, 2017, pág. 265)

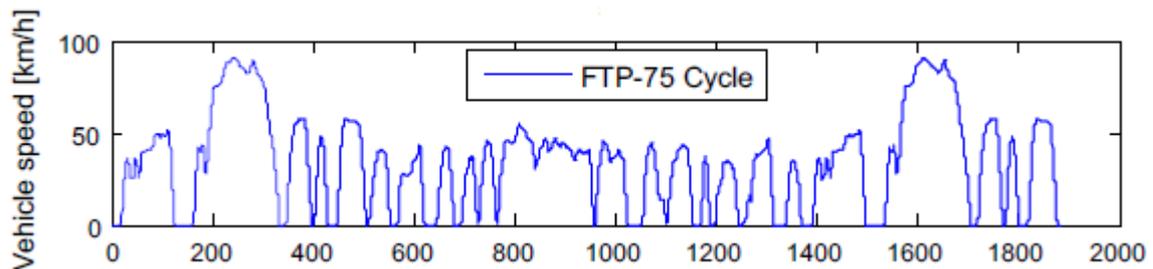


**Figura 1.9** Ciclo de conducción NEDC  
(Mehdi, Jerrelind, & Stensson, 2017, pág. 265)

En la Figura 1.9 se muestra el ciclo NEDC con las dos partes que la componen. Se observa que las 4 primeras secciones (ciclo urbano) la velocidad no excede los 50 km/h, existiendo aceleraciones, desaceleraciones, velocidad constante y ralentí y la siguiente sección (ciclo extraurbano) posee velocidades constantes de hasta 120 km/h.

El ciclo de conducción FTP fue creado en los Estados Unidos, es la agencia de protección ambiental US (EPA) se puede dividir en FTP 72 y FTP 75 los cuales son utilizados por el gobierno para controlar las emisiones de gases contaminantes de los vehículos del país mencionado y la frecuencia de star-stop. Este ciclo consta con una duración de 3 minutos y 17 segundos con una distancia de 11,4 millas (17,77 km) y una velocidad máxima 91, 25 km/h Cuenta con tres secciones de pruebas: La primera es en arranque en frío en un tiempo de 0 a 505 segundos, la segunda es la fase transitoria que consta desde los 506 segundos a

los 1 372 segundos y luego se mantiene el motor en ralentí durante 10 min antes de comenzar la fase de arranque en caliente que empieza de 0 a 506 segundos. (DieselNet FAQ, 2014, pág. 1)

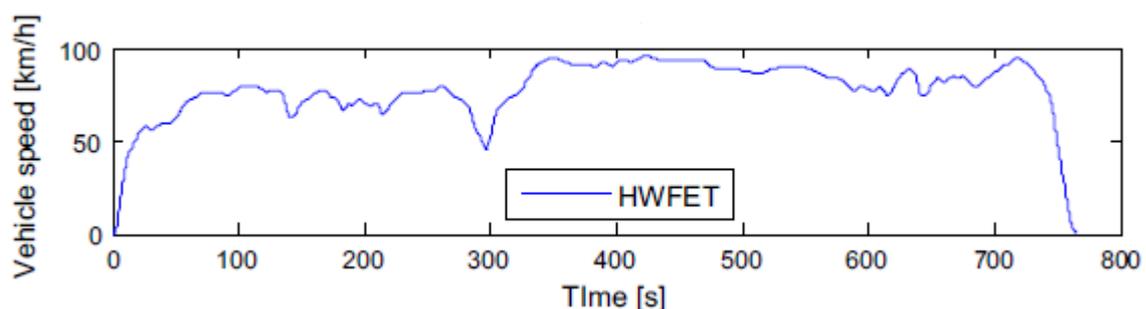


**Figura 1.10** Ciclo de conducción FTP  
(Mehdi, Jerrelind, & Stensson, 2017, pág. 265)

En la Figura 1.10 se muestra las características de un ciclo de conducción FTP. Tiene variaciones de velocidades, aceleraciones y desaceleraciones bruscas y el vehículo se detiene en algunos sectores por un corto tiempo.

Este modelo de conducción también se ha estado ocupado en el Ecuador para la homologación vehicular colocando el vehículo en un dinamómetro para medir demanda energética. El ciclo FTP-75 se efectúa para análisis de circulación en un entorno urbano y el ciclo HWFET para el análisis de circulación en carretera.

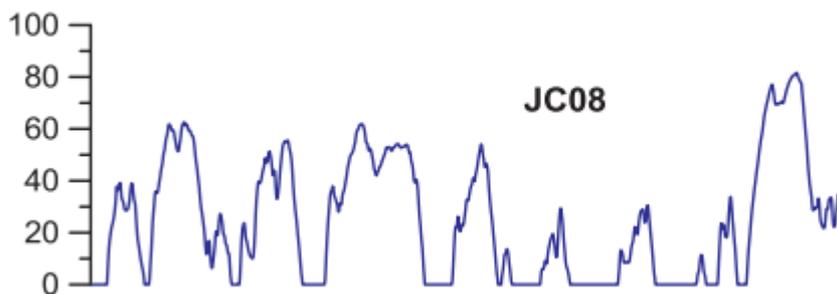
El ciclo HWFET también fue creada por Estados Unidos, es usado para simular ciclos de conducción en carreteras que simula condiciones de circulación continua (ralentí 1 %) y se emplean para la certificación vehicular. Este ciclo tiene una duración de 12 minutos y 45 segundos con una distancia total de 10, 26 millas (16,65 km) con una velocidad máxima de 96,4 km/h. Las pruebas se realizan dos veces con un tiempo de descanso máximo entre ellos de 17 segundos, la primera es una fase de pre-acondicionamiento del vehículo y la segunda fase es la ejecución de la prueba real para la medición de emisiones. (DieselNet FAQ, 2000, pág. 1)



**Figura 1.11** Ciclo de conducción HWFET  
(Mehdi, Jerrelind, & Stensson, 2017, pág. 265)

En la Figura 1.11 se muestra la gráfica del modelo de ciclo de conducción HWFET. El ciclo de conducción no presenta ningún stop por parte del vehículo y la velocidad máxima no sobrepasa los 100 km/h. Presenta una aceleración brusca al inicio y una desaceleración brusca al finalizar la prueba.

El ciclo de conducción JC08 desarrollada en Japón representa el comportamiento de los vehículos en congestión, con periodos de ralentí, aceleraciones y desaceleraciones de manera alterna. La prueba se realiza en una duración de 20 minutos y 4 segundos con un recorrido de 8 171 km y una velocidad máxima de 81,6 km/h. La prueba se realiza dos veces de manera ponderada: la primera de 25 % arranque en frío y 75 % arranque en caliente. (DieselNet FAQ, 2007, pág. 1)



**Figura 1.12** Ciclo de conducción JC08  
(Giakoumis & Zachiotis, 2018, pág. 141)

En la Figura 1.12 se presenta la gráfica del ciclo de conducción JC08 creada en Japón. Como la prueba se ha realizado en congestión vehicular existen lapsos considerables de tiempo donde el vehículo permanece parado, al igual que también existen varias aceleraciones y desaceleraciones.

## 1.12 TÉCNICAS PARA LA OBTENCIÓN DE CICLOS DE CONDUCCIÓN

Para representar los ciclos de conducción se necesita de la obtención de las variables de velocidades y aceleraciones entre otros. Para recolectar estos datos se puede llevar a cabo estas técnicas: On-board y persecución del vehículo.

### 1.12.1 ON-BOARD

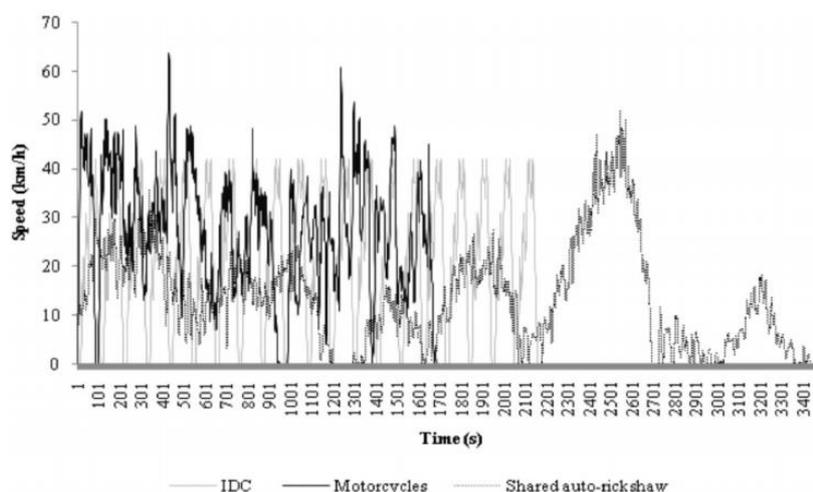
Mediante instrumentos adecuados se puede obtener las condiciones de manejo reales. Los datos reales de conducción se representan con respecto al tiempo, velocidad, aceleración, desaceleración, ralentí, etc.

Para que estos datos representen el comportamiento de conducción en una ruta o zona específica, es necesario que se obtenga datos de más de un conductor que circulen por la zona que se va a estudiar.

Este método es adecuado para países donde se obtenga conducciones irregulares y agresivas. También puede ser utilizado con países que tenga información del tráfico para la selección de la ruta adecuada. Si la ruta no es seleccionada con precisión los datos pueden variar radicalmente con el comportamiento de la conducción en una zona o ruta.

Esta técnica es aplicada en la ciudad de Chennai en la India para recopilar datos de velocidad y tiempo mediante dispositivos on board GPS de este modo se obtienen los ciclos de conducción para posteriormente calcular las fracciones de aceleración, desaceleración, velocidad crucero, desplazamiento y ralentí. (Ramadurai & Reddy Kancharla, 2018)

Mediante la técnica on board se puede realizar comparaciones entre ciclos de conducción obtenidos por el mismo método como un estudio en Dhanbad con ciclos de conducción de motocicletas, triciclos motorizados compartidos y vehículos particulares, tomando como resultado que los triciclos tenían más efectos de emisiones.



**Figura 1.13** Comparación de los ciclos de conducción  
(Adak, Sahu, & Suresh, 2016, pág. 301)

En la Figura 1.13 se muestra las comparaciones de los ciclos de conducción de los tres vehículos antes mencionados. Los vehículos particulares con ciclo IDC (Ciclo de conducción indio) tiene constante aceleraciones y desaceleraciones ya que los vehículos se detienen por instantes de tiempo. Las motocicletas presentan velocidades más elevadas por cortos tiempo y aceleraciones más bruscas. Los triciclos motorizados presentan alteraciones en la variación de velocidad, incluso al desacelerar y acelerar se puede observar variación de velocidad en el transcurso.

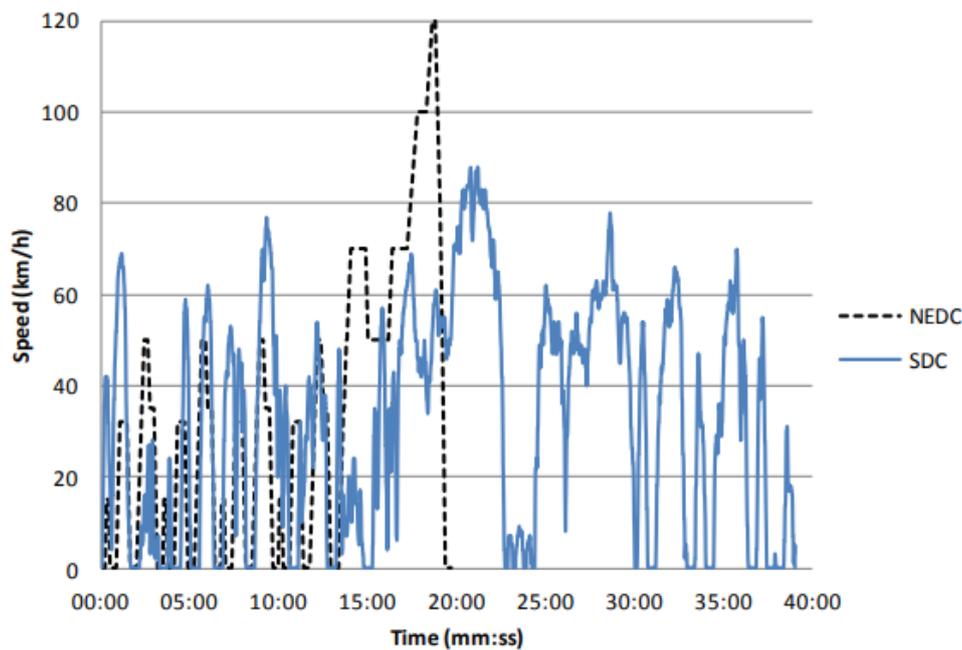
### **1.12.2 PERSECUCIÓN DEL VEHÍCULO**

Esta técnica consiste en hacer uso de un vehículo para realizar un seguimiento constante a un vehículo objetivo que circule por una ruta determinada. El objetivo de esta técnica es imitar la forma de conducción del vehículo que se persigue.

Cuando el vehículo perseguido altera su trayectoria saliéndose de la ruta establecida se selecciona otro vehículo para realizar el seguimiento del tramo que resta de la ruta. No se recomienda realizar este método para taxis o autobuses. (Pérez & Quito, 2018, pág. 20)

Una de las principales ventajas del método de perseguir un vehículo es utilizar equipos menores por lo que se considera más rentable que usar equipos on-board. La desventaja de este método radica en la dificultad de perseguir un vehículo si el comportamiento de conducción es agresivo y puede perderse a veces o puede ocasionar un accidente de tránsito. En Singapur poseen un ciclo de conducción ideal para su región que se desarrolló ocupando el método de persecución del vehículo en 12 rutas altamente utilizadas teniendo en cuenta el tiempo de viaje y la distancia y al comparar el ciclo desarrollado con el ciclo NEDC muestra una mayor exactitud en consumo de combustible y emisiones.

La investigación realiza en Singapur mediante el método de persecución vehicular para obtener un ciclo de conducción ideal afirma que el NEDC sobrestimo algunos valores de las emisiones vehicular. Además, con los resultados de la investigación en Singapur indican que se puede utilizar para obtener un consumo de combustible más preciso al igual que clasificar con mayor precisión las emisiones vehiculares de acuerdo con las 12 rutas donde se realizó la investigación



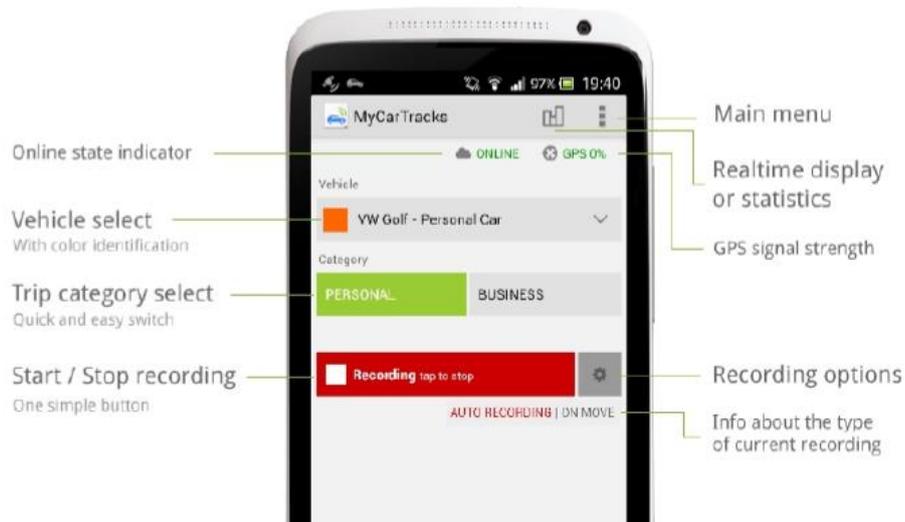
**Figura 1.14** Ciclo de conducción de Singapur SDC y ciclo NEDC  
(Ho, Wong, & Chang, 2014, pág. 360)

En la Figura 1.14 se muestra el ciclo de conducción obtenido por el método de persecución y el ciclo NEDC. El perfil de velocidad vs tiempo de este ciclo es de 2 400 s donde se representa los patrones típicos de conducción en el área. Se puede notar que el ciclo NEDC presenta velocidades constantes en cierto puntos y picos de aceleración y desaceleraciones mientras que el ciclo SDC creado en Singapur no poseen velocidades constantes en ninguna parte de su ciclo.

### 1.13 EQUIPOS DE RASTREO SATELITAL GPS

El sistema GPS calcula las coordenadas (x, y, z) de un punto cualquiera en el espacio mediante satélites. Permiten obtener datos precisos enviados por satélites geoestacionarios intercomunicados entre sí, ubicados en la estratosfera alrededor de todo el mundo.

Algunos celulares tienen la posibilidad de vincularse con los satélites GPS. Este sistema viene implantado en el mismo celular siendo capaces de recolectar información de posicionamiento de un objeto, personas o vehículos. También poseen conexión con GLONASS que es el sistema de navegación creado por la Unión Soviética cumpliendo el mismo fin que el sistema GPS.



**Figura 1.15** Aplicación Android MyCarTracks  
(Laranjeira, 2015, pág. 15)

En la Figura 1.15 se muestra una aplicación de teléfono móvil que hace uso de los sensores del móvil para recolectar información de rastreo vehicular mediante GPS.

También existen equipos móviles diseñados específicamente para la conexión con satélites GPS que permiten en un periodo de tiempo, recolectar datos de altitud, velocidades, aceleraciones, trayectorias, etc.

Estos dispositivos móviles son de mucha utilidad para la registrar la ubicación precisa segundo a segundo y los datos de velocidad de los automóviles. Estos datos de velocidad y aceleración almacenados por el dispositivo pueden ser usados para estimar la emisión de combustibles de manera directa o desarrollar un ciclo de conducción. (Mahesh & Ramadurai, 2017, pág. 1212)

#### **1.14 FACTORES QUE AFECTAN AL CONSUMO DE COMBUSTIBLE**

El consumo de combustible es un tema de importancia, pues bien, mientras más se consuma combustible, más gases contaminantes emitirá el vehículo. Los factores que afectan el consumo de combustible son: Conductor, carga de camino y tecnología del motor. Cada uno de ellos se describirá a continuación.

### **1.14.1 CONDUCTOR**

Una de las causas más importantes del consumo de combustible son los hábitos que tiene el conductor. El exceso de velocidad, aceleración rápida y el frenar bruscamente son algunas de las practicas que realizan usualmente los conductores.

El conductor es una de las características típicas que se toman en cuenta en los ciclos de conducción, por el hecho de que el conductor está familiarizado con la infraestructura del tráfico conociendo las maniobras necesarias para la estabilidad. (Huang, Xie, Ma, & Sun, 2017, pág. 100)

Para que el conductor maneje de manera más ecológica, es decir, conducir consumiendo la menor cantidad de combustible posible puede recurrir a los siguientes métodos: debe manejar de manera estratégica para disminuir las veces de frenado en su recorrido, también puede realizar el frenado del motor (en motores diésel se logra reduciendo la compresión mediante la liberación de aire comprimido) lo cual es más efectivo que el freno normal que se utiliza y también realizar cambios rápidos de marcha a velocidades más altas, aceleraciones fuertes y bajas revoluciones.

### **1.14.2 SITUACIÓN GEOGRÁFICA**

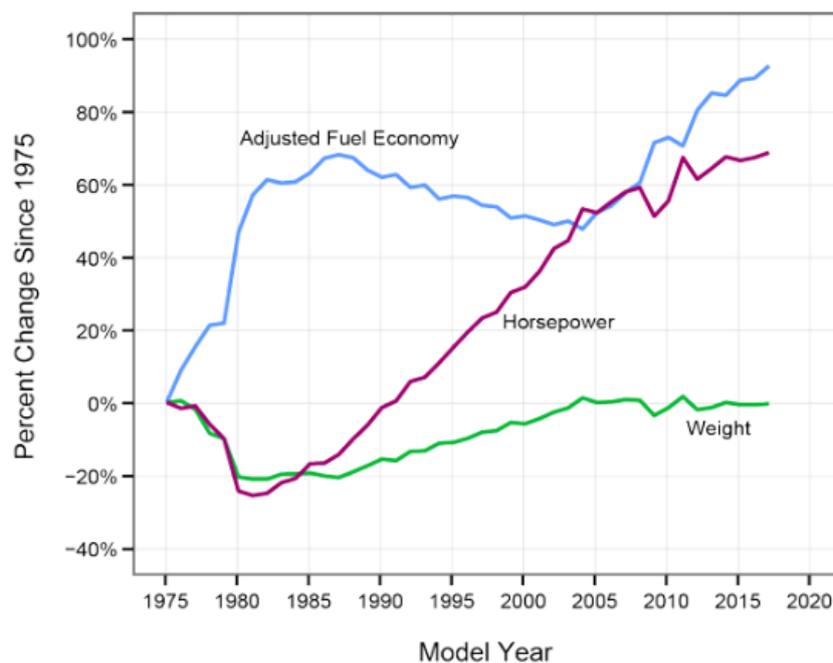
Esto tiene que ver con la resistencia al rodamiento, el peso del vehículo, la velocidad con la que circula y los tipos de neumáticos que utiliza. También se refiere a las posibles interrupciones que puede tener el vehículo como son las elevaciones e inclinaciones en donde varía el régimen de motor. Otro factor que afecta al motor es la temperatura y la altura del sector evitando una mezcla correcta entre el oxígeno y el combustible.

La mayoría de los ciclos de conducción que se utilizan para la homologación vehicular ajustan las ruedas al dinamómetro para simular la resistencia a la rodadura y resistencia aerodinámica. Sin embargo, el tipo de vehículo, el tren motriz, sus dimensiones, el peso, entre otros aspectos del chasis de automóvil, afectan a los resultados de consumo de combustible y emisiones en condiciones reales de conducción. (Mehdi, Jerrelind, & Stensson, 2017, pág. 264)

### 1.14.3 TECNOLOGÍA DEL MOTOR

Las empresas automotrices se han preocupado por el consumo de combustible es por eso que en los últimos 20 años el consumo de combustible ha disminuido notablemente por las nuevas tecnologías que se implementan en el motor.

Las características principales que se mejoran en el motor para reducir el consumo son: el tipo de combustible que utiliza, la cilindrada, tiempo de inyección, sistema de distribución, número de válvula por cilindro, turbocompresor y el tipo de motor si es por chispa o por compresión.



**Figura 1.16** Cambio de la economía del combustible, el peso y la potencia 1975-2017  
(United States Environment Protection Agency, 2017, pág. 1)

En la Figura 1.16 se muestra que a partir del año 2005 la tecnología se ha ido utilizando para el ahorro de combustible (reduciendo las emisiones contaminantes), mientras que el peso y la potencia se mantienen relativamente constantes.

Es por estos motivos que en la homologación de los vehículos utilizando ciclos de conducción para verificar el nivel de emisiones que genera se clasifican por año de fabricación debido a que los vehículos de años pasados consumen mayor combustible y por ende mayores niveles de gases contaminantes.

También es importante al momento de la selección de un vehículo, para la obtención de datos de ciclos de conducción, considerar la capacidad que tiene el motor ya que esto cambia los patrones de conducción. (Galgamuwa , Perera, & Bandara, 2015, pág. 195)

## 1.15 EMISIONES VEHICULARES

Los motores diésel son motores de combustión interna (MCI) que es una reacción química exotérmica de oxidación en la cual los compuestos químicos se transforman en otros diferentes y en el proceso se genera una gran cantidad de energía en forma de calor. (García del Río, 2017, pág. 319)

A continuación, se presenta la reacción química de cualquier tipo de combustión en un MCI en la ecuación 1.1.



Donde:

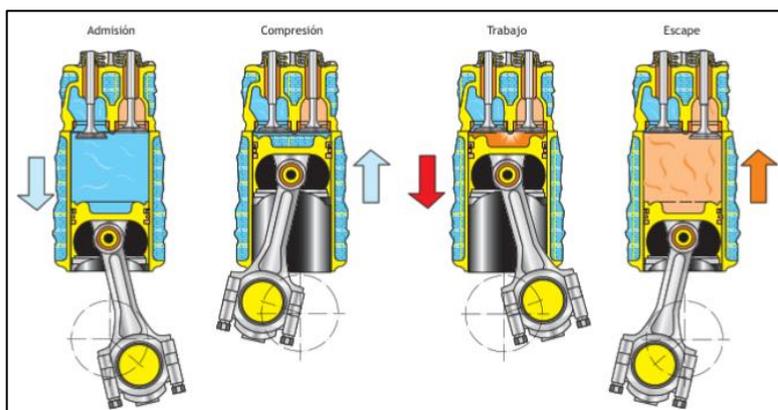
$H_xC_x$ : Compuesto

$O_2$ : Oxígeno

$CO_2$ : Dióxido de carbono

$H_2O$ : Agua

Esta es una reacción química ideal es decir cuando las condiciones de combustión son idóneas, pero en el proceso se crean otras sustancias llamadas contaminantes.



**Figura 1.17** Ciclo de funcionamiento de un motor diésel (Secundino, González, & Rivas, 2009, pág. 213)

En la Figura 1.17 se muestra los cuatro tiempos para la combustión de un motor diésel los cuales son:

- Admisión. Entra aire en el cilindro por la válvula de admisión.
- Compresión. Se comprime el aire dentro de la cámara hasta alcanzar 700 a 800 °C
- Trabajo. Se inyecta combustible a presión produciendo una expansión de los gases quemados en la cámara.
- Escape. Los gases quemados son expulsados por la válvula de escape empujados por el pistón. (Secundino, González, & Rivas, 2009, pág. 213)

A pesar del alto rendimiento de estos motores se producen una serie de compuestos que no aparecen en la reacción de combustión ideal emitiendo contaminantes a la atmosfera.

El transporte público genera las principales emisiones contaminantes: Monóxido de carbono, Dióxido de carbono, Óxido de nitrógeno, Dióxido de azufre, compuestos orgánicos volátiles y Material particulado.

### 1.15.1 MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

Una combustión incompleta de cualquier combustible que tenga carbón genera emisiones de monóxido de carbono (CO). La combustión incompleta en los motores ocurre cuando existe una falta de oxígeno (O<sub>2</sub>) en comparación con el combustible. En los motores a gasolina es importante una mezcla estequiométrica para reducir las emisiones, en cambio en los motores a diésel al haber exceso de aire en la mezcla el CO se da en pocas cantidades. Su formación se da según:



Donde:

CO: Óxido de carbono

O: Oxígeno

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono

En el transporte terrestre es un contribuyente potencial para la formación de monóxido de carbono, pero se ha ido reduciendo por la utilización de conversores catalíticos reduciendo las emisiones de este gas.

Dado que el monóxido de carbono es un gas insípido, inodoro, e incoloro las personas no lo ven como una amenaza al estar expuestos a este contaminante. El CO se encuentra en la mayoría en zonas urbanas producto de la congestión vehicular exponiendo a los conductores y peatones de manera directa al gas.

El monóxido de carbono tiene un fuerte impacto sobre la salud humana produciendo enfermedades cardiovasculares y puede afectar al sistema nervioso.

### **1.15.2 DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)**

El dióxido de carbono es la máxima oxidación de óxido que se produce por el encendido de combustibles fósiles, es así como, para reducir este contaminante se necesita de motores más eficientes. Su estructura molecular está compuesta de un átomo de carbono con dos de oxígeno (CO<sub>2</sub>).

Este compuesto químico se encuentra en mayores cantidades en la atmosfera para evitar que la tierra se congele (efecto invernadero). El CO<sub>2</sub> no es un gas toxico, es un gas vital para la vida en la Tierra, que siempre ha estado presente en la naturaleza para normalización del clima y la vida ya que los seres vivos exhalamos en su respiración y en las plantas lo usan para la fotosíntesis.

Los vehículos convencionales a base de combustibles fósiles (gasolina y diésel) provocan emisiones de CO<sub>2</sub> que expulsan a través del tubo de escape dependiendo del consumo de combustible y la eficiencia del motor.

Los vehículos híbridos poseen doble motor: motor de combustión interna y eléctrico. Utilizan el motor eléctrico, pero tiene el motor convencional para complementar la potencia del motor eléctrico por lo que provoca menor emisiones de CO<sub>2</sub>.

Desde la revolución industrial, la quema de combustibles fósiles, la deforestación de bosques encargados de apropiarse parte del CO<sub>2</sub> y las emanaciones de dióxido de carbono y otros gases ha aumentado la cantidad de dióxido de carbono en la atmosfera provocando un desequilibrio en la naturaleza.

No afecta a la salud humana de manera directa, pero al incrementarse la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera tiene un impacto ambiental considerable como es el efecto invernadero que provoca cambios climáticos como olas de calor, inundaciones, sequías, etc.

### 1.15.3 ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO<sub>x</sub>)

Los óxidos de nitrógeno son gases compuestos por óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). A temperaturas de 1 500 °C en la cámara de combustión y con exceso de oxígeno se forma el óxido de nitrógeno de la siguiente forma:



Donde:

*N*<sub>2</sub>: Dinitrógeno

*O*<sub>2</sub>: Dióxido

*NO*: Óxido de nitrógeno

No es perjudicial al ser inhalado por las personas en las cantidades que se encuentra en el exterior, pero en combinación con otros gases reaccionan para formar agentes contaminantes perjudiciales para la salud humana y que causan un gran impacto ambiental.

El óxido de nitrógeno es el causante del debilitamiento de la capa de ozono y de las lluvias ácidas. El NO<sub>2</sub> causa problemas pulmonares a largo plazo en las personas.

Los vehículos pesados que funcionan con combustible diésel son una de las fuentes de emisiones que más se debe controlar debido a que emiten grandes cantidades de NO<sub>x</sub> y MP (Material Particulado). La tasa de contribución del NO<sub>x</sub> es aproximadamente 66,2 % mientras que de MP es el 100 %. (Fu et al., 2013, pág. 222)

### 1.15.4 DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)

Es un gas incoloro, provoca irritaciones y no es inflamable. Con el contacto con otras sustancias puede formar agentes perjudiciales para la salud y el medio ambiente. El SO<sub>2</sub> se

desplaza a la atmosfera por la quema de combustibles y el tratamiento de minerales. Otra fuente que emana el dióxido de azufre son las fuentes naturales.

El petróleo tiene una cierta cantidad de azufre en su estructura, pero al tener una cantidad importante al ser combustionado el petróleo se produce en dióxido de azufre. Cuando se encuentra en contacto con la luz de sol forma: sulfato del amónico y ácido sulfúrico.

El dióxido de azufre puede afectar al motor cuando se condensan lo que ataca químicamente al metal de las válvulas, lo inyectores, las camisas y los cojinetes formando sedimentaciones disminuyendo la potencia del motor

El SO<sub>2</sub> también puede ser usado en industrias como por ejemplo en la fabricación de papel y madera como blanqueador, aditivo en vinos y en el alcohol etílico para evitar oxidación.

Este gas es el principal causante de las lluvias ácidas las cuales afectan la vegetación, edificios, el suelo y el agua. A los seres humanos puede causar problemas en la visión como son irritaciones en los ojos, enfermedades pulmonares que se manifiestan con irritación en la nariz y la garganta, etc.

### **1.15.5 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV)**

Los compuestos orgánicos volátiles son los hidrocarburos, halocarburos y oxigenantes que se presentan en estado gaseoso a temperatura normal. El metano, etileno, i-pentano, benceno, n-butano, tolueno, n-pentano y propano son los que se encuentran en mayores cantidades en el aire.

Los COV se generan de dos formas: por origen natural y al quemar combustible (el transporte es uno de los principales contribuyentes del COV) o evaporación de disolventes orgánicos (pinturas, plásticos, adhesivos, etc.).

Los compuestos orgánicos volátiles afectan al medio ambiente y a la salud humana. En el ambiente los COV pueden provocar disminución en la capa de ozono y generar ozono a nivel del suelo lo cual es perjudicial para la salud humana.

Con respecto al daño en las personas, cuando se mezcla con oxígeno de nitrógeno se forma el ozono en el aire como se dijo anteriormente, ingresa por vías respiratorias y a través de la piel, lo que provoca irritación en los ojos, en el sistema respiratorio y en el sistema nervioso y efectos negativos a órganos internos.

### 1.15.6 MATERIAL PARTICULADO (PM)

Son los componentes sólidos o líquidos que salen de los gases de escape. Son generados por el aceite y combustible sin quemar, como también componentes que se encuentren dentro del combustible.

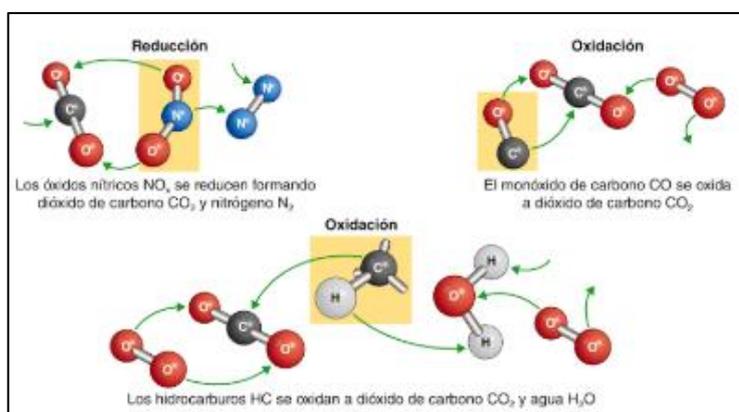
En los motores diésel se tiene mayor importancia la emanación de estas partículas. Tienen un tamaño entre 0,005 y 30  $\mu\text{m}$ . (Mira & Arenas, 2018)

El material particulado de  $\text{PM}_{10}$  (material particulado de 10 micrómetros) y  $\text{PM}_{2,5}$  (material particulado de 2,5 micrómetros) generan problemas para la salud humana como son enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Mientras más pequeña es la partícula más peligrosa es en el impacto ambiental.

### 1.16 TRATAMIENTO DE GASES DE ESCAPE

Tanto para motores a gasolina y a diésel se tienen diferentes métodos para eliminar los gases contaminantes:

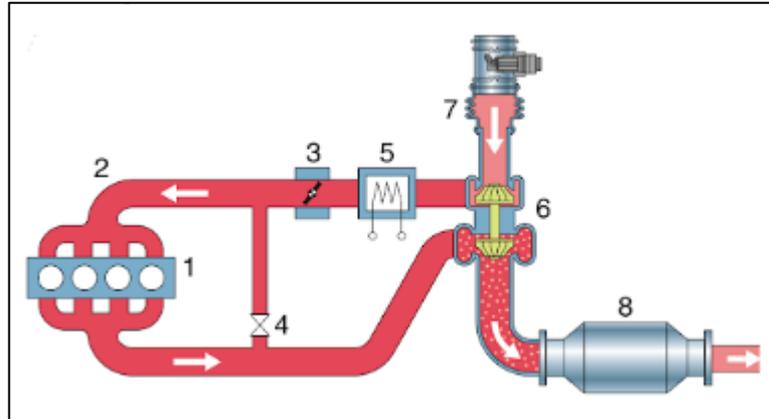
- Catalizador: Disminuye los elementos polución de los gases de escape mediante proceso químicos internos.



**Figura 1.18** Depuración catalítica de un catalizador de tres vías (Pardiñas & Feijó, 2018, pág. 118)

En la Figura 1.18 se muestra que el óxido de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) se reduce para formar dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), el monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) se oxida en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Los hidrocarburos ( $\text{HC}$ ) se oxida en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

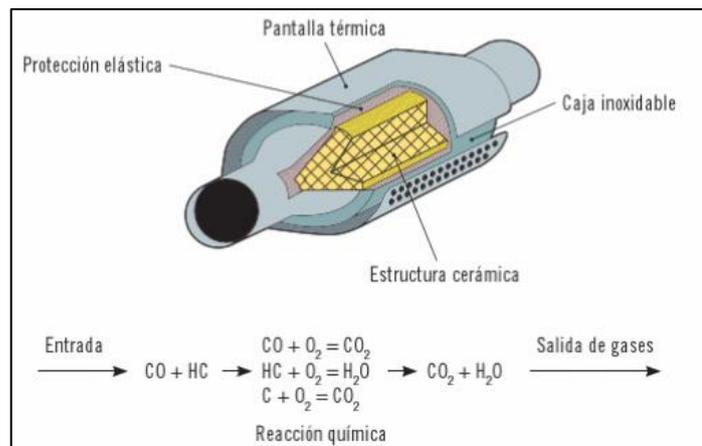
- Sistema EGR: Se reenvía una parte de los gases de escape al colector de admisión para disminuir el oxígeno de admisión con la finalidad reducir el óxido de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ).



**Figura 1.19** Sistema EGR  
(Pardiñas & Feijó, 2018, pág. 183)

En la Figura 1.19 se presenta el esquema del sistema EGR y se muestra como es la circulación de los gases dentro de los componentes del sistema.

- Catalizador de oxidación diésel DOC: Elimina de forma eficiente el monóxido de carbono, hidrocarburos y el óxido de nitrógeno, transformándolos en sustancias inocuas (agua y dióxido de carbono).



**Figura 1.20** Catalizador de oxidación diésel  
(Parreño Ibáñez, 2012, pág. 211)

En la Figura 1.20 se aprecia las reacciones químicas que producen en el catalizador para formar sustancias inocuas.

- Filtros de partículas DPF: Está montado en el tubo de escape y está diseñado para eliminar partículas de hollín de un motor diésel mediante un proceso llamado regeneración activa.
- Trampa de regeneración continua CRT: El filtro de partículas entra en un proceso de regeneración de limpieza continua antes de que su capacidad esté agotada y además antes posee un catalizador de oxidación.
- Reducción catalítica selectiva SCR: Reduce las emisiones de óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) que utiliza amoníaco, en presencia de exceso de O<sub>2</sub> y un catalizador adecuado eliminando de manera eficaz y selectiva al NO<sub>x</sub> transformándolo en agua y nitrógeno.

### 1.17 NORMATIVAS DE EMISIÓN

En Ecuador se estableció un límite máximo de emisiones contaminantes para vehículos terrestres a Diesel en la norma NTE INEN 2207 del año 2002. Las pruebas se realizan en dinamómetros con ciclos de conducción estándar de la Unión Europea y La Agencia de Protección del Medio Ambiente. En la Tabla 1.2 se muestra la tabla de límites de emisiones de gases contaminantes de CO, HC, NO<sub>x</sub> y material particulado para vehículos livianos, medianos y pesados realizado la prueba en dinamómetro con ciclo de conducción FTP-75 y Transiente pesado. Estos ciclos de conducción son creados por EPA de los Estados Unidos.

**Tabla 1.2** Límite máximo de emisiones para motor de diésel (ciclos americanos)

Categoría	Peso bruto del vehículo kg	Peso del vehículo cargado kg	CO g/km	HC g/km	NO <sub>x</sub> g/km	Partículas g/km	CICLOS DE PRUEBA
Vehículos Livianos	Todos	Todos	2,10	0,25	0,62	0,12	FTP-75
Vehículos Medianos	≤ 3 860	≤ 1 700	6,2	0,5	0,75	0,16	
		> 1 700 ≤ 3 860	6,2	0,5	1,1	0,28	
Vehículos Pesados **	> 3 860	Todos	15,5	1,3	5,0	0,10***	Transiente pesado

\* prueba realizada a nivel del mar  
 \*\* en g/bHP-h (gramos /brake Horse Power-hora)  
 \*\*\* para buses urbanos el valor es 0,07 g/bHP-h

En la Tabla 1.3 se puede apreciar los límites de emisiones contaminantes de CO, HC, NOx y material particulado para ciclos de conducción europeos ECE -15, +EUDC y ECE -49 que se establecen en la norma NTE INEN 2207 del año 2002. Para las pruebas los vehículos se clasifican de acuerdo con el tipo siendo:

- M vehículos de transporte de pasajeros de 4 ruedas
- M1 vehículos de transporte de hasta 8 pasajeros más el conductor
- M2 vehículos de transporte de más de 8 pasajeros más el conductor y peso de máximo 5 toneladas
- M3 vehículos de transporte de más de 8 pasajeros más el conductor y peso de más de 5 toneladas
- N vehículos de transporte de carga que tengan 4 ruedas
- N1 vehículos de transporte de carga con peso máximo 3,5 toneladas
- N2 vehículos de transporte de carga con peso mayor a 3,5 toneladas y menor a 12 toneladas
- N3 vehículo de transporte de cargas con peso superior a 12 toneladas

**Tabla 1.3** Límite máximo de emisiones para motor de diésel (ciclos europeos)

Categoría	Peso bruto del vehículo kg	Peso de referencia kg	CO g/km	HC g/km	NOx g/km	Partículas g/km	CICLOS DE PRUEBA
M1 <sup>(1)</sup>	≤ 3 500	Todos	2,72	0,97 <sup>(4)</sup>		0,14	ECE-15 +EUDC
M1 <sup>(2)</sup> , N1		≤ 1 250	2,72	0,97 <sup>(4)</sup>		0,14	
		> 1 250 ≤ 1700	5,17	1,4 <sup>(4)</sup>		0,19	
		> 1 700	6,9	1,7 <sup>(4)</sup>		0,25	
N2, N3, M2, M3 <sup>(3)</sup>	> 3 500	Todos	4,0	1,1	7,0	0,15	ECE-49

En la Tabla 1.4 se muestra los límites máximos de emisiones para vehículos con motores diésel de la norma NTE INEN 2207 del año 2002. De acuerdo con el año del vehículo se verifica la opacidad para la homologación vehicular.

**Tabla 1.4** Límites máximos de opacidad de fuentes móviles con motor de diésel

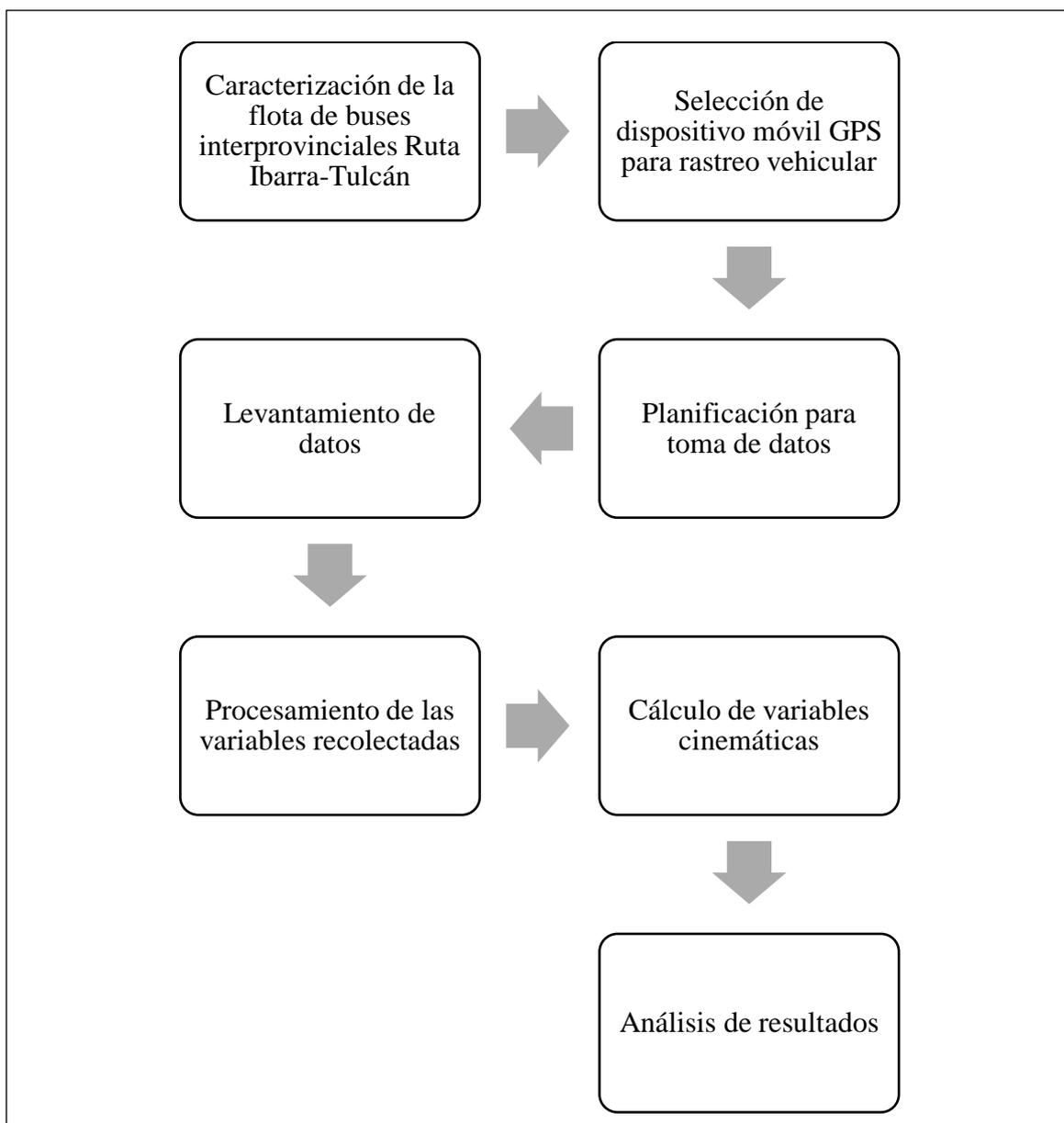
Año modelo	% Opacidad
2000 y posteriores	50
1999 y anteriores	60

## CAPÍTULO II

### 2. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo del presente trabajo, se planteó seis etapas que se desarrollaron con el fin de alcanzar cada uno de los objetivos propuestos. Este proceso comprende desde la caracterización de la flota de buses interprovinciales Ibarra-Tulcán hasta el análisis de resultados obtenidos mediante diferentes pasos.



**Figura 2.1** Metodología para el desarrollo de la investigación

En la Figura 2.1 se muestra las etapas que se siguieron en el estudio para obtener las características cinemáticas y encontrar los ciclos conducción de los buses interprovinciales de la ruta Ibarra-Tulcán.

## **2.2 CARACTERIZACIÓN DE BUSES INTERPROVINCIALES IBARRA-TULCÁN**

En primer lugar, se realizó la caracterización de los buses interprovinciales con ruta Ibarra-Tulcán. Para ello se tuvieron ciertas condiciones antes de obtener los datos de los buses interprovinciales; e igualmente antes de adquirir la itinerancia, los horarios y las rutas con las que se rigen las empresas para brindar el servicio de transporte.

### **2.2.1 CONDICIONES PREVIAS**

Dentro de las cooperativas que circulan por la ruta Ibarra-Tulcán se tienen: Velotax, Pulman Carchi, Expreso Tulcán, Vencedores, Tax Gacela, Panamericana, Flota Imbabura y Expreso Turismo.

Para el estudio de esta investigación se seleccionó las flotas que entran tanto al terminal Terrestre de Ibarra como al terminal terrestre de Tulcán, puesto que, estos se rigen a un horario de llega a cada terminal lo que proporciona mejores resultados al momento de recolectar datos.

La cooperativa Expreso Turismo es la única que cuenta con unidades que entran a ambos terminales con horarios más frecuentes por lo que se realizó el estudio con las flotas de dicha cooperativa, además de cumplir estadísticamente con unidades para conseguir resultados fiables.

Además, para realizar un análisis con otras operadoras se escogió la cooperativa Velotax como representante de las unidades que no entrar al terminal de Ibarra cruzando directamente hasta la ciudad de Quito donde es su destino. Esto es para observar si existe diferencias significativas entre operadora que circulan por la misma ruta con respecto a los resultados obtenidos al realizar las pruebas.

### 2.2.2 CARACTERIZACIÓN

Para la caracterización se tomó en cuenta datos de los vehículos como son: marca, modelo, año de fabricación, tipo de motor y carrocería que fueron proporcionados por la cooperativa de transporte interprovincial Expreso Turismo y el cual es la única cooperativa con unidades que entra en el Terminal Terrestre de Ibarra y tienen un horario frecuente. En la Tabla 2.1 se muestra la lista de unidades de la cooperativa Expreso Turismo.

**Tabla 2.1** Características de buses de la cooperativa Expreso Turismo

UNIDADES	MARCA	MODELO	AÑO DE FABRICACIÓN	TIPO DE MOTOR	CARROCERÍA
31	HINO	AK8JRSA	2013 - 2018	Diesel	IMCE, MONCAYO, CEPEDA

En la cooperativa Turismo existen 31 unidades que se encuentran en circulación. Estas unidades son de la marca HINO y modelo es AK8JRSA con motor diésel. Las unidades más actuales son del año de fabricación del 2018 y los buses más antiguos son del 2013. Los buses interprovinciales tienen tres carrocerías las cuales son: IMCE, MONCAYO y CEPEDA.

También fue proporcionado información de las unidades de la cooperativa de transporte interprovincial VELOTAX de acuerdo con el número de unidades, marca, modelo, tipo de motor y años de fabricación de cada bus. La cooperativa VELOTAX tienen 28 unidades en circulación que tienen las mismas características en marca, modelo, año de fabricación, tipo de motor.

### 2.2.3 FRECUENCIAS DE LOS BUSES INTERPROVINCIALES

Para el desarrollo del trabajo también fue necesario conocer las frecuencias de las unidades de transporte interprovincial. En la Tabla 2.2 se muestra los horarios y las rutas de salida de los terminales de Quito, Ibarra y Tulcán, siendo QI la ruta de Quito a Ibarra, IT la ruta de Ibarra a Tulcán, TI la ruta de Tulcán a Ibarra y IQ la ruta de Ibarra a Quito.

**Tabla 2.2** Frecuencia diaria de los buses de la cooperativa Expreso Turismo

RUTA Y HORA				
2:35 AM - IQ	8:30 AM - QI	2:45 PM - IQ		
4:50 AM - QI	7:15 AM - IT	10:50 AM - TI	1:45 PM - IQ	6:50 PM - QI
9:55 AM - IQ	3:30 PM - QI	7:20 PM - IQ		
7:20 AM - QI	1:25 PM - IQ	6:30 PM - QI		
7:45 AM - IQ	1:50 PM - QI			
3:05 AM - IQ	9:30 AM - QI	3:15 PM - IQ		
6:00 AM - QI	8:15 AM - IT	12:30 PM - TI	3:55 PM - IQ	8:10 PM - QI
6:55 AM - IQ	1:00 PM - QI	3:15 PM - IT		
7:50 AM - TI	10:45 AM - IQ	4:20 PM - QI		
5:25 AM - IQ	11:30 AM - QI			
3:35 AM - IQ	9:50 AM - QI	12:15 PM - IT	5:00 PM - TI	7:20 PASA
6:20 AM - QI	12:05 PM - IQ	5:00 PM - QI		
7:25 AM - IQ	1:20 AM - QI	6:05 PM - IQ		
8:50 AM - QI	11:15 AM - IT	4:00 PM - TI	6:35 PASA	
5:30 AM - QI	11:25 AM - IQ	4:40 PM - QI		
6:25 AM - IQ	12:20 AM - QI			
4:15 AM - IQ	10:20 AM - QI	4:35 PM - IQ		
7:50 AM - QI	10:15 PM - IT	2:30 PM - TI	5:35 PM - IQ	
5:10 AM - QI	10:15 PM - IQ	3:50 PM - QI		
8:35 AM - IQ	2:50 PM - QI	5:15 PM - IT		
9:50 AM - TI	12:55 PM - IQ	6:00 PM - QI		
8:15 AM - IQ	2:10 AM - QI	6:35 PM - IQ		
6:40 AM - QI	12:35 PM - IQ	5:30 PM - QI		
4:35 AM - IQ	10:40 AM - QI	4:55 PM - IQ	8:50 PM - QI	
5:55 AM - IQ	12:00 PM - QI	2:30 PM - IT		
6:00 AM - TI	9:15 AM - IQ	3:10 PM - QI		
5:05 AM - IQ	10:50 PM - QI	1:15 PM - IT	5:50 PM - TI	8:40 PM - IQ
8:10 AM - QI	2:25 PM - IQ	7:50 PM - QI		

Las 31 unidades del transporte interprovincial hacen uso de estas frecuencias. Por cada día que pasan cada unidad toma el siguiente horario con diferentes rutas y horas de trabajo. Al final cada unidad descansa tres días según el horario establecido por la cooperativa, por lo que diariamente 28 unidades laboran de manera normal.

#### **2.2.4 FRECUENCIA DE LOS BUSES INTERPROVINCIALES DE SALIDA DESDE IBARRA**

Para la investigación fue necesario extraer los horarios de salida desde el Terminal terrestre de Ibarra con los cuales se trabajó posteriormente para la recolección de datos. Al no contar con la hora de llegada al terminal de Tulcán se estimó la llegada de cada uno y con los resultados del seguimiento de las unidades conocer la hora exacta de llegada. En la Tabla 2.2 se muestra los horarios de salida de los buses interprovinciales desde el terminal terrestre de Ibarra y las horas estimadas de llegada al terminal terrestre de Tulcán.

**Tabla 2.2** Horario de salida desde el Terminal de Ibarra

<b>Ibarra a Tulcán</b>	
<b>Salida</b>	<b>Llegada</b>
7:15 h	9:50 h
8:15 h	10:50 h
10:15 h	12:50 h
11:15 h	13:50 h
12:15 h	14:50 h
13:15 h	15:50 h
14:30 h	17:05 h
15:15 h	17:50 h
17:15 h	19:50 h

Los horarios estimados se realizaron para calcular el momento de llegada a su destino y retirar el dispositivo que se utilizó para el levantamiento de los datos y evitar que recolecte datos mientras el vehículo se encuentra parado en el terminal.

#### **2.2.5 FRECUENCIA DE LOS BUSES INTERPROVINCIALES DE SALIDA DESDE TULCÁN**

También fue necesario extraer el horario de salida de los buses desde el terminal terrestre de Tulcán debido a que tiene diferentes horarios con respecto a la salida desde Ibarra. Al igual

que en el anterior punto se estimó los horarios de llegada al terminal terrestre de Ibarra para posteriormente mediante el seguimiento de las flotas determinar el tiempo de recorrido real de la ruta Ibarra-Tulcán. En la Tabla 2.3 se muestra los horarios de salida y llegada desde el Terminal Terrestre de Tulcán hasta el Terminal Terrestre de Ibarra.

**Tabla 2.3** Horario de salida desde Terminal Terrestre de Tulcán

<b>Tulcán a Ibarra</b>	
<b>Salida</b>	<b>Llegada</b>
6:00 h	8:35 h
7:50 h	10:25 h
9:50 h	12:25 h
10:50 h	13:25 h
12:30 h	15:00 h
14:30 h	17:00 h
16:00 h	18:30 h
17:00 h	19:30 h
17:50 h	20:20 h

Es importante señalar que estos horarios corresponden tanto a los días de la semana de lunes a viernes como para fines de semana sin alteraciones en los horarios. En los días feriados los horarios se siguen manteniendo estables para que las personas puedan hacer uso del servicio sin interrupciones.

### **2.3 SELECCIÓN DE DISPOSITIVO DE SEGUIMIENTO GPS**

Para el levantamiento de datos de la cinemática de los buses interprovinciales Ibarra-Tulcán se seleccionó un dispositivo móvil GPS adecuado para seguimiento vehicular.

Para ello se comparó entre un dispositivo móvil GPS que es adecuadamente para este tipo de investigación o la utilización de una aplicación de smartphome que utilice el GPS que viene incluido en su sistema.

### 2.3.1 VARIABLES Y PARÁMETROS DE LA CINEMÁTICA DEL VEHÍCULO

Para calcular las características cinemáticas se necesita de la distancia en metros, el tiempo en segundos, la velocidad instantánea expresada en km/h y la aceleración en  $m/s^2$ . Con estos valores se puede calcular cada estado de marcha del vehículo (ralentí, cruce, aceleración y desaceleración) para posteriormente calcular el consumo de combustible.

Para la selección de la herramienta que se utilizará para la investigación se realizaron algunas comparaciones generales entre los smartphones y los dispositivos GPS, de acuerdo con características relevantes para la investigación, como se muestra en la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4** Características generales de dispositivos con GPS

CARACTERÍSTICAS	SMARTPHONE	GPS
Precisión	10 m	<3.5 m
Tiempo de reacción	<2 s	<1s
Resistencia	Frágil	Resistente a fuertes golpes y al agua
Internet	Conexión a internet para funcionar al 100%	No necesita conexión a internet
Señal	Señal GPS y GLONASS (algunos)	Señal GPS y GLONASS
Utilidad	Varias apps con variabilidad de herramientas útiles	GPS adecuados de acuerdo con cada trabajo
Energía	Hasta 1 día de uso (o dependiendo del trabajo)	Hasta 32 horas de trabajo
Costo	Apps gratis y pagadas desde \$ 1 en adelante	Desde \$ 20 en adelante

Es necesario recalcar que, la comparación entre smartphone y dispositivos GPS se realizó de manera general debido a la variación que hay con dispositivos GPS algunos con características mejores que otras; y las apps con diversidad de herramientas que tienen refiriéndose a los smartphones.

Para esta investigación se utilizó un dispositivo GPS debido a las mejores características que tiene con respecto a los smartphones con GPS. Hay que mencionar también que, los dispositivos GPS siempre serán mejor a los smartphones porque son fabricados específicamente para el rastreo de personas o vehículos.

### 2.3.2 GPS GL-770

El dispositivo electrónico GPS GL-770 es un registrador de datos (GPS+GLONASS). Este dispositivo puede ser usado para uso comercial y privados. En empresas se puede usar el dispositivo para el control del personal de campo o los automóviles de la empresa. Es resistente a los golpes y a prueba de salpicaduras (IPX3). Para que la batería sea duradera el dispositivo cuenta con sensor de movimiento.

El dispositivo está equipado con dos softwares: TSI Long View el cual presenta los datos recolectados guardados en una tabla con el seguimiento en Google Maps y el software Cloud-based MMG es un rastreador alternativo para controlar el dispositivo en tiempo real.

#### Características:

- El sistema es compatible con dos satélites: GPS y GLONASS
- Memoria de 64 Mbit
- Compatible con Bluetooth Smart (BT4.0) LNS
- Tiene la capacidad de grabar hasta 250 00 puntos de referencia
- El intervalo de registro GPS se puede hacer por tiempo, distancia y velocidad
- Tiene un registro de 5 Hz
- En funcionamiento tiene una duración de 35 horas y en suspensión de 700 horas
- Posee protección contra salpicaduras del tipo IPX3 impermeable
- A prueba de golpes de una caída libre de 1,5 metros

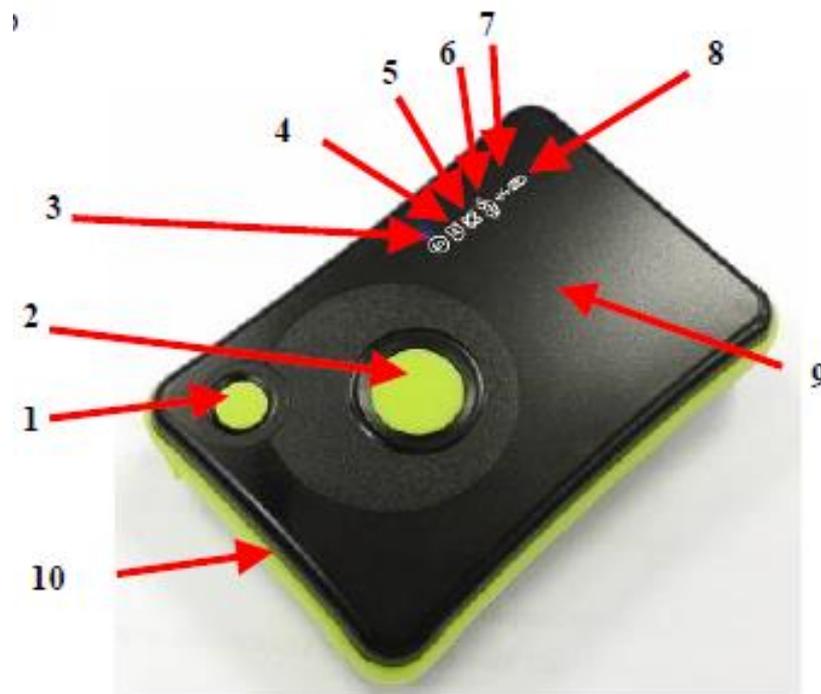
#### Aplicaciones:

- Grabar los viajes
- Administrar las trayectorias
- Administrar el equipo de campo
- Registra puntos de interés

#### Apariencia del dispositivo:

1. Botón de encendido
2. Botón POI
3. Led de sensor de aceleración (color azul)

4. Led de capacidad de memoria (color rojo)
5. Led de estación del GPS (color naranja)
6. Led de modo vehículo (color azul)
7. Led de Bluetooth (color Azul)
8. Led de estado de la batería (rojo/verde)
9. Antena incorporada
10. Conexión USB y botón de reestablecer



**Figura 2.2** GPS Recorder GL-770

En la Figura 2.2 se muestra el dispositivo GPS Recorder GL-770 que se utilizó para la recolección de datos de cada viaje. Se indica las partes principales que tiene el dispositivo para un mejor reconocimiento de estructura y funcionamiento.

Este dispositivo tiene la facilidad de almacenar los datos del viaje mediante Google Earth y por el software TSI transystem que es un programa propio del dispositivo permitiendo manipular los datos almacenados cualquier cantidad de veces.

Indice	RCR	UTC Time	Local Time	milis...	Valid	Latitud	N/S	Longitud	E/W	Altura	Velocidad	Denominación	Distancia
1		2018/06/04 14:26:12	2018/06/04 09:26:12	0	FIXED	0°21'48"N	N	78° 6'38"W	W	0 m	0.019 km/h	0.000000	0.00 m
2		2018/06/04 14:26:13	2018/06/04 09:26:13	0	FIXED	0°21'48"N	N	78° 6'38"W	W	2216 m	0.000 km/h	0.000000	0.00 m
3		2018/06/04 14:26:14	2018/06/04 09:26:14	0	FIXED	0°21'48"N	N	78° 6'38"W	W	2216 m	0.000 km/h	270.000000	0.00 m
4		2018/06/04 14:26:15	2018/06/04 09:26:15	0	FIXED	0°21'48"N	N	78° 6'38"W	W	2216 m	1.111 km/h	180.000000	0.16 m
5		2018/06/04 14:26:16	2018/06/04 09:26:16	0	FIXED	0°21'48"N	N	78° 6'38"W	W	2217 m	0.019 km/h	0.000000	0.16 m
6		2018/06/04 14:26:17	2018/06/04 09:26:17	0	FIXED	0°21'48"N	N	78° 6'38"W	W	2217 m	0.000 km/h	0.000000	0.00 m
7		2018/06/04 14:26:18	2018/06/04 09:26:18	0	FIXED	0°21'48"N	N	78° 6'38"W	W	2217 m	0.000 km/h	0.000000	0.00 m
8		2018/06/04 14:26:19	2018/06/04 09:26:19	0	FIXED	0°21'48"N	N	78° 6'38"W	W	2217 m	0.000 km/h	0.000000	0.00 m
9		2018/06/04 14:26:20	2018/06/04 09:26:20	0	FIXED	0°21'48"N	N	78° 6'38"W	W	2217 m	0.000 km/h	284.036515	0.00 m
10		2018/06/04 14:26:21	2018/06/04 09:26:21	0	FIXED	0°21'48"N	N	78° 6'38"W	W	2217 m	0.444 km/h	0.000000	0.76 m
11		2018/06/04 14:26:22	2018/06/04 09:26:22	0	FIXED	0°21'48"N	N	78° 6'38"W	W	2216 m	0.000 km/h	0.000000	0.00 m
12		2018/06/04 14:26:23	2018/06/04 09:26:23	0	FIXED	0°21'48"N	N	78° 6'38"W	W	2216 m	0.000 km/h	0.000000	0.00 m
13		2018/06/04 14:26:24	2018/06/04 09:26:24	0	FIXED	0°21'48"N	N	78° 6'38"W	W	2216 m	0.000 km/h	0.000000	0.00 m
14		2018/06/04 14:26:25	2018/06/04 09:26:25	0	FIXED	0°21'48"N	N	78° 6'38"W	W	2216 m	0.000 km/h	180.000000	0.00 m
15		2018/06/04 14:26:26	2018/06/04 09:26:26	0	FIXED	0°21'48"N	N	78° 6'38"W	W	2216 m	0.000 km/h	90.000000	0.16 m
16		2018/06/04 14:26:27	2018/06/04 09:26:27	0	FIXED	0°21'48"N	N	78° 6'38"W	W	2217 m	0.444 km/h	90.000000	0.21 m
17		2018/06/04 14:26:28	2018/06/04 09:26:28	0	FIXED	0°21'48"N	N	78° 6'38"W	W	2217 m	0.000 km/h	270.000000	0.21 m

**Figura 2.3** Información recibida de GPS Recorder GL-770 en Transystem Inc.

En la Figura 2.3 se muestra los datos que recolecta el dispositivo móvil GPS Recorder GL-770. Los datos necesarios con los que se realizó la investigación del cual envía el dispositivo son: Tiempo local, Latitud, longitud, Altura y velocidad

## 2.4 PLANIFICACIÓN PARA EL LEVANTAMIENTO DE DATOS

Para realizar el levantamiento de datos de los buses interprovinciales Ibarra-Tulcán fue necesario conocer las horas pico y las horas valle en el día tanto para los horarios de salida de Ibarra como los horarios de salida desde Tulcán. También es necesario conocer los días donde existe mayor aglomeración de gente que se traslada de Ibarra a Tulcán y viceversa.

### 2.4.1 ENCUESTAS

Para ello se realizó una encuesta dirigida a los 31 conductores de la cooperativa turismo que sería el universo. Estos conductores diariamente manejan por dicha ruta y conocen las horas y días descritas anteriormente. Al ser el universo tan pequeño la encuesta se dirigió a los 31 conductores de la cooperativa siendo esta la muestra. Se realizaron las siguientes preguntas:

¿Cuáles son las horas de mayor afluencia de personas en el recorrido de Ibarra a Tulcán?

La Tabla 2.5 representa las respuestas seleccionadas por los conductores de la primera columna correspondiente a la primera pregunta de la encuesta. Se muestra la frecuencia de acuerdo con las opciones que se tiene en la pregunta y el total de conductores que respondieron.

**Tabla 2.5** Respuestas jornada de la mañana horario Ibarra-Tulcán

<b>MAÑANA</b>	<b>FRECUENCIA</b>
7:15 AM	23
8:15 AM	7
10:15 AM	1
<b>TOTAL</b>	<b>31</b>

La hora pico por la mañana de acuerdo con los conductores es en el horario de las 7:15 AM mientras que la 8:15 AM y las 10:15 AM son consideradas horas valle es decir que no hay mucha circulación de personas. En la Tabla 2.6 se muestran las respuestas seleccionadas por los conductores de la primera pregunta en la segunda columna

**Tabla 2.6** Respuestas jornada en el medio día horario Ibarra-Tulcán

<b>MEDIO DÍA</b>	<b>FRECUENCIA</b>
11:15 AM	7
12:15 PM	15
1:15 PM	9
<b>TOTAL</b>	<b>31</b>

En los horarios de medio día la hora en donde existe más circulación de personas es a las 12:15 PM, mientras que los horarios de 11:15 AM y 1:15 PM se normaliza considerándose horas valle. La Tabla 2.7 representa las respuestas de los conductores a la primera pregunta en la segunda columna.

**Tabla 2.7** Respuestas Jornada de la tarde horario Ibarra-Tulcán

<b>TARDE</b>	<b>FRECUENCIA</b>
2:30 PM	0
3:15 PM	13
5:15 PM	18
<b>TOTAL</b>	<b>31</b>

Los horarios de 2:30 PM y 3:15 PM que son horas de salida por la tarde desde Ibarra son considerado por los conductores horas valle debido a la irregularidad de circulación de personas, mientras que a las 5:15 PM que es el último horario de salida es hora pico con mayor afluencia de personas.

¿Cuáles son las horas de mayor afluencia de personas en el recorrido de Tulcán a Ibarra?

En la Tabla 2.8 se muestran las respuestas escogidas por los conductores que corresponden a la segunda pregunta de la encuesta en la sección de la primera columna. La frecuencia indica las veces que los conductores seleccionaron la respuesta. El total de conductores que respondieron a esa pregunta fueron 31.

**Tabla 2.8** Respuestas jornada de la mañana horario Tulcán-Ibarra

<b>MAÑANA</b>	<b>FRECUENCIA</b>
6:00 AM	21
7:50 AM	5
9:50 AM	5
<b>TOTAL</b>	<b>31</b>

De acuerdo con los resultados obtenidos el horario donde existe mayor afluencia de personas desde el terminal terrestre de Tulcán a las 6:00 AM mientras que para los horarios de 7:50 AM y 9:50 AM la circulación se normaliza. En la Tabla 2.9 se presentan las veces que se seleccionaron las respuestas de la segunda pregunta en la segunda columna.

**Tabla 2.9** Respuestas jornada del medio día horario Tulcán-Ibarra

<b>MEDIO DÍA</b>	<b>FRECUENCIA</b>
10:50 AM	8
12:30 PM	13
2:30 PM	10
<b>TOTAL</b>	<b>31</b>

En la jornada del medio día la hora pico para los buses interprovinciales de ruta Ibarra-Tulcán es a la 12:30 PM mientras que las horas de 10:50 AM y 2:30 PM son consideradas como hora valle. La Tabla 2.10 se encuentran las respuestas seleccionadas por los conductores de la segunda pregunta en la tercera columna La frecuencia descrita en la tabla señala las veces que se seleccionó la respuesta.

**Tabla 2.10** Respuestas jornada de la tarde horario Tulcán-Ibarra

TARDE	FRECUENCIA
4:00 PM	19
5:00 PM	3
5:50 PM	9
TOTAL	31

En la tarde la hora pico se evidencia en el horario de 4:00 PM de acuerdo a las respuestas seleccionadas por los conductores mientras que los siguientes horarios de la tarde que son de 5:00 PM y 5:50 PM los horarios son normales, es decir hora valle.

¿Qué días existen mayor afluencia de personas para la ruta Ibarra - Tulcán? Señale de mayor a menor

En la Tabla 2.11 que se presenta a continuación indica las respuestas seleccionadas por los conductores a la tercera pregunta. En la tabla se tienen las opciones que tenía la pregunta y la frecuencia que se obtuvo.

**Tabla 2.11** Respuestas días de mayor afluencia de personas ruta Ibarra-Tulcán

DÍAS	FRECUENCIA
LUNES	90
MARTES	74
MIÉRCOLES	48
JUEVES	126
VIERNES	131
FIN DE SEMANA	182

El fin de semana son los días donde existe mayor afluencia de personas mientras que de lunes a viernes los días con mayor afluencia son jueves y viernes, siguiendo con lunes y martes y el día de menor movilidad es el miércoles.

#### 2.4.2 ANÁLISIS DE HORARIOS Y DÍAS

Una vez que se ha analizado cada pregunta de la encuesta que se realizó a los conductores de los buses interprovinciales Ibarra-Tulcán de la cooperativa Expreso Turismo se encuentran las siguientes variables:

- Para el recorrido Ibarra Tulcán los horarios con los que se trabajó de acuerdo con las jornadas del día: en la mañana son de 7:15 AM y 10:15 AM, Medio día 12:15 PM y 11:15 PM, Tarde 5:15 PM y 2:30 AM. Estos horarios corresponden a las horas pico y horas valle en el día.
- Para el recorrido Tulcán Ibarra los horarios con los que se trabajó de acuerdo con las jornadas del día en la mañana de 6:00 y 7:50, Medio día 12:30 PM y 10:50 PM, Tarde 4:00 PM y 5:00 AM

En la Tabla 2.12 se presenta la hora en que se realizara el seguimiento de las unidades, la franja horaria al que corresponde cada hora y el recorrido en el que se realizó el seguimiento. Esto se realizó a partir del día 06 de agosto del 2018 hasta el 19 de agosto del 2018.

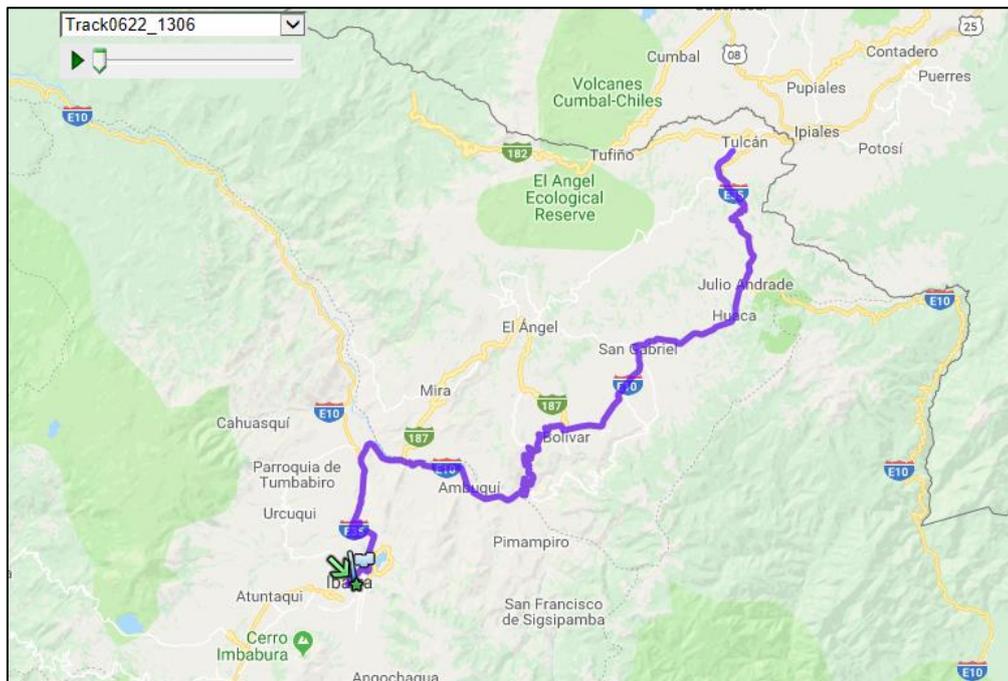
**Tabla 2.12** Cuadro de planificación para el levantamiento de datos

<b>DEL 06/08/2018 AL 19/08/2018</b>		
<b>HORA</b>	<b>FRANJA HORARIA</b>	<b>RUTA</b>
7:15 AM	HORA PICO	IBARRA-TULCÁN
10:15 AM	HORA VALLE	IBARRA-TULCÁN
11:15 AM	HORA VALLE	IBARRA-TULCÁN
12:15 AM	HORA PICO	IBARRA-TULCÁN
14:30 PM	HORA VALLE	IBARRA-TULCÁN
17:15 PM	HORA PICO	IBARRA-TULCÁN
6:00 AM	HORA PICO	TULCÁN-IBARRA
7:50 AM	HORA VALLE	TULCÁN-IBARRA
10:50 AM	HORA VALLE	TULCÁN-IBARRA
12:30 PM	HORA PICO	TULCÁN-IBARRA
16:00 PM	HORA PICO	TULCÁN-IBARRA
17:00 PM	HORA VALLE	TULCÁN-IBARRA

De acuerdo con como se muestra en la tabla anterior se procedió a realizar la toma de datos para cada día de la semana. Es importante señalar que por cada día las unidades toman horarios de salida, o turnos diferentes. Al tomar datos por dos semanas implicar que se realicen las pruebas a buses diferentes, pero con los mismos horarios, lo que ayuda a una mejor comparación entre datos de la semana.

## 2.5 LEVANTAMIENTO DE DATOS

Durante en proceso se utilizaron 9 GPS Recorder GL-770 para el rastreo de las unidades de acuerdo con los horarios establecidos. Los nueve dispositivos están enumerados de 1 al 9 para evitar confusión con las diferentes pruebas. Para realizar el levantamiento de datos con el dispositivo GPS se siguieron los siguientes pasos.



**Figura 2.4** Recorrido de un bus interprovincial Ibarra-Tulcán mostrado de Google Earth

En la Figura 2.4 se puede observar la ruta que tiene el bus interprovincial en su labor diario desde que sale del Terminal terrestre de Ibarra hasta llegar al Terminal Terrestre de Tulcán.

### 2.5.1 RECOLECCIÓN DE DATOS RECORRIDO IBARRA-TULCÁN

Para la recolección de la ruta Ibarra-Tulcán se realizó las pruebas durante los 7 días de la semana en horarios que fueron seleccionados de acuerdo con las encuestas realizadas a los conductores de las unidades.

Se colocó el dispositivo en el horario de 7:15 AM que según las encuestas realizadas es la hora pico por la mañana. El dispositivo fue enviando mediante encomienda para evitar pérdida de la señal del GPS durante el recorrido desde Ibarra hacia Tulcán. El dispositivo

fue encendido 3 minutos antes de que la unidad salga para que el dispositivo tenga tiempo para conectarse con el satélite y recolectar los datos desde el primer momento en que la unidad se movilice. Una vez llegado al terminal de Tulcán se retiró el dispositivo para concluir con ese horario.

Posteriormente se realizó el mismo proceso para los demás horarios de horas pico y valle en todo el día. Hay que mencionar, además, que los dispositivos colocados en los horarios de 10:15 am, 14:30 pm y 17:15 pm no fueron retirados el mismo día para almacenar la información en el computados, en cambio, se retiraron al siguiente día, registrando datos de unidades que venían desde Tulcán hacia Ibarra.

### **2.5.2 RECOLECCIÓN DE DATOS RECORRIDO TULCÁN-IBARRA**

Para realizar las pruebas del recorrido Tulcán-Ibarra se utilizaron 6 dispositivos GPS para los horarios seleccionados. A continuación, se detalla los pasos para la obtención de datos de los diferentes horarios.

Se colocó el dispositivo en la unidad que salía del terminal de Tulcán a las 6:00 AM. El dispositivo fue encendido 3 min antes de colocar en la unidad para que tenga el suficiente tiempo de conectarse con el satélite y puede recolectar los datos desde el tiempo deseado. Una vez que el vehículo se moviliza el dispositivo GPS empieza a recolectar los datos de su recorrido hasta llegar al terminal terrestre de Ibarra. El dispositivo es retirado de la unidad en el momento de llegada al terminal de Ibarra.

De igual modo, este proceso se aplicó para los demás horarios restantes del día. En relación con los horarios de 12:30 pm, 16:00 pm y 17:00 pm se realizaron con dispositivos que tenían información recolectada del recorrido Ibarra-Tulcán mientras que los horarios de 6:00 am, 7:50 am y 10:50 am contenían datos del recorrido Ibarra-Tulcán del día anterior.

### **2.6 EXTRACCIÓN Y LECTURA DE LOS DATOS OBTENIDOS**

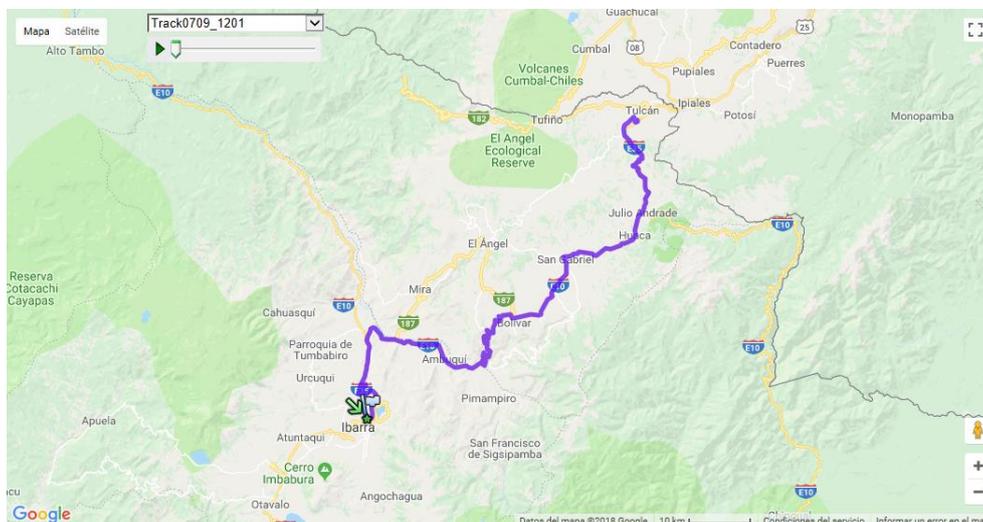
Para almacenar los datos a la computadora se conectó el dispositivo mediante un cable y se abrió el software LogView. Posteriormente se dio clic en “Leer log”. Se abrió un cuadro de

dialogo comunicando que debe estar encendido el dispositivo. Se dio clic en “OK” para cerrar el cuadro de dialogo y empezar a leer los datos almacenados por el GPS.

Índice	RCR	UTC Time	Local Time	milis...	Valid	Latitud	N/S	Longitud
1		2018/07/09 12:01:24	2018/07/09 07:01:24	0	FIXED	0°21'36"N	N	78° 7'11"W
2		2018/07/09 12:01:25	2018/07/09 07:01:25	0	FIXED	0°21'36"N	N	78° 7'11"W
3		2018/07/09 12:01:26	2018/07/09 07:01:26	0	FIXED	0°21'36"N	N	78° 7'11"W
4		2018/07/09 12:01:27	2018/07/09 07:01:27	0	FIXED	0°21'36"N	N	78° 7'11"W
5		2018/07/09 12:01:28	2018/07/09 07:01:28	0	FIXED	0°21'36"N	N	78° 7'11"W
6		2018/07/09 12:01:29	2018/07/09 07:01:29	0	FIXED	0°21'36"N	N	78° 7'11"W
7		2018/07/09 12:01:30	2018/07/09 07:01:30	0	FIXED	0°21'36"N	N	78° 7'11"W
8		2018/07/09 12:01:31	2018/07/09 07:01:31	0	FIXED	0°21'36"N	N	78° 7'11"W
9		2018/07/09 12:01:32	2018/07/09 07:01:32	0	FIXED	0°21'36"N	N	78° 7'11"W
10		2018/07/09 12:01:33	2018/07/09 07:01:33	0	FIXED	0°21'36"N	N	78° 7'11"W
11		2018/07/09 12:01:34	2018/07/09 07:01:34	0	FIXED	0°21'36"N	N	78° 7'11"W
12		2018/07/09 12:01:35	2018/07/09 07:01:35	0	FIXED	0°21'36"N	N	78° 7'11"W

**Figura 2.5** Datos del dispositivo GPS mostrados en LogView

Una vez cargado la información se muestran en la ventana principal del programa los datos recolectados por el dispositivo como se puede apreciar en la Figura 2.5. Hay que mencionar, además, si se quiere exportar los datos desde la computadora para archivos guardados anteriormente se da clic en el botón “*Read from file...*”, se busca el archivo con formato (.nmea) dentro de la carpeta donde se encuentre guardada.

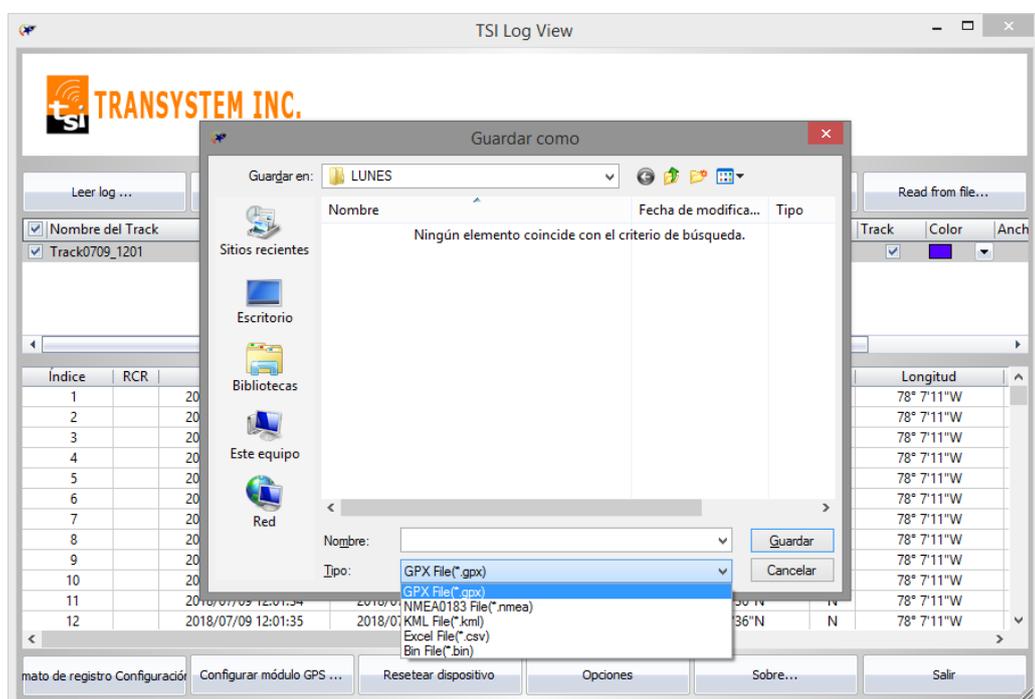


**Figura 2.6** Mapa de Google mostrado a través de Log View

LongView también muestra el recorrido de la unidad visualmente mediante Google Map. Para entrar a la ventana del mapa se debe hacer clic en el botón que dice “Mostrar en un mapa...” es necesario tener acceso a internet desde el computador y se muestra el mapa con el recorrido como se puede ver en la Figura 2.6.

## 2.7. ALMACENAMIENTO DE LOS DATOS

Una vez que el programa logró leer los datos dentro del dispositivo se guardó como archivo en la computadora. Para ellos se dio clic en el botón salvar el cual despliega una ventana secundaria que muestra las carpetas de almacenamiento del ordenador en donde se debe seleccionar el lugar donde se desea guardar.



**Figura 2.7** Formatos para guardar en el PC datos del dispositivo GPS

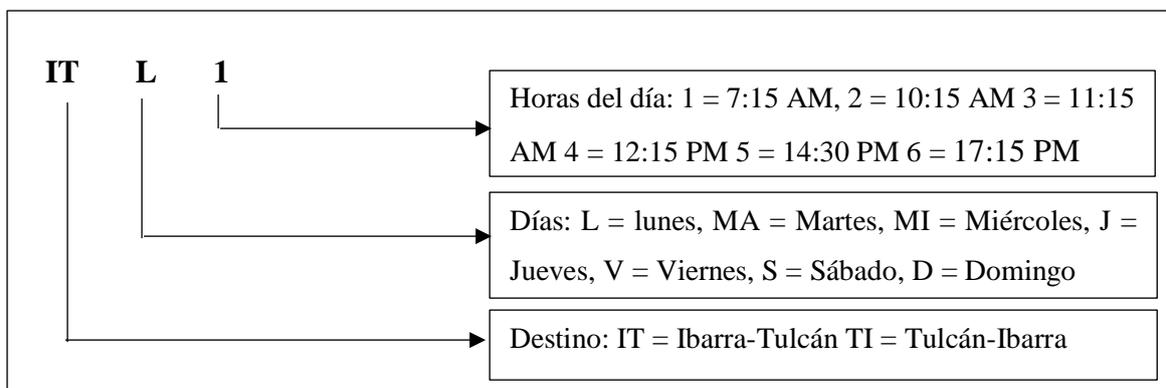
El programa permite guardar el archivo con diferentes formatos como son: (\*.gpx), (\*.nmea), (\*.kml), (\*.csv), (\*.bin) como se muestra en la Figura 2.7. Una vez guardado los datos en la computadora se borró la información dentro de la memoria del dispositivo GPS. Se hizo clic en el botón “Borrar long...”. Una vez realizado esto el dispositivo puede ser utilizado para realizar otro levantamiento de datos.

## 2.8 ELABORACIÓN DE BASE DE DATOS

Los archivos guardados desde el programa LogView se los guardó en el formato (.nmea) para lograr abrir desde el mismo programa y también como formato (.csv) para abrir la información desde otro programa distinto.

Los datos importados fueron guardados dentro de una carpeta llamada “DATOS” dentro de esa carpeta se encuentran subcarpetas que contienen los datos de cada días:

- La carpeta “L” corresponde al levantamiento de datos realizados el día lunes
- La carpeta “MA” contiene los archivos de levantamiento de datos del día martes
- La carpeta “MI” contiene el levantamiento de datos del día miércoles
- La carpeta “J ” contiene los archivos de levantamiento de datos del día Jueves
- La carpeta “V ” contiene los archivos del día Viernes
- La carpeta “S” contiene los archivos de levantamiento de datos del día Sabado
- La carpeta “D” contiene los archivos de levantamiento de datos del día Domingo



**Figura 2.8** Asignación de letras y números para cada seguimiento

En la Figura 2.8 se describe el nombre como se guardó los archivos (.csv) tomando en cuenta los días que se realizó el levantamiento, el destino y los horarios. Si la unidad se trasladó de Ibarra a Tulcán se asigna las letras “IT” y si se traslada de Tulcán a Ibarra se asigna las letras “TI”. La siguiente letra corresponde a los días de la semana, para el lunes se asigna la letra “L” para el martes las letras “MA”, para el miércoles las letras “MI”, para el jueves la letra “J”, para el viernes la letra “V”, para el sábado la letra “S” y para el domingo la letra “D”. De acuerdo con las horas que se realizó el seguimiento se le asigno un numero a cada hora. En caso de Ibarra a Tulcán (IT) la 7:15 AM se asignó el número “1”, las 10:15 AM se asignó el número “2”, las 11:15 AM se asignó el número “3”, las 12:15 PM se asignó el número

“4”, las 14:30 PM se asignó el número “5”, y las 17:15 PM se asignó el número “6”. Para el caso del recorrido de Tulcán a Ibarra (TI) el número “1” corresponde para las 6:00 AM, el número “2” corresponde a las 7:50 AM, el número “3” corresponde para las 10:50 AM, el número “4” corresponde para las 12:30 PM, el número “5” para las 16:00 PM y el número “6” para las 17:00 PM.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
ITL1	09/07/2018 14:50	Archivo de valores...	990 KB
ITL2	10/07/2018 10:17	Archivo de valores...	1.472 KB
ITL3	02/07/2018 21:36	Archivo de valores...	1.440 KB
ITL4	02/07/2018 21:52	Archivo de valores...	1.769 KB
ITL5	03/07/2018 20:07	Archivo de valores...	1.235 KB
ITL6	03/07/2018 20:15	Archivo de valores...	1.036 KB
TIL1	15/07/2018 17:29	Archivo de valores...	825 KB
TIL2	02/07/2018 21:16	Archivo de valores...	1.000 KB
TIL3	09/07/2018 14:52	Archivo de valores...	1.316 KB
TIL4	02/07/2018 21:29	Archivo de valores...	1.174 KB
TIL5	10/07/2018 10:19	Archivo de valores...	1.414 KB
TIL6	02/07/2018 21:57	Archivo de valores...	1.179 KB

**Figura 2.9** Formato de datos del lunes con recorrido Ibarra-Tulcán y Tulcán-Ibarra

En la Figura 2.9 se muestra los archivos del levantamiento de datos del lunes. Para el recorrido Ibarra-Tulcán se tiene: ITL1, ITL2, ITL3, ITL4, ITL5, ITL6 y para el recorrido Tulcán-Ibarra se tiene: TIL1, TIL2, TIL3, TIL4, TIL5, TIL6. La misma cantidad de archivos se encuentran almacenadas en carpetas correspondientes al día del levantamiento

## 2.9 PROCESAMIENTO DE DATOS

Para el procesamiento de datos de los distintos seguimientos que se ejecutaron se realizó mediante el software RStudio. R es un programa estadístico que se ejecuta mediante lenguaje de programación. Puede analizar y graficar grandes cantidades de datos sin tener ningún error en el proceso. Reconocer de manera automática los tipos de archivos que se sube a la plataforma. Es compatibles con archivos “.csv” que se crean al almacenar los datos del GPS para luego insertar en una tabla de manera sencilla. Por esta razón se utilizó R como herramienta principal para procesar los datos de seguimiento de buses interprovinciales Ibarra-Tulcán. Para el procesamiento de los datos se ocuparon varios pasos que se describen a continuación:

### 2.9.1 LECTURA DE DATOS

Para leer los archivos (.csv) desde la carpeta DATOS y exportarlos a RStudio se utilizó el código `read.table` que se ejecutó en la consola del programa R. Este paso es indispensable para trasladar los archivos registrados por el GPS a RStudio el cual ayudó al manejo de los datos de forma sencilla.

```
> X <- read.table("DATOS/L/ITL1.csv",header = TRUE, sep
= ",",fileEncoding = "latin1")
```

**Figura 2.10** Código de programación de R para leer datos (.csv) desde la carpeta guardada

En la Figura 2.10 se muestra el código `read.table` utilizado para exportar los datos a RStudio. Este código se aplica para todos los archivos (.csv) del seguimiento de los buses interprovinciales Ibarra-Tulcán, teniendo en cuenta los nombres de los archivos y las carpetas donde se encontraban cada uno de ellos.

```
> ITL1 <- read.table("DATOS/L/ITL1.csv",header = TRUE, sep = ",",fileEncoding = "latin1")
> ITL1 <- read.table("DATOS/L/ITL1.csv",header = TRUE, sep = ",",fileEncoding = "latin1")
> ITL1 <- read.table("DATOS/L/ITL1.csv",header = TRUE, sep = ",",fileEncoding = "latin1")
> ITL1 <- read.table("DATOS/L/ITL1.csv",header = TRUE, sep = ",",fileEncoding = "latin1")
> ITL2 <- read.table("DATOS/L/ITL2.csv",header = TRUE, sep = ",",fileEncoding = "latin1")
> ITL3 <- read.table("DATOS/L/ITL3.csv",header = TRUE, sep = ",",fileEncoding = "latin1")
> ITL4 <- read.table("DATOS/L/ITL4.csv",header = TRUE, sep = ",",fileEncoding = "latin1")
> ITL5 <- read.table("DATOS/L/ITL5.csv",header = TRUE, sep = ",",fileEncoding = "latin1")
> ITL6 <- read.table("DATOS/L/ITL6.csv",header = TRUE, sep = ",",fileEncoding = "latin1")
> ITL1 <- read.table("DATOS/L/ITL1.csv",header = TRUE, sep = ",",fileEncoding = "latin1")
>
> TIL1 <- read.table("DATOS/L/TIL1.csv",header = TRUE, sep = ",",fileEncoding = "latin1")
> TIL1 <- read.table("DATOS/L/TIL1.csv",header = TRUE, sep = ",",fileEncoding = "latin1")
> TIL2 <- read.table("DATOS/L/TIL2.csv",header = TRUE, sep = ",",fileEncoding = "latin1")
> TIL3 <- read.table("DATOS/L/TIL3.csv",header = TRUE, sep = ",",fileEncoding = "latin1")
> TIL4 <- read.table("DATOS/L/TIL4.csv",header = TRUE, sep = ",",fileEncoding = "latin1")
> TIL5 <- read.table("DATOS/L/TIL5.csv",header = TRUE, sep = ",",fileEncoding = "latin1")
> TIL6 <- read.table("DATOS/L/TIL6.csv",header = TRUE, sep = ",",fileEncoding = "latin1")
```

**Figura 2.11** Ejemplo de datos (.csv) leídos del día lunes

En la Figura 2.11 se muestra un ejemplo de cómo se ejecutó el código `read.table` para los seguimientos del lunes tanto para el recorrido Ibarra-Tulcán como para Tulcán-Ibarra. El nombre "ITL1" corresponde al nombre que tendrá el archivo exportado en R, el código "header = TRUE" informa que la primera fila son los títulos de cada columna, el código `sep = ","` detecta la coma separando por columnas y el código `fileEncoding = "latin1"` lee las palabras en español.

## 2.9.2 LIMPIEZA DE DATOS

La limpieza de los datos en data frame corresponden a los datos innecesarios que recolecto el dispositivo GPS mientras se encontraba conectado con el satélite. Los datos innecesarios son:

- El tiempo que el GPS registro los datos antes de que el bus saliera del terminal.
- El tiempo después de que el bus se detuviera en el terminal para bajar a los pasajeros y los encargos que tenga.

Para la eliminación de estos datos fue necesario ver los horarios de salida del terminal que tiene la operado tanto para el terminal de Tulcán como para el terminal de Ibarra. También fue necesario utilizar el programa LogView para ver la ruta del bus y el lugar donde se encontraba con el tiempo. Luego de verificar tanto el tiempo de salida y de llegada con la ayuda de RStudio se eliminó las filas innecesarias de cada data frame.

```
> ITL1 <- ITL1[-c(1:776,9440:9855), ]
```

**Figura 2.12** Código de programación de R para eliminación de filas en data frame

En la Figura 2.12 se muestra el código que se utilizó para la eliminación de los datos por filas de cada data frame que contenía los datos que recolectó el GPS. Una vez que se eliminó las filas es necesario seleccionar las columnas del data frame que contienen las variables requeridas para realizar el estudio.

```
> ITL1 <- ITL1[ ,c(5,6,9,11,13,14,16)]
```

**Figura 2.13** Código de programación de R para la selección de columnas en RStudio

En la Figura 2.13 se muestra el código que se utilizó en RStudio para seleccionar las columnas 5,6,9,11,13,14,16. Una vez que se tiene las columnas con las que se va a trabajar

se procedió a cambiar el nombre a cada una de ellas para mayor facilidad de reconocimiento de cada variable.

```
> names(ITL1)=c("FECHA", "HORA", "LATITUD (GD)", "LONGITUD (GD)",
"ALTURA (m.s.n.m)", "VELOCIDAD (Km/h)", "DISTANCIA (m)")
```

**Figura 2.14** Código de programación de R para cambiar el nombre a las columnas

En la Figura 2.14 se muestra el código de programación que se utilizó para modificar el data frame y lograr cambiar el nombre de las columnas seleccionadas.

	FECHA	HORA	LATITUD (GD)	LONGITUD (GD)	ALTURA (m.s.n.m)	VELOCIDAD (Km/h)	DISTANCIA (m)
777	2018/7/9	7:14:20	0.360740	-78.12000	2212	0.000	0.00
778	2018/7/9	7:14:21	0.360740	-78.12000	2212	0.000	0.00
779	2018/7/9	7:14:22	0.360740	-78.12000	2212	0.000	0.00
780	2018/7/9	7:14:23	0.360740	-78.12000	2212	0.000	0.00
781	2018/7/9	7:14:24	0.360740	-78.12000	2212	0.000	0.00
782	2018/7/9	7:14:25	0.360740	-78.12000	2212	0.000	0.00
783	2018/7/9	7:14:26	0.360740	-78.12000	2212	0.000	0.00
784	2018/7/9	7:14:27	0.360740	-78.12000	2212	0.000	0.00
785	2018/7/9	7:14:28	0.360740	-78.12000	2212	0.000	0.00
786	2018/7/9	7:14:29	0.360740	-78.12000	2212	0.000	0.00
787	2018/7/9	7:14:30	0.360740	-78.12000	2212	0.000	0.00

**Figura 2.15** Data frame eliminado filas y columnas con sus respectivos nombres

En la Figura 2.15 se puede ver el resultado final de la tabla data frame con las filas eliminadas y las columnas seleccionadas y renombradas. Una vez realizado la limpieza de datos se procedió a la realización de los cálculos de las variables cinemáticas.

### 2.9.3 CREACIÓN DE VARIABLES CINEMÁTICAS

Se crearon nuevas variables para la selección de datos en función de la ruta del bus, el día y la hora que se realizó el seguimiento, la edad del conductor y los tiempos de ralentí, crucero, aceleración y desaceleración las cuales experimentaron los buses en su recorrido.

```
> ITL1=cbind(ITL1,ACELERACION=rep("0",10092),DESTINO=rep("IBARRA-TULCAN",10092),DIA=rep("LUNES",10092),HORARIO=rep("7:15 AM",10092),HORA=rep("HORA PICO",10092),EDAD=rep("31 a 40",10092),TIEMPO.RALENTI=rep("0",10092),TIEMPO.CRUCERO=rep("0",10092),TIEMPO.ACELERACION=rep("0",10092),TIEMPO.DESACELERACION=rep("0",10092),ACELERA=rep("0",10092),DESACELERA=rep("0",10092),FLOTA=rep("TURISMO",10092))
```

**Figura 2.16** Código de programación de R para la creación de nuevas variables utilizando cbind

En la Figura 2.16 se muestra el código de programación de R para la creación de las nuevas variables creadas. Este código para crear columnas se aplicó para cada data frame de todos los horarios para los días de lunes a domingo. En el código se coloca el número de filas que tiene el data frame para insertar un mismo valor en todas las filas.

```
> ITL1$`ACELERACION m/s^2` <- as.numeric(ITL1$`ACELERACION m/s^2`)
> ITL1$TIEMPO.RALENTI <- as.numeric(ITL1$TIEMPO.RALENTI)
> ITL1$TIEMPO.CRUCERO <- as.numeric(ITL1$TIEMPO.CRUCERO)
> ITL1$TIEMPO.ACELERACION <- as.numeric(ITL1$TIEMPO.ACELERACION)
> ITL1$TIEMPO.DESACELERACION <- as.numeric(ITL1$TIEMPO.DESACELERACION)
>
> ITL1$`ACELERACION m/s^2` = 0
> ITL1$TIEMPO.RALENTI = 0
> ITL1$TIEMPO.CRUCERO = 0
> ITL1$TIEMPO.ACELERACION = 0
> ITL1$TIEMPO.DESACELERACION = 0
```

**Figura 2.17** Código de programación de R para la transformación de las variables a numérico

Con respecto a las columnas de aceleración y los estados de marcha, para asegurar que los valores en las variables sean cuantitativos es necesario mediante un código de lenguaje de programación en R transformar la columna a numérico y posteriormente dar valor de cero a cada fila de la columna seleccionada mediante otro código como se muestra en la Figura 2.17.

## 2.9.4 CÁLCULO DE LAS VARIABLES CUANTITATIVAS

Las variables cuantitativas como se mostró anteriormente son la aceleración, los tiempos de permanencia de ralenti, crucero, aceleración y desaceleración los cuales fueron utilizados para el análisis de acuerdo a factores importantes para la investigación. Primero es necesario calcular la aceleración en  $m/s^2$  de todos los instantes de tiempo.

### a. ACELERACIÓN

La aceleración se genera al variar la velocidad del bus mientras se encuentra en movimiento. Para poder calcular la aceleración se requirió de un lenguaje de programación de R que reconozca los datos de la columna de la velocidad. Para ello se utilizaron diferentes códigos que se ejecuten de manera correcta.

```
for(i in 2:8663){
  ITL1[i,8]=(((ITL1[i,6])*(1000/3600))-((ITL1[i-1,6])*(1000/3600)))
}
```

**Figura 2.18** Código de programación de R para calcular la aceleración  
(Ramírez, 2018, pág. 100)

En la Figura 2.18 se muestra el código de programación de R que se utilizó para calcular la aceleración en  $m/s^2$ . Como la columna de la velocidad se encuentra en  $km/h$  fue necesario aplicar el factor de conversión en la función. Para obtener los valores de porcentaje de cada marcha del vehículo es necesario señalar condiciones que marque el valor de 1 si se encuentra en ese estado o cero en caso de no ser así. Con los valores de cero y uno se puede sacar un promedio para posteriormente encontrar el estado de marcha. Las condiciones para los estados de marcha se describen a continuación:

- Ralentí: ( $v \leq 2 \text{ km/h}$ ) & ( $a = 0 \text{ m/s}^2$ )
- Crucero: ( $-0.1 \text{ m/s}^2 < a < 0.1 \text{ m/s}^2$ ) & ( $v > 2 \text{ km/h}$ )
- Aceleración: ( $a \geq 0.1 \text{ m/s}^2$ ) & ( $v > 2 \text{ km/h}$ )
- Desaceleración: ( $v > 2 \text{ km/h}$ ) & ( $a \leq -0.1 \text{ m/s}^2$ )

(Ochoa & Salazar, 2018, pág. 51)

Mediante estas condiciones de los diferentes estados de marcha del vehículo se logró realizar código de programación en RStudio. Estos códigos se deben aplicar a cada dato que fue registrado por parte del dispositivo GPS. Para que cada código funcione de acuerdo con las condiciones señaladas anteriormente fue necesario aplicar varios comandos del lenguaje de RStudio.

## b. RALENTÍ

Para conocer el estado de ralenti se ejecutó varios códigos en R mediante lenguaje de programación el cual debe cumplir con la condición señalada anteriormente que dice: si el valor de la velocidad es menor o igual a dos y la aceleración tiene un valor de cero, entonces, se considera como estado de ralenti.

```
> for (i in 1:8663){
  if (ITL1[i,6]<=2)
    ITL1[i,9]=1
  else ITL1[i,9]=0
}
```

**Figura 2.19** Código de programación de R para el estado de ralenti  
(Ramírez, 2018, pág. 101)

En la Figura 2.19 se muestra el código de programación de R que se utilizó para obtener el estado de ralenti de acuerdo con las condiciones que se describieron. El código for selecciona las filas, el código if son las condiciones que debe cumplir la columna.

## c. VELOCIDAD CRUCERO

Para obtener este estado se tienen varias consideraciones: El valor de la aceleración debe ser menor a  $0.1 \text{ m/s}^2$ , pero también, debe ser mayor a  $-0.1 \text{ m/s}^2$ ; La siguiente condición señala que el valor de la velocidad debe ser mayor a dos.

```
> for (i in 1:8663){
  if ITL1[i,6]>2 & ITL1[i,8]>-0.1 & ITL1[i,8]<0.1)
    ITL1[i,10]=1
  else ITL1[i,10]=0
}
```

**Figura 2.20** Código de programación de R para velocidad crucero  
(Ramírez, 2018, pág. 102)

En la Figura 2.20 se muestra el código de programación de R que fue utilizado para obtener la velocidad crucero de acuerdo con las condiciones establecidas. Se utilizan los mismos códigos que las condiciones anteriores, pero con diferentes programaciones.

#### d. ACELERACIÓN

Para conseguir el estado de aceleración se debe cumplir las consideraciones que señalan que: el valor de la aceleración debe ser mayor o igual a  $0.1 \text{ m/s}^2$  y el valor de la velocidad debe ser mayor a dos.

```
for (i in 1:8663){
  if (ITL1[i,6]>2 & ITL1[i,8]>=0.1)
    ITL1[i,11]=1
  else ITL1[i,11]=0
}
```

**Figura 2.21** Código de programación de R para la aceleración  
(Ramírez, 2018, pág. 102)

En la Figura 2.21 se tiene el código de programación de R con los comandos de for, if, y else que se utilizaron para obtener el estado de aceleración del vehículo en cada intervalo de tiempo al desplazarse de un lugar a otro.

#### e. DESACELERACIÓN

Para la fórmula que obtiene la desaceleración se tiene las siguientes condiciones: La velocidad debe ser mayor a dos y la aceleración debe ser menor o igual a  $-0.1 \text{ m/s}^2$ . De acuerdo a estas condiciones y el número de datos se escogieron los comandos necesarios para ser ejecutados.

```
> for (i in 1:8663){
  if (ITL1[i,6]>2 & ITL1[i,8]<=-0.1)
    ITL1[i,12]=1
  else ITL1[i,12]=0
}
```

**Figura 2.22** Código de programación de R para la desaceleración  
(Ramírez, 2018, pág. 103)

En la Figura 2.22 se muestra el código de programación de R utilizada para determinar los momentos en que el vehículo desacelero en el transcurso de su ruta. Una vez aplicado estos códigos en RStudio el data frame genera columnas con filas con valores de 0 que indica que

no se encuentra en ese estado y 1 que señala que esta en ese estado. Para verificar que está bien, los valores de 1 no se deben repetir en la misma fila ya que solo deben corresponder a un solo estado. Siempre en cada fila se debe encontrar un valor de 1 en caso de que no lo tenga significa que el código está mal ejecutado.

Si se requiere un movimiento de una columna que se creó se puede hacer mediante los códigos de programación de R que se empleó para eliminar las columnas innecesarias que se presentó en la Figura 2.13.

BROCCERIA	AÑO.DE.FABRICACION	TIEMPO.RALENTI	TIEMPO.CRUCERO	TIEMPO.ACCELERACION	TIEMPO.DESACELERACION	FI
»NCAYO	2017	0	0	0	1	1
»NCAYO	2017	0	0	0	0	1
»NCAYO	2017	0	0	0	0	1
»NCAYO	2017	0	1	0	0	0
»NCAYO	2017	0	1	0	0	0
»NCAYO	2017	0	0	1	0	0
»NCAYO	2017	0	0	1	0	0
»NCAYO	2017	0	1	0	0	0
»NCAYO	2017	0	1	0	0	0
»NCAYO	2017	0	0	0	0	1
»NCAYO	2017	0	0	1	0	0

**Figura 2.23** Valores de los estados de operación

En la Figura 2.23 se muestra los valores que tomaron cada columna de los diferentes estados de marcha que se calcularon. Cuando se aplican cada código se genera una columna diferente en el orden en que se aplicó.

## 2.9.5 UNIÓN DE DATA FRAMES

Para tener mayor facilidad de comparar los datos en base al destino, horario, días, etc. Se unió todas las data frames que se crearon. Para ello se debe verificar si cada data Frame tiene las mismas columnas. Primero se unió la data frame de las horas en días de la semana.

```
L1 <- rbind(ITL1,ITL2,ITL3,ITL4,ITL5,ITL6,TIL1,TIL2,TIL3,TIL4,TIL5,TIL6)
MA1 <- rbind(ITMA1,ITMA2,ITMA3,ITMA4,ITMA5,ITMA6,TIMA1,TIMA2,TIMA3,TIMA4,TIMA5,TIMA6)
MI1 <- rbind(ITMI1,ITMI2,ITMI3,ITMI4,ITMI5,ITMI6,TIMI1,TIMI2,TIMI3,TIMI4,TIMI5,TIMI6)
J1 <- rbind(ITJ1,ITJ2,ITJ3,ITJ4,ITJ5,ITJ6,TIJ1,TIJ2,TIJ3,TIJ4,TIJ5,TIJ6)
VI <- rbind(ITV1,ITV2,ITV3,ITV4,ITV5,ITV6,TIV1,TIV2,TIV3,TIV4,TIV5,TIV6)
S1 <- rbind(ITS1,ITS2,ITS3,ITS4,ITS5,ITS6,TIS1,TIS2,TIS3,TIS4,TIS5,TIS6)
DI <- rbind(ITD1,ITD2,ITD3,ITD4,ITD5,ITD6,TID1,TID2,TID3,TID4,TID5,TID6)
```

**Figura 2.24** Código de programación de R para la unión de data frame por días

En la Figura 2.24 se muestra el código de programación de R que se utilizó para unir la data frame de acuerdo con los diferentes días al cual correspondían. A continuación, se unió cada data frame de días de la semana a un solo data frame por semana.

```
SMN1(L1,MA1,MI1,J1,S1,D1)
SMN2(L2,MA2,MI2,J2,S2,D2)
```

**Figura 2.25** Código de programación de R para la unión por semanas

En la Figura 2.25 se indica el código de programación de R que se utilizó para unir cada día de la semana. Luego se procedió a unir en un solo data frame las semanas denominando a este como “TURISMO”.

```
> TURISMO <- rbind(SMN1,SMN2)
```

**Figura 2.26** Código de programación de R para la unión de data frame en una sola tabla

En la Figura 2.26 se puede ver el código de programación de R que se ejecutó para unir los data frame de las semanas en un solo data frame. Mediante esta tabla se puede realizar las diferentes comparaciones utilizando códigos específicos para cada variable.

## 2.9.6 CREACIÓN Y CÁLCULO DE LAS VARIABLES PARA EL ANÁLISIS DE RESULTADOS EN RSTUDIO

Para realizar el análisis de resultados se crearon variables las cuales son: zona, edad, día, acelera y desacelera. Las variables zona, edad y día son del tipo cualitativas mientras que las variables, acelera y desacelera son cuantitativas que nos ayudaron a determinar las aceleraciones y desaceleraciones máximas y promedios.

```

> TURISMO$ZONA= 0
> TURISMO$EDAD= 0
> TURISMO$DIA= 0
> TURISMO$ACELERA= 0
> TURISMO$DESACELERA= 0

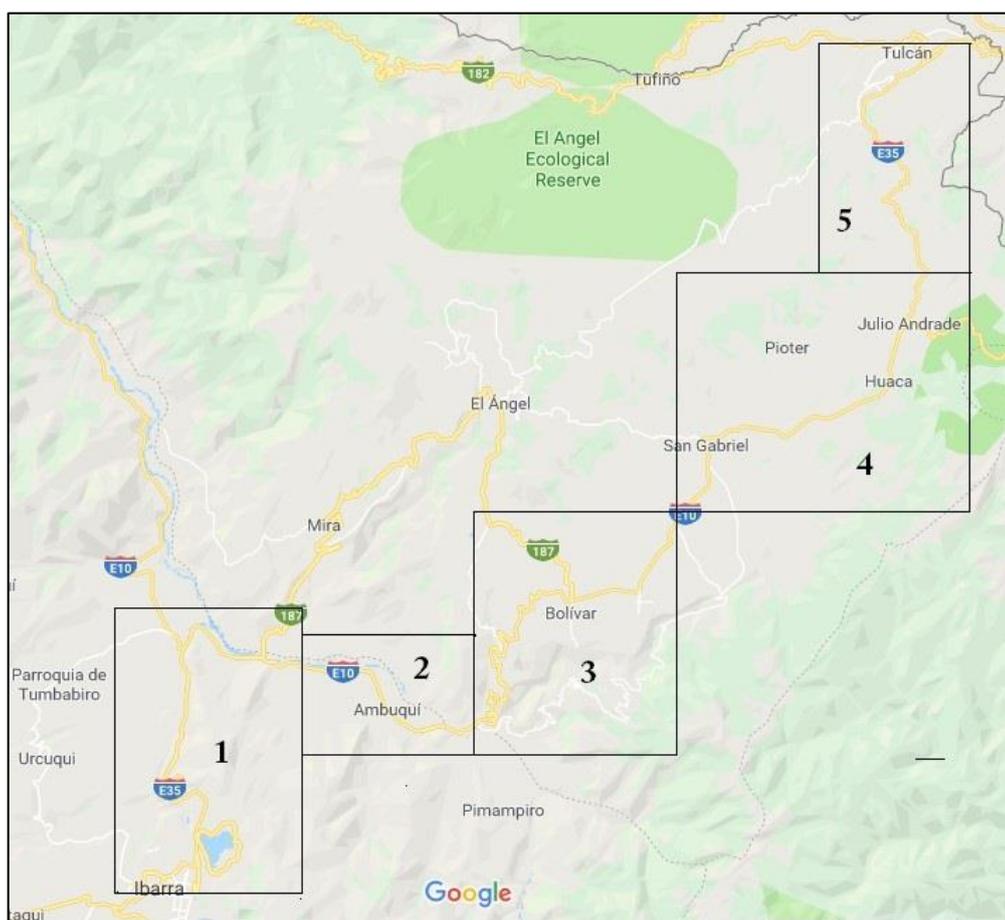
```

**Figura 2.27** Código de programación de R para la creación de variables cualitativas y cuantitativas

En la Figura 2.27 se muestra el código de programación de R que se utilizó para la creación de las columnas en el data frame de TURISMO. Una vez que se crearon estas variables se calcularon tanto las variables cualitativas como cuantitativas.

#### a. CÁLCULO DE LA VARIABLE CUALITATIVA ZONA

Para esta variable se realizó una zonificación la ruta Ibarra-Tulcán mediante cuadrantes delimitados por los puntos de latitud y longitud para diferentes zonas de la ruta. Se seleccionó cada zona de acuerdo al desnivel que tenía la ruta en todo su trayecto.



**Figura 2.28** Zonificación de la ruta Ibarra-Tulcán

En la Figura 2.28 se muestra las zonas trazadas por la ruta Ibarra-Tulcán. Dentro de cada zona se tiene los diferentes poblados por los que atraviesan los buses interprovinciales y donde realizan las paradas. También se debe aclarar que cada zona cuenta con diferentes niveles de altura sobre el nivel del mar.

En la Tabla 2.13 se señala los puntos de longitud y latitud que encierran cada uno de los cuadrantes de la ruta Ibarra-Tulcán, las poblaciones que se encuentran y las características geográficas.

**Tabla 2.13** Distribución de zonas por longitud y latitud

ZONA	POBLADOS	ALTURA (msnm)	DESNIVEL (m)	LONGITUD (GD)	LATITUD (GD)
1	Ibarra, Cañaverales, Mascarilla	2210 a 1575	635	0.341700 a 0.500631	-78.156576 a - 78.054828
2	Ambuquí, Carpuela, Juncal	1695 a 1576	119	0.422065 a 0.484606	-78.054828 a - 77.957906
3	Los Andes, Bolívar, Cuesaca, La paz	2808 a 1696	1112	0.422065 a 0.554080	-77.957906 a - 77.844222
4	El capulí, San Gabriel, Huaca, Julio Andrade	3007 a 2808	199	0.554080 a 0.683494	-77.844222 a - 77.686354
5	Las Juntas, El Capote, Las Penas, Tulcán	3007 a 2958	49	0.683484 a 0.818635	-77.764384 a - 77.686354

La ruta Ibarra-Tulcán cruza por diferentes localidades en donde los buses interprovinciales tiene que realizar varias paradas tanto para recoger a las personas como para dejarlas en sus diferentes destinos. Como la geografía de la ruta es variada y las poblaciones son dispersas el comportamiento del bus por zona en distinto dependiendo de estas variables.

```

for(i in 1:113709){
  if(L1[i,3]>=0.341700 & L1[i,3]<=0.500631 & L1[i,4]>=-78.156576 & L1[i,4]<=-78.054828)
  L1[i,23]="ZONA 1"
}

for(i in 1:113709){
  if(L1[i,3]>=0.422065 & L1[i,3]<=0.484606 & L1[i,4]>=-78.054828 & L1[i,4]<=-77.957906)
  L1[i,23]="ZONA 2"
}

for(i in 1:113709){
  if(L1[i,3]>=0.422065 & L1[i,3]<=0.554080 & L1[i,4]>=-77.957906 & L1[i,4]<=-77.844222)
  L1[i,23]="ZONA 3"
}

for(i in 1:113709){
  if(L1[i,3]>=0.554080 & L1[i,3]<=0.683494 & L1[i,4]>=-77.844222 & L1[i,4]<=-77.686354)
  L1[i,23]="ZONA 4"
}

for(i in 1:113709){
  if(L1[i,3]>=0.683484 & L1[i,3]<=0.818635 & L1[i,4]>=-77.764384 & L1[i,4]<=-77.686354)
  L1[i,23]="ZONA 5"
}
}

```

**Figura 2.29** Código de programación de R para la distribución de las zonas de la ruta Ibarra-Tulcán (Ramírez, 2018, pág. 109)

En la Figura 2.29 se muestra los códigos del lenguaje de programación de R que se utilizaron para delimitar cada cuadrante de acuerdo con la longitud y latitud de cada uno de ellos, para posteriormente realizar los cálculos necesarios.

## b. CÁLCULO DE LA VARIABLE CUALITATIVA EDAD

Para la creación de esta variable se hizo uso del resultado de las encuestas donde se preguntaron la edad de cada conductor de las unidades. De acuerdo con las edades se formaron 4 grupos que son: de 20 a 30, 31 a 40, 41 a 50 y 51 a 60 años. Para realizar este procedimiento, se ejecutó el código en cada seguimiento.

```

> ITL1$DIA="20 a 30"

```

**Figura 2.30** Código de programación de R para la creación de la variable cualitativa edad

En la Figura 2.30 se muestra el código de programación de R que se utilizó en la variable cualitativa edad. Dependiendo de la edad se coloca el grupo correspondiente.

### c. CÁLCULO DE LA VARIABLE CUALITATIVA DÍA

La variable cualitativa de los días de la semana se realizó para unir los data frame de cada hora en uno solo de acuerdo con el día correspondiente. Como las pruebas se realizaron todos los días las variables vienen dadas desde el lunes hasta el domingo de la misma semana.

```
> M1$DIA ="MIERCOLES"
```

**Figura 2.31** Código de programación de R para la creación de la variable cualitativa día

En la Figura 2.31 se presenta el código de programación de R que se ocupó para determinar las variables de días de la semana. De acuerdo con las pruebas que se realizaron cada día se colocó el nombre del día correspondiente.

### d. CÁLCULO DE LAS VARIABLES CUANTITATIVAS ACELERA Y DESACELERA

Para determinar la aceleración y desaceleración se separaron estas variables para un mejor análisis de estos. Si el valor es mayor a cero entonces el bus está acelerando, pero si el valor es menor a cero entonces desacelera. De acuerdo con esta lógica se realizaron las variables.

```
for (i in 1:10092){
  if(ITL1[i,8]>=0)
    ITL1[i,20]= ITL1[i,8]
  else ITL1[i,21]= ITL1[i,8]
}

for (i in 1:9433){
  if(ITL2[i,8]>=0)
    ITL2[i,20]= ITL2[i,8]
  else ITL2[i,21]= ITL2[i,8]
}

for (i in 1:9231){
  if(ITL3[i,8]>=0)
    ITL3[i,20]= ITL3[i,8]
  else ITL3[i,21]= ITL3[i,8]
}
```

**Figura 2.32** Código de programación de R para el cálculo de las variables cuantitativas acelera y desacelera  
(Ramírez, 2018, pág. 112)

En la Figura 2.32 se muestra el código de programación en R que se utilizó para el cálculo de las variables acelera y desacelera de acuerdo con lo enunciado anteriormente. Una vez ejecutado este código es posible realizar cálculos por separados. En la columna de acelera se encuentran los valores de aceleración que van desde 0 m/s<sup>2</sup> en adelante y en la columna de desacelera se encuentran valores de desaceleración con valores menor a 0 m/s<sup>2</sup>.

### 2.9.7 CÁLCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS CINEMÁTICAS DE LOS BUSES INTERPROVINCIALES IBARRA-TULCÁN

Una vez realizado los puntos anteriores se determinó el porcentaje de permanencia de los estados: ralentí, crucero, aceleración y desaceleración. También se calculó la velocidad, aceleración y desaceleración en valores promedio y máxima.

#### a. CÁLCULO DE PORCENTAJE DE ESTADOS DE CONDUCCIÓN

Para conseguir el porcentaje del estado de ralentí se creó un código de programación de R en función de la relación de la sumatoria de la variable TIEMPO.RALENTI y el tiempo total de operación que constituye la suma de los valores de ralentí, crucero, aceleración y desaceleración.

```
> RG <- tapply((COMPLETO$TIEMPO.RALENTI), COMPLETO$FLOTA, sum)/tapply
  ((COMPLETO$TIEMPO.RALENTI + COMPLETO$TIEMPO.CRUCERO + COMPLETO$TIEMPO
  .ACELERACION + COMPLETO$TIEMPO.DESACELERACION), COMPLETO$FLOTA, sum
  )*100
>
> RG <- as.data.frame(RG)
```

**Figura 2.33** Código de programación de R para calcular porcentaje de permanencia de ralentí

En la Figura 2.33 se muestra el código del lenguaje de programación de R que se ejecutó en RStudio para obtener los porcentajes de permanencia de cada estado de marcha en general. El código tapply () permite ejecutar una función para un grupo seleccionado. La función as.data.frame transforma el resultado del anterior código en una tabla.

```

> CG <- tapply((COMPLETO$TIEMPO.CRUCERO), COMPLETO$FLOTA, sum)/tapply
((COMPLETO$TIEMPO.RALENTI + COMPLETO$TIEMPO.CRUCERO + COMPLETO$TIEMPO
.ACCELERACION + COMPLETO$TIEMPO.DESACELERACION), COMPLETO$FLOTA, sum
)*100
>
> CG <- as.data.frame(CG)

```

**Figura 2.34** Código de programación de R para calcular porcentaje de permanencia de crucero

El porcentaje de permanencia del estado crucero se calculó en función de la sumatoria de las variables de TIEMPO.CRUCERO y el tiempo de operación total equivalente a la sumatoria de las variables de ralentí, crucero, aceleración y desaceleración. En la Figura 2.34 se observa los códigos ocupados para determinar el porcentaje del estado crucero.

Al igual que con el estado de ralentí para este estado se utilizó el código tapply () para seleccionar las columnas completas y el código as.data.frame () para transformar el resultado en un data frame.

```

> AG <- tapply((COMPLETO$TIEMPO.ACCELERACION), COMPLETO$FLOTA, sum
)/tapply((COMPLETO$TIEMPO.RALENTI + COMPLETO$TIEMPO.CRUCERO + COMPLETO$
TIEMPO.ACCELERACION + COMPLETO$TIEMPO.DESACELERACION), COMPLETO$FLOTA,
sum)*100
>
> AG <- as.data.frame(AG)

```

**Figura 2.35** Código de programación de R para calcular porcentaje de permanencia de aceleración

El porcentaje de permanencia del estado de aceleración se calculó en función de la sumatoria de las variables de TIEMPO.ACCELERACION y el tiempo de operación total que es la suma de las variables de ralentí, crucero, aceleración y desaceleración. En la Figura 2.35 se puede apreciar los códigos ejecutados en R para obtener estado de aceleración.

```

> DAG <- tapply((COMPLETO$TIEMPO.DESACELERACION), COMPLETO$FLOTA, sum
)/tapply((COMPLETO$TIEMPO.RALENTI + COMPLETO$TIEMPO.CRUCERO + COMPLETO$
TIEMPO.ACCELERACION + COMPLETO$TIEMPO.DESACELERACION), COMPLETO$FLOTA,
sum)*100
>
> DAG <- as.data.frame(DAG)

```

**Figura 2.36** Código de programación de R para calcular porcentaje de permanencia de desaceleración

El porcentaje de permanencia del estado de desaceleración se calculó en función de la sumatoria de las variables de TIEMPO.DESACELERACION y el tiempo de operación total que es la suma de las variables de ralentí, crucero, aceleración y desaceleración. En la Figura

2.36 se muestran los códigos en R necesarios para obtener el porcentaje de permanencia del estado de desaceleración.

### b. CÁLCULO DE VELOCIDAD MÁXIMA Y PROMEDIO

Para calcular la velocidad máxima y promedio se calculó con algunas de comandos anteriormente mostrados para formar el código de programación que seleccione el valor más alto de la columna de la velocidad y el promedio de todos estos valores.

```
> VMAXG <- tapply(COMPLETO$`VELOCIDAD (Km/h)`, COMPLETO$FLOTA, max)
> VMAXG <- as.data.frame(VMAXG)
```

**Figura 2.37** Código de programación de R para calcular la velocidad máxima

La velocidad máxima se calculó mediante los códigos del lenguaje de programación en R mostrados en la Figura 2.37. Los códigos `tapply ()` y `máx. ()` determinaron la velocidad máxima mientras que el código `as.data.frame ()` transformo los resultados en tablas.

```
> VPRONG <- tapply(COMPLETO$`VELOCIDAD (Km/h)`, COMPLETO$FLOTA, mean)
> VPRONG <- as.data.frame(VPRONG)
```

**Figura 2.38** Código de programación de R para calcular la velocidad promedio

Para calcular la velocidad promedio se utilizó el código de programación de R de la Figura 2.38. Los códigos `tapply ()` y `máx. ()` calcularon la velocidad promedio y el código `as.data.frame` transformo el resultado en una tabla.

Una vez aplicados estos códigos se generan nuevos data frame que contienen los datos de velocidad máxima y promedio de acuerdo con las variables a las que se aplique el código ejecutado.

### c. CÁLCULO DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA Y PROMEDIO

Para calcular la aceleración máxima y promedio se utilizó las variables de la ACELERACIÓN. El código para realizar esta operación se enfocó en la columna de la aceleración del data Frame el cual debía leer los datos y seleccionar el valor más alto de la columna y el promedio de todos estos valores.

```
> AMAXG <- tapply(COMPLETO$`ACELERACION (m/s^2)`, COMPLETO$FLOTA, max)
> AMAXG <- as.data.frame(AMAXG)
```

**Figura 2.39** Código de programación de R para calcular la aceleración máxima

La aceleración máxima se calculó mediante los códigos mostrados en la Figura 2.39. Los códigos `tapply()` y `max()` determinaron la aceleración máxima mientras que el código `as.data.frame()` generó los resultados en un data frame para posteriormente mostrar en un gráfico de manera comprensiva.

```
> APROMG <- tapply(COMPLETO$ACELERA, COMPLETO$FLOTA, mean)
> APROMG <- as.data.frame(APROMG)
```

**Figura 2.40** Código de programación de R para calcular la aceleración promedio

La aceleración promedio se calculó por medio del código de programación R de la Figura 2.40. Los códigos `tapply()` y `mean()` al ejecutarse calcularon la aceleración promedio y para mostrar el resultado en una tabla se utilizó el código `as.data.frame()`.

### d. CÁLCULO DE LA DESACELERACIÓN MÁXIMA Y PROMEDIO

Para calcular la desaceleración máxima y promedio se tomaron datos de la DESACELERACIÓN.

```
> DMAXG <- tapply(COMPLETO$`ACELERACION (m/s^2)`, COMPLETO$FLOTA, min)
> DMAXG <- as.data.frame(DMAXG)
```

**Figura 2.41** Código de programación de R para calcular la desaceleración máxima

Con el código de programación R de la Figura 2.41 se calculó la desaceleración máxima. Al ejecutar los códigos `tapply ()` y `min ()` muestran el resultado de la desaceleración máxima y con el código `as.data.frame` se transforma en tabla.

```
> DPROMG <- tapply(COMPLETO$DESACELERA, COMPLETO$FLOTA, mean)
> DPROMG <- as.data.frame(DPROMG)
```

**Figura 2.42** Código de programación de R para calcular la desaceleración promedio

En la Figura 2.42 se muestra el código de programación R necesarios para determinar la desaceleración promedio. El código `tapply ()` junto con el código `mean ()` se calculó la desaceleración promedio y al ejecutar el código `as.data.frame` se consigue transformar el resultado en una tabla.

### 2.9.8. CÁLCULO CINEMÁTICO EN CURVAS DE ALTO RIESGO

Para que la trayectoria de los buses en las curvas sea segura, la velocidad del vehículo debe ser la adecuada de acuerdo con las características que posea la curva. Si el vehículo excede la velocidad es propenso a salirse del carril y sufrir un accidente. Para el cálculo se escogió las curvas que tenían un radio y un arco que represente un riesgo al circular por ellas.

Así mismo, dentro del tramo Ibarra-Tulcán se encontraron 56 curvas de la cuales se seleccionó las curvas en las cuales los buses interprovinciales transitaban con altas velocidades.

### a. CÁLCULO DE LAS VELOCIDAD DE LAS CURVAS

Para calcular las velocidades promedio con la que circulan los buses interprovinciales se seleccionó las curvas por medio de cuadrículas para calcular la velocidad en esa sección. De acuerdo con la velocidad y el radio de la curva se seleccionaron 35 curvas de mayor riesgo en el tramo Ibarra-Tulcán como se muestra en la Tabla 2.14. La selección de las curvas fue en base a la conducción segura e insegura que se calcularon con la fuerza centrífuga y la fuerza de resistencia que se presentaran posteriormente.

**Tabla 2.14** Latitud y longitud de curvas de alto riesgo

<b>CURVAS</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>LATITUD</b>
1	0.394547 a 0.398567	-78.127560 a -78.121365
2	0.395263 a 0.398925	-78.132816 a -78.127100
3	0.432861 a 0.442410	-77.977070 a -77.972542
4	0.439975 a 0.443365	-77.948596 a -77.946986
5	0.438173 a 0.441316	-77.950709 a -77.948445
6	0.437669 a 0.440134	-77.948360 a -77.945237
7	0.443526 a 0.446477	-77.951728 a -77.948456
8	0.451398 a 0.453168	-77.948886 a -77.945839
9	0.450271 a 0.452278	-77.951386 a -77.948414
10	0.470805 a 0.474045	-77.944552 a -77.940915
11	0.470537 a 0.474088	-77.949820 a -77.944541
12	0.476357 a 0.478802	-77.945927 a -77.938267
13	0.487002 a 0.492105	-77.945543 a -77.937352
14	0.503329 a 0.507580	-77.934418 a -77.927975
15	0.500629 a 0.503451	-77.931130 a -77.926892
16	0.502671 a 0.507482	-77.929148 a -77.921515
17	0.508326 a 0.513396	-77.929983 a -77.924362
18	0.506754 a 0.513666	-77.924361 a -77.922044
19	0.508961 a 0.515306	-77.922043 a -77.919699
20	0.538507 a 0.543059	-77.850340 a -77.841691
21	0.595208 a 0.601520	-77.793284 a -77.774075
22	0.690418 a 0.694261	-77.712395 a -77.700137
23	0.724896 a 0.726410	-77.725230 a -77.718501
24	0.726411 a 0.728574	-77.726254 a -77.717143
25	0.729622 a 0.735376	-77.733155 a -77.728186

**Tabla 2.14** Latitud y longitud de curvas de alto riesgo (**Continuación...**)

26	0.738145 a 0.740097	-77.724301 a -77.718185
27	0.740098 a 0.743627	-77.722767 a -77.719409
28	0.740961 a 0.743568	-77.717451 a -77.714041
29	0.743569 a 0.744930	-77.718714 a -77.713454
30	0.744931 a 0.746382	-77.719571 a -77.713526
31	0.746383 a 0.748316	-77.719610 a -77.713108
32	0.748317 a 0.751631	-77.718473 a -77.714353
33	0.748917 a 0.751202	-77.721874 a -77.718474
34	0.765591 a 0.768058	-77.737976 a -77.730519
35	0.768059 a 0.770740	-77.737633 a -77.730884

De acuerdo con la longitud y latitud de cada curva se formó el lenguaje de programación de R para delimitar la sección y conseguir calcular las velocidades. Como para cada curva son diferentes coordenadas se debe aplicar el mismo código para cada dato de longitud y latitud.

```
> for(i in 1:236013){
  if(`TURISMO IT`[i,3]>=0.394547 & `TURISMO IT`[i,3]<=0.398567 & `TURISMO 1 IT`[i,4]>=-78
  .127560 & `TURISMO 1 IT`[i,4]<=-78.121365)
  |   `TURISMO IT`[i,25]="CURVA 1"
}
```

**Figura 2.43** Código de programación de R para selección de las curvas

En la Figura 2.43 se muestra el código de programación de R que se utilizó para seleccionar en área de cada curva. El área seleccionada comprende desde la entrada y salida de la curva donde posteriormente se calculó la velocidad de cada curva.

```
> vprom <- tapply(`TURISMO VUELTAS`$`VELOCIDAD (Km/h)`, `TURISMO VUELTAS`$VUELTAS, mean)
vprom <- as.data.frame(vprom)
```

**Figura 2.44** Código de programación de R para cálculo de velocidad promedio en curvas

En la Figura 2.44 se muestra el código de programación de R que se ejecutó para calcular la velocidad promedio con la que los buses interprovinciales transitan por las curvas. La velocidad promedio comprende los valores desde que la unidad ingresa a la curva hasta que sale de la misma.

## b. CÁLCULO DEL RADIO DE LAS CURVAS

El radio de las curvas se logró conseguir con los datos de la cuerda y la flecha que se obtuvieron con ayuda de Google Earth.



**Figura 2.45** Cuerda y flecha de la curva medida en Google Eart

En la Figura 2.45 se puede apreciar la cuerda y la flecha, siendo la cuerda la línea que conecta ambas entradas de la curva y la flecha la línea que conecta el centro de la cuerda con la curva de manera perpendicular. Con la cuerda y la flecha se puede calcular el radio de la curva con la ecuación 2.1:

$$r = \sqrt{(\tan(90 - (\tan^{-1}(B/A) \times 2)) \times 1000)^2 + A^2} \quad [2.1]$$

Donde:

$B$ : Es la flecha, y

$A$ : Cuerda/2

Para el cálculo del radio de acuerdo con las diferentes dimensiones y características de las curvas se utilizó Microsoft Excel en donde se aplicó la ecuación 2.1.



**Figura 2.46** Cálculo en Excel del radio de la curva

En la Figura 2.46 se observa la fórmula que se utilizó para calcular el radio, siendo C2 la flecha y D2 la cuerda.

### c. CÁLCULO DE LAS CONDICIONES DE CONDUCCIÓN PARA UN EQUILIBRIO DINÁMICO DE LOS BUSES INTERPROVINCIALES EN CURVAS

Para este paso se consideraron algunas restricciones para simplificar el proceso. La primera consideración es que se asume que el coeficiente de fricción tiene un valor constante para todas las curvas. La segunda restricción es que se considera tasa de peralte como un componente estabilizador en las curvas con un valor promedio.

En una curva un vehículo está sujeto a una aceleración centrífuga que produce una fuerza de inercia empujando al vehículo fuera de su trayectoria circular causando un desequilibrio. A continuación, se muestra la fórmula de la fuerza centrífuga en la ecuación 2.2:

$$FS = m \frac{V^2}{r} \quad [2.2]$$

Donde:

$V$ : velocidad del vehículo (km/h),

$m$ : la masa del vehículo (kg), y

$r$ : radio de la curva (m) (Misro, Ramli, & Ali, 2018, págs. 020089-2).

Ante la fuerza  $FS$  se interpone la fuerza centrípeta para que se mantenga en equilibrio. Esta fuerza evita que el bus salga de carril o que derrape mientras se encuentra en la curva, esta es la fuerza de resistencia  $FR$  que se indica en la ecuación 2.3:

$$FR = W \cdot \mu \quad [2.3]$$

Donde:

$\mu$ : coeficiente de fricción lateral, y

$W$ : peso del vehículo.

Expresándose  $FR$  de otra manera se descompone  $W$  y se tiene la ecuación 2.4:

$$FR = m \cdot g \cdot \mu \quad [2.4]$$

Donde:

$m$ : es la masa del vehículo, y

$g$ : es la gravedad

Según (Eboli, Mazzulla, & Pungillo, 2016, pág. 116) se pueden obtener tres condiciones de conducción con respecto al equilibrio:

- Si  $F_s < F_r$ , tenemos una condición de conducción segura
- Si  $F_s = F_r$ , tenemos una condición de conducción límite
- Si  $F_s > F_r$ , tenemos una condición de conducción insegura

Analizando las condiciones límites ( $F_s = F_r$ ), y mediante la ecuación 2.2 y la ecuación 2.4, se logra obtener la siguiente ecuación 2.5 de igualdad:

$$m \frac{V^2}{r} = m \cdot g \cdot \mu \quad [2.5]$$

Una vez conseguida la ecuación 2.6 se puede eliminar las masas de la ecuación y conseguir la siguiente ecuación:

$$\frac{V^2}{r} = g \cdot \mu \quad [2.6]$$

Obteniendo de esta manera que la aceleración centrífuga es igual a la gravedad y el coeficiente de fricción lateral. El peralte se considera un componente estabilizador de la

trayectoria del vehículo en las curvas para que los conductores circulen con comodidad y seguridad. Este valor está a favor de FR por lo que la ecuación 2.7 sería:

$$\frac{V^2}{r} = g \cdot (\mu + e) \quad [2.7]$$

Para el desarrollo de esta investigación se tomó la velocidad promedio de cada curva por tanto el peralte con el que se trabajó es de  $e = 4\%$ , que es un valor promedio de peraltes en curvas de carreteras que varía de 2% a 8% de peralte permitido.

De acuerdo con (Eboli, Mazzulla, & Pungillo, 2016, pág. 116) el valor del coeficiente de fricción máximo longitudinal para carreteras con pavimento seco se expresa en la ecuación 2.8:

$$\mu_{max} = 0,214 \cdot \left(\frac{V}{100}\right)^2 - 0,640 \cdot \left(\frac{V}{100}\right) + 0,615 \quad [2.8]$$

Al reemplazar la ecuación 2.9 en la ecuación 2.7 se obtiene la ecuación 2.9:

$$\frac{V^2}{r} = g \cdot \left[ 0,214 \cdot \left(\frac{V}{100}\right)^2 - 0,640 \cdot \left(\frac{V}{100}\right) + 0,615 + e \right] \quad [2.9]$$

De acuerdo con las condiciones de conducción con respecto al equilibrio de los vehículos en curvas y la formulas mostradas anteriormente se logró calcular el riesgo que tienen los buses interprovinciales al transitar por las curvas a ciertas velocidades.

## **CAPÍTULO III**

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 PROCESO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS**

El análisis de la cinemática del vehículo comprende los porcentajes de permanencia de estados de marchar en base a diferentes variables, como también, análisis de las velocidades máximas y promedios de los buses interprovinciales Ibarra-Tulcán, las aceleraciones y desaceleraciones máximas y promedios, además, se analizó el equilibrio dinámico que tienen los buses interprovinciales en base a la forma de conducción en curvas.

#### **3.2 ANÁLISIS CINEMÁTICO DE LOS ESTADOS DE CONDUCCIÓN DE LOS BUSES INTERPROVINCIALES**

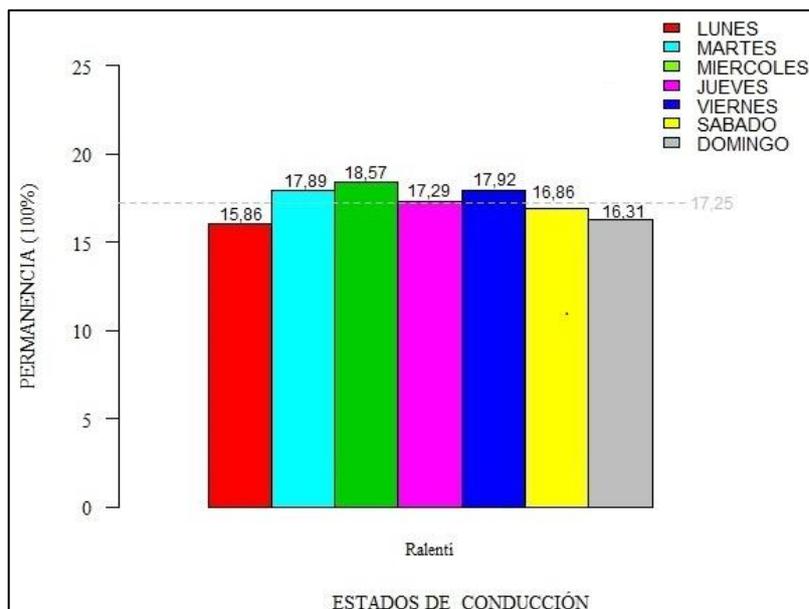
Este paso comprende el análisis de los porcentajes de permanencia de los estados de ralentí, crucero, aceleración y desaceleración en diferentes grupos para observar la variación que se tiene en cada uno.

##### **3.2.1 ESTADOS DE CONDUCCIÓN POR DÍAS**

Se analizó los estados de conducción de los buses interprovinciales a partir de cada día de la semana obteniendo diferentes valores. A continuación, se muestra la graficas por separado mostrando los valores obtenidos de los estados de conducción para un mejor análisis.

###### **a. RALENTÍ**

El ralentí como se conoce es el estado donde el motor permanece prendido a un régimen mínimo de revoluciones sin acelerar o desacelerar. A continuación, se presenta la gráfica del estado de ralentí por días de la semana de los buses interprovinciales.

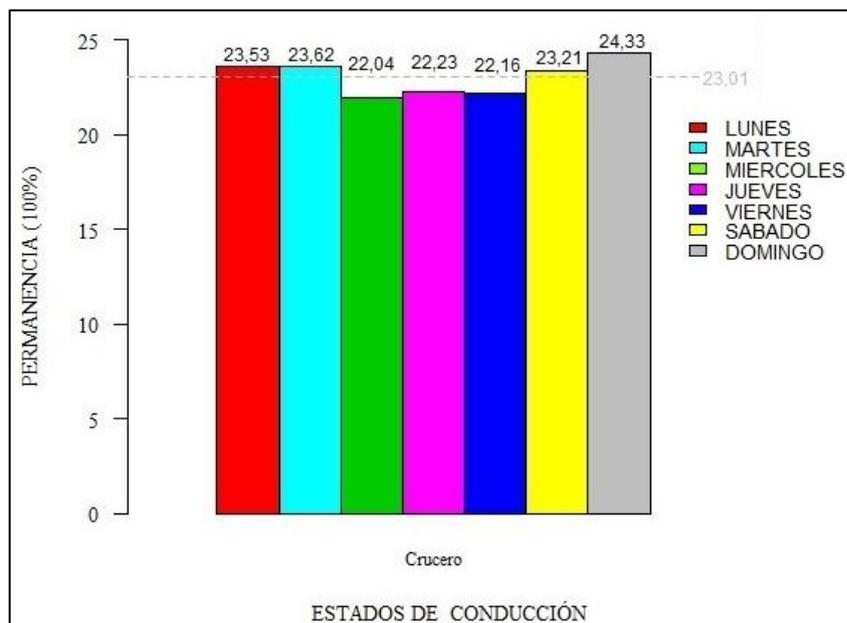


**Figura 3.1** Permanencia en ralentí por días

En la Figura 3.1 se puede apreciar que el promedio general por ralentí fue de 17,25 %, por lo tanto los días que tienen un mayor nivel de porcentaje en ralentí son los días, Martes con un porcentaje de 17,89 %, el día Miércoles con 18,57 %, el día Jueves con 17,29 % y el día Viernes con 17,92 %; por lo que se puede decir que estos días los buses interprovinciales permanecen más tiempo parados durante su recorrido. Se puede evidenciar que para los días Lunes, sábado y domingo el índice de porcentaje de ralentí está por debajo del valor promedio. Para el día Lunes 15,86 %, el día Sábado 16,86 % y en el día domingo se encontró un 16,31 %. Esto se debe a que los fines de semana y el lunes recogen mayor cantidad de gente dentro del terminal por lo que en su recorrido no tienen que hacer muchas paradas para recoger más personas, pero sí para dejar a las personas en su destino.

## **b. CRUCERO**

El estado de permanencia crucero corresponde a la velocidad constante o uniforme que tiene el autobús en su recorrido, aplicando el motor la potencia necesaria para mantener el vehículo a una velocidad firme, reduciendo el consumo de combustible. A continuación, se presenta la gráfica de permanencia del estado crucero por día.



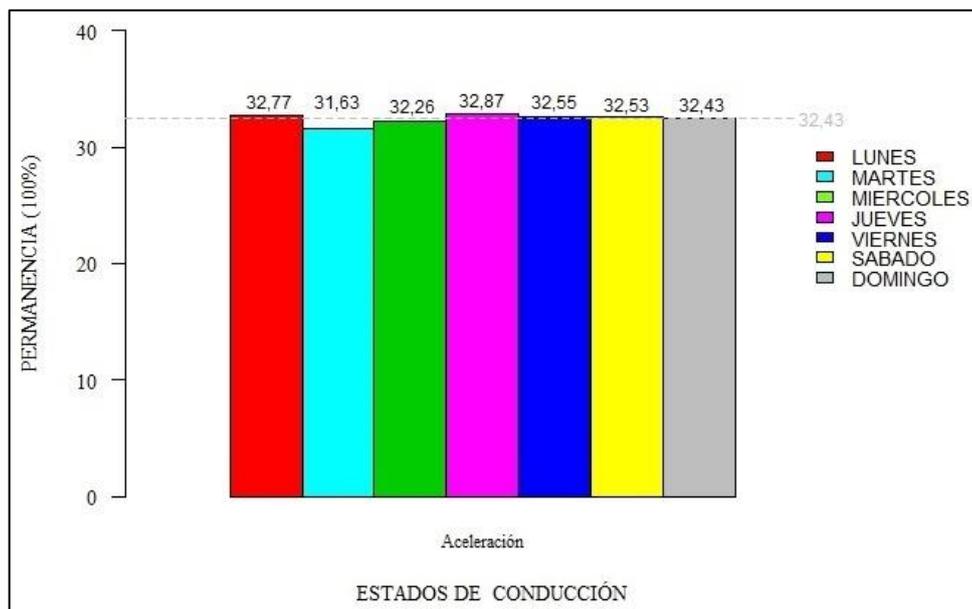
**Figura 3.2** Permanencia en crucero por días

El porcentaje de permanencia en crucero es de 23,01 % como se muestra en la Figura 3.2, por lo tanto, los días que tiene mayor permanencia en crucero son: el lunes con un valor de 23,53 %, el martes se muestra un 23,62 %, el sábado con 23,21 % y el domingo con un porcentaje de 24,33 % siendo este también el día con mayor permanencia en crucero, lo que indica que permanecen más tiempo en una velocidad constante. Los días con menor porcentaje en crucero están, miércoles con 22,04 %, jueves con 22,23 % y para el viernes con 22,16 %. El día que tiene menor permanencia en crucero es el miércoles.

Esto señala que los días lunes, martes, sábado y domingo los conductores manejan de manera más constante en lo que se refiere a la velocidad mientras que los días miércoles, jueves y viernes no es constate en relación al valor promedio.

### c. ACELERACIÓN

La aceleración es la variación de la velocidad haciendo que esta aumente. Si existen cambio de velocidad brusca los valores de la aceleración aumentaran. Cuando la velocidad aumenta los valores de la aceleración son positivos. La sumatoria de los segundos de estos valores se ven reflejados en el tiempo de permanencia de aceleración. En el siguiente gráfico se muestra los porcentajes de permanencia de aceleración por cada día de la semana.



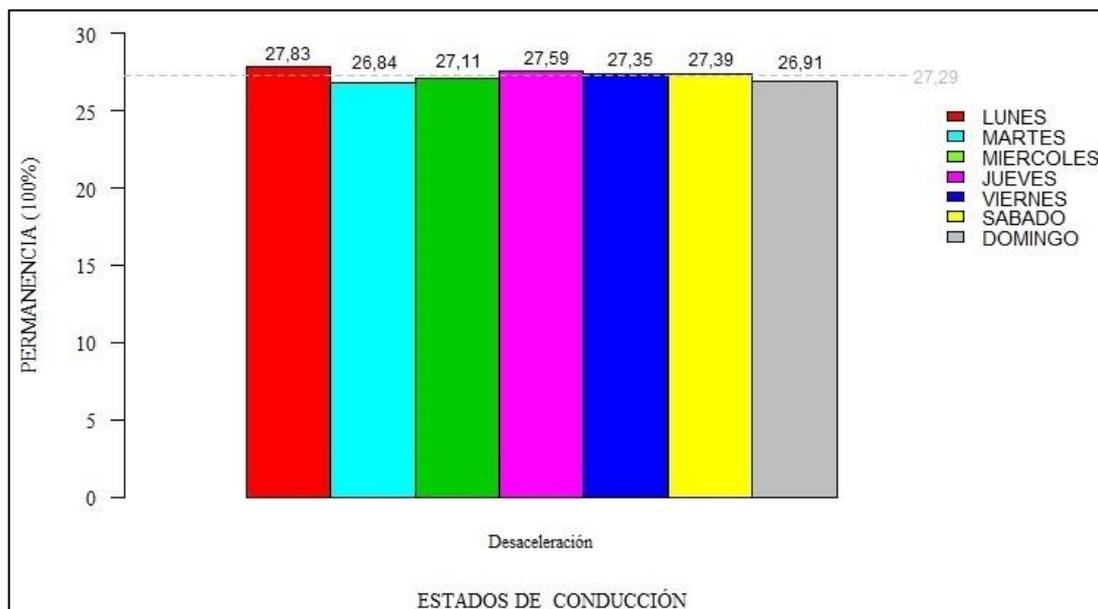
**Figura 3.3** Permanencia en aceleración por días

En la Figura 3.3 se puede observar que el valor promedio de permanencia en aceleración es de 32,43 %. Con respecto al valor promedio los días, lunes (32,77 %), jueves (32,87 %), viernes (32,55 %) y sábado (32,53 %) poseen mayor porcentaje de aceleración; lo que indica que en estos días se producen más acelerones, mientras que los martes (31,63 %) y miércoles (32,26 %) evidencia una aceleración por debajo del valor promedio.

#### **d. DESACELERACIÓN**

La desaceleración provoca que la velocidad con la que circula el autobús disminuya o se detenga por completo. Esto se aprecia principalmente cuando el autobús se detiene parcialmente en un tramo del recorrido o que se detenga totalmente en un semáforo o para recoger gente.

Dentro de la ruta Ibarra-Tulcán existen varias paradas que realiza los buses interprovinciales además de existir subidas y bajas por lo que el bus está sometido a varias desaceleraciones durante todo su recorrido. La sumatoria de estos valores por cada segundo representan el estado de permanencia de desaceleración. En la gráfica que se muestra a continuación se detalla los porcentajes de desaceleración por días.



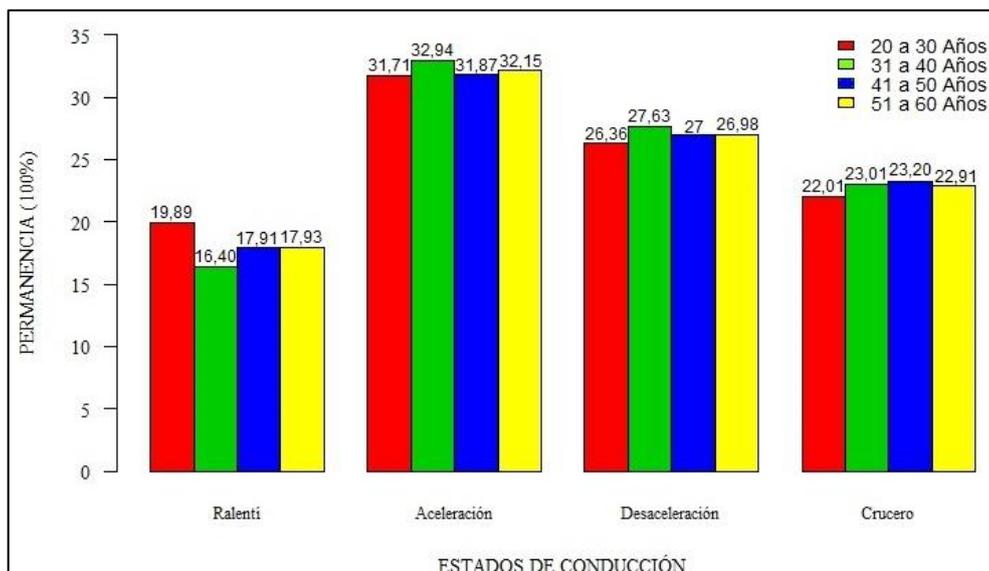
**Figura 3.4** Permanencia en desaceleración por días

En la Figura 3.4 se puede apreciar que el valor promedio de desaceleración es de 27,29 % y los días con mayor desaceleración están los días, lunes (27,83 %), jueves (27,59 %), viernes (27,35 %) y sábado (27,39 %), por lo cual, en estos días se consiguen mayor desaceleraciones, mientras tanto, los días con menor desaceleración con respecto a la desaceleración promedio son martes (26,84 %), miércoles (27,11 %) y domingo (26,91 %). Estos valores al no estar alejados del promedio indican un comportamiento común de desaceleración para todos los días de la semana.

### 3.2.2 ESTADOS DE CONDUCCIÓN POR EDAD DEL CONDUCTOR

Se analizó los estados de conducción de ralenti, aceleración, desaceleración y cruce con respecto a la edad que tenían los conductores. Para mejorar los resultados con respecto a los factores de la edad se agruparon la edad de los conductores en grupos de acuerdo con la experiencia al volante.

El primer grupo comprende los conductores con edades de 20 a 30 años, el segundo grupo son los conductores de 31 a 40 años, el tercer grupo corresponde a los conductores de 41 a 50 años y el último grupo son los conductores de 51 a 60 años.



**Figura 3.5** Permanencia de estados de conducción por edad del conductor

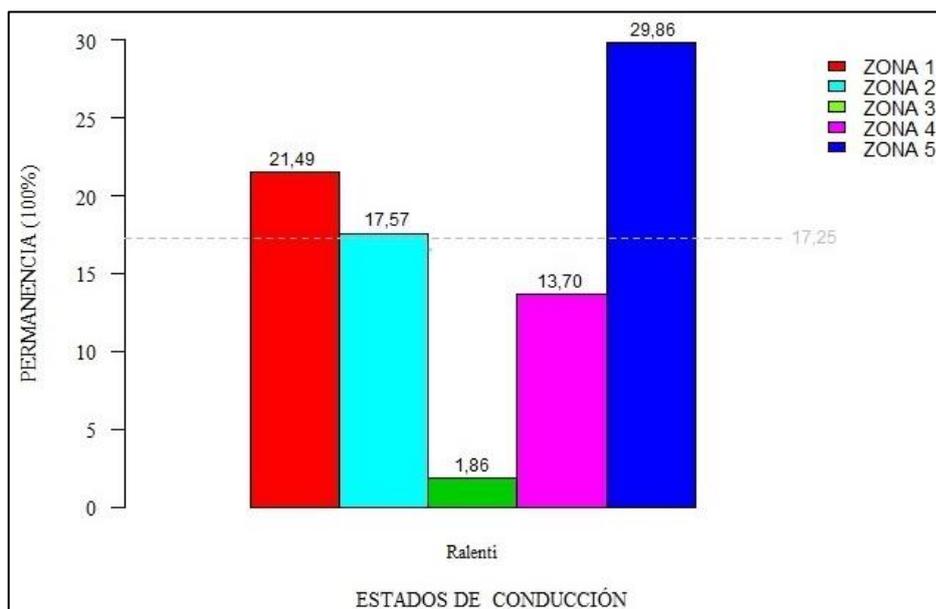
En la Figura 3.5 se muestra que en función de las edades de los conductores el porcentaje de la aceleración es mayor en comparación con ralentí, desaceleración y crucero. Se puede observar en general los porcentajes de aceleración son mayores que los demás estados de conducción, al igual que se evidencia también que los porcentajes de ralentí son menores. Con respecto a estado de ralentí los conductores entre 20 a 30 años tienen un porcentaje de ralentí (19,89 %) mayor que los conductores de las otras edades; también se puede notar que el porcentaje de ralentí de los conductores con edad entre 31 a 40 años (16,40 %) poseen el índice más bajo. En el estado de aceleración los porcentajes no varían su valor a más de 2 %, siendo 32,94 % el valor máximo alcanzado (edades entre 31 a 40 años) y 31,71 % el valor mínimo (edades entre 20 a 30 años). En el estado de desaceleración los conductores con edades entre 31 a 40 años tienen el índice más alto (27,63 %), mientras que los conductores con edades entre 20 a 30 años tiene el índice más bajo (26,36 %). En el estado de crucero los valores varían máximo 1%, pero se puede observar que los conductores de edades entre 20 a 30 años tienen un porcentaje de 22,01 % teniendo el valor más bajo.

### 3.2.3. ESTADOS DE CONDUCCIÓN POR ZONAS

Se analizó los estados de conducción de ralentí, aceleración, desaceleración y crucero de acuerdo con 5 zonas divididas en la ruta Ibarra-Tulcán para analizar el comportamiento en cada una de ellas.

### a. RALENTÍ

Durante el recorrido el bus realiza varias paradas ya sea para dejar pasajeros o esperar por ellos. Por cada zona los buses hacen distintas paradas con diferentes tiempos lo que da como resultado diferentes valores de permanencia de ralentí por zonas. En el gráfico que se presenta a continuación se muestran los porcentajes de permanencia de ralentí con respecto a la distribución por zonas de la ruta Ibarra-Tulcán.

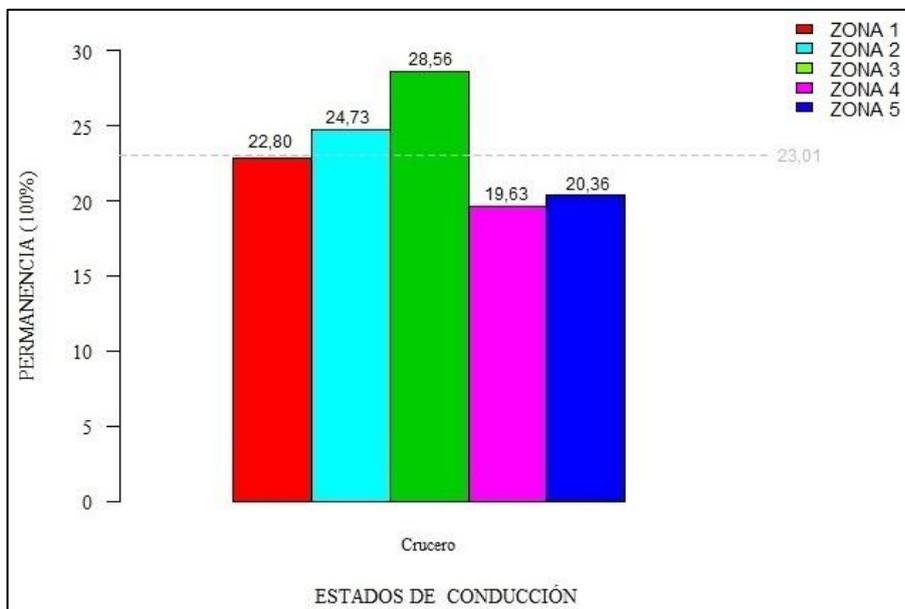


**Figura 3.6** Permanencia en ralentí por zonas

En la Figura 3.6 se puede apreciar que el porcentaje de permanencia en ralentí varía mucho dependiendo de la zona. La zona 1 y la zona 5 se encuentran por encima del promedio, mientras que la zona 3 y 4 se encuentra con un valor por debajo y la zona 2 está en el margen del valor promedio. En la zona 5 se presente el porcentaje de ralentí más alto (29,86 %) que las demás zonas; esto se debe a que en esta zona existe el control aduanero por lo que los buses pasan mucho tiempo parados aumentando su tiempo de recorrido causando que aumenten su velocidad en lo que resta de la ruta para cumplir con el horario establecido. En la zona 3 el porcentaje de permanencia de ralentí es baja con un valor de 1,86 %; lo que indica que los buses interprovinciales no se detienen en esa zona de manera frecuente. Otro de los motivos es que la zona se encuentra en una pendiente subiendo de 1 696 msnm a una altura de 2 808 msnm por lo que necesariamente estar en constante movimiento.

## b. CRUCERO

En la siguiente gráfica se presenta el porcentaje de permanencia de cruceo con respecto a la distribución por zonas de la ruta Ibarra-Tulcán.



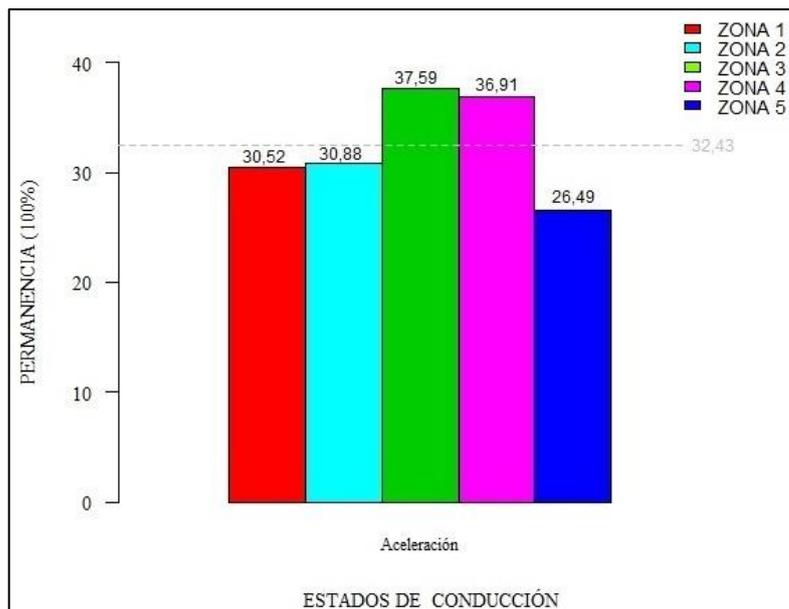
**Figura 3.7** Permanencia de cruceo por zonas

En la Figura 3.7 se puede notar que la zona 2 y 3 están por encima del promedio general (23,01 %), las zonas 4 y 5 se encuentra por debajo del promedio y la zona 1 tiene un valor de permanencia (22,80 %) que se encuentra más cerca del valor promedio. En la zona 3 se presenta el valor más alto en cruceo (28,56 %); Esto es a causa de que se encuentra la zona en una inclinación y tiene que mantenerse a una velocidad moderada tanto al subir como al bajar.

Los valores de la zona 4 (19,63 %) y la zona 5 (20,36 %) tienen el índice más bajo en permanencia; esto implica que en esta zona existen factores en la carretera (como puede ser curvas, subidas, bajadas, paradas, etc.) que provocan variar la velocidad de conducción.

## c. ACELERACIÓN

En la siguiente gráfica se muestra el porcentaje de permanencia de aceleración con respecto a la distribución por zonas de la ruta Ibarra-Tulcán.



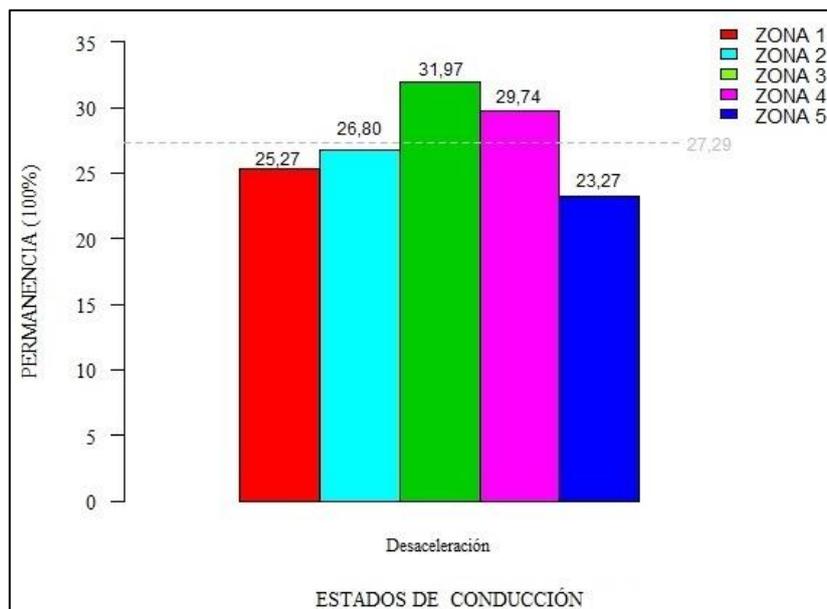
**Figura 3.8** Permanencia de aceleración por zonas

Las zonas 3 y 4 se encuentran por encima del índice promedio de permanencia de aceleración, mientras que las zonas 1,2 y 5 tienen un valor menor que el valor promedio de aceleración como se puede ver en la Figura 3.8. La zona 3 tiene un valor de 37,59 % y la zona 4 un valor de 36,91 % en permanencia de aceleración mientras que la zona 5 con 26,49 % tienen el valor de permanencia más bajo.

#### **d. DESACELERACIÓN**

A pesar de que la Panamericana Norte E35 es una carretera, debido a las características geográficas que tiene el camino los buses interprovinciales tiene que realizar desaceleraciones en su recorrido. También tiene que realizar desaceleraciones cuando se encuentran dentro de una zona urbana y debido al tráfico deben disminuir la velocidad considerablemente.

El valor de cada segundo en que los buses interprovinciales se encontraban en desaceleración constituye el estado de permanencia de desaceleración. El porcentaje de permanencia de desaceleración se realizó con respecto a la distribución de zonas de la ruta Ibarra-Tulcán como se muestra en la gráfica siguiente.



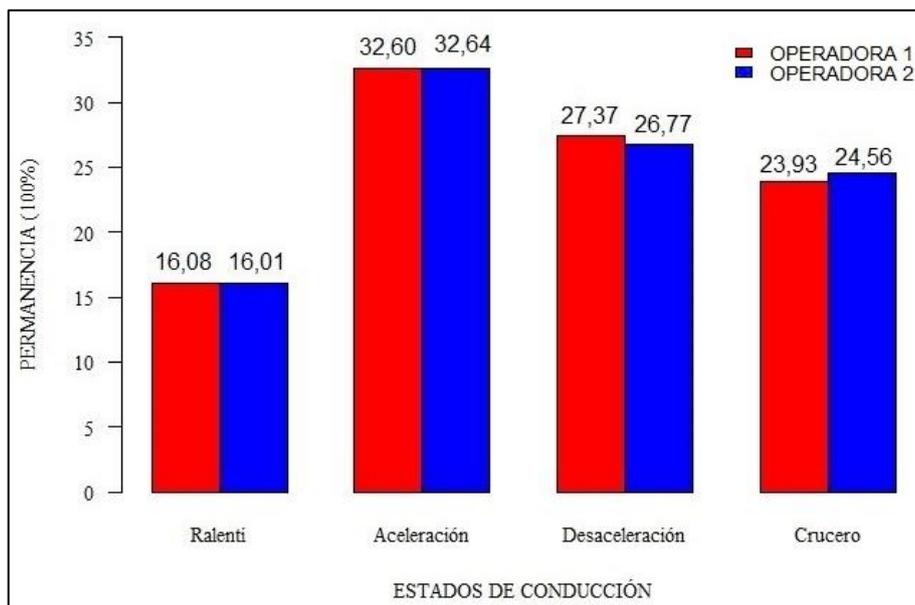
**Figura 3.9** Permanencia de desaceleración por zonas

En la Figura 3.9 se puede apreciar que en la zona 3 y zona 4 se alcanzó un mayor índice de permanencia de 31,97 % y 29,74 % respectivamente a partir del índice de permanencia general, mientras que en la zona 1, zona 2 y zona 5 el valor de permanencia se encontró que es menor con valores de 25,27 %, 26,80 % y 23,27 % a partir del índice de permanencia promedio.

### 3.2.4 ESTADOS DE CONDUCCIÓN POR OPERADORA

Se realizó un análisis de los estados de conducción de ralenti, crucero, aceleración y desaceleración en función de las operadoras. Para este análisis se tomó a las unidades de la cooperativa Velotax como representante de las demás empresas de transporte que realizan la misma ruta. De esta manera se puede analizar si existe diferencia con los buses interprovinciales que tienen horarios fijos de llegada al Ibarra y los que tienen horarios de llegada en terminales de otras ciudades fuera de la provincia de Imbabura.

Observando los valores obtenidos por día en las unidades de turismo se escogió días que figuren los días entre semana y fines de semana. Para esto tomo pruebas el lunes para atribuir los días entre semanas y el domingo para atribuir los fines de semana obteniendo los siguientes resultados que se presenta en la gráfica.



**Figura 3.10** Estados de conducción por operadora

Se puede observar en la Figura 3.10 que para ambas operadoras la aceleración tiene el porcentaje de permanencia que los demás estados de conducción, mientras que ralentí tiene el porcentaje más bajo. Por otra parte, tanto en ralentí y aceleración los valores son iguales, sin embargo, para desaceleración el porcentaje de permanencia de las unidades de la operadora 1 (27,37 %) sobrepasan a porcentaje de las unidades de la operadora 2 (26,77 %) en 0,6 %. Además, en estado de crucero el porcentaje de la operadora 2 (24,56 %) supera a la operadora 1 (23,93 %) en 0,63 %.

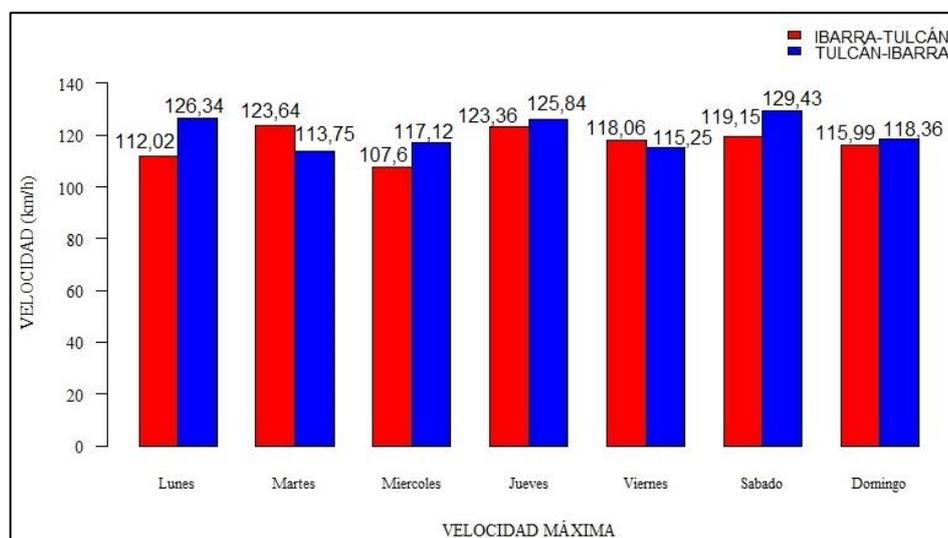
Estos valores indican un manejo similar en los estados de conducción ya sea para unidades que tienen una parada en el terminal de Ibarra con horarios establecidos como para unidades que cruzan por Ibarra y van directamente a Quito.

### **3.3 ANÁLISIS CINEMÁTICO DE LA VELOCIDAD MÁXIMA Y PROMEDIO DE LOS BUSES INTERPROVINCIALES**

Una vez analizado los estados de conducción se procedió a analizar la velocidad máxima y promedio de los buses interprovinciales Ibarra-Tulcán en función de diferentes temas que se presentan a continuación. El análisis de velocidad máxima se realizó para el viaje de Ibarra a Tulcán y viceversa.

### 3.3.1 VELOCIDAD MÁXIMA Y PROMEDIO POR DÍAS

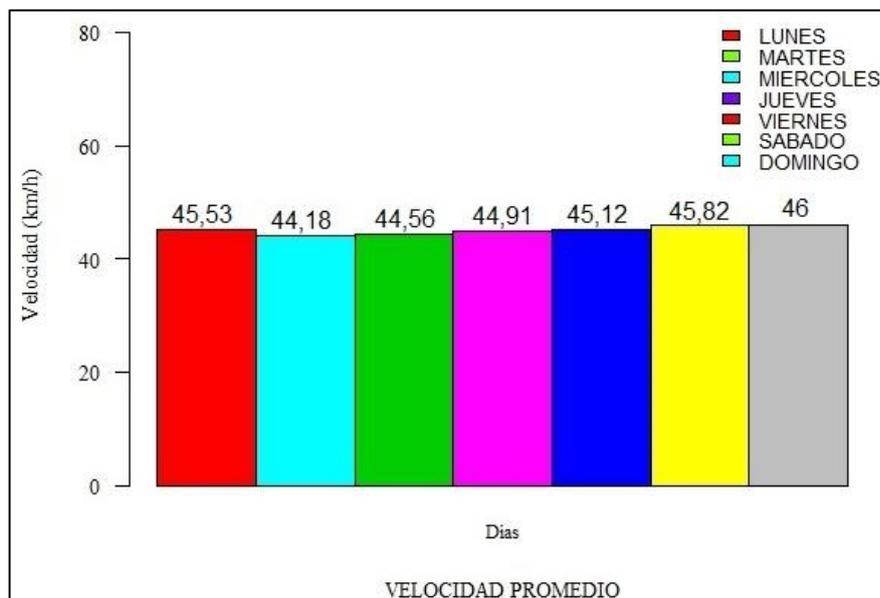
En el siguiente gráfico se muestra las velocidades máximas que se registraron en cada día de la semana. Los valores de las velocidades máximas están por días de la semana y por el recorrido en el que se encontraban las unidades. De esta forma se obtuvo valores que pueden ser analizados y explicados de mejor manera de acuerdo con el comportamiento diario.



**Figura 3.11** Velocidad máxima por días

En la Figura 3.11 se puede observar que los días, lunes, miércoles, jueves, sábado y domingo alcanzaron velocidad máxima más alta en el recorrido de Tulcán-Ibarra y para los días, martes y viernes las velocidades máximas son más altas en el recorrido Ibarra-Tulcán. También, se puede observar que las velocidades máximas para todos los días en ambos recorridos sobrepasan los 100 km/h manejando de una manera insegura todos los días de la semana.

El sábado se alcanzó una velocidad máxima del 7 % más alto en comparación que el resto de los días correspondiente a 129,43 km/h en el recorrido de Tulcán-Ibarra y una velocidad máxima 123,64 km/h el martes de Ibarra a Tulcán con un índice de diferencia con el resto de los días de 5,5 %. El día en que se presenta un valor de velocidad máxima bajo es el miércoles con una velocidad de 107,6 km/h (3,1 % más bajo en comparación a los demás días) y viernes con 115,25 km/h (4,6 % más bajo) lo que indica una conducción un poco más controlada, sin embargo, se encuentra por encima de los 100 km/h lo que sigue considerando una conducción insegura.



**Figura 3.12** Velocidad promedio por días

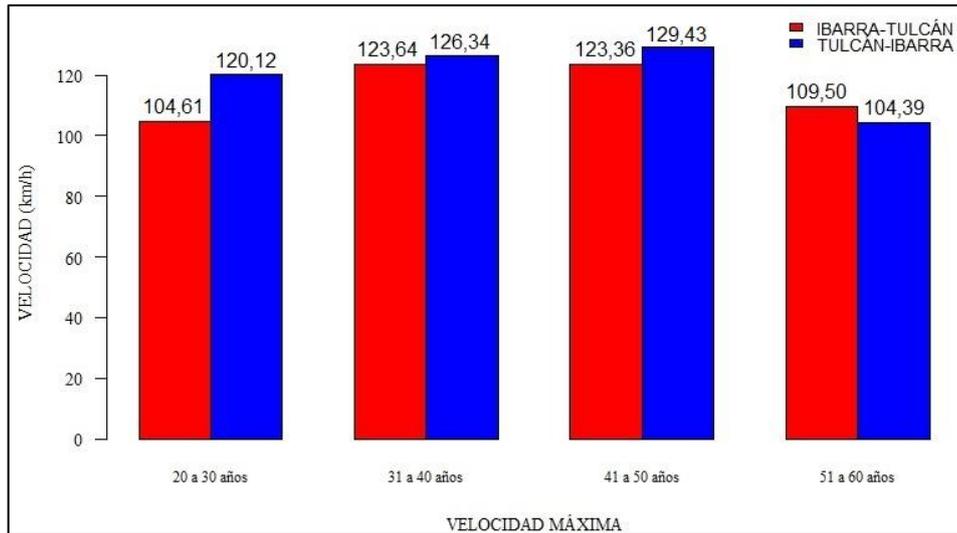
Con respecto a la velocidad promedio de la Figura 3.12, se muestra la velocidad promedio general tiene un valor de 45,15 km/h. Se determinó que los buses interprovinciales se comportaron de manera similar todos los días con diferencia máxima de 2,15 % que es aproximadamente una velocidad de 1 km/h y también una diferencia mínima de 0,07 %.

Al estar siempre circulando por la misma carretera diariamente los conductores adquieren experiencia y al conocer la carretera realizan las mismas maniobras diariamente obteniendo una velocidad promedio similar.

### 3.3.2 VELOCIDAD MÁXIMA Y PROMEDIO POR EDAD DEL CONDUCTOR

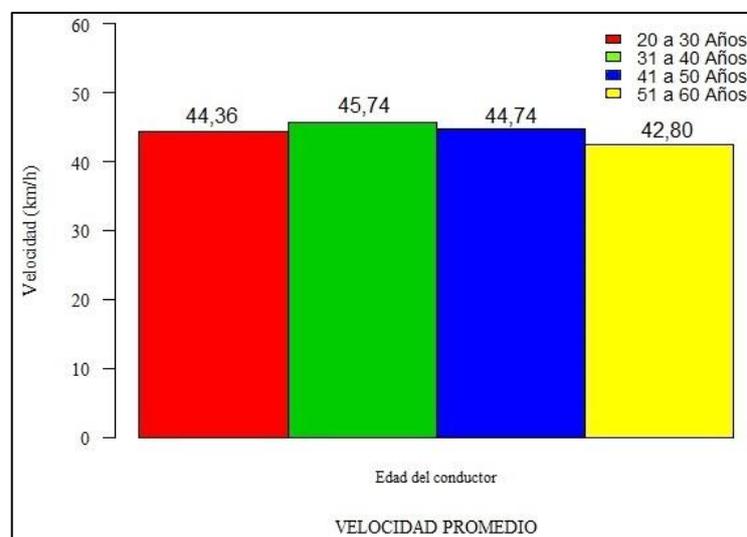
La velocidad máxima y promedio se calculó en función de las edades del conductor. Para realizar el análisis se formaron cuatro grupos: de 20 a 31 años, de 31 a 40 años, 41 a 50 años y de 51 a 60 años. Además, como en el análisis anterior también se realizará para el recorrido Ibarra-Tulcán y Tulcán-Ibarra.

Las velocidades máximas tienen como finalidad conocer los conductores que realizan maniobras más peligrosas con respecto a la velocidad en la que circulan. A continuación, se presenta los gráficos de la velocidad promedio y máxima.



**Figura 3.13** Velocidad máxima por edad del conductor

De acuerdo con la Figura 3.13 se alcanzaron velocidades más altas en el viaje de Tulcán a Ibarra en un 6,46 %, excepto para los conductores de 51 a 60 años donde es lo contrario alcanzado una velocidad más alta en el viaje de Ibarra a Tulcán en 4,66 % en comparación al otro recorrido; también, se puede ver que alcanzaron una velocidad más baja en comparación con los demás conductores lo que indica que manejan con mayor precaución. Los conductores de edad entre 41 a 50 años son los que obtuvieron una velocidad máxima de 129,43 km/h en el recorrido de Tulcán-Ibarra con 7,79 % por encima de los demás y los conductores de 31 a 40 años alcanzaron una velocidad de 123,64 km/h en el recorrido Ibarra-Tulcán con 7,26 % por encima del resto; esto puede ser por la experiencia y la agilidad que tienen los conductores.

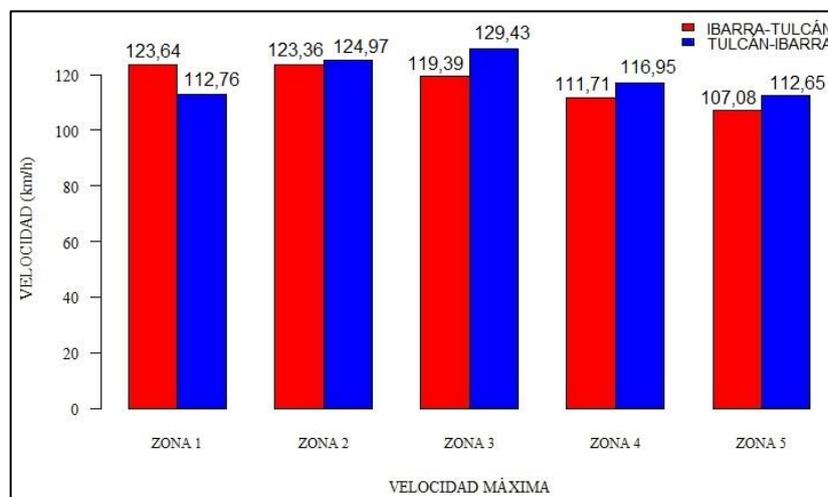


**Figura 3.14** Velocidad promedio por edad del conductor

La velocidad promedio general se encuentra en 45,15 km/h como se observa en la Figura 3.14. Los conductores de edades que comprenden entre 20 a 50 años poseen una conducta similar de acuerdo con las velocidades promedio variando en 0,44 % con una velocidad aproximada de 1 km/h de diferencia, mientras que los conductores con edad de 51 a 60 años consiguieron una velocidad promedio de 42,80 km/h que se encuentra en un porcentaje menor de 5,20 % en comparación a la velocidad promedio general.

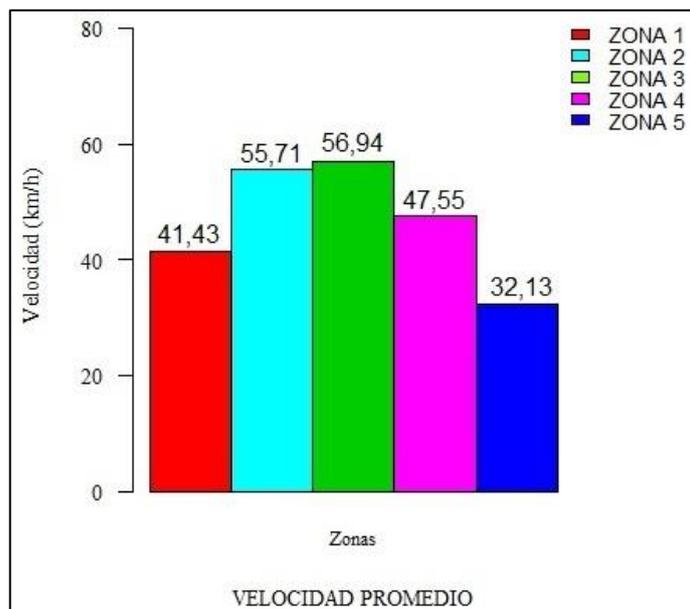
### 3.3.3 VELOCIDAD MÁXIMA Y PROMEDIO POR ZONAS

La velocidad máxima y promedio se analizó de acuerdo con la distribución por zonas de la ruta Ibarra-Tulcán. Se dividieron en 5 zonas con diferentes características geográficas.



**Figura 3.15** Velocidad máxima por zonas

En la Figura 3.15 se puede ver que en la zona 2, zona 3, zona 4 y zona 5 se tiene una velocidad máxima más alta en 4,87 % en el recorrido Tulcán a Ibarra por ser el recorrido de bajada y en la zona 1 con 8,79 % en comparación al otro recorrido por encontrarse con una pendiente. La zona 3 se alcanzó una velocidad máxima de 129,43 km/h superior a las demás zonas en 8,70 %, esto se debe a que no existe muchos poblados en esa zona y además se encuentra en una pendiente por lo que su velocidad es alta. Por otra parte, en la zona 5 se encuentra la ciudad de Tulcán y además el control aduanero por lo que la velocidad máxima alcanzada es de 112,65 km/h mucho menor a las demás en 4,68 %.

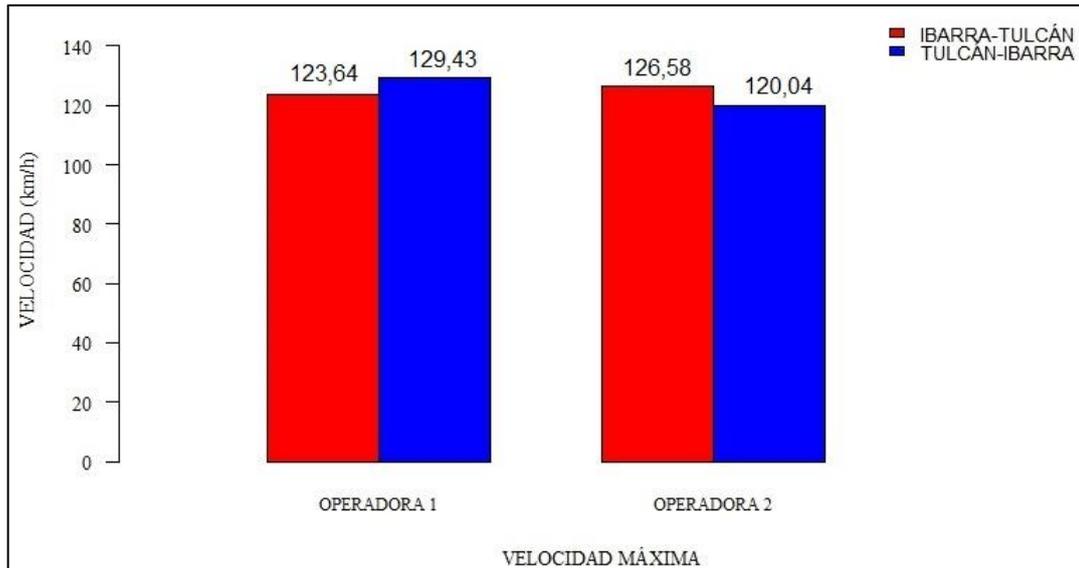


**Figura 3.16** Velocidad promedio por zonas

En la Figura 3.16 se puede apreciar que la zona 3 posee una velocidad de 56,94 km/h la cual se encuentra 26,11 % por encima de los valores de velocidad de las demás zonas lo que indica un aumento de la velocidad al encontrarse los buses en una zona con alto grado de desnivel de la carretera. La zona 5 presenta una velocidad de 32,13 km/h siendo este valor 28,83 % más bajo en comparación con las demás zonas, lo que señala una velocidad moderada al encontrarse los buses en la zona 5.

### 3.3.4 VELOCIDAD MÁXIMA Y PROMEDIO POR OPERADORA

Las velocidades máximas y promedios también fueron analizadas en función de las dos operadoras en donde se realizaron las pruebas de seguimiento en los días especificados. Los valores de las velocidades máximas indican si los conductores de diferentes operadoras tienen un mayor cuidado en la conducción. Los valores de las velocidades promedio señalan como se comportan una operadora con horarios de Ibarra a Tulcán con otra operadora con horarios solamente de llegada a Tulcán. En el siguiente grafica se presenta los valores de la velocidad máxima obtenida por las operadoras en función de del recorrido Ibarra-Tulcán y el recorrido Tulcán-Ibarra.

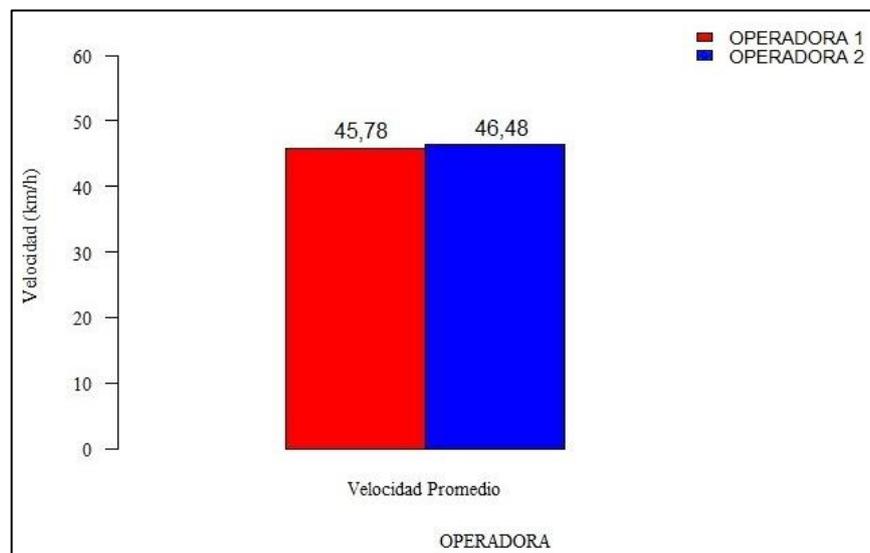


**Figura 3.17** Velocidad máxima por operadora

En la Figura 3.17 se puede observar que la operadora 1 alcanza una velocidad máxima más alta de Tulcán a Ibarra en un porcentaje de 4,68 %, mientras que la operadora 2 alcanza una velocidad máxima más alta de Ibarra a Tulcán en 5,44 % con relación al otro recorrido.

Tanto para la operadora 1 y la operadora 2 se alcanzaron una velocidad máxima de más de 120 km/h lo que indica una conducción similar dentro de la ruta Ibarra-Tulcán.

En la siguiente grafica se presentan los valores de velocidad promedio conseguidos por cada operadora.



**Figura 3.18** Velocidad promedio por operadora

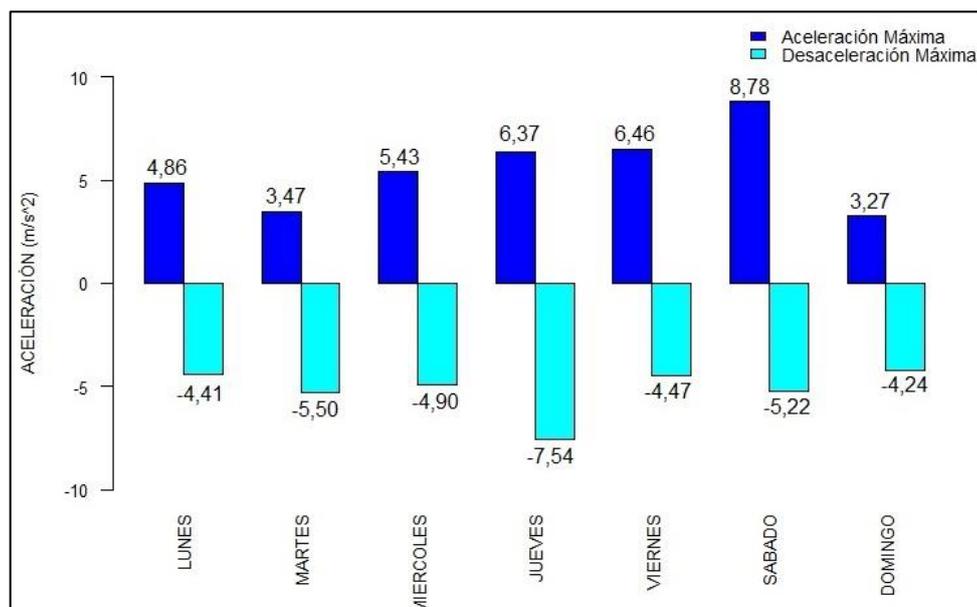
De acuerdo con la Figura 3.18 se encontró que la velocidad promedio de las unidades de la operadora 1 (45,78 km/h) tiene un valor menor de 1,53 % en comparación con el valor de las unidades de la operadora 2 (46,48 km/h). Esto indica un manejar similar por parte de los conductores de ambas operadoras.

### 3.4 ANÁLISIS CINEMÁTICO DE LA ACELERACIÓN Y DESACELERACIÓN MÁXIMA DE LOS BUSES INTERPROVINCIALES

En este paso se analizó la aceleración y desaceleración máxima de los buses interprovinciales Ibarra-Tulcán en función de varios factores que se muestran a continuación.

#### 3.4.1 ACELERACIÓN Y DESACELERACIÓN MÁXIMA POR DÍAS

En el siguiente gráfico se muestra la aceleración y desaceleración máxima en función de cada día de la semana.



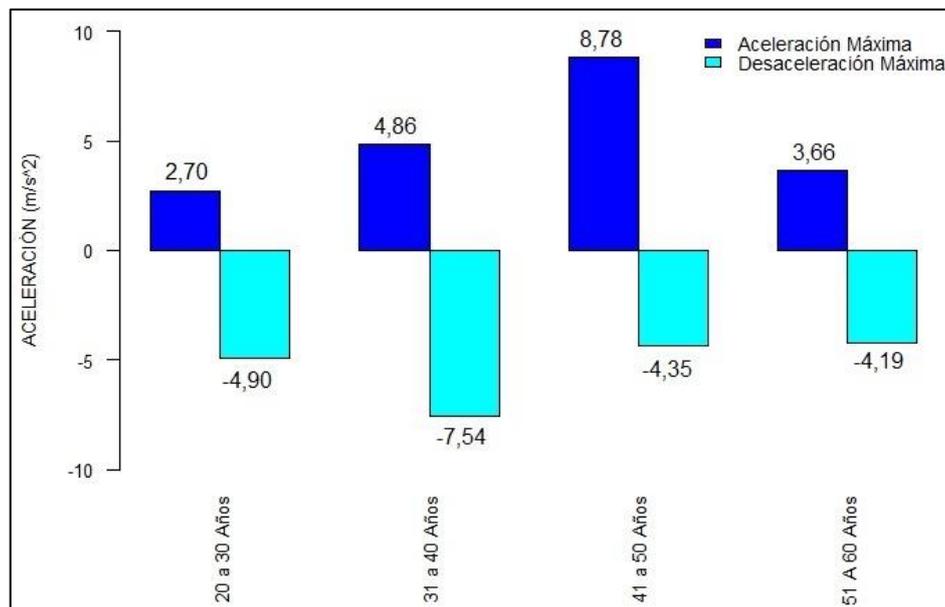
**Figura 3.19** Aceleración y desaceleración máxima por días

En la Figura 3.19 se puede observar que el sábado los buses alcanzaron una aceleración máxima de 8,78 m/s<sup>2</sup> encontrándose 59,06 % más alto en referencia los demás días, esto

denota una aceleración más agresiva a lo habitual. Por otro lado, el jueves con una desaceleración de  $-7,54 \text{ m/s}^2$  está 45,55 % más alto en comparación al resto de días. La aceleración del domingo de  $3,27 \text{ m/s}^2$  y su desaceleración de  $-4,24 \text{ m/s}^2$  son valores de 40,76 % y 18,14 % menores en contraste al resto de días. Esto se puede deber a que el domingo el bus interprovincial no realizan tantas paradas en el transcurso de su viaje evitando aceleraciones y desaceleraciones innecesarias. En comparación con una aceleración normal que varía de 0 a  $2 \text{ m/s}^2$  se consideran aceleraciones y desaceleraciones agresivas.

### 3.4.2 ACELERACIÓN Y DESACELERACIÓN MÁXIMA POR EDAD DEL CONDUCTOR

La aceleración y desaceleración máxima se analizó en función de la edad del conductor que comprende de 20 a 30, de 31 a 40, de 41 a 50 y de 51 a 60 años.



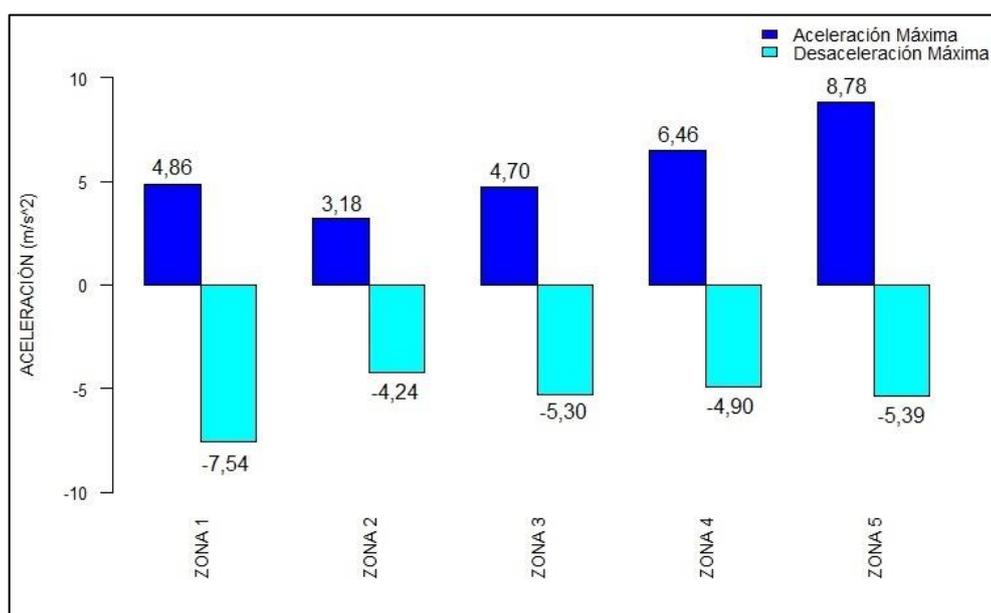
**Figura 3.20** Aceleración y desaceleración máxima por edad del conductor

De acuerdo con la Figura 3.20 los conductores con edades entre 41 a 50 años con aceleración máxima de  $8,78 \text{ m/s}^2$  consiguieron una aceleración 75,6 % más agresiva que los demás conductores, sin embargo, los mismos conductores obtuvieron una desaceleración máxima de  $-4,35 \text{ m/s}^2$  alcanzando una desaceleración 16,98 % más moderada al resto. Para los conductores con edades de 20 a 30 años con aceleración máxima de  $2,70 \text{ m/s}^2$  consiguieron

una aceleración 46 % más sutil en comparación al resto de conductores. Los conductores de 31 a 40 años con desaceleración máxima de  $-7,54 \text{ m/s}^2$  tiene una desaceleración 43,89 % más brusca que los demás.

### 3.4.3 ACELERACIÓN Y DESACELERACIÓN MÁXIMA POR ZONAS

La aceleración y desaceleración máxima se analizó de acuerdo con la distribución de del recorrido Ibarra-Tulcán por zonas.

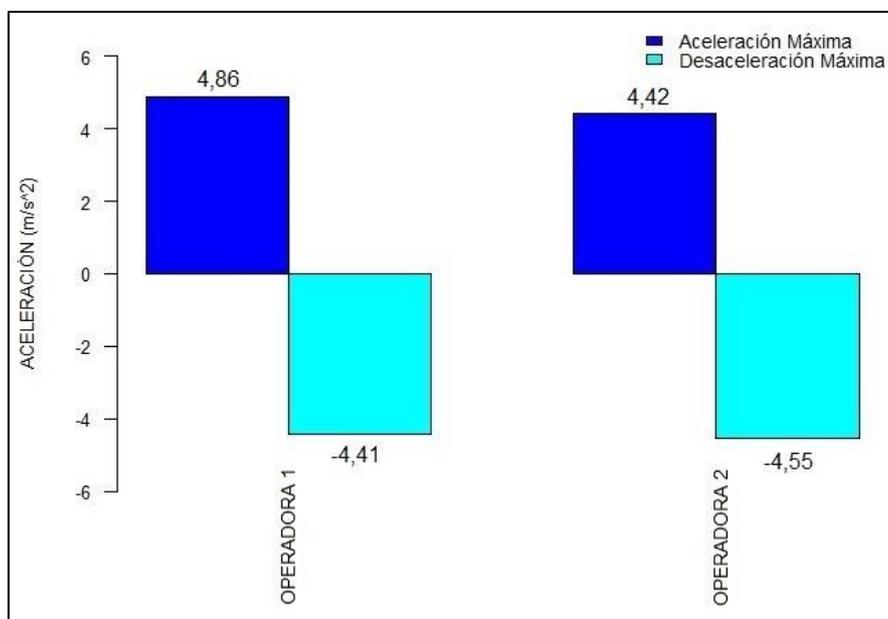


**Figura 3.21** Aceleración y desaceleración máxima por zonas

Acorde con la Figura 3.21 se puede notar que en la zona 5 se produce una aceleración máxima de  $8,78 \text{ m/s}^2$  alcanzando una aceleración 57,06 % más agresiva que el resto, debido a que pasan detenidos por mucho tiempo por lo que necesariamente deben acelerar bruscamente. Por otra parte, en la zona 2 se presenta una aceleración máxima de  $3,18 \text{ m/s}^2$  logrando una aceleración 43,11 % más suave en comparación al resto de conductores. De igual modo para la misma zona la desaceleración máxima de  $-4,24 \text{ m/s}^2$  describe una desaceleración 22,48 % más suave que los demás, lo que indica que no se necesita aceleraciones y desaceleraciones agresivas en una zona con poco desnivel en la carretera. También, se puede apreciar que en la zona 1 la desaceleración máxima de  $-7,54 \text{ m/s}^2$  obtuvo una desaceleración de 37,84 % más agresiva, resultado de una brusca disminución de velocidad en bajadas y en curvas donde se ingresa con velocidades excesivas.

### 3.4.4 ACELERACIÓN Y DESACELERACIÓN MÁXIMA POR OPERADORA

La aceleración y desaceleración máxima se analizaron en función de la operadora turismo y la operadora Velotax. En la siguiente gráfica se muestran los resultados obtenidos de estas pruebas.



**Figura 3.22** Aceleración y desaceleración máxima por operadora

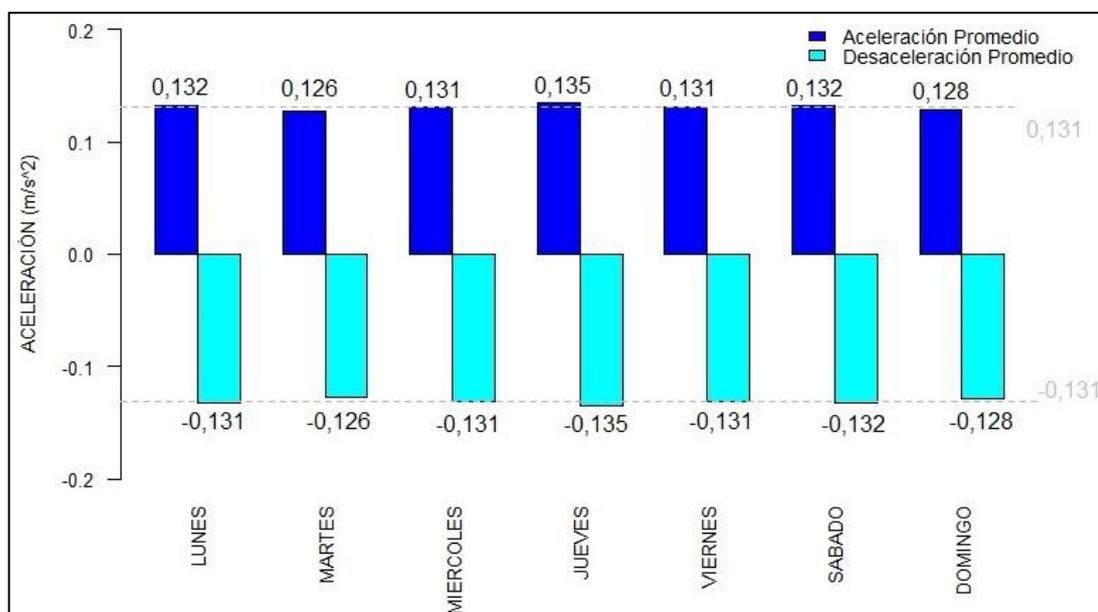
En la Figura 3.22 se puede apreciar que el valor de la aceleración máxima alcanzada por las unidades de la operadora 1 ( $4,86 \text{ m/s}^2$ ) es mayor al valor alcanzado por la operadora 2 ( $4,42 \text{ m/s}^2$ ) en un 9,95 %. No obstante, el valor de la desaceleración máxima de la operadora 2 ( $-4,55 \text{ m/s}^2$ ) es mayor al valor de desaceleración de la operadora 1 ( $-4,41 \text{ m/s}^2$ ) en un 3,17 %. La diferencia que hay entre estos valores no es mucha por lo que tienen el mismo estilo de manejo en la ruta Ibarra-Tulcán.

### 3.5 ANÁLISIS CINEMÁTICO DE LA ACELERACIÓN Y DESACELERACIÓN PROMEDIO DE LOS BUSES INTERPROVINCIALES

El último análisis que se realizó son la aceleraciones y desaceleraciones promedio de los buses interprovinciales en función de diferentes factores que se muestran a continuación.

### 3.5.1 ACELERACIÓN Y DESACELERACIÓN PROMEDIO POR DÍA

En el siguiente gráfico se muestra la aceleración y desaceleración promedio que se obtuvo en función de los días de la semana.

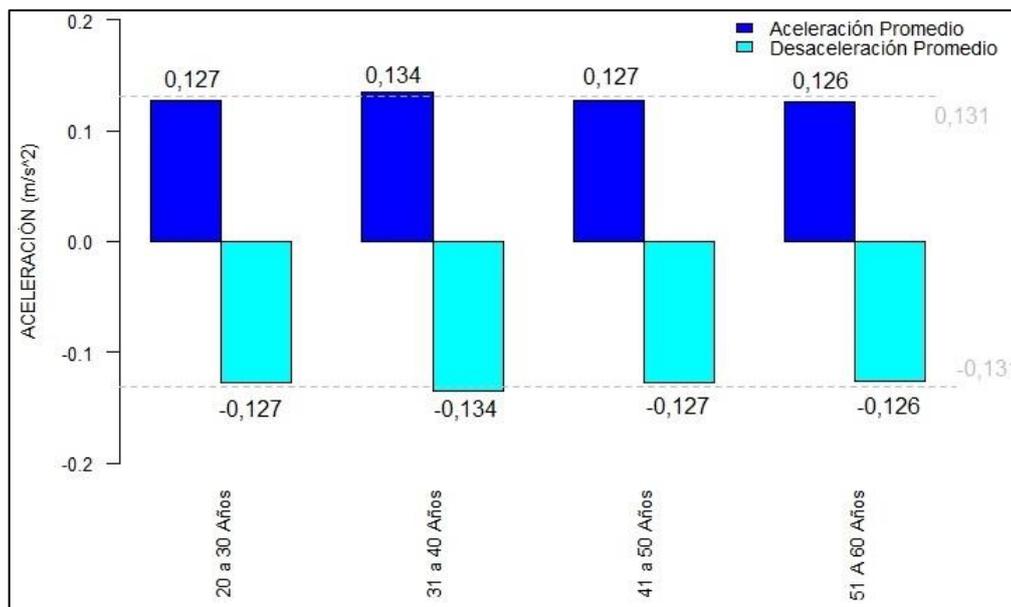


**Figura 3.23** Aceleración y desaceleración promedio por días

En la Figura 3.23 se puede observar que la aceleración promedio para todos los días de la semana poseen el mismo valor con una diferencia máxima de 3,81 % al promedio general. La desaceleración promedio entre días de la semana también poseen el mismo rango, lo que quiere decir que por días se consumió igual cantidad de combustible.

### 3.5.2 ACELERACIÓN Y DESACELERACIÓN PROMEDIO POR EDAD DEL CONDUCTOR

Las aceleraciones y desaceleraciones promedio son importantes analizar de acuerdo con la edad del conductor para observar cuáles tienden a tener una conducción más brusca. En el siguiente gráfico se muestra la aceleración y la desaceleración que se obtuvo en función de la edad de los conductores de los buses interprovinciales Ibarra-Tulcán.



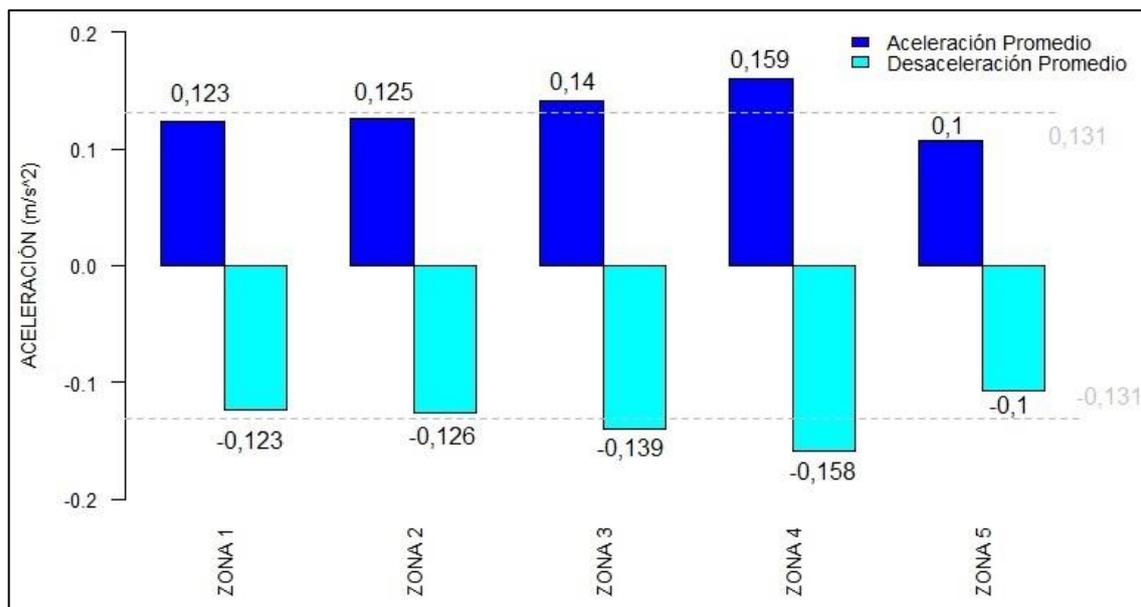
**Figura 3.24** Aceleración y desaceleración promedio por edad del conductor

En la Figura 3.24 se puede observar que los conductores de edades de 20 a 30 y 41 a 50 años poseen el mismo índice de acelerones y desacelerones; sin embargo, los conductores con edad entre 31 a 40 años tienen un valor mayor de aceleración ( $0,134 \text{ m/s}^2$ ) y desaceleración ( $-0,134 \text{ m/s}^2$ ) en 2,29 % más con respecto al resto, por lo que gastan mayor cantidad de combustible en su recorrido. Además, los conductores con edades entre 51 a 60 años poseen un índice menor de aceleración ( $0,126 \text{ m/s}^2$ ) y desaceleración ( $-0,126 \text{ m/s}^2$ ) en 3,81 % menos al resto, por lo que consume menor cantidad de combustible que los demás conductores.

### 3.5.3 ACELERACIÓN Y DESACELERACIÓN PROMEDIO POR ZONAS

La aceleración y desaceleración promedio se analizó en función de los años de fabricación de los buses interprovinciales Ibarra-Tulcán. Como se vino mostrando anteriormente es de gran importancia analizar las características cinemáticas en función de diferentes zonas de la ruta.

La aceleración y desaceleración promedio varía de acuerdo con el lugar donde se encuentre circulando la unidad debido a las características geográficas que posee la carretera. A continuación, se presenta la gráfica de la aceleración y desaceleración por zonas.



**Figura 3.25** Aceleración y desaceleración por zona

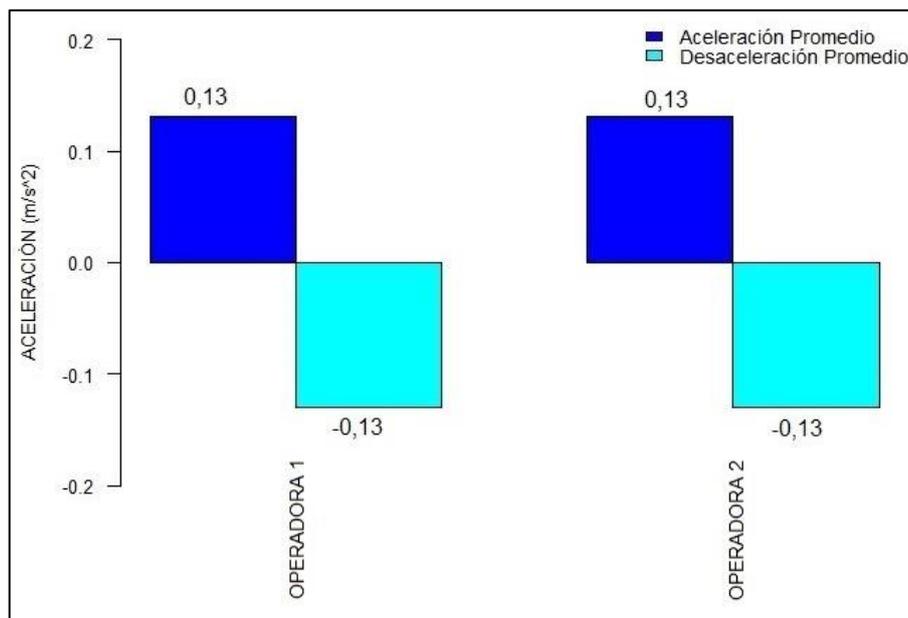
Como se muestra en Figura 3.25 los valores de aceleración y desaceleración promedio están alejados del promedio general. Hay que mencionar, además, que en la zona 4 se producen altos valores de aceleración ( $0,159 \text{ m/s}^2$ ) y desaceleración ( $-0,158 \text{ m/s}^2$ ) en un 21 % más elevando con respecto a las demás zonas, de modo que, en esta zona la ruta tiene características que provocan mayores niveles de aceleración y desaceleración y por lo tanto mayor consumo de combustible. Habría que decir también que, en la zona 5 el valor de aceleración ( $0,1 \text{ m/s}^2$ ) y desaceleración ( $-0,1 \text{ m/s}^2$ ) promedio es menor en 23,66 % a las demás zonas, consumiendo menor combustible en ese tramo de la ruta.

### 3.5.4 ACELERACIÓN Y DESACELERACIÓN PROMEDIO POR OPERADORA

Conocer el comportamiento que tienen las diferentes operadoras que circulan por la ruta Ibarra-Tulcán es indispensable y una manera de analizar estas operadoras es mediante la aceleración y desaceleración promedio de cada una de ellas.

La aceleración y desaceleración promedio se analizó en función de las operadoras para encontrar si existe diferencia de consumo de combustible entre operadoras.

En la siguiente grafica se observan los resultados obtenidos de la aceleración y desaceleración promedio con el análisis del consumo de combustible.



**Figura 3.26** Aceleración y desaceleración promedio por operadora

Se puede apreciar en la Figura 3.26 que el valor de aceleración promedio es de  $0,13 \text{ m/s}^2$  para ambas operadoras. Lo mismo ocurre para la desaceleración promedio al tener un valor de  $-0,13 \text{ m/s}^2$  similar para ambas operadoras. Esto indica que el consumo de combustible es similar tanto para operadoras que tienen horario de llegada a Ibarra como para operadoras que cruzan por Ibarra y su horario de llegada es en Quito.

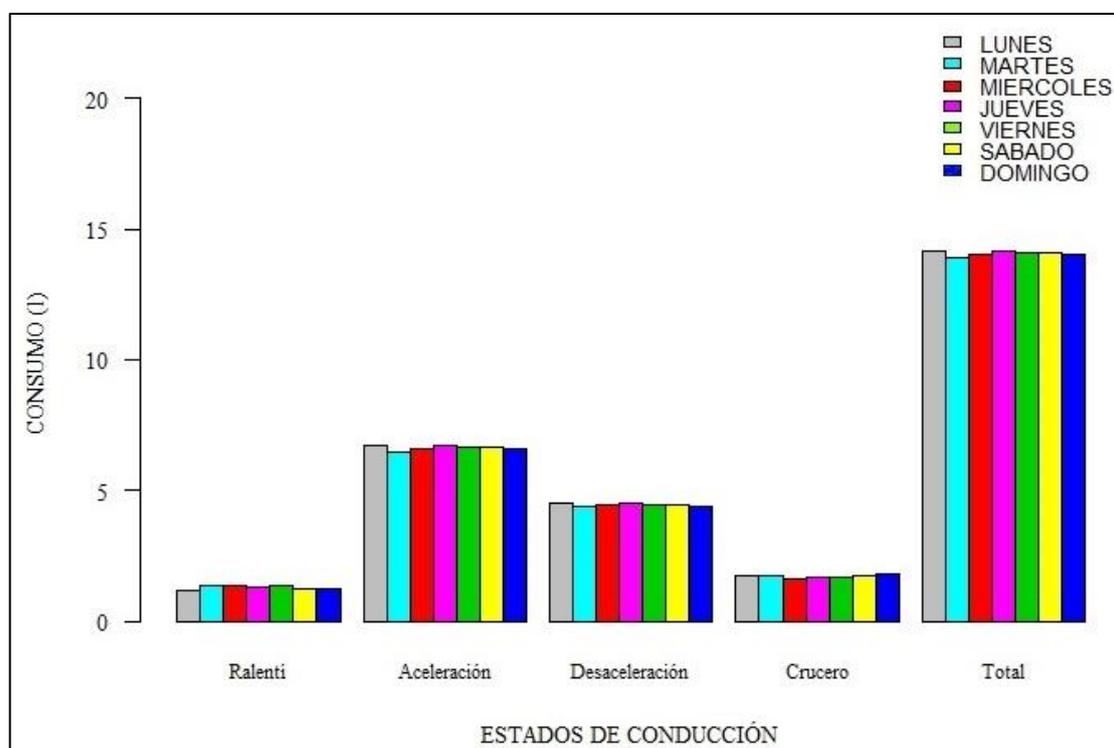
### 3.6 ANÁLISIS DE NIVEL DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Se realizó un análisis de consumo de combustible de acuerdo con los porcentajes de estados de conducción en función de los días de la semana, de las edades de los conductores, las zonas de la ruta Ibarra-Tulcán. Para ellos de acuerdo con el estudio de (Rosero, León, Mera, & Rosero, 2017) los valores de datos instantáneos de consumo de combustible en los estados de conducción son: en ralentí  $2,71 \text{ l/h}$  ( $45 \text{ ml/min}$ ), en crucero  $4,674 \text{ l/h}$  ( $77,9 \text{ ml/min}$ ), en aceleración  $7,392 \text{ l/h}$  ( $123,2 \text{ ml/min}$ ) y en desaceleración  $5,9136 \text{ l/h}$  ( $98,56 \text{ ml/min}$ ).

De acuerdo con estos datos y conociendo el tiempo promedio de viaje se puede calcular el consumo por estados de conducción y el consumo total en función de las variables que se presentan a continuación.

### 3.6.1 ANÁLISIS DE NIVEL DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR DÍAS

En la siguiente grafica se muestra los valores de consumo de combustible de acuerdo con los porcentajes de estados de conducción en función de los días de la semana. También se muestra el consumo total por días.



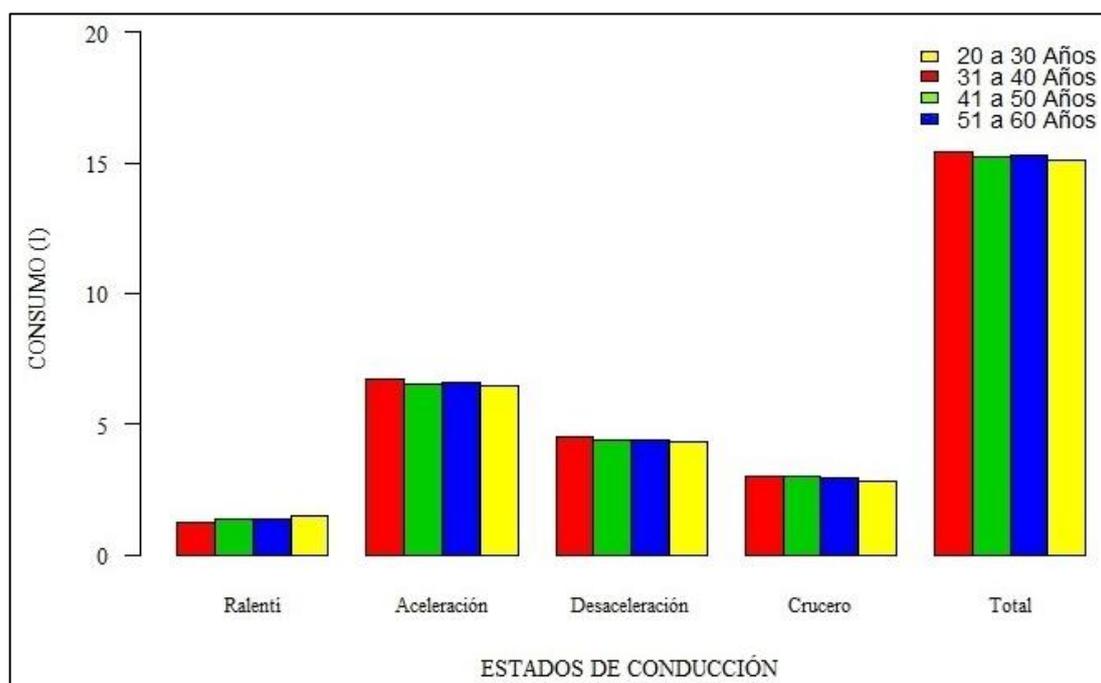
**Figura 3.27** Nivel de consumo de combustible por días

En la Figura 3.27 se muestra que se consumió mayor cantidad de combustible mientras las unidades se encuentran en aceleración en un 88,06 % en comparación a los demás estados con un promedio de 6,62 [l], mientras que en ralenti se consume menos en 63,35 % con un promedio de 1,29 [l]. Para los valores de desaceleración se obtuvo un valor promedio de nivel de consumo de combustible de 4,45 [l] con un 26,42 % más alto, mientras que en crucero se consiguió un 51,13 % con un valor de 1,72 [l].

Se puede apreciar que en todos los días de la semana se consumen casi la misma cantidad de combustible alrededor de 14 [l]. El lunes, jueves viernes y sábado consumen 0,63 %, 0,63 %, 0,14 % y 0,14 % más combustible respectivamente en comparación a los demás días, mientras que, los martes, miércoles y domingo consumen 0,99 %, 0,21 % y 0,21 % menos combustible de manera respectiva. Esto indica un comportamiento similar en todos los días por lo que se consume el mismo nivel de combustible.

### 3.6.2 ANÁLISIS DE NIVEL DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR EDAD DEL CONDUCTOR

De acuerdo con las edades que tienen los conductores el consumo puede variar debido a la forma de conducir que tienen cada uno de ellos. En la siguiente grafica se presenta los valores de nivel de consumo de combustible de acuerdo con los porcentajes de estados de conducción en función de las edades de los conductores.



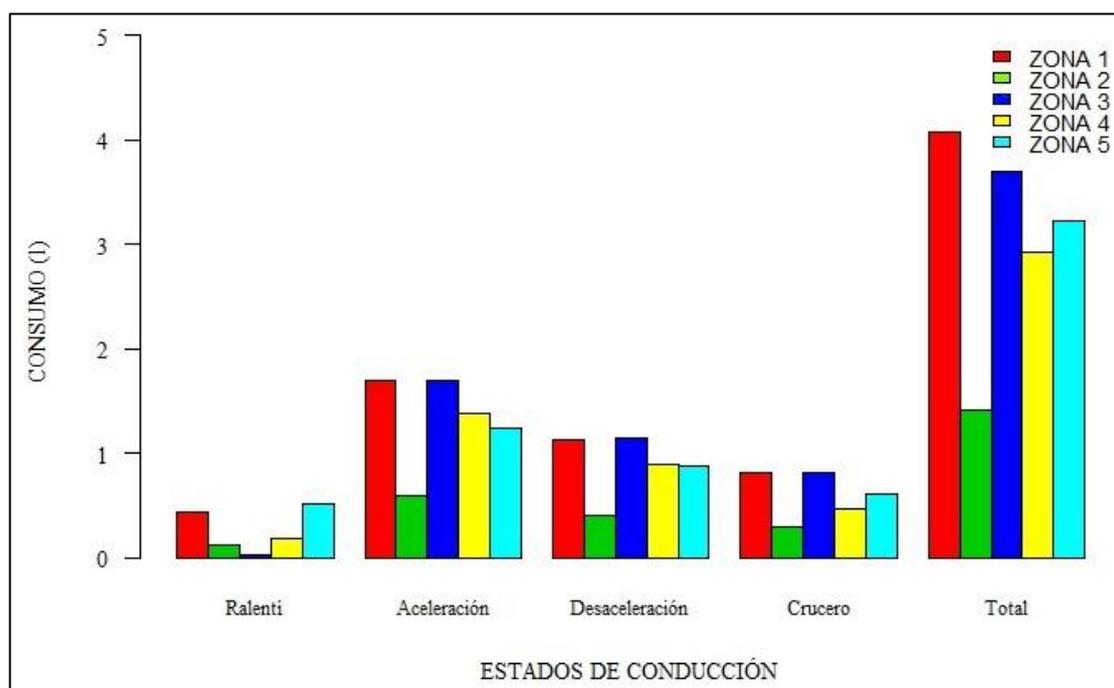
**Figura 3.28** Nivel de consumo de combustible por edad del conductor

Como se muestra en la Figura 3.28 los conductores de 20 a 30 años consumieron más combustible en ralentí con un valor de 1,48 [l] en un 10,44 % más elevado en comparación con los demás conductores, mientras que los conductores de 31 a 40 años consumieron más combustible en aceleración con 6,72 [l] (2,43 %), desaceleración con 4,51 [l] (2,5 %) en todo su recorrido.

En los valores totales del nivel de consumo de combustible los conductores de 31 a 40 años consumieron mayor cantidad de combustible en un 1,11 % por encima de los demás y con un valor de consumo de 15,42 [l] mientras que los conductores de 20 a 30 años consumieron un valor menor de combustible en un 0,98 % por debajo de los demás con un valor de consumo de 15,10 [l].

### 3.6.3 ANÁLISIS DE NIVEL DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR ZONAS

Cada zona que se encogió tiene diferente geografía por lo que el consumo de combustible será diferente ya que el modo de conducción dependerá de las pendientes, paradas, tráfico, etc. Los niveles de consumo de combustible a partir de los estados de conducción por zonas de la ruta Ibarra-Tulcán se presentan en la gráfica siguiente al igual que el total de consumo por cada zona.



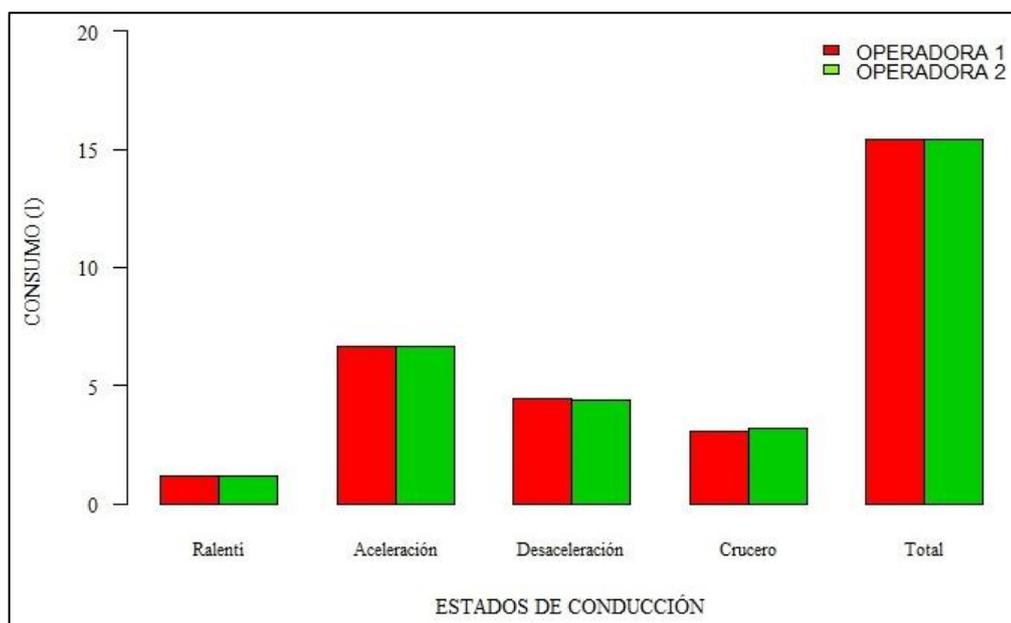
**Figura 3.29** Nivel de consumo de combustible por zonas

En la Figura 3.29 se puede apreciar que en ralentí la zona 3 tiene un nivel de consumo de combustible del 88,46 % por debajo de los demás valores. En aceleración la zona 1 tiene un consumo de 1,70 [l] correspondiente a 28,78 % y la zona 3 tiene un valor menor de 0,6 % con respecto a la zona 1. En desaceleración la zona 3 tiene un valor 1,15 [l] que corresponde a 29,21 % más alto a los demás. Para crucero la zona 1 y la zona 3 alcanzaron un nivel del 35 % por encima de las otras zonas.

En el consumo total la zona 1 posee un valor de consumo de 4,08 [l] que está consumiendo 33,33 % más alto, mientras que para la zona 2 el nivel de consumo de combustible es 54 % menor a las demás zonas consumiendo menor combustible debido a sus características topográficas.

### 3.6.4 ANÁLISIS DE NIVEL DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR OPERADORAS

En la siguiente grafica se muestran los niveles de consumo de combustible a partir de la permanencia de los estados de conducción en función de las operadoras. Los valores totales por recorrido también se muestran en la gráfica.



**Figura 3.30** Nivel de consumo de combustible por operadora

En la Figura 3.30 se puede apreciar que el nivel de consumo de combustible por estados de conducción es similar para operadoras que tienen horas de llegada a la ciudad de Ibarra como para operadoras que cruzan por la misma. Por lo tanto, los valores totales de consumo para la operadora 1 es de 15,51 [l] y para la operadora 2 de 15,39 [l]. El consumo de la operadora 1 sobrepasa a la operadora 2 en un 0,77 %, siendo valores cercanos lo que implica un nivel de consumo similar para ambas operadoras.

### 3.7 ANÁLISIS DE EQUILIBRIO DINÁMICO DE BUSES INTERPROVINCIALES EN CURVAS DE ALTO RIESGO

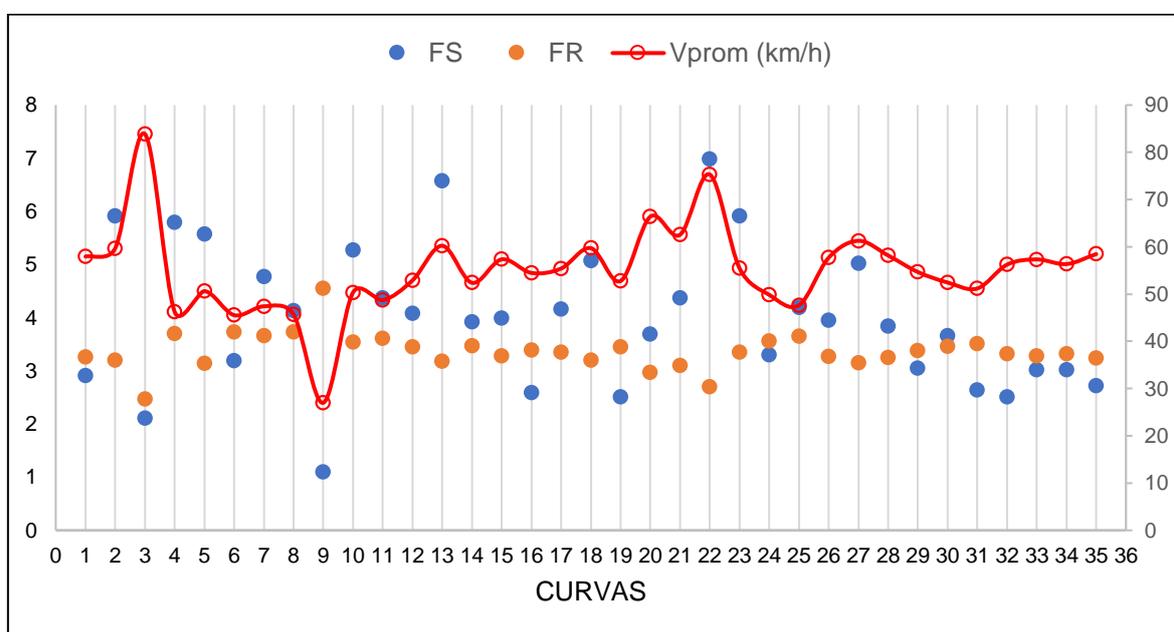
La ruta Ibarra-Tulcán posee en su recorrido varias curvas que pueden ser de alto riesgo si no se circula con la velocidad adecuada en ellas. El análisis siguiente se presenta las 35 curvas

seleccionadas con la velocidad promedio de los buses, para mostrar si los buses interprovinciales transitan con seguridad. Se realizó el análisis con destino de Ibarra-Tulcán y Tulcán-Ibarra de forma separada.

Cuando el valor de FS sea mayor que FR entonces se trata de una conducción insegura; si FS es menor a FR entonces la conducción es segura y si FS es igual a FR entonces la conducción está en el límite.

### a. EQUILIBRIO DINÁMICO EN CURVAS RECORRIDO IBARRA-TULCÁN

En el siguiente grafico se muestran los valores de FS y FR, de acuerdo con los valores de la velocidad con la que circulan en cada curva los buses interprovinciales en el recorrido Ibarra-Tulcán.



**Figura 3.31** Equilibrio dinámico en curvas recorrido Ibarra-Tulcán

La ley orgánica de transporte terrestre, tránsito y seguridad vial, establece que los límites de velocidad para vehículos de transporte público para curvas de carretera son de 50 km/h y un rango moderado de 50 a 65 km/h.

De acuerdo con esto se puede decir que los buses interprovinciales en la mayoría de las curvas sobrepasan el límite de velocidad máximo, no obstante, existen curvas que al

sobrepasar el límite de velocidad los buses continúan con una conducción segura sin riesgo a accidentes.

En la curva 1 de la Figura 3.31 se puede apreciar que los buses interprovinciales se mantienen seguros en cuanto al equilibrio dinámico al estar en la curva a una velocidad promedio de 57,93 km/h debido a que la curva tiene radio elevado. Los mismo sucede con las curvas 3,16, 19, 32, 33, 34 y 35 las cuales tienen un radio tan grande que permiten circular a los buses con mayor facilidad.

Las curvas 6, 9,24, 29 y 31 también se encuentran con una conducción segura, sin embargo, las unidades tienen que mantenerse en la curva con una velocidad mucho menor que los anteriores descritos. Los conductores lograron conducir de forma segura debido a que estas curvas se encuentran en una pendiente y su recorrido por ellas es de forma ascendente.

Con respecto a las curvas donde se observa que  $FR$  es menor a  $FS$ , la conducción se vuelve insegura, al estar los buses interprovinciales con una velocidad alta en comparación con el radio de la curva.

En la Tabla 3.1 se presenta el total de curvas en las que las conducciones fueron inseguras y en las curvas donde la conducción fue segura. También se muestra el porcentaje por curvas estudiadas para un mejor análisis.

**Tabla 3.1** Total de equilibrio dinámico en curvas recorrido Ibarra-Tulcán

<b>CURVAS</b>	<b>FS&gt;FR</b>	<b>FS&lt;FR</b>
<b>TOTAL</b>	22	13
<b>TOTAL %</b>	61,11 %	36,11 %

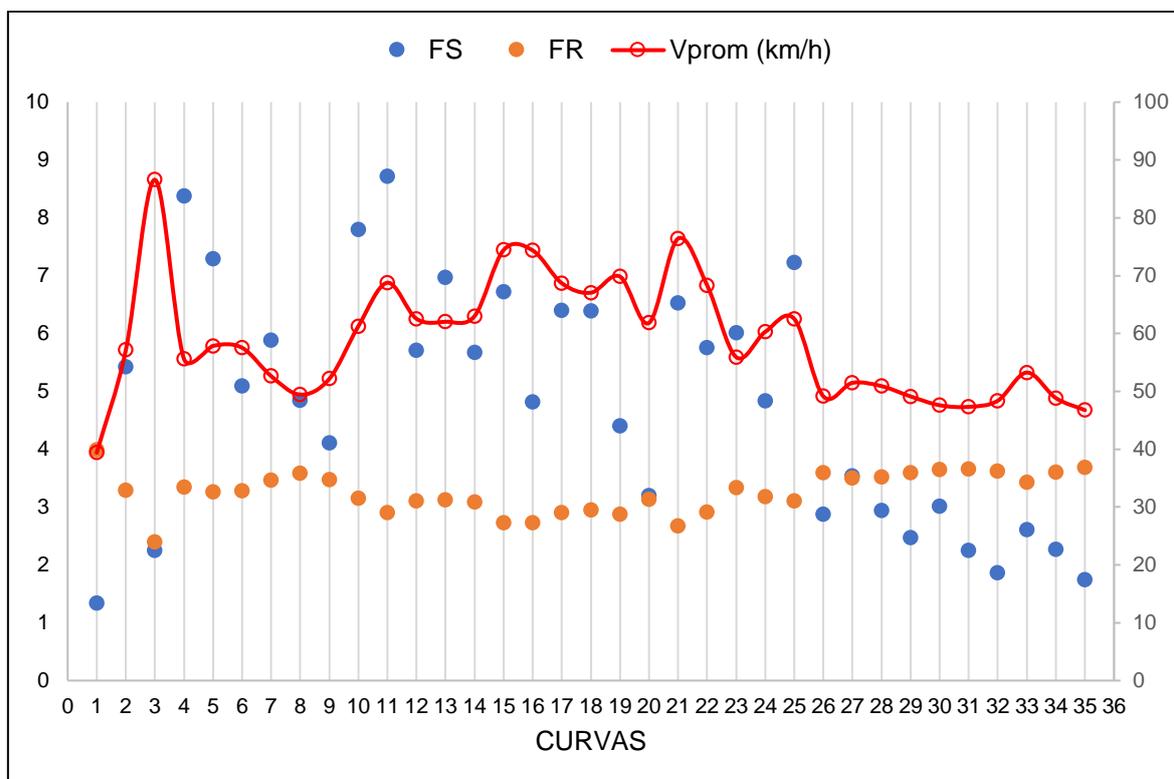
Los resultados muestran que las unidades sobrepasaron los límites en el 61,11 % de todas las curvas estudiadas del recorrido Ibarra-Tulcán lo que indica una conducción insegura en el recorrido.

Este modo de conducción puede deberse a las siguientes razones:

- El retraso que tienen al realizar paradas extensas en ciertos sectores del recorrido.
- Imprudencia por parte de los conductores al tomar una curva.
- Recuperar el tiempo debido a las incesantes paradas que realiza los buses en todo el recorrido ya sea para recoger personas o para dejarlas en su destino.

## b. EQUILIBRIO DINÁMICO EN CURVAS RECORRIDO TULCÁN-IBARRA

En el gráfico siguiente se presentan los valores de FR y FS de acuerdo los valores de la velocidad obtenidas en cada curva por los buses interprovinciales en el recorrido Tulcán-Ibarra.



**Figura 3.32** Equilibrio dinámico en curvas recorrido Tulcán-Ibarra

En la Figura 3.32 se puede observar que en la curva 35, que es la primera curva de alto riesgo que se toma en el recorrido Tulcán-Ibarra, se puede notar que la conducción se mantiene segura hasta la curva 26, A partir de la vuelta 25 la conducción se vuelve insegura aumentando el riesgo de que los buses se salgan de las vías, u ocasionen un accidente.

La vuelta numero 3 empieza una pendiente aumentando la velocidad, sin embargo, la conducción es segura por tener un radio alto, pero, mientras toman la subida entran a la curva 2 que tiene un radio menor que a pesar de la reducida velocidad se considera una conducción insegura de acuerdo con las características de la curva. En la vuelta 1 la velocidad está más reducida y el radio de la curva es grande por lo que la conducción se vuelve segura.

En la Tabla 3.2 se presenta el total de curvas que en las que la conducción es segura e insegura, como también el porcentaje total de las curvas estudiadas para un mejor análisis.

**Tabla 3.2** Total de equilibrio dinámico en curvas recorrido Tulcán-Ibarra

<b>CURVAS</b>	<b>FS&gt;FR</b>	<b>FS&lt;FR</b>
<b>TOTAL</b>	24	11
<b>TOTAL %</b>	66,67 %	30,56 %

De acuerdo con los resultados las unidades sobrepasaron los límites en el 66,67 % de todas las curvas estudiadas del recorrido Ibarra-Tulcán. En otras palabras, la conducción es insegura en el trayecto.

El alto nivel de conducción insegura evidenciado en el recorrido puede deberse a las siguientes razones:

- Recuperar el tiempo que estuvieron detenidos en el control a las afueras de la ciudad de Tulcán, aumentando la velocidad incluso en las curvas.
- La imprudencia de los conductores al tomar las curvas.
- Recuperar el tiempo al realizar paradas extensas para recoger más pasajeros.



## CAPITULO IV

### 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

- Se logró obtener las características cinemáticas de los estados de conducción, velocidades y aceleraciones máximas y promedio como también de equilibrio dinámico en curvas, mediante la recolección de datos con dispositivos móviles GPS montados en los buses interprovinciales Ibarra-Tulcán durante todo su recorrido.
- Para el levantamiento de datos se distribuyó en jornadas del día, para horas pico y horas valle en la mañana, medio día y en la tarde. Se monitorearon a 32 unidades de la operadora Turismo durante 2 semanas en 84 viajes de Ibarra a Tulcán y 84 viajes de Tulcán a Ibarra, por otro lado, se monitorearon a 28 unidades de la operadora Velotax durante 2 días en 12 viajes de Ibarra a Tulcán y 12 viajes de Tulcán a Ibarra.
- Se aplicaron 9 dispositivos GPS GL-770 como tecnología móvil para la obtención de datos de posición, trayectoria, velocidad y aceleración con una frecuencia de 1 Hz sin pérdida de conexión en el recorrido, grabando 1 868 221 registros efectivos equivalentes a 518 horas con 57 minutos.
- Los porcentajes de permanencia de los buses interprovinciales de la ruta Ibarra-Tulcán fueron 17,25 % en ralentí, 23,01 % en crucero, 32,43 % en aceleración y 27,29 % en desaceleración; de manera general sin tomar en cuenta los factores de edad del conductor, zonas, días y operadora; indicando los resultados que los buses interprovinciales se encuentran mucho tiempo en ralentí por lo que en el transcurso de su recorrido deben estar más tiempo en aceleración para llegar a su destino en el tiempo correcto.
- Los factores que más influyeron en los estados de conducción fueron por días y por zonas. En ralentí se obtuvo 18,57 % los miércoles, 24, 33% de crucero los domingos, una aceleración de 32,87 % los jueves y desaceleración de 27,87 % los lunes. En la

zonificación se presentaron variaciones notables de porcentajes de permanencia de estados de conducción en comparación con los demás factores, debido a las irregularidades topográficas que presenta la ruta Ibarra-Tulcán.

- Con respecto a las velocidades máximas, todos los factores superaron los 100 km/h durante su recorrido lo que puede ocasionar accidentes de tránsito debido a las altas velocidades. La velocidad promedio es de 45,15 km/h lo cual es similar para los días de la semana y por operada teniendo una diferencia mínima de 2,15 % y 1,53 % respectivamente, sin embargo, los conductores de edad entre 51 a 60 años tienen una velocidad promedio de 42,80 km/h siendo 5,20 % menor al promedio general; en la zona 3 se alcanzó una velocidad promedio en un 26,11 % (56,94 km/h) más alto y en la zona 5 una velocidad promedio en 28,83 % (32,13 km/h) más bajo.
- La aceleración y desaceleración promedio general de los buses interprovinciales es de 0,131 m/s<sup>2</sup> y -0,131 m/s<sup>2</sup> respectivamente, con valores similares en factores de edad, días de la semana y operadora. Se encontró una aceleración y desaceleración promedio de 21 % más alta en la zona 4 con valores de 0,159 m/s<sup>2</sup> y -0,158 m/s<sup>2</sup> respectivamente y un porcentaje del 23,66 % más bajos en la zona 5 para valores de 0,1 m/s<sup>2</sup> para aceleración y -0,1 m/s<sup>2</sup> para desaceleración.
- El equilibrio dinámico en curvas muestra una conducción insegura en el recorrido Ibarra-Tulcán en un 61,11 % especialmente en la zona 3 donde se encuentra la mayor agrupación de curvas. No obstante, en el recorrido Tulcán-Ibarra se evidencia un mayor grado de conducción insegura con 66,67 %, debido a las altas velocidades con las que entran a las curvas, ocasionadas por el retraso de los buses y la imprudencia de los conductores.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Usar dispositivos móviles para futuras investigaciones de la cinemática del automóvil en cualquier zona o ciudad, especialmente el dispositivo GPS GL-770 usado en esta investigación que no tiene pérdida de señal, con batería de 35 horas de trabajo y un almacenamiento de más de 25 000 de datos.
- Para el levantamiento de datos de la cinemática del automóvil se recomienda realizar las pruebas para todos los días de la semana para observar el comportamiento diario, además, hacerlo durante todo el día en función de las franjas horas de horas pico y horas valle, de esta manera se consigue los suficientes datos para tener un buen análisis de los resultados.
- Realizar la recolección de datos en periodo de tiempos similares en donde las actividades diarias de las personas no sean variadas para evitar alteraciones en la circulación de automóviles lo que ocasionaría la obtención de resultados erróneos o datos difíciles de analizar.
- Para estudios donde se manejen grandes cantidades de datos se puede utilizar el software RStudio que le permitirá manipular de manera más fácil los datos mediante lenguaje de programación propia, herramientas de depuración y visualización.
- Los buses interprovinciales no deben estar detenidos por mucho tiempo durante su viaje porque esto conlleva a que el conductor deba adoptar una conducción más agresiva para alcanzar la velocidad adecuada lo que ocasiona un mayor consumo de combustible en su recorrido.
- Colocar radares en la ruta Ibarra-Tulcán en zonas donde de alto grado de pendiente para tener un control de los conductores de los buses interprovinciales evitando que sobrepasen los límites de velocidad permitidos por la ley orgánica de transporte tránsito y seguridad vial.

- El tiempo de parada en el control de Tulcán que se encuentra en la zona 5 debe ser menor para evitar que los conductores realicen aceleraciones y desaceleraciones bruscas en las demás zonas especialmente en la zona 4 de la ruta Ibarra-Tulcán.
- Realizar una inducción a los conductores para informar de la inseguridad de ir rápido en curvas que tienen el radio muy pequeño y al estar en altas velocidades tener una conducción insegura lo que puede ocasionar un accidente de tránsito.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Achour, H., & Olabi, A. G. (2016). Driving cycle developments and their impacts on energy consumption of transportation. *Journal of Cleaner Production*, 1778-1788.
2. Adak, P., Sahu, R., & Suresh, E. (2016). Development of emission factors for motorcycles and shared auto-rickshaws using real-world driving cycle for a typical Indian city. *Science of the Environment*, 299-308.
3. Armijos, F. A., & Cueva, M. E. (2017). Determinación de factores de emisiones de los buses urbanos de la ciudad de Loja en la hora de mayor tráfico vehicular, mediante una metodología indirecta. Cuenca: Universidad de Azuay.
4. Astudillo, R. F. (2016). Obtención de ciclos de conducción para la flota de buses urbanos del cantón Cuenca. Cuenca: Universidad de Azuay.
5. Bone, I. C., Castillo, E. G., & Sandoval, J. C. (2015). Análisis de la responsabilidad social en las empresas de transporte público interprovincial del Ecuador, caso "Cooperativa de transportes occidentales". Quito: Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito.
6. Braun , A., & Rid , W. (2017). The influence of driving patterns on energy consumption in electric car driving and the role of regenerative braking. *Transportation Research Procedia*, 174-182.
7. Cárcamo, E. D., García, F., & Medina, J. F. (2014). Secuencia cinemática típica en la conducción de motocicletas. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
8. Collaguazo, N., & Santamaría, D. (2014). Requerimientos basicos para la estructuración de una empresa de transporte interprovincial de pasajeros en el Ecuador, caso de estudio: Cooperativa de transportes occidentales. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
9. Dávalos, D. S. (2017). Obtención de un ciclo típico de conducción para los vehículos de la unión de taxistas del Azuay. Cuenca: Universidad de Azuay.
10. DieselNet FAQ. (09 de 2000). DieselNet. Obtenido de DieselNet: <https://www.dieselnets.com/standards/cycles/hwfet.php>

11. DieselNet FAQ. (09 de 2007). DieselNet. Obtenido de DieselNet: [https://www.dieselnet.com/standards/cycles/jp\\_jc08.php](https://www.dieselnet.com/standards/cycles/jp_jc08.php)
12. DieselNet FAQ. (08 de 2014). DieselNet. Obtenido de DieselNet: <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp75.php>
13. Eboli, L., Mazzulla, G., & Pungillo, G. (2016). Combining speed and acceleration to define car users' safe or unsafe driving behaviour. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 113 - 125.
14. Fu, M., Ge, Y., Wang, X., Tan, J., Yu, L., & Liang, B. (2013). NOx emission from Euro IV busses with SCR systems associated with urban, suburban and freeway driving patterns. *Science of the Total Environment* , 222-226.
15. Galgamuwa , U., Perera, L., & Bandara, S. (2015). Developing a General Methodology for Driving Cycle Construction: Comparison of various established driving cycles in the world to propose a general approach. *Journal of Transportation Technologies*, 191-203.
16. García del Río, A. (2017). UF1217 - Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo diesel. Elearning.
17. Giakoumis , E., & Zachiotis, A. (2018). Comparative evaluation of eight legislated driving schedules in terms of cycle metrics and emissions from a diesel-powered turbocharged van. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 139-154.
18. Hernández, H. E. (2016). Caracterización de ciclos de conducción utilizando una tableta Android y bus CAN. Universidad Politécnica de Cataluña.
19. Ho, S.-H., Wong, Y.-D., & Chang, V. W.-C. (2014). Developing Singapore Driving Cycle for passenger cars to estimate fuel consumption and vehicular emissions. *Atmospheric Environment* , 353-362.
20. Huang, D., Xie, H., Ma, H., & Sun, Q. (2017). Driving cycle prediction model based on bus route features. *Transportation Research Part D*, 99-113.
21. Huiming, G., Yuang, Z., Quigkai, Y., Jie, F., & Fengchun, S. (2018). Generation of driving cycle for battery electric vehicles: A case study of Beijing. *Energy*, 1-28.
22. INEC. (2017). Anuario de Estadística de transportes. INEC.

23. INEN. (2002). Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diésel. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
24. Laranjeira, J. A. (2015). Sistema De Localização De Veículos Para Smartphone Android. Instituto Superior de Engenharia Do Porto.
25. Lei, Z., Qin, D., Liu, Y., Peng, Z., & Lu, L. (2017). Dynamic energy management for a novel hybrid electric system based on driving pattern recognition. *Applied Mathematical Modelling* , 940-954.
26. Mahesh, S., & Ramadurai, G. (2017). Analysis of driving characteristics and estimation of pollutant emissions from intra-city buses. *Transportation Reseach Procedia* , 1211-1218.
27. Manjarrés, F. J., & Santillán, E. R. (2016). Análisis estructural a cargas de impacto frontal de un tipo interprovincial mediante el método de elementos finitos. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
28. Martínez, J. C. (2016). Análisis de emisiones de un vehículo en conducción por ciudad y renovación del sistema PEMS utilizado. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
29. Mehdi, M., Jerrelind, J., & Stensson, A. (2017). Energy efficiency analyses of a vehicle in modal and transient driving cycles including longitudinal and vertical dynamics. *Transportation Reseach Part D*, 263-273.
30. Mira, J. M., & Arenas, B. D. (2018). Aplicación de modelos de redes neuronales al modelo y predicción de emisiones de autobuses urbanos. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
31. Misro, M. Y., Ramli, A., & Ali, J. M. (2018). Quintic trigonometric Bezier curve and its maximum speed estimation on highway designs. *AIP Conference Proceedings*, 020089.
32. Ochoa, E. M., & Salazar, H. A. (2018). Estudio para la optimización del combustible en la operación de taxis de la ciudad de San Miguel de Ibarra. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
33. Palomeque, J., & Navas, P. (2017). Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET, en dinamómetro de chasis Caso de estudio: Vehículo Hyundai Tucson 2.0L T/A

- 2016 y Chevrolet Aveo 1.4L T/M sedan 2010. Cuenca: Universidad del Azuay.
34. Pardiñas, J., & Feijó, R. (2018). *Sistemas auxiliares del motor*. Editex.
  35. Parreño Ibáñez, S. (2012). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Diésel (MF0133\_2)*. IC Editorial.
  36. Pérez, P. S., & Quito, C. O. (2018). *Determinación de los ciclos de conducción de un vehículo categoría M1 para la ciudad de Cuenca*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
  37. Ramadurai, G., & Reddy Kancharla, S. (2018). *Incorporating driving cycle based fuel consumption estimation in green vehicle routing problems*. *Sustainable Cities and Society*, 1-20.
  38. Ramírez, J. (2018). *Análisis de las características cinemáticas de las rutas de autobuses urbanos de Ibarra*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
  39. Reddy, S., & Ramadurai, G. (2018). *Incorporating driving cycle based fuel consumption estimation in green vehicle routing problems*. *Sustainable Cities and Society*, 214-221.
  40. Rosero, F. A., León, C. E., Mera, Z. A., & Rosero, C. X. (2017). *Análisis del consumo de combustible en autobuses urbanos por efecto de las intersecciones semaforizadas. Caso de estudio ciudad de Ibarra*. *DELOS*, 1-22.
  41. Secundino, E., González, J., & Rivas, J. L. (2009). *Motores*. Macmillan Iberia.
  42. United States Environment Protection Agency. (2017). EPA. Obtenido de EPA: <https://www.epa.gov/fuel-economy-trends/highlights-co2-and-fuel-economy-trends>
  43. Wang, H., Zhang, X., & Ouyang, M. (2015). *Energy consumption of electric vehicles based on real-world driving patterns: A case study of Beijing*. *Applied Energy*, 1-10.
  44. Wei, Z., Z. X., & Dunant, H. (2016). *Study of HEV Power Management Control Strategy Based on Driving Pattern Recognition*. *Energy Procedia*, 847 - 853.

## **ANEXOS**

## ANEXO I

### HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA INVESTIGACIÓN



**Figura AI.1** Dispositivo GPS GL-770



**Figura AI.2** Encuestas realizadas a los conductores de los buses interprovinciales



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**  
**ENCUESTA**

Se solicita de la manera más comedida contestar la siguiente encuesta, enfocada a conseguir información que servirá para el desarrollo de una investigación en la UTN

**1. ¿Qué edad tiene?**

- a) De 20 a 30 años
- b) De 31 a 40 años
- c) De 41 a 50 años
- d) De 51 a 60 años
- e) Más de 60 años

**2. ¿Cuánto dinero gasta de combustible a diario en el tramo Ibarra-Tulcán?, cuantas vueltas recorre en total**

---

**3. ¿Cuáles son las horas de mayor afluencia de personas en el recorrido de Ibarra a Tulcán?**

Mañana	Medio día	Tarde
a) 7:15 AM	a) 11:15 AM	a) 2:30 PM
b) 8:15 AM	b) 12:15 PM	b) 3:15 PM
c) 10:15 AM	c) 1:15 PM	c) 5:15 PM

**4. ¿Cuáles son las horas de mayor afluencia de personas en el recorrido de Tulcán a Ibarra?**

Mañana	Medio día	Tarde
a) 6:00 AM	a) 10:50 AM	a) 4:00 PM
b) 7:50 AM	b) 12:30 PM	b) 5:00 PM
c) 9:50 AM	c) 2:30 PM	c) 5:50 PM

**5. ¿Qué días existen mayor afluencia de personas para la ruta Ibarra - Tulcán? Señale de mayor a menor**

- 1. Lunes \_\_\_\_\_ ( )
- 2. Martes \_\_\_\_\_ ( )
- 3. Miércoles \_\_\_\_\_ ( )
- 4. Jueves \_\_\_\_\_ ( )
- 5. Viernes \_\_\_\_\_ ( )
- 6. Fines de semana \_\_\_\_\_ ( )

**Figura AI.3** Formato de encuestas dirigidas a los conductores

## ANEXO II

### TABLAS DE RESULTADOS

**Tabla AII.1** Características cinemáticas por días de la semana

<b>DÍAS</b>	<b>Ralentí (%)</b>	<b>Crucero (%)</b>	<b>Aceleración (%)</b>	<b>Desaceleración (%)</b>	<b>Velocidad máxima (km/h)</b>	<b>Velocidad promedio (km/h)</b>	<b>Aceleración máxima (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>Aceleración promedio (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>Desaceleración máxima (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>Desaceleración promedio (m/s<sup>2</sup>)</b>
LUNES	15,86	23,53	32,77	27,83	126,343	45,538	4,867	0,132	-4,414	-0,132
MARTES	17,90	23,62	31,63	26,85	123,640	44,185	3,478	0,127	-5,304	-0,127
MIÉRCOLES	18,57	22,05	32,27	27,11	117,120	44,568	5,433	0,131	-4,908	-0,131
JUEVES	17,30	22,23	32,87	27,60	125,843	44,911	6,374	0,135	-7,547	-0,135
VIERNES	17,92	22,17	32,56	27,35	118,065	45,122	6,467	0,131	-4,476	-0,131
SÁBADO	16,86	23,21	32,53	27,39	129,436	45,821	8,787	0,133	-5,222	-0,133
DOMINGO	16,31	24,34	32,44	26,92	118,361	46,034	3,272	0,128	-4,244	-0,128

**Tabla AII.2** Características cinemáticas por edad del conductor

<b>EDADES</b>	<b>Ralentí (%)</b>	<b>Crucero (%)</b>	<b>Aceleración (%)</b>	<b>Desaceleración (%)</b>	<b>Velocidad máxima (km/h)</b>	<b>Velocidad promedio (km/h)</b>	<b>Aceleración máxima (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>Aceleración promedio (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>Desaceleración máxima (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>Desaceleración promedio (m/s<sup>2</sup>)</b>
31 a 40	16,41	23,02	32,94	27,63	126,343	45,749	4,867	0,135	-7,547	-0,135
41 a 50	17,91	23,21	31,87	27,01	129,436	44,743	8,787	0,127	-4,357	-0,127
51 a 60	17,93	22,92	32,16	26,99	109,509	42,809	3,668	0,126	-4,198	-0,126
20 a 30	19,90	22,02	31,72	26,37	120,121	44,363	2,706	0,128	-4,908	-0,128

**Tabla AII.3** Características cinemáticas por zonas de la ruta Ibarra-Tulcán

ZONAS	Ralentí (%)	Crucero (%)	Aceleración (%)	Desaceleración (%)	Velocidad máxima (km/h)	Velocidad promedio (km/h)	Aceleración máxima (m/s <sup>2</sup> )	Aceleración promedio (m/s <sup>2</sup> )	Desaceleración máxima (m/s <sup>2</sup> )	Desaceleración promedio (m/s <sup>2</sup> )
ZONA 1	21,50	22,80	30,43	25,27	123,640	41,437	4,867	0,124	-7,547	-0,124
ZONA 2	17,58	24,74	30,88	26,81	124,973	55,710	3,189	0,125	-4,244	-0,126
ZONA 3	1,86	28,57	37,59	31,98	129,436	56,945	4,702	0,140	-5,304	-0,140
ZONA 4	13,70	19,63	36,91	29,75	116,954	47,554	6,467	0,160	-4,908	-0,159
ZONA 5	29,87	20,36	26,50	23,27	112,657	32,133	8,787	0,107	-5,391	-0,108

**Tabla AII.4** Características cinemáticas por operadora de transporte

OPERADORA	Ralentí (%)	Crucero (%)	Aceleración (%)	Desaceleración (%)	Velocidad máxima (km/h)	Velocidad promedio (km/h)	Aceleración máxima (m/s <sup>2</sup> )	Aceleración promedio (m/s <sup>2</sup> )	Desaceleración máxima (m/s <sup>2</sup> )	Desaceleración promedio (m/s <sup>2</sup> )
Operadora 1	16,08	23,93	32,61	27,38	126,343	45,784	4,867	0,130	-4,414	-0,130
Operadora 2	16,02	24,56	32,64	26,78	126,584	46,480	4,424	0,131	-4,558	-0,131

**Tabla AII.5** Equilibrio dinámico en el recorrido Ibarra-Tulcán

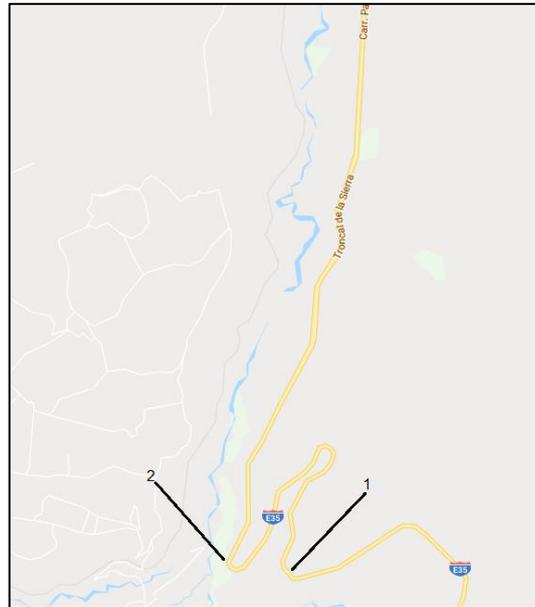
CURVA	RADIO (m)	Vprom (km/h)	FS	FR e=4%	FS>FR	FR=FS	FS<FR
1	1155,06	57,93	2,91	3,26			X
2	602,95	59,69	5,91	3,20	X		
3	3336,60	83,86	2,11	2,47			X
4	369,19	46,24	5,79	3,70	X		
5	459,47	50,61	5,57	3,14	X		
6	649,93	45,53	3,19	3,73			X
7	470,76	47,40	4,77	3,66	X		
8	505,05	45,67	4,13	3,73	X		
9	661,23	26,99	1,10	4,55			X
10	480,97	50,34	5,27	3,54	X		
11	542,63	48,71	4,37	3,61	X		
12	685,03	52,89	4,08	3,45	X		
13	552,14	60,22	6,57	3,18	X		
14	699,83	52,38	3,92	3,47	X		
15	824,77	57,34	3,99	3,28	X		
16	1147,00	54,47	2,59	3,39			X
17	737,33	55,40	4,16	3,35	X		
18	703,55	59,72	5,07	3,20	X		
19	1109,60	52,75	2,51	3,45			X
20	1194,45	66,38	3,69	2,97	X		
21	894,55	62,55	4,37	3,10	X		
22	812,62	75,30	6,98	2,70	X		
23	520,27	55,47	5,91	3,35	X		
24	753,26	49,83	3,30	3,56			X
25	540,87	47,62	4,19	3,65	X		
26	842,91	57,68	3,95	3,27	X		
27	748,02	61,27	5,02	3,15	X		
28	881,56	58,16	3,84	3,25	X		
29	978,13	54,66	3,05	3,38			X
30	752,40	52,44	3,66	3,46	X		
31	993,48	51,18	2,64	3,51			X
32	1257,55	56,22	2,51	3,32			X
33	1087,87	57,32	3,02	3,28			X
34	1052,68	56,35	3,02	3,32			X
35	1256,12	58,46	2,72	3,24			X
<b>% TOTAL</b>					61,11 %	0%	36,11 %

**TABLA AII.6** Equilibrio dinámico en el recorrido Tulcán-Ibarra

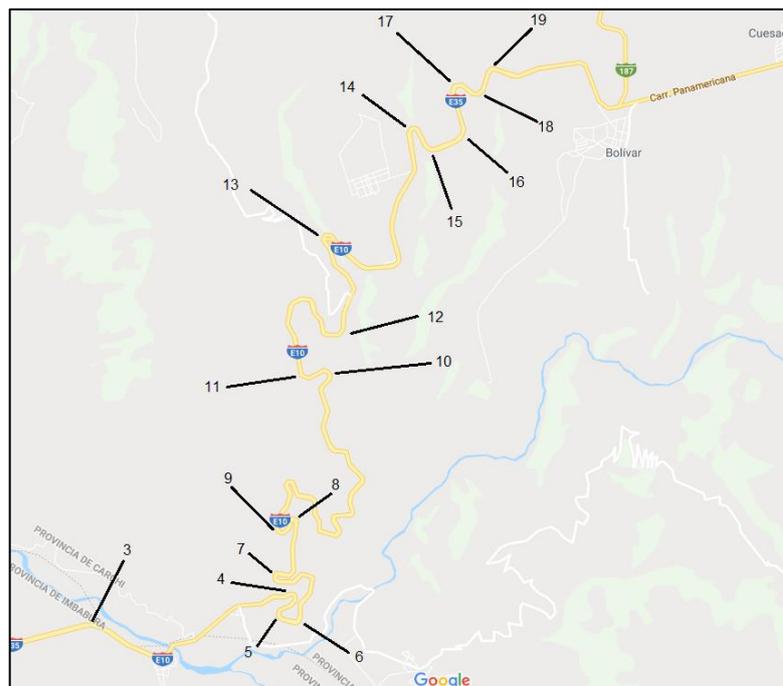
CURVA	RADIO (m)	Vprom (km/h)	FS	FR e=4%	FS>FR	FR=FS	FS<FR
1	1155,06	39,39	1,34	3,99			X
2	602,95	57,16	5,42	3,29	X		
3	3336,60	86,58	2,25	2,40			X
4	369,19	55,63	8,38	3,34	X		
5	459,47	57,86	7,29	3,26	X		
6	649,93	57,54	5,09	3,28	X		
7	470,76	52,63	5,88	3,46	X		
8	505,05	49,43	4,84	3,58	X		
9	661,23	52,16	4,11	3,47	X		
10	480,97	61,26	7,80	3,15	X		
11	542,63	68,78	8,72	2,90	X		
12	685,03	62,55	5,71	3,10	X		
13	552,14	62,03	6,97	3,12	X		
14	699,83	63,01	5,67	3,09	X		
15	824,77	74,44	6,72	2,73	X		
16	1147,00	74,36	4,82	2,73	X		
17	737,33	68,69	6,40	2,90	X		
18	703,55	67,05	6,39	2,95	X		
19	1109,60	69,85	4,40	2,87	X		
20	1194,45	61,82	3,20	3,13	X		
21	894,55	76,41	6,53	2,67	X		
22	812,62	68,33	5,75	2,91	X		
23	520,27	55,91	6,01	3,33	X		
24	753,26	60,29	4,83	3,18	X		
25	540,87	62,52	7,23	3,10	X		
26	842,91	49,14	2,87	3,59			X
27	748,02	51,47	3,54	3,50	X		
28	881,56	50,90	2,94	3,52			X
29	978,13	49,12	2,47	3,59			X
30	752,40	47,60	3,01	3,65			X
31	993,48	47,32	2,25	3,66			X
32	1257,55	48,37	1,86	3,62			X
33	1087,87	53,25	2,61	3,43			X
34	1052,68	48,84	2,27	3,60			X
35	1256,12	46,75	1,74	3,68			X
<b>% TOTAL</b>					66,67 %	0 %	30,56 %

### ANEXO III

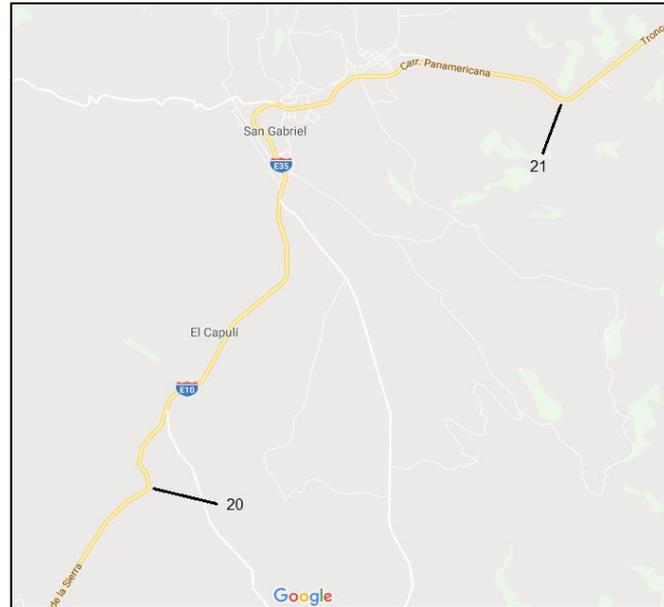
## CURVAS SELECCIONADAS DE LA RUTA IBARRA-TULCÁN



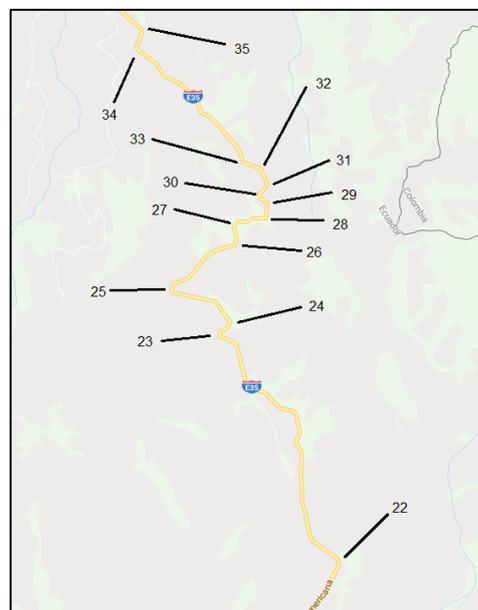
**Figura AIII.1** Curvas 1 y 2 ruta Ibarra-Tulcán



**Figura AIII.2** Curvas 3 a 19 ruta Ibarra-Tulcán



**Figura AIII.4** 20 y 21 ruta Ibarra-Tulcán



**Figura AIII.4** Curvas 22 a 35 ruta Ibarra-Tulcán