



Q á^caaa) A EJAaaQÍ A^AH DA) AOC/OOY A+H AÍ DA) U^aAaa..{ aaQ^i{ a^i{aa} aa{ aaED| aaA  
Reconocida por el DICE, incorporada a la  
base de datos bibliográfica ISOC, en RePec, resumida en DIALNET y encuadrada en el Grupo C de la  
Clasificación Integrada de Revistas Científicas de España.  
Vol 12. Nº 35  
Diciembre 2019  
<https://www.eumed.net/rev/delos/35/index.html>

## ESTUDIO E INFLUENCIA DE PATRONES DE MOVILIDAD, TIPO DE VEHICULO Y CONDICIONES DE VIAJE DE LA RUTA IBARRA-TULCAN, ECUADOR, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE DATOS DE REDES DE TECNOLOGÍA MÓVIL.

**Fredy A. Rosero Obando<sup>1</sup>**  
farosero@utn.edu.ec

**Fausto E. Tapia Gudiño<sup>2</sup>**  
fetapia@utn.edu.ec

**Christian E. León Cárdenas<sup>3</sup>**  
celeon@utn.edu.ec

**Ramiro A. Rosero Añazco<sup>4</sup>**  
rarosero@utn.edu.ec

**Darwin H. Almeida Jimenez<sup>5</sup>**  
daalmeida@utn.edu.ec

**Carlos A. Villarreal Bolaños<sup>6</sup>**  
cavillarreal@utn.edu.ec

**Robinson C. Campues Ipiales<sup>7</sup>**  
rccamuesi@utn.edu.ec

Universidad Técnica del Norte,  
Ibarra,  
Ecuador

### CONTENIDO

<b>Resumen .....</b>	<b>2</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Fundamentación teórica.....</b>	<b>5</b>
2.1 Transporte .....	5
2.2 Patrones de Conducción.....	5
2.3 Ciclos de Conducción .....	5
2.4 Ciclos de Conducción Estándar.....	6
2.5 Equipos de Rastreo Satelital.....	7
<b>3. Metodología .....</b>	<b>7</b>
3.1 Caracterización de buses interprovinciales Ibarra-Tulcán.....	8
3.2 Selección de dispositivo móvil GPS.....	9
3.3 Planificación para el levantamiento de datos.....	9

<sup>1</sup> Magister en Ingeniería del Transporte, Diplomado Superior en Autotrónica, Ingeniero Automotriz. Docente en la Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra – Ecuador.

<sup>2</sup> Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Ingeniero Mecánico. Docente en la Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra – Ecuador.

<sup>3</sup> Magister en Ingeniería Automotriz, Ingeniero Mecánico. Docente en la Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra – Ecuador

<sup>4</sup> Master en Ingeniería de Automoción, Ingeniero Automotriz. Docente en la Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra – Ecuador.

<sup>5</sup> Magister en Gerencia Empresarial, Magister en Tránsito y Transporte, Ingeniero Mecánico. Docente en la Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra – Ecuador.

<sup>6</sup> Magister en Diseño Mecánico, Ingeniero Mecánico. Docente en la Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra – Ecuador.

<sup>7</sup> Ingeniero en Mantenimiento Automotriz. Graduado en la Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra – Ecuador.

3.4	Levantamiento de datos .....	10
3.5	Procesamiento de las variables recolectadas.....	12
3.6	Cálculo de las variables cinemáticas .....	13
<b>4.</b>	<b>Análisis de resultados .....</b>	<b>16</b>
4.1	Análisis cinemático de los estados de conducción de los buses interprovinciales .....	16
4.2	Análisis cinemático de la velocidad máxima y promedio de los buses interprovinciales .....	22
4.3	Análisis cinemático de la aceleración y desaceleración máxima de los buses interprovinciales .....	26
4.4	Análisis cinemático de la aceleración y desaceleración promedio de los buses interprovinciales .....	28
4.5	Análisis de Nivel de Consumo de Combustible .....	31
4.6	Análisis de Equilibrio Dinámico de Buses Interprovinciales En Curvas de Alto Riesgo .....	33
<b>Referencias .....</b>		<b>37</b>

## **RESUMEN**

El presente trabajo tuvo por objetivo estudiar las características cinemáticas que se presentan en los buses interprovinciales que circulan por la ruta Ibarra-Tulcán y para ello se plantea una metodología de siete etapas.

En la primera parte se realizó una caracterización de la flota de 31 autobuses de la cooperativa Turismo y 28 autobuses de la cooperativa Velotax. Luego se procedió a elegir los horarios y el dispositivo GPS para el rastreo de las unidades. Después se levantaron los datos de velocidades, distancias, longitud y latitud para posteriormente realizar los cálculos correspondientes. A continuación se obtuvo el porcentaje de los cuatro estados de conducción, velocidades y aceleraciones máximas, promedios y equilibrio dinámico en curvas. Para en la parte final lograr obtener valores de la permanencia en los estados de conducción que son de alrededor del 17,25 % en ralentí, 23,01 % en cruce, 32,43 % en aceleración, 27,29 % en desaceleración, lo que indica que permanecen demasiado tiempo detenidos, encontrando, que para compensar dichos paros, llegan a desarrollar velocidades que superan los 100 km/h, obteniendo una conducción insegura en el recorrido Ibarra-Tulcán, de alrededor de un 61 % y 66 % en el recorrido Tulcán – Ibarra, incluyendo curvas.

Cabe mencionar además, que dentro del presente estudio se logró identificar las causas relacionadas con la contaminación actual en dicha ruta, entre las que tenemos: la baja calidad de combustible existente en el país, la topografía de la ciudad y el congestionamiento vehicular

Por lo tanto, se puede concluir que los recorridos tanto de ida como de vuelta en esta ruta no solo generan un alto grado de contaminación sino que son de alto riesgo de accidentes, y se espera con esta investigación lograr una concientización en autoridades, y conductores.

**Palabras Clave—** Características cinemáticas, ciclos de conducción, curvas, buses interprovinciales, dispositivos GPS, estados de conducción

**Clasificación JEL:** L92,L62, R41, R48

## **ABSTRACT**

The objective of this work was to study the kinematic characteristics that appear in the interprovincial buses that circulate along the Ibarra-Tulcán route, and for this a seven-stage methodology is proposed.

In the first part, a characterization of the fleet of 31 buses of the Tourism cooperative and 28 buses of the Velotax cooperative was carried out. Then we proceeded to choose the schedules and the GPS device to track the units. Then the data of velocities, distances, longitude and latitude were raised to later perform the corresponding calculations. Then the percentage of the four driving states, maximum speeds and accelerations, averages and dynamic balance in curves were obtained. For in the final part to obtain to obtain values of the permanence in the states of conduction that are of around the 17,25% in idle, 23,01% in cruise, 32,43% in acceleration, 27,29% in deceleration, it which indicates that they remain too long detained, finding, that to compensate for such stoppages, they can develop speeds exceeding 100 km / h, obtaining an unsafe driving on the Ibarra-Tulcán route, of around 61% and 66% in the Tulcán - Ibarra travel, including curves.

It is also worth mentioning that within the present study it was possible to identify the causes related to the current pollution in this route, among which we have: the low quality of existing fuel in the country, the topography of the city and the traffic congestion

Therefore, it can be concluded that both the outbound and return journeys on this route not only generate a high degree of contamination but are also a high risk of accidents, and this research is expected to achieve awareness among authorities and drivers. .

**Keywords:** Kinematic characteristics, driving cycles, curves, interprovincial buses, GPS devices, driving states

**JEL classification:** L92,L62, R41, R48

## 1. INTRODUCCIÓN

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 recomendado por la OMS para mantener la salud humana (Sorgato, 2016). 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.

El transporte público es un medio alternativo respecto a los vehículos particulares pese a que son causantes del 45 % de las emanaciones de óxido de nitrógeno y el 74 % de material particulado (Armijos, Cueva, 2017), pero estos pueden ser usados 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, razón por la cual, es indispensable un estudio de la cinemática en las rutas de los autobuses con el fin de obtener los ciclos de conducción.

Un ciclo de conducción son las variaciones de velocidades en función del tiempo que experimenta el autobús, lo cual, muestra la forma típica de conducir dentro o fuera de una ciudad dependiendo del comportamiento del automóvil bajo ciertas condiciones geográficas y condiciones ambientales de la ciudad (Cárcamo, García, Medina, 2014).

El uso de los ciclos de conducción con ayuda de un sistema de posicionamiento global (GPS) según estudios realizados muestra por ejemplo como las aceleraciones afecta al consumo de combustible. El uso de ciclo de conducción da como resultado de 8 a 12 % más precisión en la estimación del consumo de combustible en comparación con casos donde no se considera el efecto de la aceleración (Ramadurai, Kancharla, 2018).

Los buses interprovinciales también son una gran causa de contaminación ambiental que se evidencia en la mayoría de las ciudades del Ecuador, debido, a que recorren grandes distancias y los conductores manejan de manera inadecuada con un consumo excesivo de combustible emitiendo altos niveles de gases contaminantes en su recorrido. Actualmente no existen ciclos de conducción que muestren la manera típica de conducir los buses interprovinciales en la ruta Ibarra-Tulcán y para la homologación de vehículos a diésel utilizan ciclos europeos y americanos, que no están en conformidad con la topografía del país.

El estudio actual, se basa en el análisis de las características cinemáticas de los buses interprovinciales en la ruta Ecuatoriana Ibarra-Tulcán, la cual ayudará a determinar un ciclo de conducción y establecer el consumo de combustible y sus emisiones contaminantes. Se espera además con esta investigación lograr un control en el modo de conducción, aportando con el Plan Nacional del Buen Vivir en el ámbito de gestión ambiental de la calidad del aire de las ciudades del Ecuador.

## **2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1 Transporte**

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

- Público
- Comercial
- Propio

Con respecto al transporte interprovincial, es un servicio público, el cual cumple el trabajo de trasladar a personas y mercancía de una provincia a otra dentro del territorio nacional. 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 público interprovincial las cuales se encuentran asignadas en 22 de las 24 provincias del Ecuador (Collaguazo, Santamaría, 2014).

### **2.2 Patrones de Conducción**

Los patrones son variables características dentro de un ciclo de conducción que permiten observar la forma de conducción bajo condiciones generales en zonas o rutas específicas de investigación. 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 de combustible (Braun, Rid, 2017).

Los patrones de conducción se ven afectados por situaciones o características externas haciendo variar las emisiones contaminantes de los vehículos. Entre algunos patrones existentes tenemos:

- Tipo de vía
- Tipo de vehículo
- Horario
- Modo de conducción

### **2.3 Ciclos de Conducción**

Un ciclo de conducción es una gráfica estadística entre la velocidad y tiempo en el cual se representan los patrones de conducción en un área o ruta determinada. 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).

Los ciclos de conducción han sido un tema de investigación en muchos países, y normalmente son aplicados para determinar el consumo de combustible de vehículos que circulan por una zona determinada, así, en Chennai en la India que se ha venido realizando estudios mediante el uso de "los ciclos de conducción" para obtener las aceleraciones y desaceleraciones vehiculares y, juntamente con datos de carga y velocidad, estimar el consumo de combustible, obteniendo como resultado un ahorro de 8 a 12 % de combustible (Ramadurai, Kancharla, 2018).

Los ciclos de conducción se encuentran en función de 4 patrones de conducción:

- Frenar y avanzar: La velocidad media del vehículo es baja ( $< 20$  km/h), donde existen fases de arrancar, detenerse, acelerar y desacelerar. Generalmente esto sucede cuando se encuentra el automóvil en un congestionamiento vehicular, en el cual, es necesario 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, X, Dunant , 2016)

Además, los ciclos de conducción pueden ser usados para evaluar el funcionamiento de vehículos eléctricos, como se demuestra en estudios hechos en Beijing en la comparación de un nuevo ciclo de conducción para vehículos eléctricos de batería 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 (Huiming, Yuang, Quigkai, Jie, Fengchun, 2018).

Con respecto a cómo se comportan los ciclos de conducción dentro de un tramo, estos pueden ser de dos tipos: Estacionarios y Transitorios.

## **2.4 Ciclos de Conducción Estándar**

El nuevo ciclo de conducción europeo "NEDC" (New European Driving Cycle), está compuesto por dos etapas, la primera se asemeja a la conducción urbana que similar en 4 secciones sucesivas en un tiempo de 3 [min] y 15 [s], se realiza la prueba con una velocidad máxima de 50 [km/h] a una distancia aproximada de 4 [km]; mientras que en la segunda se muestra una conducción extraurbana con velocidad constante (50 [km/h], 70 [km/h], 100 [km/h], 120 [km/h]) aceleraciones, desaceleraciones y ralenti, 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).

El ciclo de conducción "FTP" fue creado en los Estados Unidos, por la agencia de protección ambiental US (EPA). Este ciclo consta con una duración de un tiempo de 3 [min] y 17

[s] 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 comprendido entre 0 a 505 [s], la segunda es la fase transitoria que continua desde los 506 segundos a los 1 372 segundos y finalmente se mantiene el motor en ralentí durante 10 [min] antes de comenzar la fase de arranque en caliente por un tiempo 506 [s] (Dieselnet, 2014).

El ciclo HWFET también fue creada por Estados Unidos, es usado para simular ciclos de conducción en carreteras para simular condiciones de circulación continua (en ralentí de 1 %) y se emplean para la certificación vehicular (Mehdi, Jerrelind, Stensson, 2017).

El ciclo de conducción JC08 desarrollada en Japón representa el comportamiento de los vehículos en congestionamiento, con periodos de ralentí, aceleraciones y desaceleraciones de manera alterna. La prueba se realiza en un tiempo de 20 [min] y 4 [s] con un recorrido de 8 171 [km] y una velocidad máxima de 81,6 [km/h] (Dieselnet, 2014).

## **2.5 Equipos de Rastreo Satelital**

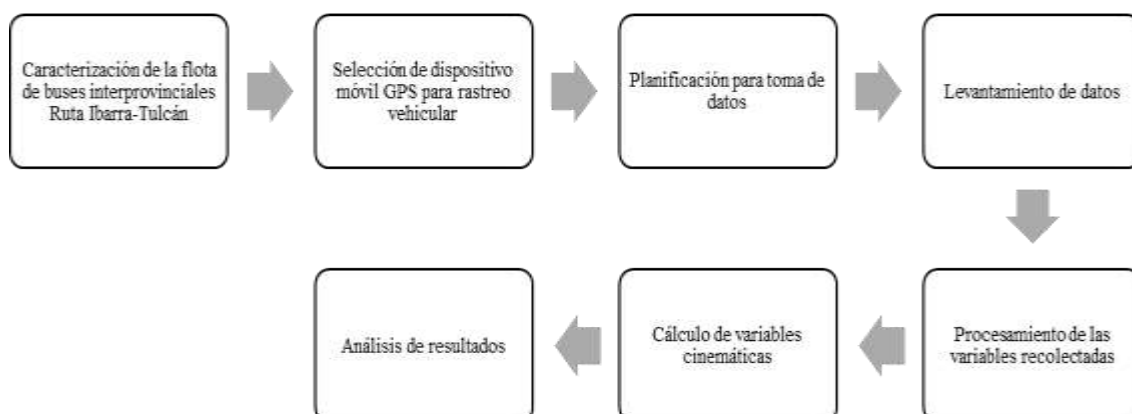
El sistema "GPS" calcula las coordenadas (x, y, z) de un punto cualquiera en el espacio mediante satélites, que permite obtener datos precisos enviados por satélites geoestacionarios intercomunicados entre sí, ubicados en la estratosfera alrededor de todo el mundo.

En la actualidad se puede acceder a este servicio mediante algunos celulares que tienen la posibilidad de vincularse con los satélites "GPS", también poseen conexión con GLONASS que es el sistema de navegación creado por la Unión Soviética con el mismo fin. Existen equipos móviles diseñados específicamente para la conexión con estos satélites que permiten en un periodo de tiempo, recolectar datos de altitud, velocidades, aceleraciones, trayectorias, etc.

Estos dispositivos móviles son de mucha utilidad para registrar las coordenadas de la ubicación y los datos de velocidad y aceleración de los automóviles en cada instante de tiempo. Estos datos de velocidad y aceleración almacenados por el dispositivo pueden ser usados para estimar las emisiones de combustibles de manera directa o desarrollar un ciclo de conducción (Mahesh, Ramadurai, 2017).

## **3. METODOLOGÍA**

La metodología propuesta en el presente trabajo se compone de siete etapas según se muestra en la Fig.1.



**Fig. 1 Metodología para obtener las características cinemáticas de la ruta Ibarra-Tulcán**

### 3.1 Caracterización de buses interprovinciales Ibarra-Tulcán

Inicialmente se realiza la caracterización de los buses interprovinciales con ruta Ibarra-Tulcán, para esto se selecciona una cooperativa que posea una flota de buses que ingrese tanto, al terminal Terrestre de Ibarra como al terminal terrestre de Tulcán. La Cooperativa Expreso Turismo es la única que ingresa a las dos terminales con horarios frecuentes, y dispone de las unidades suficientes que permitan obtener resultados fiables. También se selecciona la Cooperativa Velotax, de un grupo de flotas de unidades que no ingresan al terminal de Ibarra desplazándose directamente hasta la ciudad de Quito como destino final. Para su caracterización se tomó en consideración datos de los vehículos, tales como: marca, modelo, año de fabricación, tipo de motor y carrocería como se muestra a continuación en la Tabla I.

**TABLA I. CARACTERÍSTICAS DE BUSES DE LA COOPERATIVA EXPRESO TURISMO**

OPERADORA	TURISMO	VELOTAX
Unidades	31	28
Marca	HINO	HINO
Modelo	AK8JRSA	AK8JRSA
Año de fabricación	2013 - 2018	2013 - 2018
Tipo de motor	Diésel	Diésel
Carrocería	IMCE, MONCAYO, CEPEDA	IMCE, MONCAYO, CEPEDA

Una vez seleccionadas las flotas correspondientes a las Cooperativas de Transporte Turismo y Velotax se toma en consideración sus frecuencias como se muestra en la Tabla II. Se obtuvo los horarios de salida desde el terminal de Ibarra y se estimó la llegada al terminal de Tulcán. De manera similar se obtuvo los horarios de salida desde el terminal de Tulcán y se estimó la hora de llegada al terminal de Ibarra como se muestra en la Tabla II.



**TABLA II. HORARIOS DE SALIDA Y LLEGADA A LOS TERMINALES DE IBARRA Y TULCÁN**

Ibarra a Tulcán		Tulcán a Ibarra	
Salida	Salida	Llegada	Llegada
7:15 h	6:00 h	8:35 h	9:50 h
8:15 h	7:50 h	10:25 h	10:50 h
10:15 h	9:50 h	12:25 h	12:50 h
11:15 h	10:50 h	13:25 h	13:50 h
12:15 h	12:30 h	15:00 h	14:50 h
13:15 h	14:30 h	17:00 h	15:50 h
14:30 h	16:00 h	18:30 h	17:05 h
15:15 h	17:00 h	19:30 h	17:50 h
17:15 h	17:50 h	20:20 h	19:50 h

Es importante señalar que estos horarios de salida y llegada a los terminales de Ibarra y Tulcán corresponden a los días de la semana de lunes a viernes como para fines de semana sin cambios en sus horarios, en los días feriados los horarios también se mantienen estables para que las personas puedan hacer uso del servicio sin interrupciones.

### **3.2 Selección de dispositivo móvil GPS**

Para el levantamiento de datos de la cinemática de los buses interprovinciales Ibarra-Tulcán se seleccionó el GPS GL-770, el cual está equipado con dos softwares: TSI Long View que presenta los datos recolectados en una tabla con el seguimiento en Google Maps, y es compatible con dos satélites: GPS y GLONASS. Este dispositivo presenta las siguientes características:

- Memoria de 64 Mbit
- Puede grabar hasta 250 00 puntos de referencia
- Tiene un registro de 5 Hz
- Duración de 35 horas y en suspensión de 700 horas
- Posee protección contra salpicaduras e impermeable
- A prueba de golpes de una caída libre de 1,5 metros

### **3.3 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.

Para ello se realizó una encuesta dirigida a los 31 conductores de la cooperativa turismo que se toma como el universo en este caso de investigación. Estos conductores manejan diariamente por esta ruta y conocen el comportamiento del tráfico vehicular en las horas y días descritos anteriormente. De acuerdo con las respuestas obtenidas en las encuestas, se realizó, la planificación para el levantamiento de los datos como se muestran en la Tabla III

**TABLA III. CUADRO DE PLANIFICACIÓN PARA EL LEVANTAMIENTO DE DATOS**

Hora	Franja Horaria	Ruta
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

*Nota:* Estos horarios son analizados desde el 06/08/2018 al 19/08/2018.

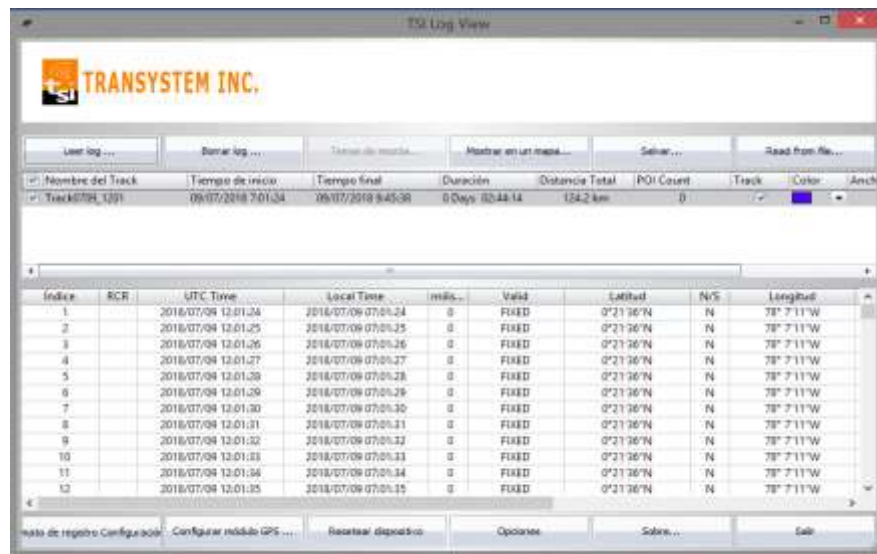
Cabe indicar que el levantamiento de datos se realizó en los horarios mostrados para todos los días de la semana durante dos semanas consecutivas, para la cooperativa Expreso Turismo. Y para las unidades de la cooperativa Velotax se realizó el levantamiento los días domingo y lunes.

### **3.4 Levantamiento de datos**

Durante el proceso se utilizaron 9 GPS “Recorder GL-770” para el rastreo de las unidades de acuerdo con los horarios establecidos. Esta recolección de datos en el recorrido Ibarra-Tulcán, así como en el recorrido Tulcán-Ibarra se lo realizó en base a las siguientes actividades:

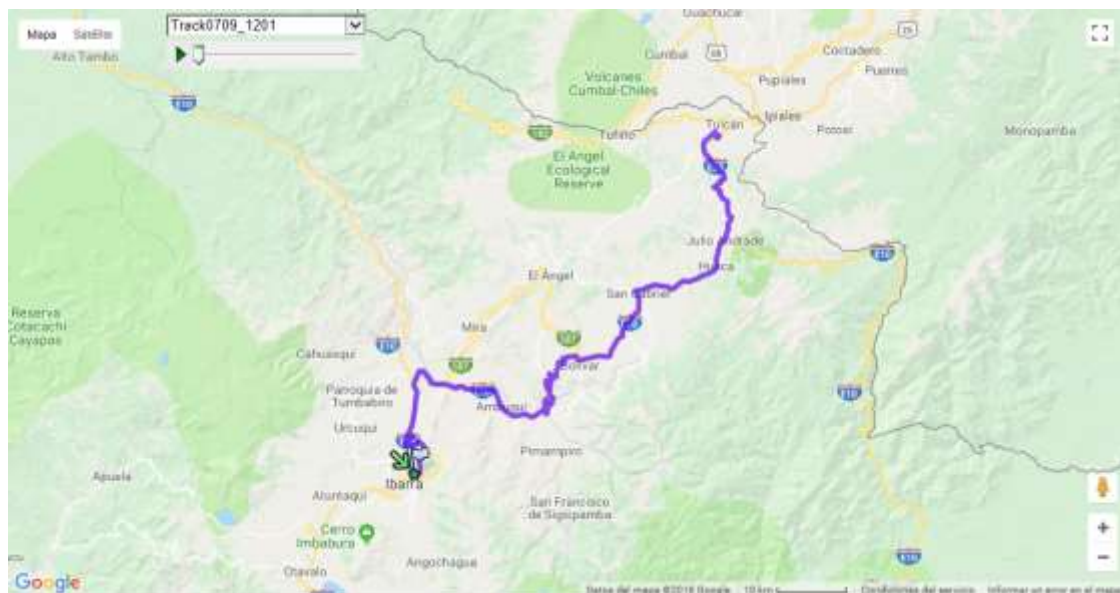
Preparación de los equipos de medición: el dispositivo GPS se pone a prueba 3 horas antes del tiempo de partida de la unidad para que se conecte con el satélite y se pueda recolectar los datos desde el primer momento en que la unidad se movilice, se instala el dispositivo en la unidad específica según el horario establecido para hacer el registro de las diferentes variables de posición, velocidad, aceleración y desaceleración durante su trayecto. Este proceso se realizó en todos los horarios seleccionados y para todos los días de la semana, consiguiendo de esta manera 12 levantamientos diarios con una recolección de 9 000 datos por viaje aproximadamente.

Almacenamiento de datos: una vez que los datos fueron recolectados se guardaron en un ordenador para realizar los posteriores cálculos cinemáticos, para su lectura se utilizó el programa de computadora “tsi Long View



**Fig. 2. Datos del dispositivo GPS mostrados en LogView**

Este programa “tsi Long View” permite mostrar el recorrido visual del bus mediante Google Map, para esto se necesita tener acceso a internet desde el computador para que muestre el recorrido, la posición y el tiempo en un instante determinado. En la Figura 3 se muestra cómo se visualiza el recorrido en Google Map mediante el uso de esta herramienta.



**Fig. 3. Mapa de Google mostrado a través de Log View**

Los archivos guardados desde el programa LogView están en 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”, y dentro de esa carpeta se encuentran subcarpetas que contienen los datos de cada día.

### 3.5 Procesamiento de las variables recolectadas

El procesamiento de datos se realizó mediante el software “RStudio. R”, programa estadístico que se ejecuta mediante lenguaje de programación, y permite analizar y graficar grandes cantidades de datos de manera automática los tipos de archivos que se sube a la plataforma, y son compatibles con archivos “.csv”, que son necesarios para almacenar los datos del GPS y luego ser insertados en una tabla de manera sencilla. A continuación, se describe los pasos a seguir:

- Se elimina registros de datos innecesarios antes de que la unidad parta del terminal y después de que la unidad llegue al terminal de destino.
- Se selecciona las columnas que contenían las variables necesarias para la investigación.
- Se renombra las columnas de acuerdo con las variables.

Posteriormente se calcula las variables cuantitativas que son los estados de conducción de ralentí, crucero, aceleración y desaceleración, utilizados para el análisis e importantes para la investigación.

Para obtener los valores en porcentaje de cada marcha del vehículo es necesario especificar condiciones que marque el valor de 1 si se encuentra en ese estado o cero “0” 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).

Mediante estas condiciones en los diferentes estados de marcha del vehículo se logró realizar el código de programación en “RStudio”, que posteriormente se debe aplicar a cada dato registrado por parte del dispositivo “GPS”, para que cada código funcione de acuerdo con las condiciones señaladas anteriormente.

Una vez establecidos los estados de conducción se procedió al cálculo de las diferentes variables cualitativas y cuantitativas. Se crea una variable denominada “zona”, mediante cuadrantes delimitados por los puntos de latitud y longitud para diferentes zonas de la ruta. Se seleccionó cada zona de acuerdo con el desnivel que tiene la ruta en todo su trayecto como se muestra a continuación en la Figura 4



**Fig. 4. Zonificación de la ruta Ibarra-Tulcán**

Posteriormente, se calculó e identificó las variables cualitativas como: edad del conductor, días de la semana, etc. y finalmente las variables cuantitativas como posición, aceleración y desaceleración.

### **3.6 Cálculo de las variables cinemáticas**

Para realizar los cálculos de porcentajes de permanencia de cada estado de marcha se utilizó un código de programación en R, dando como resultado la sumatoria de las variables en estado de marcha dividido para el tiempo total de operación que constituye la suma de los valores de ralentí, cruce, aceleración y desaceleración.

Para realizar el cálculo de las velocidades máximas y promedios se utiliza un código de programación que permite encontrar el valor máximo en la columna de datos de las velocidades para el cálculo de velocidad máxima y otro código de programación para que obtenga un valor promedio de la columna de la velocidad.

Posteriormente, para el cálculo de las aceleraciones y desaceleraciones máximas y promedio se utilizó un código de programación que encuentre el valor mínimo y máximo en la columna de datos de las aceleraciones, y otro código de programación para obtener el promedio de las columnas de aceleración y desaceleración.

Para el cálculo del equilibrio dinámico se selecciona las curvas que representan un riesgo de circulación por ellas. Para lo cual, se identifica 56 curvas de la ruta Ibarra-Tulcán, donde los buses interprovinciales transitan a altas velocidades. Si se toma en consideración la velocidad y el radio de curvatura se pudo seleccionar 35 curvas de mayor riesgo en este trayecto.

La selección de estas curvas fue en base a la conducción segura e insegura que se logró obtener con el cálculo de la fuerza centrífuga y la fuerza de resistencia que se presenta posteriormente. El cálculo del radio de la curva se obtuvo con ayuda de "Google Earth", midiendo

la cuerda y la flecha de la curva, para en lo posterior calcular su radio con ayuda de la ecuación 1.

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

Donde:

B: Es la flecha

A: Es la mitad de la longitud de la Cuerda

A continuación, para cada curva se determina la velocidad promedio con la que circulan los buses interprovinciales mediante un código de programación en R.

Para calcular las condiciones de conducción en curvas se tomó en cuenta dos consideraciones. La primera consideración, se asume que el coeficiente de fricción tiene un valor constante para todas las curvas. La segunda restricción es que se considera la 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 utilizada para obtener la fuerza centrífuga mediante la Ec. 2 (Misro, Ramli, Ali, 2018):

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

Donde:

V: velocidad del vehículo [km/h],

m: masa del vehículo [kg], y

r: radio de la curva [m]

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 calcula mediante la Ec. 3:

$$FR = W \cdot \mu \quad [3]$$

Donde:

$\mu$ : coeficiente de fricción lateral, y

W: peso del vehículo.

Expresándose FR de otra manera, se descompone W y se tiene la Ec. 4:

$$FR = m \cdot g \cdot \mu \quad [4]$$

Donde:

m: es la masa del vehículo, y

g: es la gravedad

De acuerdo con investigaciones anteriores (Eboli, Mazzulla, Pungillo, 2016) hay 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 Ec. 2 y la Ec. 4, se logra obtener la siguiente ecuación 5 de igualdad eliminándose las masas:

$$\frac{v^2}{r} = g \cdot \mu \quad [5]$$

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 6 sería:

$$\frac{v^2}{r} = g \cdot (\mu + e) \quad [6]$$

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 anterior investigación (Eboli, Mazzulla, Pungillo, 2016) el valor del coeficiente de fricción máximo longitudinal para carreteras con pavimento seco se expresa en la ecuación 7:

$$\mu_{max} = 0,214 \cdot \left(\frac{v}{100}\right)^2 - 0,640 \cdot \left(\frac{v}{100}\right) + 0,615 \quad [7]$$

Al reemplazar la Ecuación 7 en la Ecuación 6 se obtiene la Ecuación 9:

:

$$\frac{v^2}{r} = g \cdot \left[ 0,214 \cdot \left(\frac{v}{100}\right)^2 - 0,640 \cdot \left(\frac{v}{100}\right) + 0,615 + e \right] \quad [8]$$

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.



## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

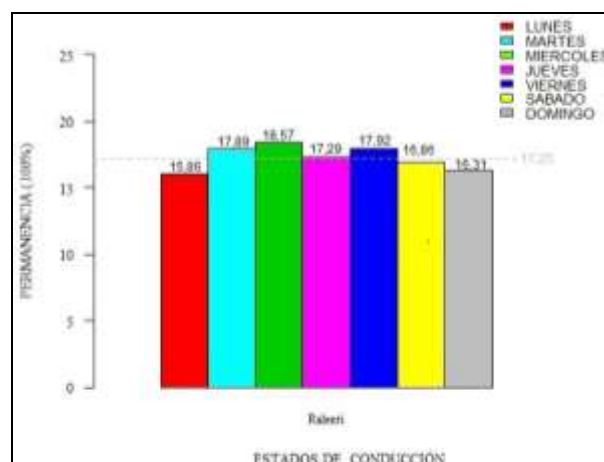
El análisis de la cinemática del vehículo comprende los porcentajes de permanencia de estados de marchar en base a diferentes variables, como también el análisis de las velocidades máximas y promedios de los buses interprovinciales Ibarra-Tulcán, las aceleraciones y desaceleraciones máximas y promedios,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

### 4.1 Análisis cinemático de los estados de conducción de los buses interprovinciales

Este análisis depende de los porcentajes de permanencia de los estados de ralentí, crucero, aceleración y desaceleración en diferentes grupos de flotas para observar la variación que se experimenta en cada unidad de conducción.

- **Por Días de Conducción**

En la Figura 5 se presenta el porcentaje del estado de permanencia por día en ralentí, obteniéndose como resultado un valor medio de 17,25 %, para los días Martes es de 17,89 %, para los días Miércoles 18,57 %, para los días Jueves 17,29 % y para los días Viernes 17,92 %; por lo tanto, se puede concluir que en estos días los buses interprovinciales permanecen más tiempo parados durante su recorrido respecto a los días Lunes, Sábado y Domingo que presentan índices de porcentaje en ralentí por debajo del valor promedio de 15,86 %, 16,86 % y 16,31 % respectivamente. Esto se debe a que en los fines de semana y los lunes existe una gran demanda del servicio por parte de los pasajeros que viajan directo de Ibarra-Quito o Tulcán-Quito, lo cual, implica no hacer paradas en el trayecto.

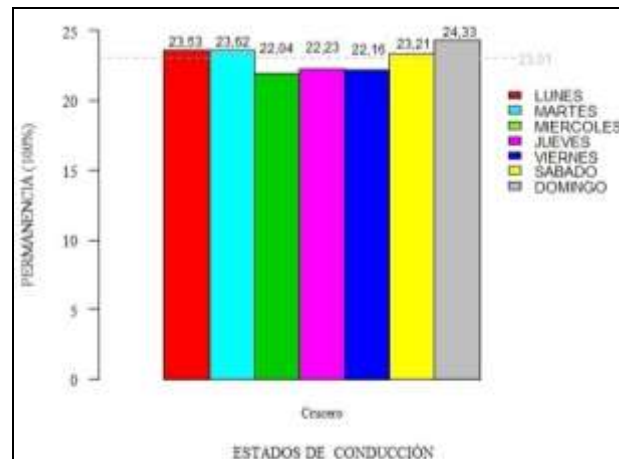


**Fig.5. Permanencia en ralentí por días**

El valor medio del porcentaje de permanencia en crucero es de 23,01 % como se muestra en la Figura 6, por lo tanto, los días en los cuales se tiene mayor permanencia en el estado de conducción en crucero son: lunes con un 23,53 %, martes 23,62 %, sábado 23,21 % y domingo con 24,33 %, lo cual implica que las unidades de transporte permanecen más tiempo a velocidad

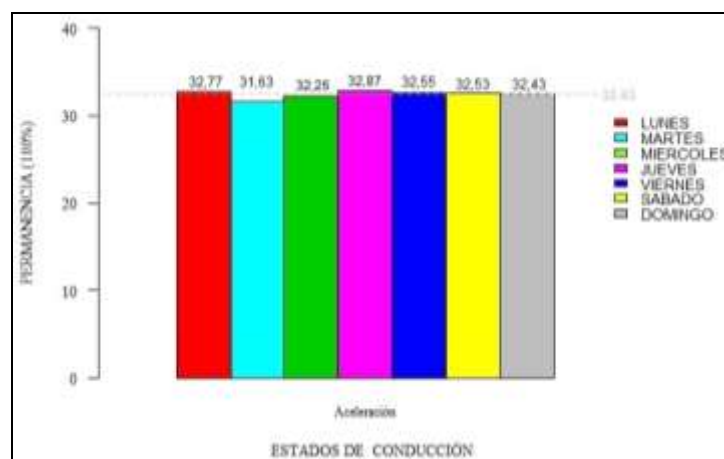


constante. Los días con menor porcentaje en crucero son, miércoles 22,04 %, jueves 22,23 % y viernes 22,16 %. El día que tiene menor porcentaje de permanencia en crucero es el miércoles. Por lo tanto, en los días lunes, martes, sábado y domingo los conductores manejan las unidades a velocidad constante, mientras que en los días miércoles, jueves y viernes las unidades se desplazan a velocidad no constante en relación al valor promedio, siendo el día domingo con mayor permanencia en dicho estado.



**Fig. 6. Permanencia en crucero por días**

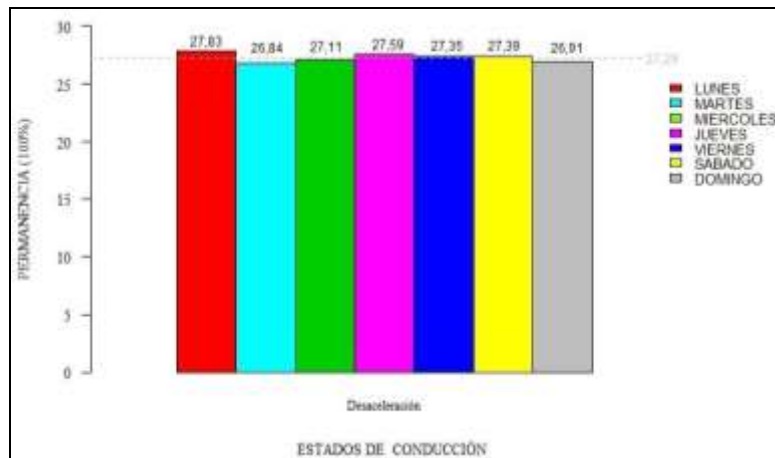
En la Figura 7 se puede observar que el valor promedio de permanencia en el estado de conducción en aceleración es de 32,43 %; los días: lunes (32,77 %), jueves (32,87 %), viernes (32,55 %) y sábado (32,53 %), el cual, presenta el mayor porcentaje de aceleración, mientras que los días: martes (31,63 %) y miércoles (32,26 %) evidencian una aceleración por debajo del valor promedio.



**Fig. 7. Permanencia en aceleración por días**

En la Figura 8 se observa que el valor promedio de desaceleración es 27,29 % y los días con mayor desaceleración son, lunes (27,83 %), jueves (27,59 %), viernes (27,35 %) y sábado (27,39 %), mientras, los días con menor desaceleración con respecto a la desaceleración promedio son martes (26,84 %), miércoles (27,11 %) y domingo (26,91 %); estos valores no están muy alejados del valor promedio, lo cual indican un comportamiento común de desaceleración

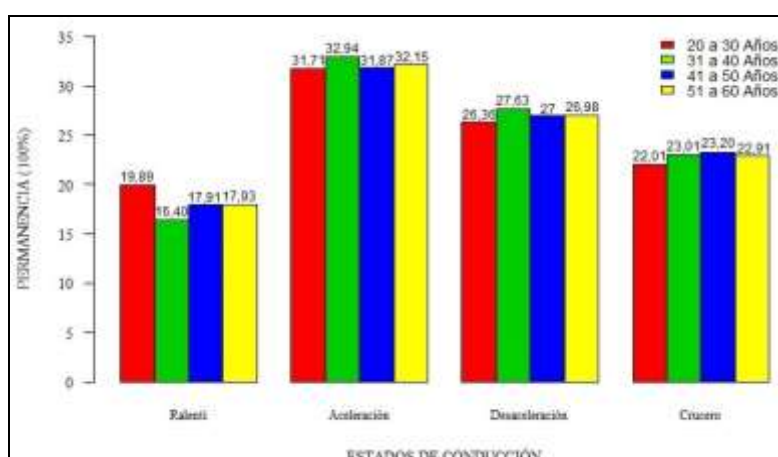
para todos los días de la semana.



**Fig. 8. Permanencia en desaceleración por días**

- **Por Edad Del Conductor**

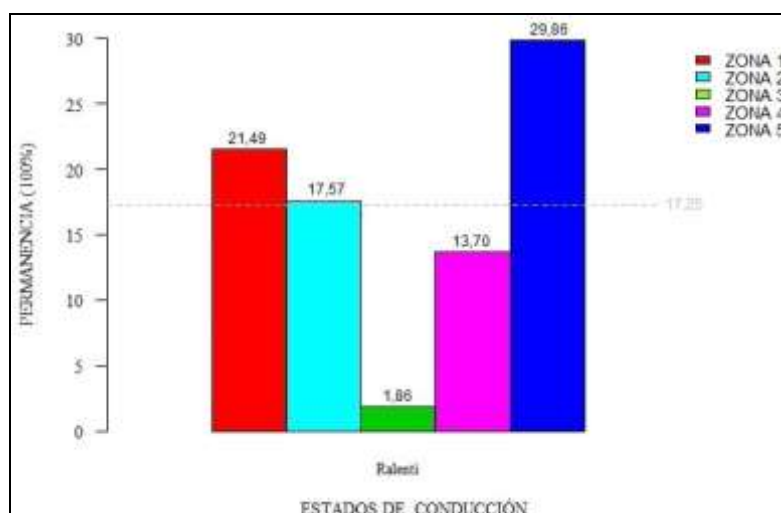
La Figura 9, muestra que independientemente de la edad de los conductores, el porcentaje de permanencia en el estado de conducción en aceleración es mayor en comparación con los demás estados de conducción como: ralentí, desaceleración y crucero. Mientras que el porcentaje de permanencia en el estado de conducción en ralentí para conductores que oscilan entre 20 a 30 años es del 19,89 % y es el mayor respecto a conductores mayores de 30 años; también se puede notar que el porcentaje de ralentí de los conductores con edad entre 31 a 40 años (16,40 %) es más bajo. En el estado de aceleración los porcentajes de conducción oscilan entre 31,71 % (edades entre 20 a 30 años), y 32,94 % (edades entre 31 a 40 años), observándose un pequeño intervalo de variación del 2% dependiendo de la edad de los conductores. En el estado de conducción en 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 tienen 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.



**Fig. 9. Permanencia de estados de conducción por edad del conductor**

### • Por Zonas de Conducción

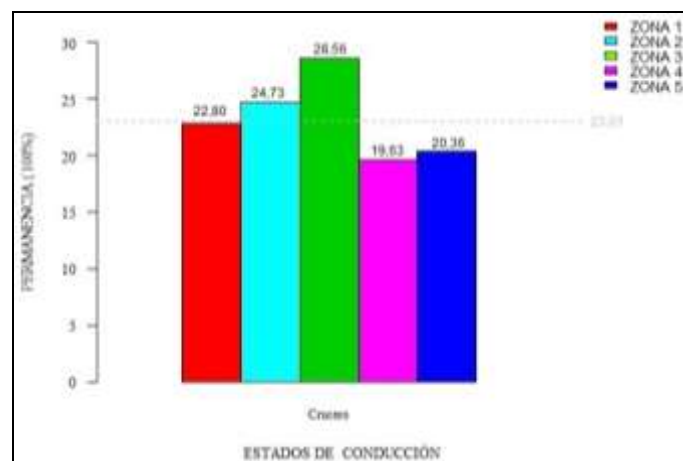
En la Figura 10 se muestra el porcentaje de permanencia en el estado de conducción en ralentí, el cual, varía mucho dependiendo de la zona, así, en las zonas 1 y 5 se encuentran por encima del promedio (17.25%) con valores de 21.49% y 29.86% respectivamente, mientras que las zonas 3 y 4 se encuentran con un porcentaje de conducción en ralentí muy bajo con valores de 1.86% y 13.70% respectivamente, la zona 2 se aproxima al valor promedio. La zona 5 presenta el porcentaje de ralentí más alto (29,86 %), esto se debe a la existencia de un control aduanero y, por lo tanto, los buses pasan mucho tiempo parados, lo cual hace que exista un aumento de su velocidad en lo que resta de la ruta para cumplir con el horario establecido. El porcentaje de permanencia en ralentí en la zona 3 es bajo (1,86 %), lo que permite concluir que los buses interprovinciales no se detienen en esa zona de manera frecuente. El motivo es que en esta zona se encuentra en una pendiente de 1 696 msnm a una altura de 2 808 msnm por lo que necesariamente deben estar en constante movimiento.



**Fig. 10. Permanencia en ralentí por zonas**

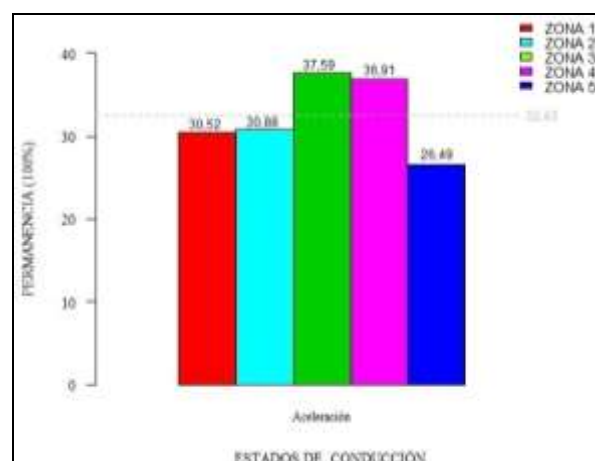
En la Figura 11 se observa que la zona 2 y 3 están por encima del promedio general

(23,01 %), las zonas 4 y 5 se encuentra por debajo del promedio y la zona 1 tiene un valor de permanencia (22,80 %) encontrándose más cerca del valor promedio. En la zona 3 se presenta el valor más alto en cruce (28,56 %); Esto debido a que la zona tiene una inclinación y debe 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 quiere decir que existen factores en la carretera como (curvas, subidas, bajadas, paradas, etc.), que generan una variación en la velocidad de conducción.



**Fig. 11. Permanencia de cruce por zonas**

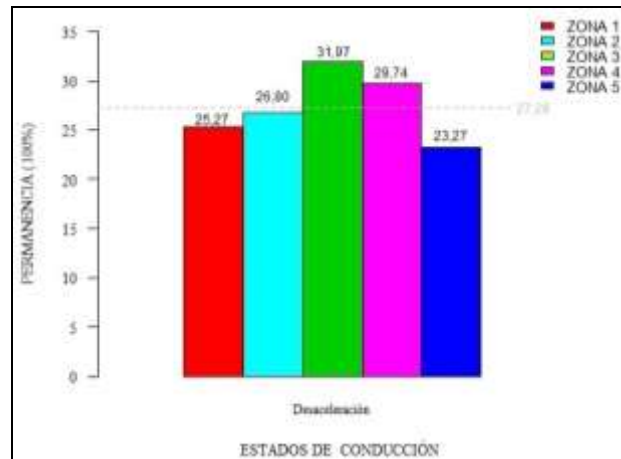
Las zonas 3 y 4 se encuentran por encima del índice promedio de permanencia de aceleración, las zonas 1,2 y 5 tienen un valor menor que el valor promedio de aceleración como se muestra en la Figura 12. La zona 3 tiene un valor de (37,59 %) y la zona 4 un valor de (36,91 %) en permanencia de aceleración, mientras que la zona 5 (26,49 %) tienen el valor de permanencia más bajo.



**Fig. 12. Permanencia de aceleración por zonas**

En la Figura 13 se puede apreciar que la zona 3 y zona 4 alcanzó un mayor índice de

permanencia (31,97 %) y (29,74 %) respectivamente, mientras que en la zona 1, zona 2 y zona 5 el valor de permanencia es menor con valores de (25,27 %), (26,80 %) y (23,27 %), respectivamente a partir del índice de permanencia promedio.

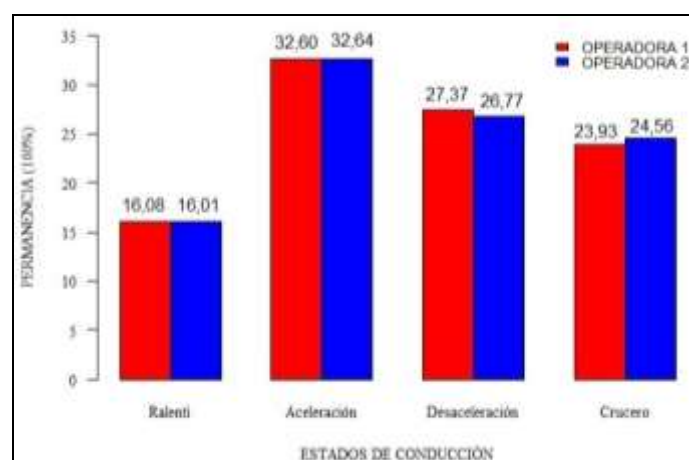


**Fig. 13. Permanencia de desaceleración por zonas**

- **Por Operadora**

La Figura 14 muestra que en las dos operadoras el porcentaje en el estado de conducción en aceleración es el mayor en relación con los demás estados de conducción, y que ralenti tiene el porcentaje más bajo. Por otra parte, el porcentaje de permanencia en el estado de desaceleración de las unidades de la operadora 1 (27,37 %) es mayor al porcentaje de estado de permanencia en este estado de conducción de las unidades de la operadora 2 (26,77 %), existiendo una diferencia del 0,6 % aproximadamente. Además, en estado de cruce el porcentaje de la operadora 2 (24,56 %) excede a la operadora 1 (23,93 %) en un 0,63 %.

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



**Fig. 14. Estados de conducción por operadora**

## 4.2 Análisis cinemático de la velocidad máxima y promedio de los buses interprovinciales

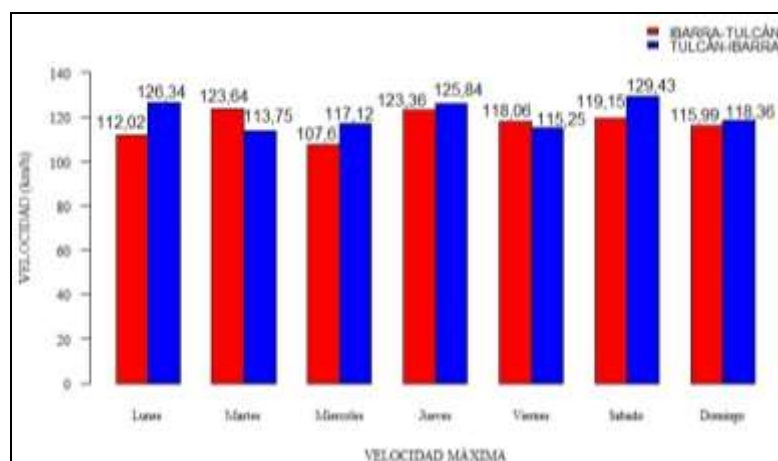
Una vez establecidos los estados de conducción se procede con el análisis de la velocidad máxima y promedio de los buses interprovinciales Ibarra-Tulcán y viceversa, tomando en consideración los siguientes aspectos:

- **Por Días**

En la Figura 15 se observa que los días, lunes, miércoles, jueves, sábado y domingo alcanzan velocidades máximas muy altas comprendidas entre 117.12 y 129.43 [Km/h] en el recorrido Tulcán-Ibarra, y para los días martes y viernes las velocidades son más altas en el recorrido Ibarra-Tulcán, con velocidades comprendidas entre 118.06 y 123.64 [Km/h], sin embargo, estas velocidades máximas de los buses interprovinciales para todos los días en los dos recorridos sobrepasan los 100 [km/h], lo cual implica un manejo inseguro en todos los días de la semana.

El día sábado la velocidad es máxima en comparación que el resto de los días (129,43 km/h), la cual excede en un 7 % respecto a los demás días, en el recorrido Tulcán-Ibarra, mientras que el día martes la velocidad máxima (123,64 km/h) estuvo en el recorrido Ibarra a Tulcán, lo que nos proporciona un índice de diferencia con el resto de los días de un 5,5 %.

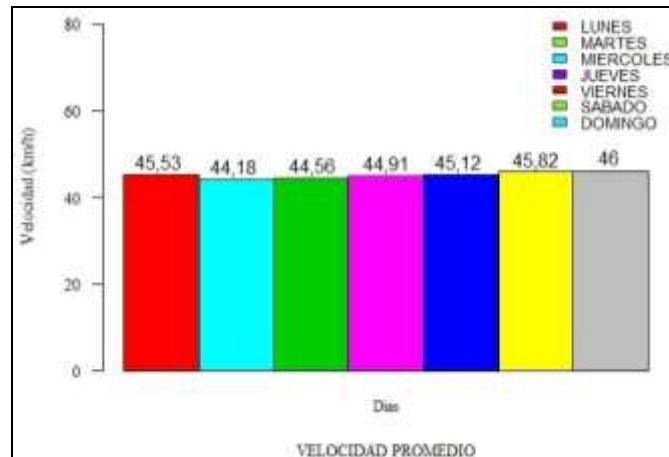
El día miércoles, se presenta un valor de velocidad máxima (107,6 km/h), que es el valor más bajo en comparación con los demás días en un 3,1 % respecto al día jueves en el tramo Ibarra - Tulcán, y el día viernes (115,25 km/h) en el trayecto Tulcán – Ibarra existe una disminución de la velocidad máxima de conducción con respecto al día sábado en un 4,6 %, por lo tanto, se tiene una conducción un poco más controlada, sin embargo, se encuentra por encima de los 100 [km/h], que sigue siendo una conducción insegura.



**Fig. 15. Velocidad máxima por días**

Con respecto a la velocidad promedio en la Figura 16, se muestra un valor de 45,15 [km/h], y se determinó que los buses interprovinciales se comportaron de manera similar todos los días

con una diferencia máxima de 2,15 %, lo que significa una velocidad de 1[km/h] con una diferencia mínima de 0,07 %. Al estar circulando diariamente por la misma carretera los conductores adquieren experiencia y al conocer la carretera, realizan las mismas maniobras diariamente obteniendo una velocidad promedio similar.

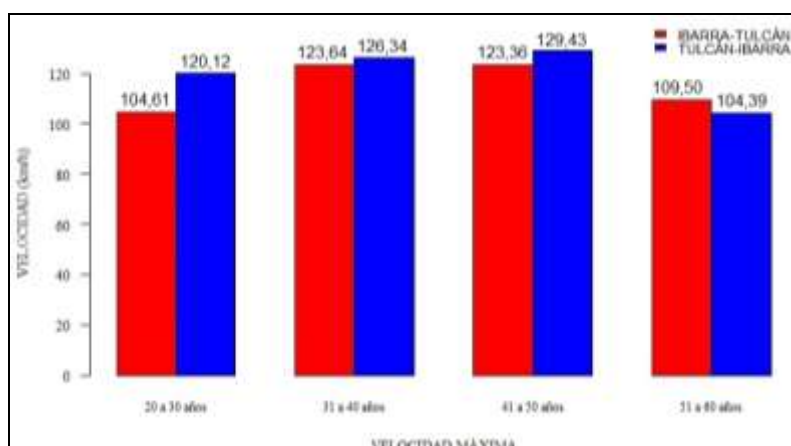


**Fig. 16. Velocidad promedio por días**

- Por Edad Del Conductor**

En la Figura 17 se muestra que los conductores que comprenden edades de 51 a 60 años, generan velocidades altas en el viaje Tulcán-Ibarra de 104,39 km/h (6,46 %), en comparación con el recorrido Ibarra -Tulcán que es de alrededor de los 109,50 km/h (4,66 %), también, se puede ver que alcanzan una velocidad más baja en comparación con los demás conductores lo que indica que manejan con mayor precaución.

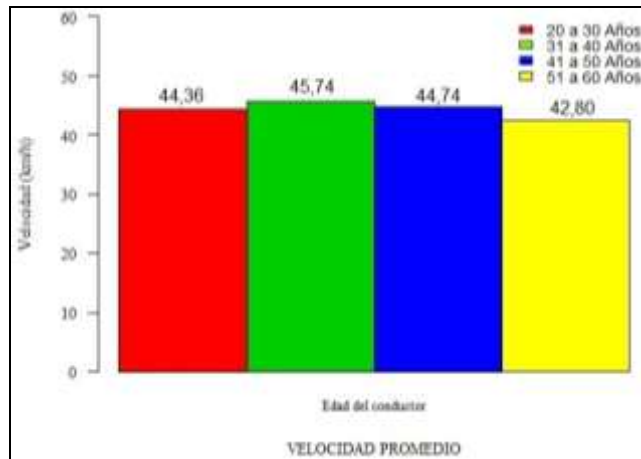
De igual manera podemos indicar que los conductores que comprenden edades entre 41 a 50 años son los que obtuvieron una velocidad máxima de 129,43 km/h (7,79 % ), en el recorrido Tulcán-Ibarra, y los conductores de 31 a 40 años alcanzaron una velocidad de 123,64 km/h (7,26 % ), en el recorrido Ibarra-Tulcán.



**Fig. 17. Velocidad máxima por edad del conductor**

La velocidad promedio general se encuentra en 45,15 km/h como se observa en la Figura 18. Lo que significa que los conductores que comprenden edades 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 consiguen una velocidad promedio de 42,80 km/h con un porcentaje menor de 5,20 % en comparación a la velocidad promedio general.

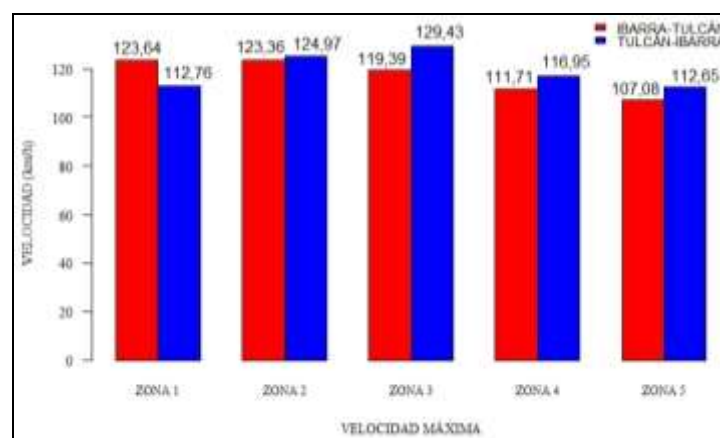


**Fig. 18. Velocidad promedio por edad del conductor**

- **Por Zona**

En la Figura 19 que en las zonas 2, 3, 4 y 5, la mayor velocidad es de 129.43 [km/h] (8,70 %) en el recorrido Tulcán-Ibarra, esto se debe a que en estas zonas se encuentran varias pendientes y pocos poblados, mientras que en la zona 1 se obtuvo un promedio de 112,76 [Km/h] (8,79 %) por tener solo una pendiente.

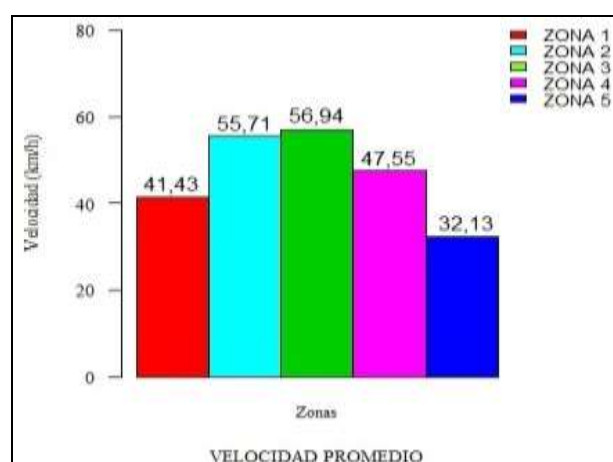
Por otra parte, en la zona 5 se encuentra la ciudad de Tulcán y además el control aduanero, por lo cual, la velocidad máxima alcanzada es de 112,65 [km/h] mucho menor a las demás en 4,68 %.



**Fig. 19. Velocidad máxima por zonas**

En la Figura 20 se observa que la zona 3 posee una velocidad de 56,94 km/h siendo un 26,11 % mayor que los valores alcanzados de velocidad en las demás zonas, lo que indica un alto grado de desnivel de la carretera. La zona 5 presenta una velocidad de 32,13 [km/h] siendo 28,83 % más bajo en comparación con las demás zonas, lo cual indica una velocidad moderada.

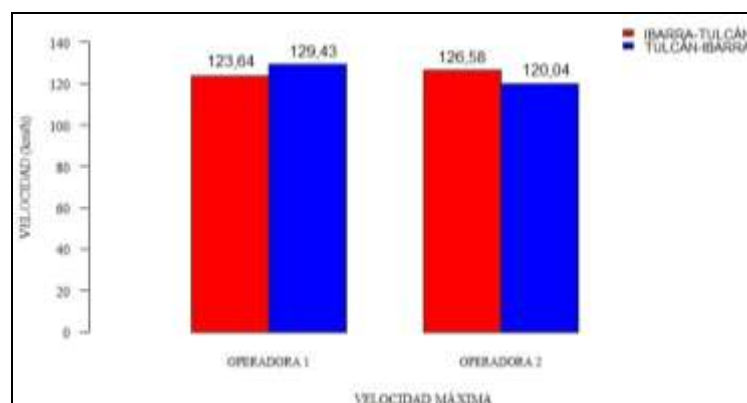




**Fig. 20. Velocidad promedio por zonas**

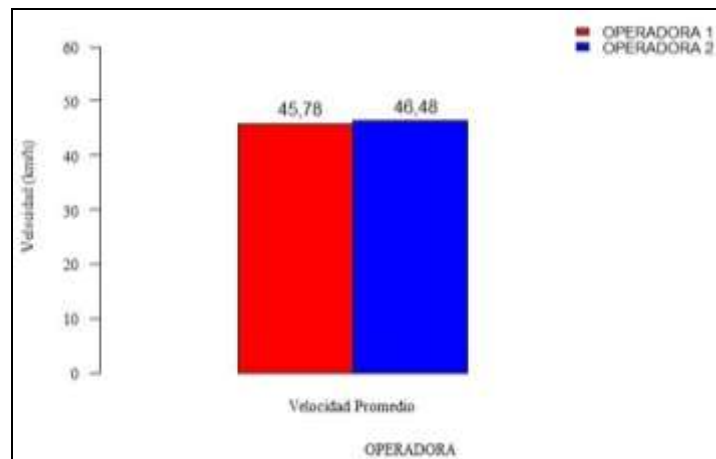
- **Por Operadora**

En la Figura 21 se puede observar que la operadora 1 alcanza una velocidad máxima de 129,4 km/h (4,68 %), en el recorrido Tulcán- Ibarra, mientras que la operadora 2 alcanza una velocidad máxima de 126,58 km/h (5,44%) en la ruta Ibarra-Tulcán. Tanto para la operadora 1 y la operadora 2 se puede observar que alcanzaron velocidades que superan los 120 km/h lo que indica una conducción peligrosa y similar dentro de la ruta Ibarra-Tulcán.



**Fig. 21. Velocidad máxima por operadora**

La Figura 22 se observa que la velocidad promedio de las unidades de la operadora 1 (45,78 km/h) es 1,53 % menor en comparación con el valor de velocidad de las unidades de la operadora 2 (46,48 km/h). Esto indica un comportamiento de manejo similar por parte de los conductores de las dos operadoras.



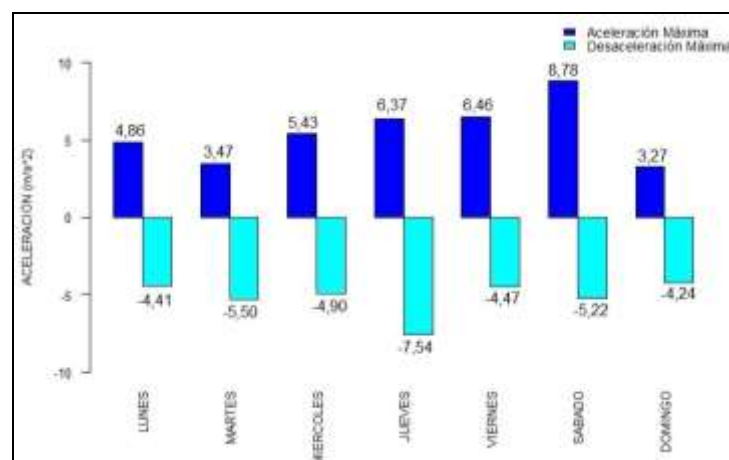
**Fig. 22. Velocidad promedio por operadora**

#### 4.3 Análisis cinemático de la aceleración y desaceleración máxima de los buses interprovinciales

A continuación, se analiza la aceleración y desaceleración máxima de los buses interprovinciales Ibarra-Tulcán en función de los siguientes factores:

- **Por Día**

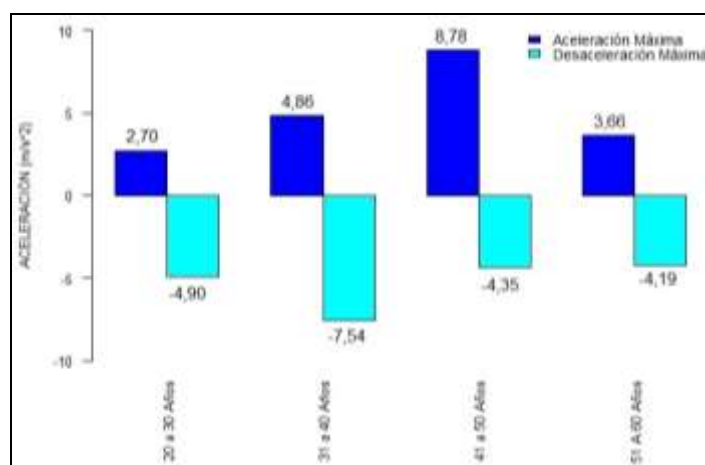
La Figura 23 se muestra que el día sábado los buses alcanzan una aceleración máxima de 8,78 [m/s<sup>2</sup>], siendo un 59,06 % más alto en relación con los demás días, esto indica una aceleración más agresiva que lo habitual. Por otro lado, el jueves presenta una desaceleración de -7,54 [m/s<sup>2</sup>], siendo un 45,55 % más alto en comparación al resto de días. La aceleración para el domingo es de 3,27 [m/s<sup>2</sup>] y su desaceleración de -4,24 [m/s<sup>2</sup>], que equivale a un 40,76 % y 18,14 % respectivamente, en comparación con el resto de los días. Esto se debe a que el domingo el bus interprovincial no realiza tantas paradas en el transcurso de su viaje evitando aceleraciones y desaceleraciones innecesarias.



**Fig. 23. Aceleración y desaceleración máxima por días**

- **Por Edad Del Conductor**

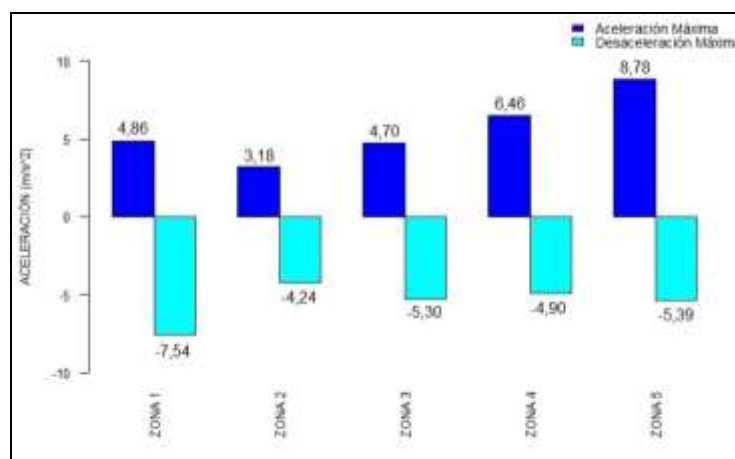
En la Figura 24 se observa que los conductores con edades entre 41 a 50 años generan una aceleración máxima de 8,78 [m/s<sup>2</sup>], siendo un 75,6 % más alta que los demás conductores, sin embargo, los mismos conductores obtuvieron una desaceleración máxima de -4,35 [m/s<sup>2</sup>] equivalente a un 16,98 %, esto significa que tienen una desaceleración moderada en relación con el resto. Para los conductores con edades de 20 a 30 años la aceleración máxima que generan es de 2,70 [m/s<sup>2</sup>] consiguieron una aceleración 46 % más en comparación al resto de conductores. Los conductores de 31 a 40 años obtienen una desaceleración máxima de -7,54 [m/s<sup>2</sup>] equivalente a un 43,89 % más brusca que los demás



**Fig. 24. Aceleración y desaceleración máxima por edad del conductor**

- **Por Zona**

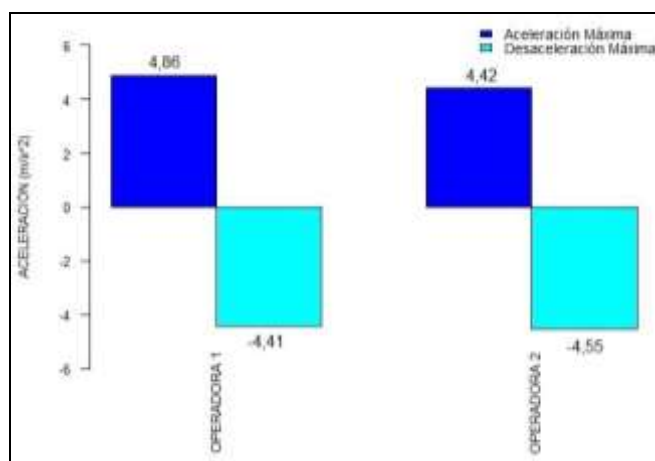
En la zona 5 se produce una aceleración máxima de 8,78 m/s<sup>2</sup> alcanzando una aceleración 57,06 % más alta que el resto de las zonas, debido a que pasan detenidos por mucho tiempo, y porque necesariamente deben acelerar rápidamente para cumplir con el horario establecido. Por otra parte, en la zona 2 se presenta una aceleración máxima de 3,18 [m/s<sup>2</sup>] logrando una aceleración 43,11 % más baja en comparación al resto de las zonas de conducción. De manera similar para esta zona, la desaceleración máxima es de -4,24 [m/s<sup>2</sup>], lo cual representa una desaceleración del 22,48 % más baja que en las demás zonas, lo cual indica que no se necesita aceleraciones y desaceleraciones agresivas en una zona con poco desnivel en carretera. Se puede además apreciar, que en la zona 1 se tiene una desaceleración máxima de -7,54 [m/s<sup>2</sup>] equivalente a un 37,84 % más agresiva, lo que implica que realizan súbitas disminuciones de velocidad en bajadas y en curvas donde se ingresa con velocidades excesivas.



**Fig. 25. Aceleración y desaceleración máxima por zonas**

- **Por Operadora**

En la Figura 26 el valor de la aceleración máxima alcanzada por las unidades de la operadora 1 (4,86 [m/s<sup>2</sup>]) es mayor al valor alcanzado por la operadora 2 (4,42 [m/s<sup>2</sup>]) en un 9,95 %. No obstante, el valor de la desaceleración máxima de la operadora 2 (-4,55 [m/s<sup>2</sup>]) es mayor al valor de desaceleración de la operadora 1 (-4,41 [m/s<sup>2</sup>]) 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.



**Fig. 26. Aceleración y desaceleración máxima por operadora**

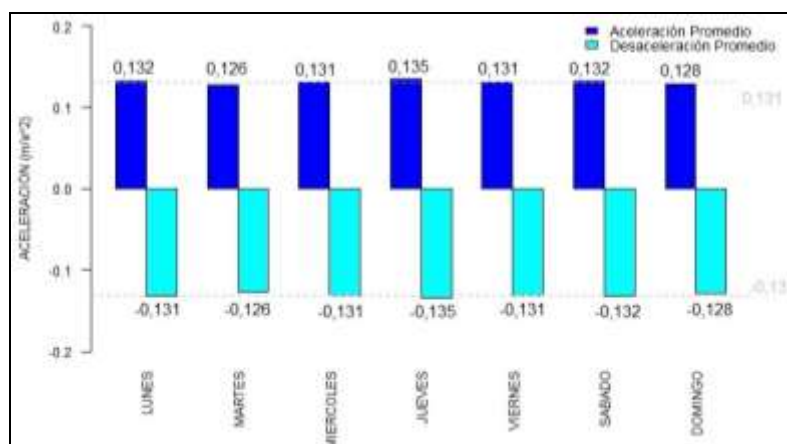
#### **4.4 Análisis cinemático de la aceleración y desaceleración promedio de los buses interprovinciales**

El siguiente análisis que se realizó son las aceleraciones y desaceleraciones promedio de los buses interprovinciales en función de los siguientes factores:

- **Por Día**

En la Figura 27 se puede observar que la aceleración promedio para todos los días de la semana es el mismo con una diferencia máxima de 3,81 % respecto al promedio general. La

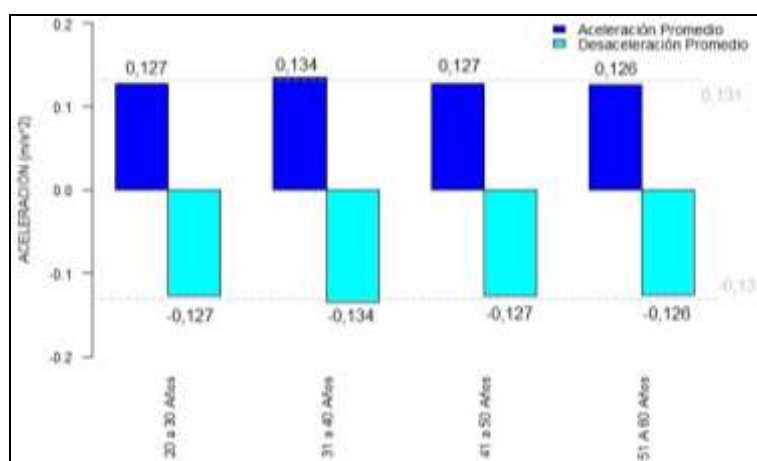
desaceleración promedio entre días de la semana también tiene el mismo rango, lo que quiere decir que por días se consumió igual cantidad de combustible.



**Fig. 27. Aceleración y desaceleración promedio por días**

- **Por Edad Del Conductor**

En la Figura 28 se observa que los conductores con edades entre 20 a 30 y 41 a 50 años poseen el mismo índice de aceleración y desaceleración; sin embargo, los conductores con edad entre 31 a 40 años tienen un valor mayor de aceleración (0,134 [m/s²]) y desaceleración (-0,134 [m/s²]) que equivalen a un 2,29 % más con respecto a los anteriores, por lo que gastan mayor cantidad de combustible en su recorrido. Además, los conductores con edades entre 51 a 60 años tienen un índice menor de aceleración (0,126 [m/s²]) y desaceleración (-0,126 [m/s²]) equivalente a un 3,81 % menos con respecto al resto de conductores, por lo que consumen menor cantidad de combustible que los demás.

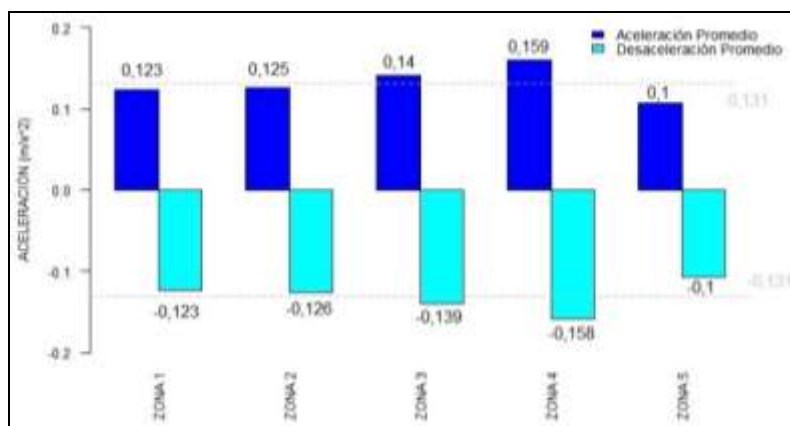


**Fig. 28. Aceleración y desaceleración promedio por edad del conductor**

- **Por Zona**

En la Figura 29 se muestra los valores de aceleración y desaceleración promedio, los cuales sin duda están alejados del valor promedio general. Hay que mencionar, que la zona 4

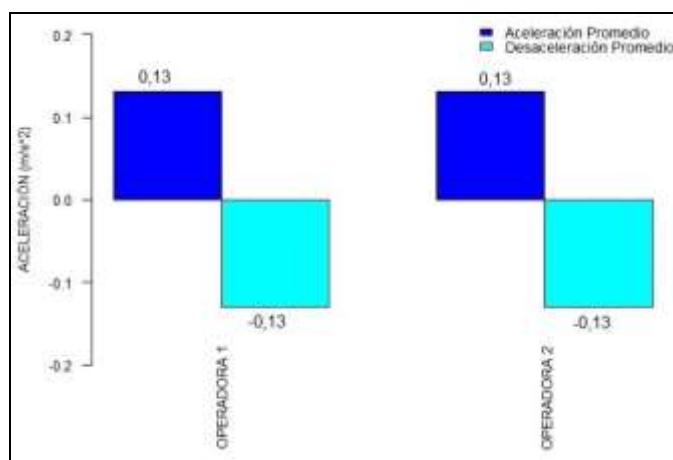
produce altos valores de aceleración ( $0,159 \text{ [m/s}^2\text{]}$ ) y desaceleración ( $-0,158 \text{ [m/s}^2\text{]}$ ) equivalentes a un 21 % más con respecto a las demás zonas, debido a que en esta zona la ruta tiene características que inducen a mayores niveles de aceleración y desaceleración por su geografía, por lo tanto mayor consumo de combustible. Habría que decir también, que en la zona 5 tiene un valor de aceleración ( $0,1 \text{ [m/s}^2\text{]}$ ) y desaceleración ( $-0,1 \text{ [m/s}^2\text{]}$ ), siendo 23,66 % menor en relación con las demás zonas, consumiendo menor combustible en ese tramo de la ruta.



**Fig. 29. Aceleración y desaceleración por zona**

- **Por Operadora**

En la Figura 30 se muestra el valor de la aceleración promedio de  $0,13 \text{ [m/s}^2\text{]}$  para las dos operadoras. Lo mismo ocurre para la desaceleración con un valor de  $-0,13 \text{ [m/s}^2\text{]}$  similar para las dos. Esto indica que el consumo de combustible es similar tanto para operadoras que tienen horario de llegada a Ibarra como para operadora que cruza por Ibarra y su horario de llegada es en Quito.



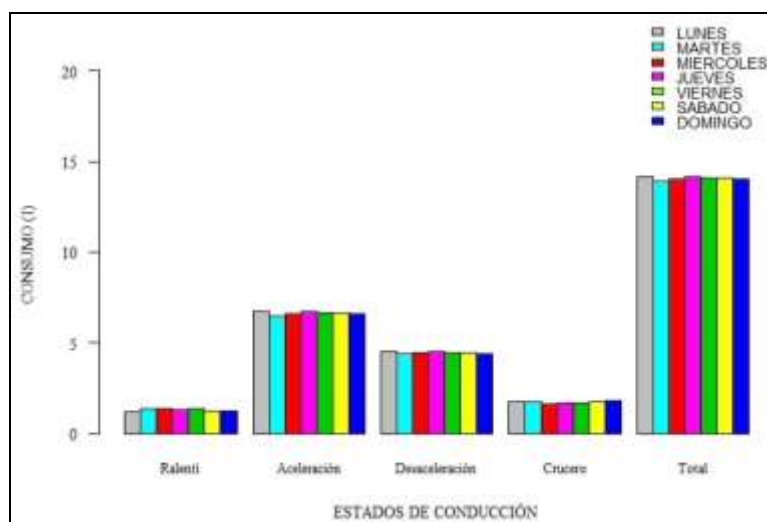
**Fig. 30. Aceleración y desaceleración promedio por operadora**

#### 4.5 Análisis de Nivel de Consumo de Combustible

El análisis de consumo de combustible se realizó 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 un estudio anterior [16] los valores de datos instantáneos de consumo de combustible en los estados de conducción son: en ralentí 2,71 [l/h] (45 [ml/min]), crucero 4,674 [l/h] (77,9 [ml/min]), aceleración 7,392 [l/h] (123,2 [ml/min]) y desaceleración 5,9136 [l/h] (98,56 [ml/min]). De acuerdo con estos datos y conociendo el tiempo promedio de viaje se puede calcular el consumo por estados de conducción

- **Por Día**

En la Figura 31 se observa que se consume una mayor cantidad de combustible mientras las unidades se encuentran en aceleración (88,06 %) en comparación a los demás estados, y en ralentí se consume menos (63,35 %) en promedio. Para los valores de desaceleración se obtuvo un valor promedio de nivel de consumo de combustible (26,42 %) más alto, mientras que en crucero se consiguió (51,13 %) aproximadamente. Se puede apreciar que todos los días de la semana se consumen casi la misma cantidad de combustible alrededor de 14 litros. 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, lo cual implica que se consuma la misma cantidad de combustible.

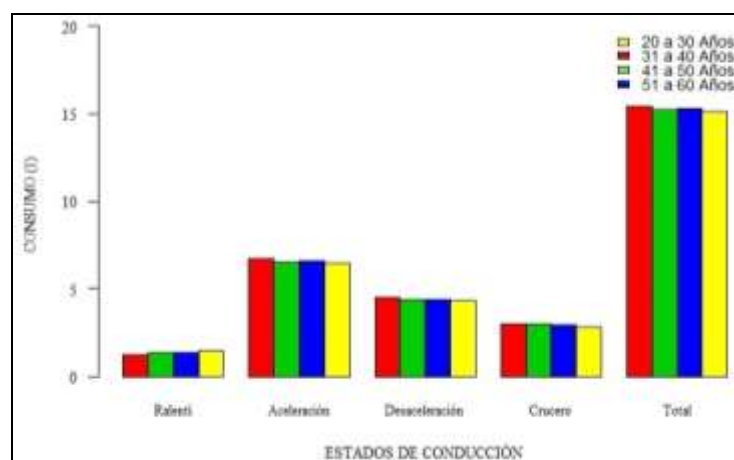


**Fig. 31. Nivel de consumo de combustible por días**

- **Por Edad Del Conductor**

En la Figura 32 se observa que los conductores que tiene edades entre 20 a 30 años conducen bajo un estado de conducción en ralentí con un consumo de combustible (1,48 litros), que equivalente a un 10,44 % más elevado en comparación con los demás conductores en este estado de conducción, los conductores que tienen una edad entre 31 a 40 años que conducen en

estado de aceleración, sus unidades consumen 6,72 litros y exceden en un 2,43 % respecto al consumo de las unidades de los otros conductores, y en el estado de conducción en desaceleración se tiene un consumo 4,51 litros excediendo en un 2,5 % respecto al consumo de las unidades conducidas por los conductores con edades mayores de 40 años y menores de 31 años. Los valores totales del nivel de consumo de combustible de las unidades conducidas por los conductores con edades de 31 a 40 años están entre un 1,11 % por encima del consumo de las demás unidades de los demás conductores, con un valor de consumo de 15,42 litros, mientras que para los conductores de 20 a 30 años, sus unidades consumen 15.10 litros en el trayecto, disminuyendo en un 0,98 % por debajo del consumo máximo de las unidades de los otros conductores.

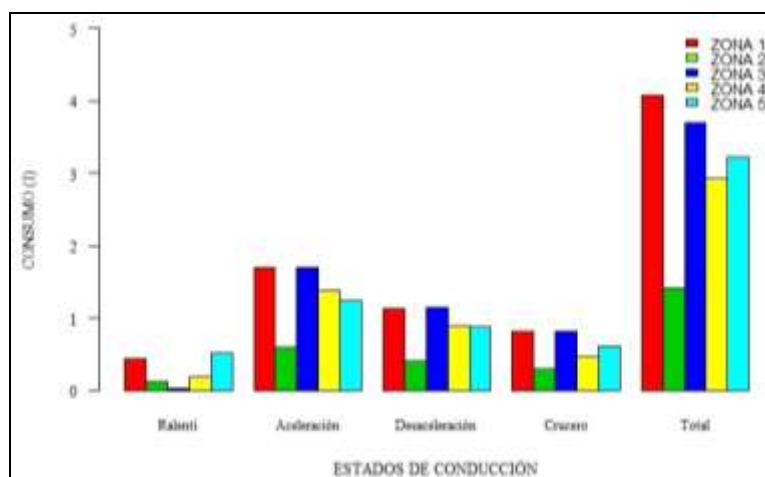


**Fig. 32. Nivel de consumo de combustible por edad del conductor**

- **Por Zona**

En la Figura 33 se observa que en ralentí la zona 3 tiene un nivel de consumo de combustible del 88,46 % por debajo del consumo máximo en las otras zonas. En aceleración la zona 1 tiene un consumo de 1,70 litros, 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 consumo de 1,15 litros, que equivale a un 29,21 % más alto que el consumo de las otras zonas. Para el estado de conducción en crucero, la zona 1 y la zona 3 alcanzan 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 litros, siendo 33,33 % más alto, mientras que para la zona 2 el nivel de consumo de combustible es 54 % menor a las demás zonas debido a sus características topográficas.

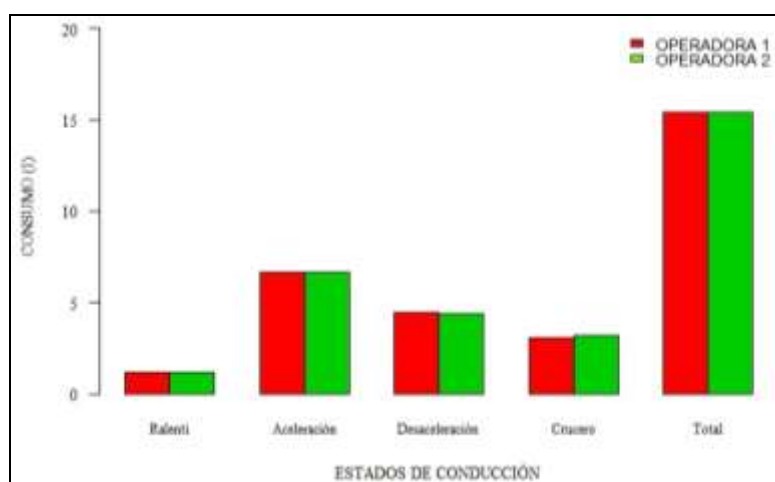




**Fig. 33. Nivel de consumo de combustible por zonas**

- **Por Operadora**

En la Figura 34, se observa que el nivel de consumo de combustible por estados de conducción es similar para las dos operadoras, con un consumo para la operadora 1 de 15,51 litros y para la operadora 2 de 15,39 litros, los cuales difieren en un 0,77 %, en donde el consumo de la operadora 1 es mayor que el consumo de la operadora 2.



**Fig. 34. Nivel de consumo de combustible por operadora**

#### 4.6 Análisis de Equilibrio Dinámico de Buses Interprovinciales En Curvas de Alto Riesgo

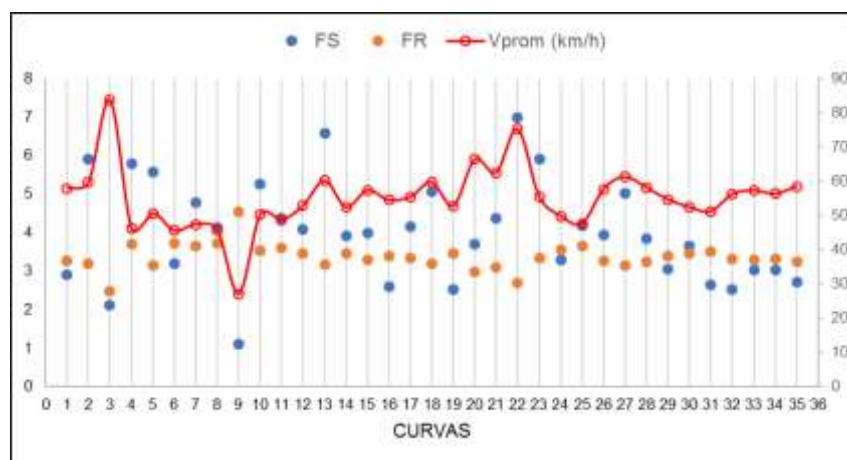
La ruta Ibarra-Tulcán posee en su recorrido varias curvas que pueden ser de alto riesgo si no se conduce con la velocidad adecuada en este trayecto. El análisis siguiente presenta las 35 curvas seleccionadas con la velocidad promedio de los buses, para mostrar si los buses interprovinciales transitan con seguridad se realizó el análisis con destino 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.

- **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 en curvas de carretera son de 50 [km/h] y un rango moderado de 50 a 65 [km/h]. De acuerdo con esto se puede afirmar que los buses interprovinciales en la mayoría de las curvas sobrepasan el límite de velocidad máxima recomendada.

La curva 1 de acuerdo con la Figura 35 muestra que los buses interprovinciales se mantienen seguros en cuanto al equilibrio dinámico, el ingreso a la curva está en una velocidad promedio de 57,93 km/h debido a que la curva tiene radio elevado. Lo 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 se encuentran dentro de una conducción segura, sin embargo, las unidades tienen que mantenerse en la curva con una velocidad mucho menor que los anteriormente descritos. Los conductores logran 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 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 ésta.



**Fig. 35. Equilibrio dinámico en curvas recorrido Ibarra-Tulcán**

La Tabla IV presenta las curvas en las cuales la conducción fue insegura y las curvas en donde la conducción fue segura. Se muestra, además, el porcentaje por curvas estudiadas para su mejor análisis. Los resultados muestran que las unidades sobrepasaron los límites en un 61,11 % de todas las curvas estudiadas del recorrido Ibarra-Tulcán lo que indica una conducción insegura en todo el recorrido.

Este modo de conducción probablemente se debe a las siguientes razones:

- El retraso debido a 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 realizan los buses en todo el recorrido ya sea para recoger personas o para dejarlas en su destino.

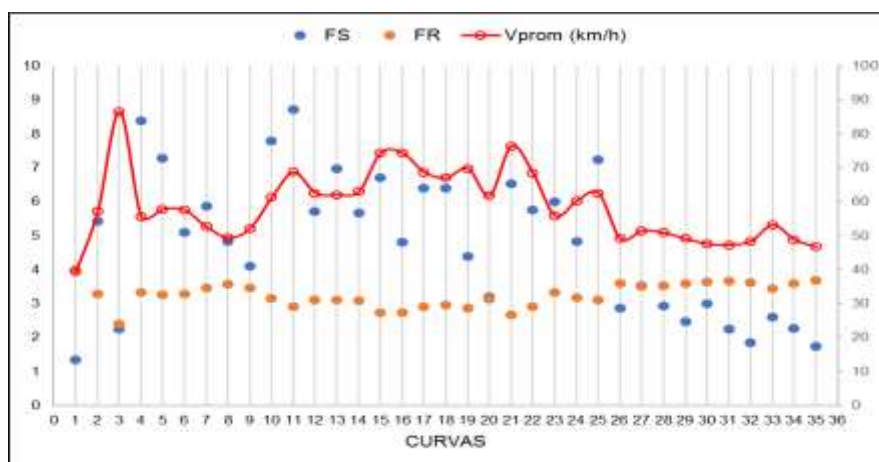
**TABLA IV. TOTAL DE EQUILIBRIO DINÁMICO EN CURVAS RECORRIDO IBARRA-TULCÁN**

CURVAS	FS>FR	FS<FR
TOTAL	22	13
TOTAL %	61,11 %	36,11 %

• **Equilibrio Dinámico En Curvas Recorrido Tulcán-Ibarra**

En la Figura 36 se observa que la curva con mayor riesgo es la 35, en el recorrido Tulcán-Ibarra, además muestra 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 ocasionando un accidente.

De igual manera se puede observar que la curva numero 3 empieza con una pendiente que aumenta la velocidad, sin embargo, la conducción es segura por tener un radio alto, mientras toman la subida entran a la curva 2 que tiene un radio menor, y a pesar de reducir la 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 cual, la conducción se vuelve segura.



**Fig. 36. Equilibrio dinámico en curvas recorrido Tulcán-Ibarra**

La Tabla V presenta el total de curvas donde la conducción es segura o insegura, así como también el porcentaje total de las curvas estudiadas para su mejor análisis. Los resultados muestran que los conductores de las respectivas unidades sobrepasaron los límites de velocidad en un 66,67 % en todas las curvas estudiadas del recorrido Ibarra-Tulcán, es decir, la conducción es insegura en este trayecto. Este alto nivel de conducción insegura que se ha evidenciado en el recorrido puede deberse a las siguientes razones:

- Recuperar el tiempo que se detienen en el control aduanero a la partida 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.

**TABLA V. TOTAL DE EQUILIBRIO DINÁMICO EN CURVAS RECORRIDO TULCÁN-IBARRA**

CURVAS	FS>FR	FS<FR
TOTAL	24	11
TOTAL %	66,67 %	30,56 %

## 5. CONCLUSIONES

Una vez finalizada esta investigación se logró obtener las características cinemáticas de los diferentes estados de conducción a velocidades y aceleraciones máximas y promedio, así como también, el equilibrio dinámico en curvas, mediante la recolección de datos a través de dispositivos móviles “GPS” montados en los buses interprovinciales Ibarra-Tulcán durante todo su recorrido.

Para el levantamiento de datos se distribuyó en jornadas durante el día, en horas pico y horas valle en la mañana, medio día y tarde. Se monitorearon a 32 unidades de la operadora Turismo durante 2 semanas en 84 viajes de Ibarra-Tulcán y 84 viajes de Tulcán-Ibarra, por otro lado, se monitorearon 28 unidades de la operadora Velotax durante 2 días en 12 viajes de Ibarra-Tulcán y 12 viajes de Tulcán-Ibarra.

Se colocó 9 dispositivos GPS GL-770 con 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 en los diferentes estados de conducción, 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; 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 en los porcentajes de permanencia en los diferentes 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 superan los 100 [km/h] durante su recorrido lo que puede ocasionar accidentes de tránsito. La velocidad promedio es de 45,15 [km/h], que es similar para los días de la semana y por operada se tiene 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] con un 5,20 % menor al promedio general; en la zona 3 se alcanzó una velocidad promedio de 56,94 [km/h], siendo un 26,11 % más alto y en la zona 5 una velocidad promedio de 32,13 [km/h] con un 28,83 % 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 análisis del 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.

## REFERENCIAS

- [1] Sorgato, V. (10 de junio de 2016). Seis urbes en Ecuador se exceden en contaminación ambiental, según OMS. *El Comercio*
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Ramadurai, G., & Reddy Kancharla, S. (2018). Incorporating driving cycle based fuel consumption estimation in green vehicle routing problems. *Sustainable Cities and Society*, 1-20
- [5] Collaguazo, N., & Santamaría, D. (2014). Requerimientos básicos 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.
- [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] 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.
- [8] Wei, Z., Z. X., & Dunant, H. (2016). Study of HEV Power Management Control Strategy Based on Driving Pattern Recognition. *Energy Procedia*, 847 - 853.
- [9] 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.

- [10] 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 Research Part D*, 263-273.
- [11] DieselNetFAQ.(08de2014)DieselNet.ObtenidodeDieselNet:  
<https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp75.php>
- [12] Mahesh, S., & Ramadurai, G. (2017). Analysis of driving characteristics and estimation of pollutant emissions from intra-city buses. *Transportation Research Procedia* , 1211-1218.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.