

Análisis de las características cinemáticas de las rutas de autobuses urbanos de Ibarra

Jordan Alejandro Ramírez Martínez

Carrera de Ingeniería Automotriz, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador
jaramirez@utn.edu.ec

Abstracto— El presente estudio tiene como objetivo analizar las características cinemáticas de las rutas de autobuses urbanos de la ciudad de Ibarra, para evaluar su incidencia en los tiempos de congestión y niveles de consumo de combustible. El estudio se aplicó a las 22 rutas de autobuses urbanos de Ibarra, tanto para los días entre semana, sábado y domingo mediante las cuales se emplearon en total 186 autobuses durante 832 viajes. Para la recolección de datos se implementaron 10 GPS GL-770 que permitieron grabar datos cinemáticos con una frecuencia de 1 Hz; por lo tanto, para cada hora se obtuvo 3 600 registros, logrando un total de 5 513 866 registros válidos durante 1 531 horas y 36 minutos de grabación. El software libre estadístico R conjuntamente con RStudio facilitó la lectura, tratamiento e interpretación de esta base de datos para calcular el porcentaje de permanencia promedio de los autobuses en cada estado de conducción: aceleración, desaceleración, ralentí y velocidad crucero; mediante lo cual se analizó cómo influyen los estados de conducción, velocidades y aceleraciones en los tiempos de viaje, sectores, operadoras, rutas, modelo de buses y edad de los conductores. Los resultados más relevantes que se obtuvieron fueron que los porcentajes de permanencia promedio de la flota de autobuses urbanos de la ciudad de Ibarra fueron de 30,9 % en aceleración; 29,6 % en ralentí; 24,2 % en desaceleración y 15,2 % en velocidad crucero. Los porcentajes de permanencia de los estados de conducción no varían en función de la operadora, del modelo de vehículo, de la edad de los conductores y de la franja horaria; únicamente se presentó mayor incidencia en la ruta y sector de la ciudad. La velocidad promedio general de los autobuses fue de 13,35 km/h y no tuvo mayor variación en función de la operadora, del día, del modelo de vehículo, de la edad de los conductores y de la franja horaria; presentó variación en la ruta y el sector de la ciudad. La aceleración y desaceleración promedio general de la flota de autobuses fue de 0,158 m/s² y -0,158 m/s² respectivamente y no existió variación en función de la operadora, del día y de la edad del conductor; tuvo mayor incidencia en base a la ruta, al modelo del vehículo y al sector de la ciudad. Para futuros trabajos en temáticas de cinemática del vehículo, se puede utilizar la base de datos del presente estudio para el desarrollo de los ciclos de conducción del transporte público de la ciudad de Ibarra.

Índice de términos— cinemática del automóvil, autobuses urbanos, congestión vehicular, estados de conducción, patrones de conducción, estilos de conducción, ciclos de conducción.

I. INTRODUCCIÓN

El aumento del número de vehículos es cada vez más rápido, por ende, sus emisiones crecen y contaminan más al ambiente, por lo tanto, muchos investigadores lo han considerado como la primordial fuente de gran impacto

ambiental en todo el mundo. La ciudad de Ibarra geográficamente se encuentra ubicada en la zona norte de Ecuador, a 115 Km. al noreste de Quito; según el último censo realizado por el INEC la ciudad de Ibarra cuenta con una población total de 181.175 habitantes [1]. Uno de los factores que afectan a la ciudad de Ibarra y que se debe tomar en cuenta es la contaminación del aire, afectado por el smog de los buses urbanos que circulan en la ciudad; cuyas emisiones vehiculares afectan directamente al ambiente. Se estima que los buses urbanos que circulan dentro de la ciudad son los que contaminan en mayor proporción, por motivo de la circulación diaria al servicio público de la población. “De acuerdo con los análisis de la OMS (2012-2013), Santo Domingo, Milagro, Quito, Latacunga, Manta y Portoviejo sobrepasan los niveles internacionales de contaminación perjudiciales para la salud; Ibarra, Cuenca y Ambato son las ciudades menos polutas con 9 ug/m³ de PM_{2,5}” [2]. “La ciudad de Ibarra está conformada por 22 rutas de buses, por lo cual es un número de rutas que se debe tomar en cuenta para el estudio de las características cinemáticas de los buses urbanos que circulan dentro de la ciudad. Actualmente no se cuenta con un estudio desarrollado de las características cinemáticas de las rutas de la ciudad de Ibarra que permitan estimar tanto el consumo de combustible como las emisiones contaminantes que afectan al ambiente; emitidas por los buses urbanos de la ciudad de Ibarra. Aunque la ciudad de Ibarra, a nivel nacional e internacional, se encuentre entre las ciudades con menor contaminación ambiental, es necesario disponer de una alternativa que permita evaluar el consumo de combustible de los buses urbanos y sucesivamente los factores contaminantes; tomando en cuenta la topografía y los factores que afectan a los patrones de conducción dentro de la ciudad de Ibarra.

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Cinemática del vehículo

La cinemática es una rama de la mecánica que permite estudiar el movimiento que realizan los cuerpos, sin tomar énfasis en las causas, orígenes o propiamente fuerzas que ocasionan dicho movimiento. “Se utiliza para relacionar el desplazamiento, la velocidad, la aceleración y el tiempo, sin hacer referencia a la causa que ocasiona el movimiento” [3].

2.1. Estados de conducción

Los estados de conducción son aquellos que forman parte de la conducción en carretera de algún tipo de automotor. Existen 4 modos de conducción: ralentí, velocidad crucero, aceleración y desaceleración. Es importante determinar los factores de consumo de combustible y las emisiones contaminantes emanadas por los motores de combustión interna en cada uno de los estados de marcha, para comprender mejor el comportamiento real de los vehículos en cada ruta de la ciudad.

- Ralentí: Modo de conducción, en el cual, la velocidad y la aceleración valen cero. En este estado, el bus se halla en el mínimo número de revoluciones; de tal manera que el bus no puede moverse, pero si puede estar en marcha hasta que finalice su combustible.
- Crucero: Estado en el cual motor de un bus se encuentra en las mejores condiciones, puesto que alcanza largas distancias con poco combustible. Se manifiesta que un bus se encuentra en velocidad crucero cuando existe “Cambios de velocidad incremental absolutos menores o iguales a 0,1 m/s durante el intervalo de 1 segundo” [4].
- Aceleración: Durante la conducción en carretera, existen ciclos de conducción; dentro de los cuales se presenta el estado de aceleración si existen “Porciones del ciclo con una razón de cambio de velocidad positiva mayor o igual a 0,1 m/s” [5].
- Desaceleración: Existe si hay “cambios de velocidad incremental negativos de más de 0,1 m/s durante el intervalo de 1 segundo” [4].

“Los modos de conducción transitorios (aceleración y desaceleración) son más contaminantes que los modos de conducción de velocidad constante (crucero y ralentí) en términos de g/km y g/s” [4].

2.2. Ciclos de conducción

Un ciclo de conducción se considera como una herramienta útil para describir el comportamiento que toman los conductores en el volante al momento de conducir un autobús en una ruta determinada, ya sea de tipo urbano o interurbano. “Cada país tiene un ciclo de conducción único que representa las características de los patrones de conducción y la cantidad real de emisiones de los vehículos” [6]. “Estos ciclos se obtienen a partir de información que se considera estadísticamente representativa para un área urbana particular” [7].

2.3. Estado del arte

Para facilitar el desarrollo y emprendimiento del presente estudio se recurre a la información del análisis de resultados de trabajos referentes a las características cinemáticas de automotores y su incidencia en los tiempos de viaje, niveles de consumo de combustible, y contaminación ambiental con la finalidad de precisar y aclarar las dudas relacionadas con el presente estudio.

En el primer trabajo citado referente al análisis del consumo de combustible en autobuses urbanos por efecto de las intersecciones semaforizadas en la ciudad de Ibarra señala que en la ruta Católica - Alpachaca, los autobuses urbanos de Ibarra permanecen mayormente en el estado de ralentí con un 36,2 % debido a la presencia excesiva de semáforos, rompe velocidades y paradas, lo cual ocasiona un consumo de combustible innecesario, los estados de aceleración y desaceleración poseen un porcentaje de permanencia de 27,3 % y 22,8 % respectivamente y en cuanto al estado de velocidad crucero es el menor con una permanencia de 13,7 % [8].

En otro trabajo de este tipo, se ha realizado un estudio en la ciudad de Cuenca, provincia de Azuay, que consiste en obtener ciclos de conducción para la flota de buses urbanos del cantón Cuenca; este estudio lo aplicaron a 3 rutas, en 20 buses urbanos de Cuenca, obteniendo los datos de 219 viajes. De los cuales los coeficientes de variación de la mayoría de los parámetros resumen en las tres rutas que el análisis está por debajo del 15 % indicando la poca variabilidad existente entre los registros de las curvas experimentales de cada trayecto a excepción de los parámetros del tiempo en ralentí y número de paradas los cuales son cercanas al 20 % o sobrepasan este valor (28,55 % en el registro máximo) [9].

El estilo de conducción es otro factor que influye en el consumo de combustible, un artículo indica que la variación en el consumo de combustible causada por la diferencia de estilo de conducción (DS) supera el 10 % y alcanza un máximo del 20 % bajo condiciones de carretera diferentes, incluso para conductores de autobús experimentados; por lo tanto las características del DS en el proceso de aceleración de los vehículos son decisivas para el consumo de combustible en diferentes condiciones [10].

Un último trabajo realiza un estudio para las ciudades latinoamericanas sobre la influencia de los patrones de conducción en emisiones vehiculares; el cual da a conocer que el 50 % de la red de carreteras de las ciudades de Latinoamérica se mantiene inadecuadamente además se conoce que las emisiones de los vehículos dependen de las condiciones de conducción, ya que éstas tienen una influencia directa sobre la carga del motor; las emisiones de contaminación instantánea varían en función del tamaño y el peso del vehículo, la tecnología de control de emisiones y motores, las condiciones del camino y la pendiente, la velocidad, la aceleración y las condiciones ambientales tales como la temperatura y la presión atmosférica [11].

Los ciclos teóricos se construyen uniendo fases cinemáticas con parámetros distribuidos, representando un conjunto de secuencias de conducción reales, formadas por un grupo de vehículos con diferentes cinemáticas o por un solo vehículo cuya cinemática evoluciona con el tiempo debido a condiciones de tráfico [12].

III. METODOLOGÍA

La metodología del estudio presente está conformada por 8 etapas que se describen en la Fig.1.



Fig. 1. Metodología para analizar las características cinemáticas de las rutas de autobuses urbanos de Ibarra

3.1. Caracterización de los buses urbanos de Ibarra

Primeramente, se caracteriza los buses urbanos de la ciudad de Ibarra tanto de la Cooperativa “28 de Septiembre” como de la Cooperativa “San Miguel de Ibarra”. En esta parte se toma en cuenta los datos del autobús como: la marca, el modelo y año de fabricación; dichos datos se obtienen de la Empresa Pública de Movilidad MOVIDELNOR-EP de la ciudad. “Actualmente existen en circulación 287 vehículos, 160 corresponden a la Cooperativa “28 de Septiembre” y 127 a la Cooperativa “San Miguel de Ibarra” [8]. Identificar los aspectos más importantes del autobús conlleva a seleccionar los más adecuados para realizar con mejor criterio la recolección de los datos. En la Fig. 2. Se observa la clasificación de la flota de autobuses según su marca de fabricación.

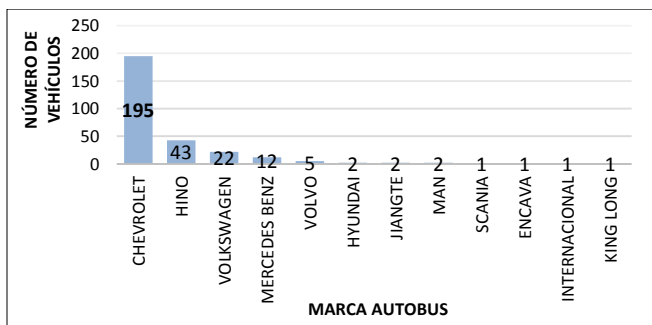


Fig. 2. Clasificación de los autobuses de Ibarra según la marca del fabricante

La caracterización de la flota de acuerdo con el modelo de fabricación resulta que los que mayor influencia tienen dentro del parque automotor de autobuses son los Chevrolet Isuzu FTR 32M, Chevrolet Isuzu CHR 7.2 y Volkswagen 17210. El valor promedio de año de fabricación de los autobuses es de 2002 y no cumplen la Normativa Euro V y Euro VI.

3.2. Caracterización de las rutas de Ibarra

En esta etapa se realiza un inventario de todas las rutas que cumple la flota de autobuses de la ciudad de Ibarra. En la actualidad se cuenta con 22 rutas en funcionamiento; 13 rutas de la Cooperativa “28 de Septiembre” y 9 rutas de la Cooperativa “San Miguel de Ibarra”. Esta etapa ofrece datos de las rutas como: tiempo de viaje y distancia total de cada ruta por ciclo; así como se muestra en la Tabla I.

TABLA I. CARACTERIZACIÓN DE LAS RUTAS DE IBARRA			
Operadora	Ruta	Distancia (km)	Tiempo Promedio
28 de Septiembre	Aloburo	20,38	1h 10min
	Arcángel - San Cristóbal	35,26	2h 00min
	Azaya - La Campiña	19,23	1h 40min
	Caranqui - Aduana	26,75	1h 50min
	El Carmen - Bellavista	23,82	1h 15min
	Católica - Alpachaca	17,09	1h 30min
	Chorlaví - La Victoria	33,71	2h 10min
	Milagro - Yahuarcocha	34,84	2h 05min
	Naranjito	21,63	1h 40min
	Las Palmas - Los Ceibos	19,35	1h 33min
	Pugacho - Santa Teresita	19,04	1h 38min
	Santa Rosa - Los Ceibos	22,89	1h 50min
	Tangará - Aduana	36,41	2h 25min
San Miguel de Ibarra	Caranqui - Universidades	20,59	1h15min
	Chugchupungo - Florida	24,27	1h50min
	Colinas del Sur - Aduana	25,85	1h40min
	Ejido de Caranqui - Miravalle	28,45	2h00min
	La Esperanza - Hospital Seguro	24,04	1h55min
	19 de Enero - Odilas	29,08	2h10min
	Santa Isabel - H. Familiares	39,22	2h30min
	Santa Lucía - La Victoria	23,99	1h45min
	Santo Domingo - Universidades	30,27	2h00min

3.3. Definición de variables y parámetros de estudio

Para determinar las variables y los parámetros de estudio, se toma en cuenta la cinemática del vehículo que practica todos los días; estos datos cinemáticos facilitan y garantizan de mejor manera la realización del estudio establecido. Entre las variables y parámetros referenciales tenemos:

- Posición [m]
- Tiempo [s]
- Distancia recorrida en cada viaje [m]
- Número de autobuses
- Número de días de estudio

A partir de estos parámetros se determinan las variables que se ilustran a continuación:

- Velocidad instantánea
- Velocidad promedio
- Aceleración instantánea
- Aceleración y desaceleración promedio
- Porcentaje de permanencia de los estados de conducción
- Porcentaje de permanencia promedio de los estados de conducción

La velocidad instantánea (v) en kilómetros por hora (km/h) determinó el estado en que se encuentra el vehículo durante cada segundo. A partir de la Ec. 1 se calcula la velocidad instantánea de los buses de Ibarra.

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\overrightarrow{\Delta r}}{\Delta t} \quad (1)$$

Donde:

v : Velocidad instantánea del bus.

$\overrightarrow{\Delta r}$: Variación del vector posición.

Δt : Variación del tiempo ($\Delta t = 1$ segundo).

La velocidad promedio diaria de cada bus se encuentra en función de la sumatoria de la relación de la distancia que recorrieron en un determinado tiempo. La Ec. 2 se aplica para el cálculo de dicha velocidad.

$$V_{PROM DIARIA BUS} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{t_i} \quad (2)$$

Donde:

$V_{PROM DIARIA BUS}$: Velocidad promedio diaria del bus.

d_i : Distancia.

t_i : Tiempo.

Para calcular la velocidad promedio diaria de la flota de autobuses de Ibarra se empleó la Ecuación 2.2, la cual se encuentra en función de la sumatoria de la velocidad promedio diaria de los buses.

$$V_{PROM DIARIA FLOTA} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n V_{PROM DIARIA BUS} \quad (3)$$

Donde:

$V_{PROM DIARIA FLOTA}$: Velocidad promedio diaria de la flota.

$V_{PROM DIARIA BUS}$: Velocidad promedio diaria del bus.

j : Unidad de bus.

Luego se recurre a la Ec. 4 para obtener la velocidad promedio semanal de la flota de autobuses urbanos de Ibarra.

$$V_{PROM SEMANAL FLOTA} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^7 V_{PROM DIARIA FLOTA} \quad (4)$$

Donde:

$V_{PROM SEMANAL FLOTA}$: Velocidad promedio semanal de la flota.

$V_{PROM DIARIA FLOTA}$: Velocidad promedio diaria de la flota.

i : Día de la semana (1 a 5 = entre semana; 6 = sábado y 7 = domingo).

La aceleración (a) expresada en metros sobre segundos cuadrados (m/s^2), se utiliza para determinar los estados de conducción de los conductores en un intervalo de un segundo de modo que resulte un margen de error bajo para cálculos posteriores. A partir de la velocidad instantánea y la aceleración se calcula el porcentaje de permanencia que practican los

conductores en los diferentes estados de marcha del vehículo. En primer lugar se ejecuta la Ec. 5 para el cálculo de la aceleración instantánea de los buses.

$$a = \frac{v_f - v_o}{\Delta t} \quad (5)$$

Donde:

a : Aceleración instantánea del bus.

v_f : Velocidad final.

v_o : Velocidad inicial.

Δt : Variación del tiempo ($\Delta t = 1$ segundo).

Luego se ejecuta las Ec. 6 y 7 para el cálculo de la aceleración y desaceleración promedio diaria que experimentan los buses.

$$a_{PROM DIARIA BUS} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a \quad (6)$$

Donde:

$a_{PROM DIARIA BUS}$: Aceleración promedio diaria del bus.

a : Aceleración instantánea de viaje.

j : Unidad de bus.

$$d_{PROM DIARIA BUS} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d \quad (7)$$

Donde:

$d_{PROM DIARIA BUS}$: Desaceleración promedio diaria del bus.

d : Desaceleración instantánea de viaje.

j : Unidad de bus.

A partir de las ecuaciones anteriormente descritas se ejecuta las Ec. 8 y 9 para el cálculo de la aceleración y desaceleración promedio diaria de la flota, las cuales se encuentran en función de la sumatoria de las aceleración y desaceleración promedio diaria de los buses.

$$a_{PROM DIARIA FLOTA} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{PROM DIARIA BUS} \quad (8)$$

Donde:

$a_{PROM DIARIA FLOTA}$: Aceleración promedio diaria de la flota.

$a_{PROM DIARIA BUS}$: Aceleración promedio diaria del bus.

j : Unidad de bus.

$$d_{PROM DIARIA FLOTA} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{PROM DIARIA BUS} \quad (9)$$

Donde:

$d_{PROM DIARIA FLOTA}$: Desaceleración promedio diaria de flota.

$d_{PROM DIARIA BUS}$: Desaceleración promedio diaria del bus.

j : Unidad de bus.

Las ecuaciones anteriormente descritas facilitan el cálculo de la aceleración y desaceleración promedio semanal para la flota de buses de Ibarra. Cuyas fórmulas se ilustran en las Ec. 10 y 11.

$$a_{PROM SEMANAL FLOTA} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^7 a_{PROM DIARIA FLOTA} \quad (10)$$

Donde:

$a_{PROM SEMANAL FLOTA}$: Aceleración promedio semanal de flota.

$a_{PROM DIARIA FLOTA}$: Aceleración promedio diaria de la flota.

i : Día de la semana (1 a 5 = entre semana; 6 = sábado y 7 = domingo).

$$d_{PROM SEMANAL FLOTA} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^7 d_{PROM DIARIA FLOTA} \quad (11)$$

Donde:

$D_{PROM SEMANAL FLOTA}$: Desaceleración promedio semanal flota.

$D_{PROM DIARIA FLOTA}$: Desaceleración promedio diaria flota.

i : Día de la semana (1 a 5 = entre semana; 6 = sábado y 7 = domingo).

Los estados de conducción permiten determinar el comportamiento o estilo de conducción que experimentan los conductores de los autobuses urbanos de Ibarra, para reflexionar sobre el consumo de combustible y la contaminación ambiental. Los estados de conducción de Ralentí (ER), Crucero (EC), Aceleración (EA) y Desaceleración (ED); se calculan a partir de las Ec. 12, 13, 14, y 15 respectivamente.

$$E_R = \sum_{i=1}^n \frac{T_{Ri}}{T_{Ti}} * 100\% \quad (12)$$

Donde:

E_R : Porcentaje de permanencia en ralentí.

T_{Ri} : Tiempo de permanencia en ralentí.

T_{Ti} : Tiempo total de viaje.

$$E_C = \sum_{i=1}^n \frac{T_{Ci}}{T_{Ci}} * 100\% \quad (13)$$

Donde:

E_C : Porcentaje de permanencia en crucero.

T_{Ci} : Tiempo de permanencia en crucero.

T_{Ci} : Tiempo total de viaje.

$$E_A = \sum_{i=1}^n \frac{T_{Ai}}{T_{Ai}} * 100\% \quad (14)$$

Donde:

E_A : Porcentaje de permanencia en aceleración.

T_{Ai} : Tiempo de permanencia en aceleración.

T_{Ai} : Tiempo total de viaje.

$$E_D = \sum_{i=1}^n \frac{T_{Di}}{T_{Di}} * 100\% \quad (15)$$

Donde:

E_D : Porcentaje de permanencia en desaceleración.

T_{Di} : Tiempo de permanencia en desaceleración.

T_{Di} : Tiempo total de viaje.

En el análisis de resultados es importante analizar los estados de conducción por operadora, ruta, modelo de bus, sector de la ciudad, edad del conductor y franja horaria con respecto a los estados de conducción promedio de toda la flota de autobuses urbanos de Ibarra. Por lo tanto se aplicó las Ec. 16, 17, 18 y 19 para determinar la permanencia promedio de los estados de ralentí, crucero, aceleración y desaceleración, respectivamente.

$$E_{RP} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^7 E_R \quad (16)$$

Donde:

E_{RP} : Porcentaje de permanencia promedio en ralentí.

E_R : Porcentaje de permanencia en ralentí.

i : Día de la semana (1 a 5 = entre semana; 6 = sábado y 7 = domingo).

$$E_{CP} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^7 E_C \quad (17)$$

Donde:

E_{CP} : Porcentaje de permanencia promedio en crucero.

E_C : Porcentaje de permanencia en crucero.

i : Día de la semana (1 a 5 = entre semana; 6 = sábado y 7 = domingo).

$$E_{AP} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^7 E_A \quad (18)$$

Donde:

E_{AP} : Porcentaje de permanencia promedio en aceleración.

E_A : Porcentaje de permanencia en aceleración.

i : Día de la semana (1 a 5 = entre semana; 6 = sábado y 7 = domingo).

$$E_{DP} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^7 E_D \quad (19)$$

Donde:

E_{DP} : Porcentaje de permanencia promedio desaceleración.

E_D : Porcentaje de permanencia en desaceleración.

i : Día de la semana (1 a 5 = entre semana; 6 = sábado y 7 = domingo).

3.4. Selección de equipos GPS para monitoreo

Se implementa el registrador de datos GL-770 Profesional GNSS Data Logger (Soporte de GPS y GLONASS), conformado por un receptor GPS, de tipo comercial utilizado en negocios y empresas en el área industrial, automotriz, entre otras. Este dispositivo incluye una retroalimentación audible y

un sensor de movimiento que genera la máxima duración de la batería. Los datos, se pueden obtener con una frecuencia de 1 a 5 Hz, en un rango máximo de 35 horas de funcionamiento. Para reforzar la información obtenida se cuenta con un programa que permite la importación de los datos; además muestra pistas o rutas en el mapa de Google Map. En la Fig. 3. se ilustra el dispositivo que se adquiere.



Fig. 3. Dispositivo GPS GL-770

Entre sus características más importantes se tiene:

- Pequeño, robusto e impermeable
- Inalámbrico
- Velocidad de transferencia de datos = 12 Mbps
- Conector USB = tipo A hembra
- Frecuencia de actualización = 1 a 5 Hz
- Memoria = 64 Mbit
- Waipoints = 250 000 (predeterminado) o más
- Tiempo de operación = 35 horas
- Dimensión = 52 x 82 x 19 mm
- Datos = Fecha, hora, latitud, longitud, altura, velocidad, distancia.
- Exportación de datos = Software “TSI LogView”

3.5. Pruebas piloto de equipos GPS

Las pruebas piloto facilitan la manipulación de los dispositivos GPS de una manera adecuada con la finalidad de evitar errores al momento del levantamiento de los datos reales. Antes de realizar las pruebas piloto se registra y configura el dispositivo GPS en el programa “LogView”; para ello se conecta el dispositivo a la computadora por medio del cable USB. Al finalizar la configuración del dispositivo, se realiza varias pruebas con el dispositivo, ya sea caminando o a través de un medio de transporte. Esto permite comprobar que los dispositivos se encuentren en perfectas condiciones.

El dispositivo GPS se instaló en un bus de la ruta Católica - Alpachaca; se colocó en la parte interna del parabrisa delantero del bus, sujeto a través de una cinta de doble faz; se prendió el GPS; este captó la señal del satélite y empezó a grabar los datos durante todo el día; al finalizar la jornada de trabajo se lo retiró

para proceder con la exportación de los datos obtenidos, así como se muestra en la Fig. 4.

ID	Nombre del Track	Inicio	Fin	Dir	Distancia Total	Velocidad	Altura	Velocidad	Distancia
1	2017/10/18 18:01:00	2017/10/18 18:01:00	0	0	0.00 km/h	0.00 m	0.00 km/h	0.00 m	0.00 m
2	2017/10/18 18:01:01	2017/10/18 18:01:01	0	0	0.00 km/h	0.00 m	0.00 km/h	0.00 m	0.00 m
3	2017/10/18 18:01:02	2017/10/18 18:01:02	0	0	0.00 km/h	0.00 m	0.00 km/h	0.00 m	0.00 m
4	2017/10/18 18:01:03	2017/10/18 18:01:03	0	0	0.00 km/h	0.00 m	0.00 km/h	0.00 m	0.00 m
5	2017/10/18 18:01:04	2017/10/18 18:01:04	0	0	0.00 km/h	0.00 m	0.00 km/h	0.00 m	0.00 m
6	2017/10/18 18:01:05	2017/10/18 18:01:05	0	0	0.00 km/h	0.00 m	0.00 km/h	0.00 m	0.00 m
7	2017/10/18 18:01:06	2017/10/18 18:01:06	0	0	0.00 km/h	0.00 m	0.00 km/h	0.00 m	0.00 m
8	2017/10/18 18:01:07	2017/10/18 18:01:07	0	0	0.00 km/h	0.00 m	0.00 km/h	0.00 m	0.00 m
9	2017/10/18 18:01:08	2017/10/18 18:01:08	0	0	0.00 km/h	0.00 m	0.00 km/h	0.00 m	0.00 m
10	2017/10/18 18:01:09	2017/10/18 18:01:09	0	0	0.00 km/h	0.00 m	0.00 km/h	0.00 m	0.00 m
11	2017/10/18 18:01:10	2017/10/18 18:01:10	0	0	0.00 km/h	0.00 m	0.00 km/h	0.00 m	0.00 m
12	2017/10/18 18:01:11	2017/10/18 18:01:11	0	0	0.00 km/h	0.00 m	0.00 km/h	0.00 m	0.00 m
13	2017/10/18 18:01:12	2017/10/18 18:01:12	0	0	0.00 km/h	0.00 m	0.00 km/h	0.00 m	0.00 m
14	2017/10/18 18:01:13	2017/10/18 18:01:13	0	0	0.00 km/h	0.00 m	0.00 km/h	0.00 m	0.00 m
15	2017/10/18 18:01:14	2017/10/18 18:01:14	0	0	0.00 km/h	0.00 m	0.00 km/h	0.00 m	0.00 m
16	2017/10/18 18:01:15	2017/10/18 18:01:15	0	0	0.00 km/h	0.00 m	0.00 km/h	0.00 m	0.00 m
17	2017/10/18 18:01:16	2017/10/18 18:01:16	0	0	0.00 km/h	0.00 m	0.00 km/h	0.00 m	0.00 m

Fig. 4. Exportación de los datos de prueba piloto

La lectura de los datos también comprendió visualizar las pistas en un mapa de Google, para ello el principal requisito es estar conectado a internet, caso contrario no se podría ilustrar la ruta. En la Fig. 5. se observa la pista de viaje de la ruta Católica - Alpachaca.

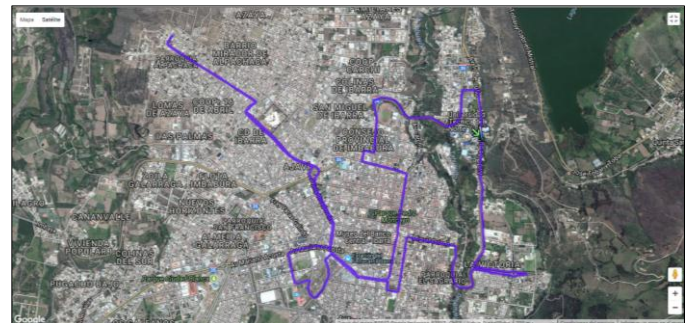


Fig. 5. Mapa de la ruta Católica-Alpachaca

3.6. Levantamiento de datos en cada ruta de bus

El levantamiento de datos se realiza entre noviembre y enero, ya que es una época en la cual el tiempo y las actividades educativas, comerciales, laborales son normales, lo cual garantiza tener datos reales en función de las condiciones cotidianas de tráfico de la ciudad. Se monitorea todas las rutas de Ibarra durante todo el día en tres estados diferentes: Entre semana, sábado y domingo. Cada estado es diferente, por lo tanto, conlleva a que existan cambios de horarios, frecuencias, rutas y otros factores que afectan el estado de conducción. Los datos se obtienen con una frecuencia de 1 Hz es decir que en cada hora se registra 3 600 registros.

Entre semana, se monitorea se monitorean en total 92 buses, de lo cual se obtuvo 472 viajes y 3 130 908 registros. Para los sábados se monitorean 39 buses y se obtuvieron 195 viajes y 1 274 812 registros; mientras que en los domingos se emplearon 37 buses, dando como resultado 165 viajes y 1 108 146 registros. El tiempo total de grabación fue de 1 531 horas con 36 minutos.

Los dispositivos GPS se colocan en la parte interna del parabrisa delantero del vehículo, así como se muestra en la Fig. 6. Para asegurar el dispositivo en el parabrisa se necesita cinta

de doble faz, la cual permite que el dispositivo permanezca sujeto en dicho lugar sin ningún inconveniente durante todo el día de seguimiento de datos.



Fig. 6. Instalación del dispositivo GPS GL-770 en un bus

Es importante determinar los datos del bus que se monitorea para comprender y ordenar de mejor manera los datos obtenidos; además facilita el análisis de resultados al momento de comparar entre operadoras, rutas, marcas, modelos, años de fabricación e incluso entre edades de los conductores. Para la recolección de estas características se emplea una planilla, que se ilustra en la Fig. 7, que permite recolectar datos sobre la ruta, operadora, fecha, número del GPS, número del autobús, la marca, carrocería y año del autobús; edad del conductor y el horario de salida y llegada del vehículo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE										
Sistema de Transporte Urbano										
Ibarra - Ecuador										
DATOS DE LOS BUSES UTILIZADOS PARA EL ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS CINEMÁTICAS DE LAS RUTAS DE LOS AUTOBUSES URBANOS DE IBARRA										
Ruta:		Operadora:			Fecha:					
N° GPS	N° Autobús	Marca	Carrocería	Año	Edad del Conductor (Años)				Hora de Salida	Hora de Llegada
					20 - 30	31 - 40	41 - 50	51 - 60		

Fig. 7. Planilla para determinar datos de los buses de estudio

3.7. Elaboración y procesamiento de base de datos

Una vez realizado el levantamiento de datos se los exporta en el programa “LogView” en formato (.nmea); posteriormente se importan los datos en formato (.csv). Los datos importados se guardan de manera ordenada en una carpeta llamada “DATA CRUDA” así como se muestra en la Fig.8, la cual contiene dos subcarpetas: la carpeta “1” que corresponde a la operadora “28 de Septiembre” y la carpeta “2” pertenece a la operadora “San Miguel de Ibarra”. Dentro de la subcarpeta “1” se crean 13 carpetas: “A”= Aloburo; “B”= Arcángel-San Cristóbal; “C”= Azaya-Campiña; “D”= Caranqui-Aduana; “E”= Carmen-Bellavista; “F”= Católica-Alpachaca; “G”= Chorlaví-La Victoria; “H”= Milagro-Yahuarcocha; “I”=

Naranjito; “J”= Palmas-Ceibos; “K”= Pugacho-Santa Teresita; “L”= Santa Rosa-Los Ceibos; “M”= Tanguarín-Aduana. La subcarpeta “2” contiene 9 carpetas: “N”= Caranqui-Universidades; “O”= Chugchupungo-La Florida; “P”= Colinas del Sur-Aduana; “Q”= Ejido de Caranqui-Miravalle “R”= La Esperanza-Huertos Familiares; “S”= 19 de Enero-Odilas; “T”= Santa Isabel-Huertos Familiares; “U”= Santa Lucía-La Victoria; “V”= Santo Domingo-Universidades.

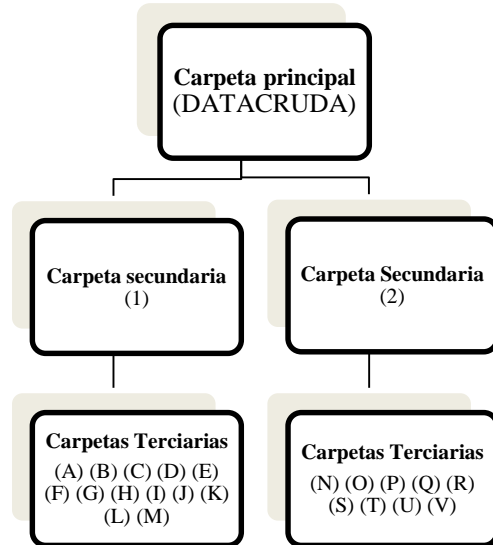


Fig. 8. Distribución de la base de datos

El procesamiento de datos se realiza a partir de la elaboración de la base de datos (DATA CRUDA) y el software libre estadístico R; un programa dinámico, completamente destinado y apropiado para el análisis de grandes cantidades de datos, Primeramente, se realiza la instalación del programa R, para ello se acude a su página principal “http://www.r-project.org” en la cual se puede descargar gratuitamente la última versión del programa o cualquiera de las anteriores. Para este estudio se trabajó con la versión 3.4.2 (2017-09-28). Al iniciar el software, la ventana de R muestra cuatro secciones; la parte donde se muestra los datos, la sección de trabajo, la consola de R y la parte de los ficheros, paquetes etc. Una vez instalado el programa R y todos sus paquetes necesarios para el correcto funcionamiento de este, se realiza, el tratamiento e interpretación de la base de datos mediante códigos de programación y con una serie de pasos que se da a conocer a continuación:

En primer lugar se realiza la lectura de la base de datos, para guardar dichos archivos en RStudio. Durante el estudio se obtiene 168 archivos y 6 558 935 registros con más de 100 000 datos cinemáticos.

Luego se procede hacer la limpieza de los datos inválidos de cada Data Frame. Se considera datos inválidos a el tiempo de espera que experimentan los buses, comprendido entre la finalización de una vuelta y el inicio de la siguiente vuelta, en el cual la velocidad es cero y el tiempo mínimo de espera que se puede tener es alrededor de 5 minutos, este tiempo varía en función de la ruta en la que se encontraron laborando. Los desvíos o tramos diferentes a la ruta que experimentan los

buses, ya sea por cuestiones de fallas mecánicas, cambios de horarios, desastres naturales, trabajos en la vía o finalización de la ruta en otros

antes del retiro de los dispositivos GPS.

Estos datos innecesarios se eliminan con la ayuda de las hojas de trabajo de cada operadora, donde se ilustran los horarios y lugares de control; también se lo realiza mediante la graficación de las rutas a través del programa “LogView” para determinar el recorrido que experimentan los buses. Con la ayuda de estas herramientas y el RStudio, se determinan los rangos o filas válidas en cada Data Frame. A continuación se selecciona las columnas necesarias de cada Data Frame correspondientes a las variables de estudio que facilitan la obtención de los resultados.

La división de vueltas facilita determinar el tiempo de viaje y la distancia recorrida durante una vuelta por cada ruta. Para seleccionar correctamente las vueltas se acude a las hojas de trabajo de los buses para verificar los horarios, su selección consiste en dividir un Data Frame en otros Data Frames de acuerdo con el número de vueltas que haya experimentado cada bus de estudio.

La creación de nuevas variables de estudio permite diferenciar entre Data Frames, en función de la operadora de transporte, la ruta de estudio, el día en el que se realizó el estudio, el número del bus de monitoreo, la marca, el modelo y el año de fabricación del bus de estudio, la edad del conductor, número de vuelta que recorrió el bus y los tiempos de los diferentes estados de marcha que experimentaron los buses monitoreados. Esta información garantiza de manera ordenada el análisis de resultados finales. Luego de la creación es importante especificar que las variables cuantitativas de la aceleración y los tiempos de estados de marcha del vehículo sean de tipo numérico, y cuyo valor sea igual a cero para eliminar todos los datos falsos que puedan existir.

Posteriormente se realiza el cálculo de la aceleración y los tiempos de permanencia de los estados de marcha que experimentan los buses durante todo el día en el transcurso de las rutas urbanas de Ibarra. Para el correcto cálculo de dichas variables se recomienda que tanto la velocidad como la aceleración se encuentren en las unidades correspondientes; es decir en (km/h) y (m/s^2) respectivamente. Una vez conseguido que las variables de la velocidad y la aceleración se encuentren con los valores de las unidades correspondientes, se emplean condiciones en función de las variables anteriormente nombradas, estableciendo que si cumple la condición dada se ejecute el número uno (1) y si no cumple marque cero (0) así como se muestra en la Fig. 9. La obtención de estos valores permite sumar tantos unos y tantos ceros para conseguir el promedio de cada uno y por ende calcular el porcentaje obtenido en cada estado de marcha. Las condiciones para los ciclos de conducción son:

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

TIEMPO.RALENTÍ (s)	TIEMPO.CRUCERO (s)	TIEMPO.ACCELERACIÓN (s)	TIEMPO.DESACELERACIÓN (s)	TIEMPO (s)
1	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	1	0	0	0
0	0	0	0	1
0	1	0	0	0
0	0	0	0	1
0	0	0	0	1
0	0	0	0	1
0	0	0	0	1
1	0	0	0	0
1	0	0	0	0
1	0	0	0	0
1	0	0	0	0
1	0	0	0	0
0	0	0	1	0

Fig. 9. Apariencia del cálculo de los estados de conducción en RStudio

Luego del cálculo de las variables cuantitativas se realiza la unión de Data Frames que consiste en obtener la base de datos real (DATANUEVA) de cada uno de los buses de monitoreo, además en esta sección se crea un solo Data Frame que contiene toda la nueva base de datos creada; esto se realiza con la facilidad de analizar los resultados finales, al momento de comparar entre operadoras, rutas, datos del bus, edad del conductor, horarios, sectores etc.

La importación de los Data Frames finales (DATANUEVA) corresponde al guardado de los archivos mediante una codificación ejecutable en RStudio. Los datos se exportan de RStudio a la PC de manera ordenada en una carpeta llamada “DATANUEVA” dentro de la cual se tuvo subcarpetas ubicadas de la misma manera como se muestra en la Fig. 8, con la diferencia que esta sección los archivos finales se guardan en subdivisiones; es decir en vueltas recorridas por los buses.

Finalmente se eliminó la base de datos (DATACRUDA), aquella que se lee al inicio en RStudio y parte de la base de datos (DATANUEVA) que corresponde a los archivos de cada bus obtenidos en el primer punto de la unión de Data Frames con la finalidad de analizar los datos únicamente en los archivos finales obtenidos (DATANUEVA), correspondientes a los días de monitoreo y a la tabla final; ya que estos cuentan con las variables cualitativas y cuantitativas seleccionadas y calculadas respectivamente durante el procesamiento de datos.

3.8. Obtención de resultados

Se aplica códigos de programación en RStudio para determinar los porcentajes de estados de marcha en ralentí, crucero, aceleración y desaceleración; así como también las velocidades y aceleraciones máximas y promedios por operadora, ruta, modelo de bus, sector, edad del conductor y horario de operación de los buses. Los Data Frames que se utilizan para el análisis de los datos son tres que se obtienen de la unión de Data Frames; cuyos nombres son DATA_ENTRE SEMANA, DATA_SABADO y DATA_DOMINGO. En primer lugar, se crea variables útiles para analizar los resultados, en este caso estas variables son: sector, edad, horario, acelera y desacelera.

Se realiza la sectorización de la ciudad de Ibarra mediante cuadrantes, en la cual se determina los puntos de latitud y longitud de los sectores más importantes de la ciudad, así como se aprecia en la Fig. 10 conjuntamente con la Tabla II.

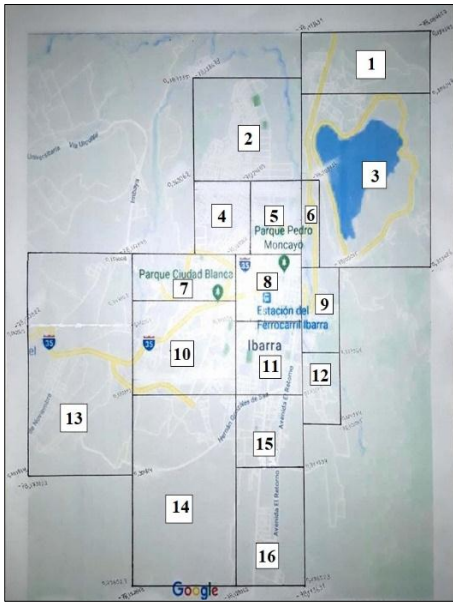


Fig. 10. Sectorización de la ciudad de Ibarra

TABLA II. SECTORIZACIÓN DE LA CIUDAD DE IBARRA

N°	Tipo	Sector	Latitud (GD)	Longitud (GD)
1	Urbano	Priorato	0.384047 a 0.394349	-78.113631 a -78.084657
2	Urbano	Azaya	0.369062 a 0.387935	-78.138673 a -78.113631
3	Perimetral	Yahuarcocha	0.353426 a 0.384047	-78.113631 a -78.084657
4	Urbano	Alpachaca	0.356008 a 0.369062	-78.138673 a -78.124689
5	Perimetral	Estadio y Huertos Familiares	0.356008 a 0.369062	-78.124689 a -78.113631
6	Urbano	El Olivo	0.353426 a 0.369062	-78.113631 a -78.109436
7	Urbano	Pugacho y Milagro	0.347103 a 0.356008	-78.152848 a -78.128962
8	Hipercentro	Hipercentro	0.343391 a 0.356008	-78.128962 a -78.113631
9	Urbano	La Victoria	0.337964 a 0.353426	-78.113631 a -78.105015
10	Perimetral	La Florida y 10 de Agosto	0.330349 a 0.347103	-78.152848 a -78.128962
11	Urbano	Los Ceibos	0.330349 a 0.343391	-78.128962 a -78.113631
12	Perimetral	La Campiña y La Primavera	0.324974 a 0.337964	-78.113631 a -78.105015
13	Perimetral	San Antonio y Soles	0.301814 a 0.356008	-78.173822 a -78.152848
14	Perimetral	Ejido de Caranqui	0.296523 a 0.330349	-78.152848 a -78.128962
15	Urbano	Caranqui	0.317897 a 0.330349	-78.128962 a -78.113631
16	Perimetral	La Esperanza	0.296523 a 0.317897	-78.128962 a -78.113631

Una vez que se calcula las variables cualitativas y cuantitativas se determina el porcentaje de permanencia que experimentan los buses en cada estado de marcha: ralentí, crucero, aceleración y desaceleración; además se calcula las velocidades, aceleraciones y desaceleraciones tanto promedio como máximas. Estos estados se analizan para los días entre semana, sábados y domingos y en diferentes campos de estudio como operadora, ruta, modelo de bus, sector de la ciudad, edad del conductor y franja horaria. Su obtención se la realiza mediante códigos de programación en RStudio y la aplicación de las condiciones para cada estado de marcha que se determinaron anteriormente.

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Entre los tópicos de estudio se tiene los estados de conducción de los autobuses, las velocidades, las aceleraciones, y las desaceleraciones máximas y promedios respectivamente en base a las operadoras de autobuses urbanos de Ibarra, las rutas, modelo del vehículo, el sector por el que transitan, la edad de los conductores y la franja horaria.

4.1. Análisis cinemático de los estados de conducción de la flota de autobuses

- General

En la Tabla III, se determinó que los autobuses se mantuvieron más en aceleración con una permanencia del 30,9 %; aunque existe una diferencia mínima del 0,7 % con el estado de ralentí; esto quiere decir que en la ciudad existe un número considerado de semáforos, lo que obligó a los conductores a detenerse bastante tiempo; y al momento de ponerse en marcha realizaron aceleraciones repetitivas, que al encontrarse nuevamente con interrupciones redujeron su velocidad por lo cual experimentaron desaceleraciones con una diferencia del 6 % en base a la aceleración. Como último se tuvo el estado de velocidad crucero con el 15 % de diferencia con respecto a los dos primeros; esto indica que no se encuentran tramos de velocidad constante dentro de la ciudad.

TABLA III. ESTADOS DE CONDUCCIÓN GENERAL

Días	Ralentí (%)	Crucero (%)	Aceleración (%)	Desaceleración (%)
Entre semana	29,9	14,5	31,3	24,3
Sábado	29,2	16,2	30,3	24,3
Domingo	28,5	18,0	29,7	23,8
Promedio	29,6	15,2	30,9	24,2

Los porcentajes de permanencia de los autobuses urbanos de Ibarra no presentaron variaciones en función de la operadora, del modelo de vehículo, de la edad de los conductores y de la franja horaria, ya que los resultados muestran estilos de conducción similares. Los factores que tuvieron incidencia en los porcentajes de permanencia de los estados de conducción fueron la ruta y el sector de la ciudad.

- Por ruta

Se analizó el porcentaje de permanencia en el cual los buses se encontraron en ralentí durante los días entre semana, sábado y domingo con la finalidad de determinar que rutas son las que permitieron que los buses se encuentren más parados durante un viaje. En la Fig. 11, se aprecia que el estado de ralentí promedio general fue de 29,6 %; por lo tanto, las ruta que está más en ralentí entre semana fue Católica-Alpachaca (38,3 %); la ruta que estuvo menos en ralentí fue Carmen-Bellavista (18,9 %), ya que dicha ruta se encuentra mayormente en tramos perimetrales. Para los sábados se mantuvo el mismo orden con menos del 1 %; mientras que la que menos estuvo en ralentí fue Naranjito (22,3 %). En los domingos, el panorama fue diferente, la ruta que se permaneció más en ralentí fue Católica-Alpachaca (35,2 %); la de menor ralentí fue Carmen-Bellavista (16,1 %).

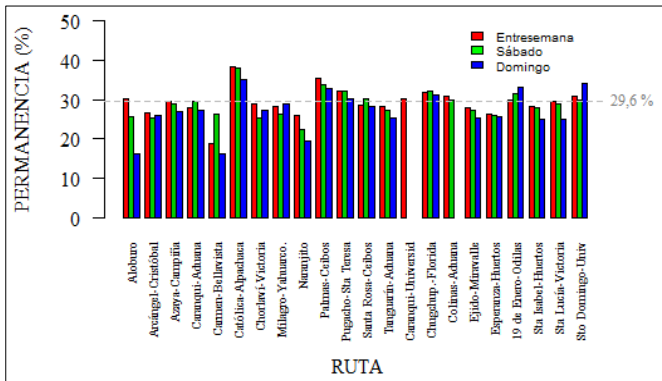


Fig. 11. Permanencia del estado de ralentí por ruta

El porcentaje de permanencia promedio general del estado de crucero fue de 15,2 %, así como se muestra en la Fig. 12. Para los días de entre semana la ruta que se mantuvo más en crucero fue Naranjito (20,6 %); para el sábado fue Naranjito (28,5 %); mientras que para el domingo se obtuvo a Aloburo (27,9 %). La ruta que se encontró en menor permanencia de crucero para entre semana fue Católica-Alpachaca (11,1 %); para el sábado se tuvo a Católica-Alpachaca (12,3 %); mientras que para domingo fue 19 de Enero-Odilas (13,3 %). Las rutas que presentan mayor porcentaje de permanencia en crucero son aquellas en las cuales los buses adquieren mayormente velocidades constantes, es decir gran parte de la ruta pasan por sectores perimetrales.

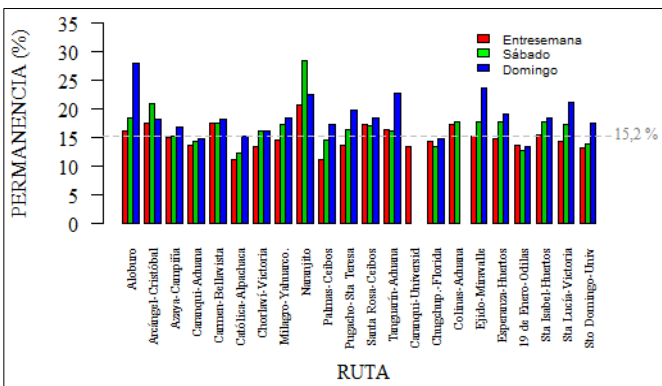


Fig. 12. Permanencia estado de velocidad crucero por ruta

En la Fig. 13, se observa que el porcentaje de permanencia promedio general en aceleración fue de 30,9 %; con respecto a este índice; la ruta que más se encontró en aceleración durante los días entre semana fue Carmen-Bellavista (33,6 %); en cuanto a los sábados se obtuvo a la ruta Caranqui-Adhuna (32,6 %); mientras que para los domingos se obtuvo la ruta Carmen-Bellavista (34,2 %). En cuanto a los menores índices de permanencia en aceleración se los pudo apreciar en la ruta Católica-Alpachaca (27,7 %) para los días entre semana; Naranjito (25,6 %) en los sábados; y finalmente Santo Domingo-Universidades en los domingos.

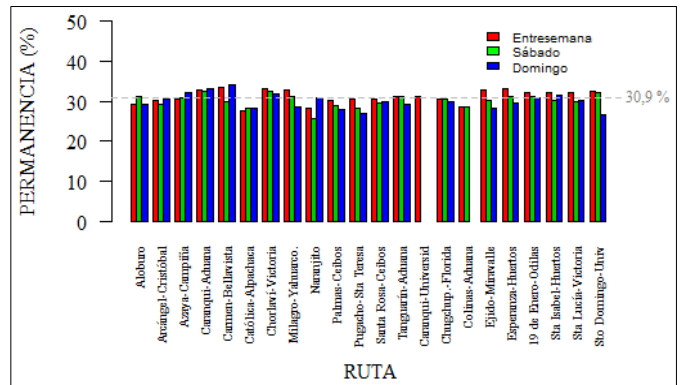


Fig. 13. Permanencia estado de aceleración por ruta

A partir de la Fig. 14, se puede apreciar que la ruta que experimentó mayor permanencia en desaceleración durante los días entre semana fue Carmen-Bellavista (30,1 %); mientras que las de menor índice de desaceleración fue Católica-Alpachaca (23 %). En el caso de los sábados la ruta que mayormente estuvo más desacelerada fue Carmen-Bellavista (26,5 %); la de menor desaceleración fue Católica-Alpachaca (21,4 %). Para los domingos el estado de conducción de desaceleración tuvo mayor presencia en la ruta Carmen-Bellavista (31,5 %) debido a que tienen grandes tramos inclinados; la ruta Católica-Alpachaca (21,4 %) fue la de menor índice de desaceleración.

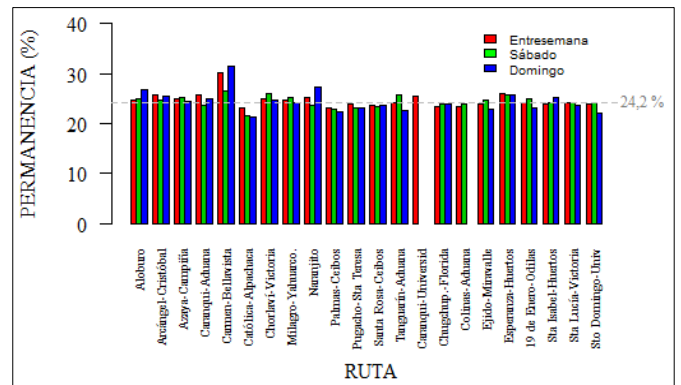


Fig. 14. Permanencia estado de desaceleración por ruta

- Por sector

A continuación, se analizó los estados de conducción en base a los sectores de la ciudad: hipercentro, perimetral y urbano tanto para los días de entre semana, sábado y domingo.

En la Fig. 15 se observa que, entre semana, el sector en el cual los buses se hallaron más en ralentí fue el hipercentro con el 43,4 % de permanencia, seguido estuvo el urbano con el 22,4 % y finalmente el perimetral con el 21,4 %. En el estado de aceleración la parte urbana fue el sector en el cual los buses permanecen más acelerados con un 34,3 %, seguido está la parte perimetral con un 34 % y finalmente apareció el hipercentro con el 25,4 %. En cuanto al estado de conducción de desaceleración el orden fue similar al de la aceleración, 26,1 % en urbano, 25,8 % en perimetral y 21,2 % en hipercentro. El sector en el cual los buses se concentraron más en cruceo fue el perimetral con el 18,7 %, seguido el urbano con el 17,3 % y finalmente se obtuvo al hipercentro con tan solo el 10 %.

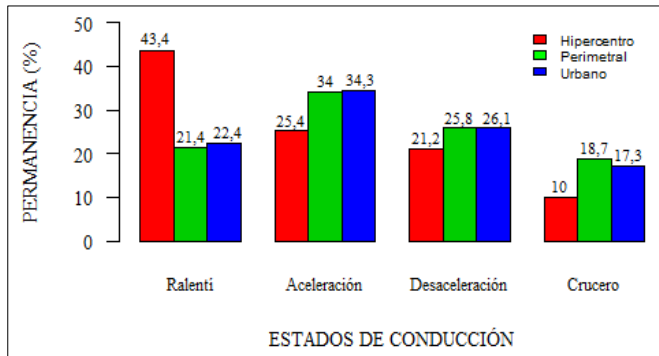


Fig. 15. Permanencia de los estados de conducción por sector - Entre semana

Para los sábados, el análisis se muestra en la Fig. 16 donde el sector en el cual los buses mayormente estuvieron en ralentí fue el hipercentro con el 44,3 % de permanencia, seguido estuvo el perimetral con el 20,7 % y finalmente el urbano con el 20,5 %. En el estado de aceleración la parte urbana fue el sector en el cual los buses estuvieron más acelerados con un 33,7 %, seguido estuvo la parte perimetral con un 32,8 % y como último el hipercentro con el 24,2 %. En cuanto al estado de conducción de desaceleración el orden fue similar al de la aceleración, 26,5 % en urbano, 25,8 % en perimetral y 20,5 % en hipercentro. El sector en el cual los buses permanecieron más en cruceo fue el perimetral con el 20,7 %, seguido el urbano con el 19,2 % y finalmente el hipercentro con tan solo el 11 %.

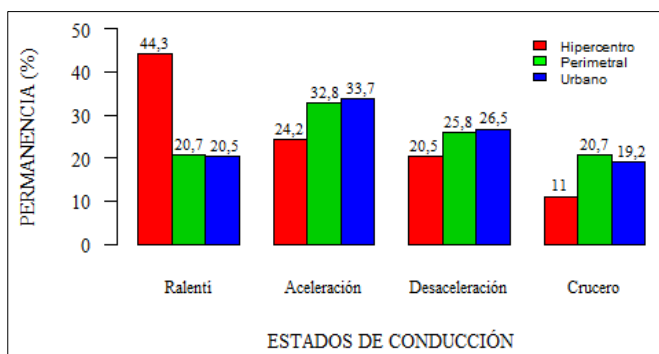


Fig. 16. Permanencia de los estados de conducción por sector - Sábado

En cuanto a los domingos, se muestra en la Fig. 17 que el hipercentro fue el sector donde los buses permanecieron más en ralentí con el 44,3 % de permanencia, seguido se tuvo el urbano con el 20,4 % y finalmente el perimetral con el 19,5 %. La parte urbana y perimetral fueron los sectores en los cuales los buses

perduraron más acelerados con un 32,7 % y en último lugar se tuvo el hipercentro con un 23,2 %. Los buses persistieron más desacelerados en el sector perimetral con el 25,9 %, seguido se obtuvo el sector urbano con un 25,7 % y finalmente se encontró el hipercentro con el 19,9 %. El sector en el cual los buses se encontraron en mayor porcentaje de permanencia en cruceo fue el perimetral con el 21,9 %, segundo fue el urbano con el 21,2 % y en último lugar apareció el hipercentro con tan solo el 12,6 %.

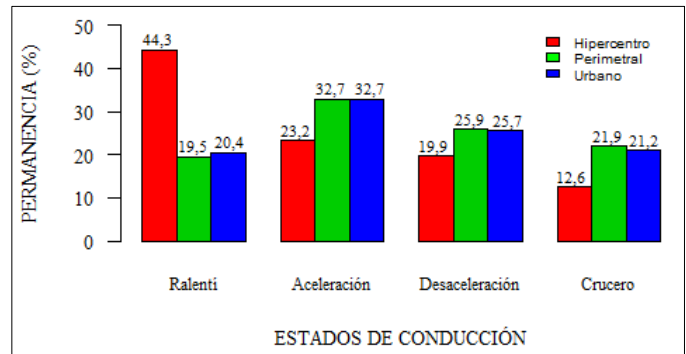


Fig. 17. Permanencia de los estados de conducción por sector - Domingo

4.2. Análisis cinemático de la velocidad máxima y promedio de la flota de autobuses

- General

Con base en la Tabla IV se determinó que la velocidad máxima general que alcanzan los buses de Ibarra fue 108,6 km/h en un bus Chevrolet FTR de la ruta Tanguarín-Aduana, en un día entre semana a una hora pico y operado por un conductor de edad entre 30 y 39 años. Según el Artículo 191 del Reglamento General de Aplicación a la Ley Orgánica de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial, los autobuses de Ibarra superaron los límites de velocidad.

TABLA IV. VELOCIDAD MÁXIMA Y PROMEDIO GENERAL

Días	Velocidad máxima (km/h)	Velocidad promedio (km/h)
Entre semana	108,583	13,314
Sábado	96,156	13,436
Domingo	86,396	13,462
Promedio	103,638	13,353

La velocidad promedio general de los autobuses fue de 13,35 km/h y no tuvo mayor variación en función de la operadora, del día, del modelo de vehículo, de la edad de los conductores y de la franja horaria. Los factores que presentaron incidencia fueron la ruta y el sector de la ciudad.

- Por ruta

En función de la Fig. 18, se dice que, la ruta Carmen-Bellavista es la que experimentó mayor velocidad con una gran diferencia del 46 % con respecto al valor general; seguido se tuvo la ruta Milagro-Yahuarcocha, cuyo valor superó a la general en 23 % y finalmente se encontró las rutas Aloburo, Caranqui-Aduana,

Chorlaví-La Victoria, Tanguarín-Aduana, Santa Isabel-Huertos Familiares y Arcángel-San Cristóbal que cuyos valores se encuentran sobre la velocidad promedio general en 7 % de diferencia. Con respecto a las de menor velocidad promedio, se obtuvo que la ruta Católica-Alpachaca es la que ocupó el último lugar con una diferencia de 3 km/h con respecto a la velocidad promedio general. Esto indica que las rutas que poseen menor velocidad promedio son aquellas que mayor parte de su tramo pasan por sectores urbanos e incluso por el hipercentro; mientras que las que adquieren mayor velocidad, su trayectoria está conformada por gran parte de tramos perimetrales.

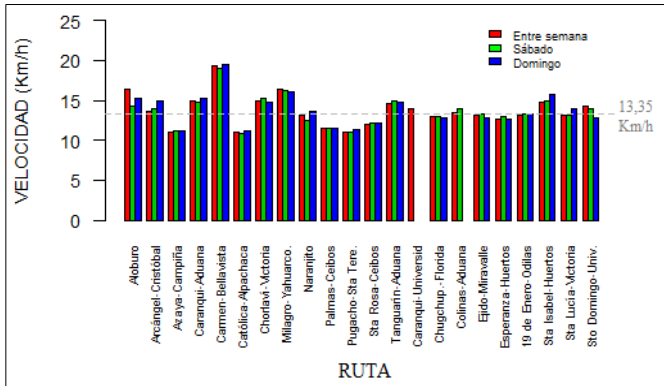


Fig. 18. Velocidad promedio por ruta

- Por sector

Se aprecia en la Fig. 19 que en el sector perimetral es donde los buses practicaron mayor velocidad ya que sobrepasaron el valor general en 3,65 km/h, esto indica que en dicha zona casi no existe interrupciones como semáforos o rompe velocidades. Los buses cuando se encontraron en las zonas urbanas adquirieron una velocidad promedio casi similar a la general; la sobrepasó con tan solo 1 km/h. En el hipercentro se nota más la presencia de tráfico vehicular, semáforos, rompe velocidades e incluso zonas peatonales, ya que en este lugar los buses adquirieron menor velocidad promedio con una diferencia máxima de 5 km/h con respecto a la velocidad promedio general de toda la flota de autobuses urbanos de Ibarra.

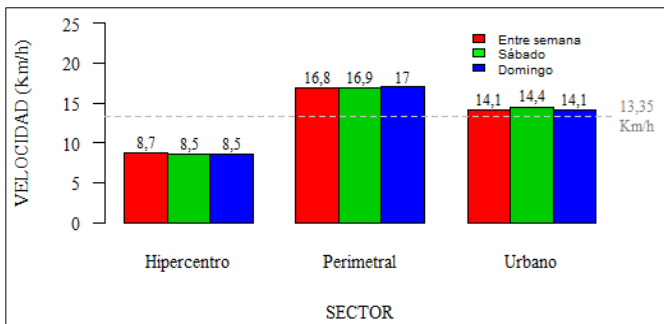


Fig. 19. Velocidad promedio por sector

4.3. Análisis cinemático de la aceleración y desaceleración máxima de la flota de autobuses

En la Tabla V se determinó que, la aceleración y desaceleración máxima promedio general de la flota de autobuses urbanos de Ibarra fue de 14,73 m/s² y -10,64 m/s², respectivamente. La aceleración y desaceleración máxima entre semana fue mayor con respecto a la general con 2 m/s² y -1 m/s² respectivamente. En cuanto a los fines de semana, los valores de la aceleración y desaceleración máxima disminuyeron en 4 m/s² y -2 m/s² respectivamente con respecto a los valores generales. Esto indica que de lunes a viernes existe más tráfico vehicular que los fines de semana, por lo tanto, los vehículos experimentan frenados y acelerones más bruscos, lo que ocasiona mayor consumo de combustible y por ende más contaminación ambiental.

TABLA V. ACELERACIÓN Y DESACELERACIÓN MÁXIMA GENERAL

Días	Aceleración máxima (m/s ²)	Desaceleración máxima (m/s ²)
Entre semana	16,617	-11,524
Sábado	10,644	-8,555
Domingo	9,363	-8,293
Promedio	14,727	-10,638

4.4. Análisis cinemático de la aceleración y desaceleración promedio de la flota de autobuses

- General

En la Tabla VI se observa que, la aceleración y desaceleración promedio general de los buses fue de 0,158 m/s² y -0,158 m/s², respectivamente. La aceleración y desaceleración promedio entre semana fue mayor con respecto a la general con tan solo el 0,1 m/s² y -0,1 m/s² respectivamente. En cuanto a los fines de semana, los valores de la aceleración y desaceleración promedio se redujeron en mínima parte, es decir en 0,1 m/s² y -0,1 m/s² respectivamente con respecto a los valores generales. Esto significa que el estilo de conducción en base a la aceleración y desaceleración promedio se comportó igual.

TABLA VI. ACELERACIÓN Y DESACELERACIÓN PROMEDIO GENERAL

Días	Aceleración promedio (m/s ²)	Desaceleración promedio (m/s ²)
Entre semana	0,163	-0,163
Sábado	0,153	-0,153
Domingo	0,141	-0,141
Promedio	0,158	-0,158

En la aceleración y desaceleración promedio no existió variación en función de la operadora, del día y de la edad del conductor. Las mayores variaciones de aceleración y desaceleración promedio se identificaron en base a la ruta, al modelo del vehículo y al sector de la ciudad.

- Por ruta

En la Fig. 20 se observa que entre semana la ruta con mayor índice de aceleración y desaceleración promedio fue Chorlaví-La Victoria con $0,182 \text{ m/s}^2$ y $-0,182 \text{ m/s}^2$ respectivamente; mientras que la ruta que presentó menor aceleración y desaceleración promedio fue Naranjito con $0,13 \text{ m/s}^2$ y $-0,13 \text{ m/s}^2$ respectivamente. Dichas rutas presentan mayores índices de aceleración, debido a que parte de sus tramos se encuentran en la panamericana.

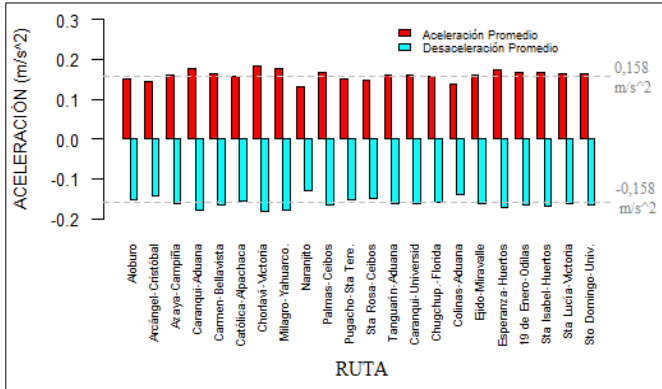


Fig. 20. Aceleración y desaceleración promedio por sector - Entre semana

Para los sábados, se observa en la Fig. 21 que, la ruta con más aceleración y desaceleración promedio fue 19 de Enero-Odilas con $0,179 \text{ m/s}^2$ y $-0,179 \text{ m/s}^2$ respectivamente; mientras que la ruta de menor aceleración y desaceleración promedio fue Naranjito con $0,106 \text{ m/s}^2$ y $-0,106 \text{ m/s}^2$ respectivamente.

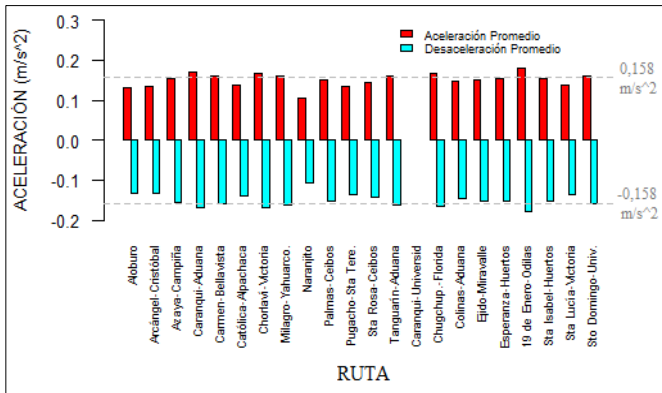


Fig. 21. Aceleración y desaceleración promedio por ruta - Sábado

En la Fig. 22 se observa que en, los domingos, la ruta con mayor índice de aceleración y desaceleración promedio fue Caranqui-Aduana con $0,168 \text{ m/s}^2$ y $-0,169 \text{ m/s}^2$, respectivamente; la ruta de menor aceleración y desaceleración promedio fue Aloburo con $0,118 \text{ m/s}^2$ y $-0,118 \text{ m/s}^2$ respectivamente. Los índices de aceleración y desaceleración promedio se redujeron en un 3 %, en comparación con los obtenidos entre semana.

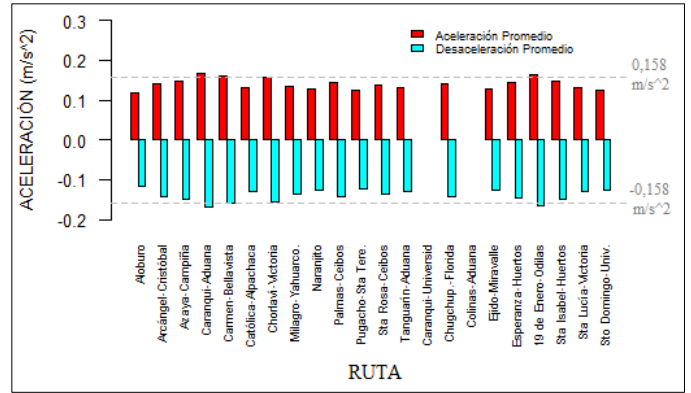


Fig. 22. Aceleración y desaceleración promedio por ruta - Domingo

- Por modelo del vehículo

Se muestra en la Fig. 23 que entre semana los buses Hino GD e Hino RK alcanzan la mayor aceleración y desaceleración promedio, con una diferencia del 26 % en comparación a los demás modelos, esto significa que los buses de este tipo trabajan en perfectas condiciones, ya que aceleran y desaceleran uniformemente sin esforzar exageradamente el motor.

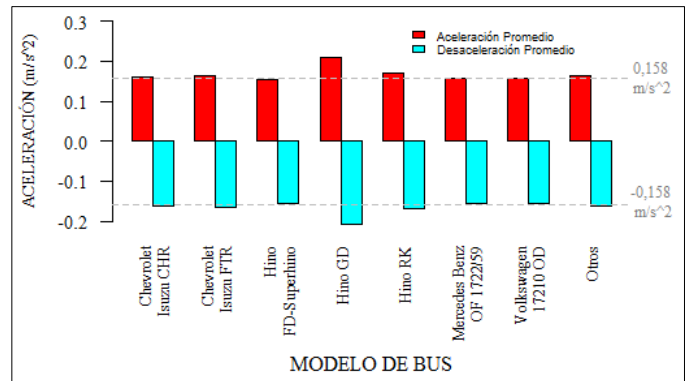


Fig. 23. Aceleración y desaceleración promedio por modelo - Entre semana

Durante los sábados, se analiza en la Fig. 24 que al igual que entre semana, los buses Hino GD e Hino RK son los que adquirieron mayor aceleración y desaceleración promedio; su diferencia en comparación al resto fue de 15 %; este valor fue menor al análisis de lunes a viernes, debido a que en los fines de semana existe menor tráfico vehicular, por lo tanto, el consumo de combustible y la contaminación ambiental disminuye.

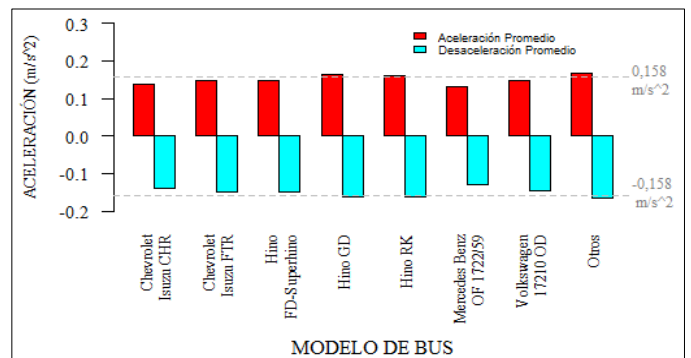


Fig. 24. Aceleración y desaceleración promedio por modelo - Sábado

A partir de la Fig. 25 se dice que, en los domingos, las aceleraciones y desaceleraciones promedio se redujeron en un 13 % en comparación a los días entre semana; y en un 11 % en comparación a los sábados; esto se da porque en los domingos existe menos tráfico que en los sábados y los buses no necesita producir acelerones y frenones bruscos. La marca Hino sigue encabezando con los buses de modelo FD o Superhino con una diferencia en comparación al resto del 10 %.

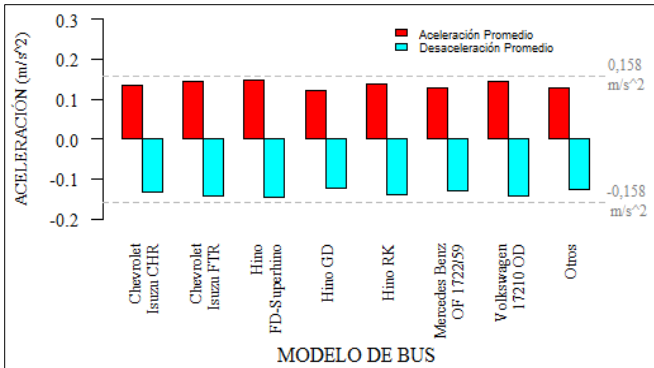


Fig. 25. Aceleración y desaceleración promedio por modelo – Domingo

- Por sector

En la Figura 26 se aprecia que tanto entre semana, sábado y domingo; los conductores de los buses produjeron mayor aceleración y desaceleración promedio cuando se trasladaban por el sector urbano, seguido estuvo el sector perimetral, y finalmente se obtuvo al hipercentro. Entre semana, la parte urbana sacó una diferencia al sector perimetral e hipercentro del 4 % y 22 %, respectivamente; para sábados la diferencia del sector urbano con respecto al perimetral e hipercentro fue del 5 % y 23 %, respectivamente; y en cuanto a los domingos el urbano difirió del perimetral e hipercentro en 2 % y 24 %, respectivamente.

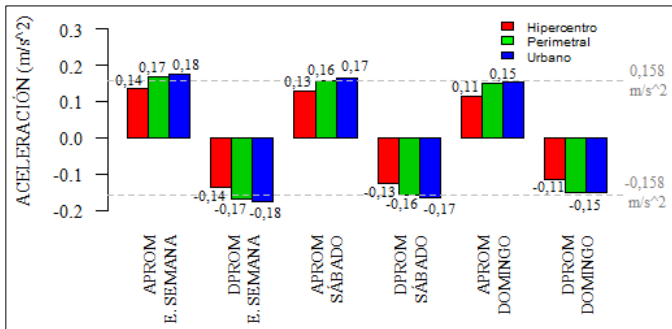


Fig. 26. Aceleración y desaceleración promedio por sector

V. CONCLUSIONES

Se implementó sofisticadamente 10 dispositivos GPS GL-770, de montaje superficial para la obtención de muestreo de datos de posición, trayectoria, velocidad y aceleración de rutas de los autobuses de Ibarra, con una frecuencia de muestreo de 1 Hz con rangos de grabación de hasta 14 horas diarias.

Para el levantamiento de los datos cinemáticos se monitorearon en total 168 autobuses durante 832 viajes. Se aplicó a las 22 rutas de la ciudad de Ibarra durante toda la jornada de trabajo. De lunes a viernes en promedio se monitorearon 5 buses por ruta y el fin de semana un promedio de dos buses por ruta.

La grabación de los datos cinemáticos se realizó segundo a segundo, por lo tanto, cada hora de grabación almacenaba 3 600 registros, con aproximadamente 50 000 datos. Se obtuvieron un total de 1 531 horas y 36 minutos de grabación con 5 513 866 registros válidos. Mediante el software libre estadístico R y RStudio se logró la limpieza, el tratamiento e interpretación de esta base de datos.

Los porcentajes de permanencia promedio de la flota de autobuses urbanos de la ciudad de Ibarra fueron de 30,9 % en aceleración; 29,6 % en ralentí; 24,2 % en desaceleración y 15,2 % en velocidad crucero. Los porcentajes de permanencia de los estados de conducción no varían en función de la operadora, del modelo de vehículo, de la edad de los conductores y de la franja horaria.

Los factores que tuvieron incidencia en los porcentajes de permanencia de los estados de conducción fueron la ruta y el sector de la ciudad. La ruta Católica-Alpachaca presentó la mayor permanencia en ralentí con 38,3 % los días entre semana; la ruta Naranjito tubo mayor permanencia en crucero con 28,5 % los sábados; la ruta Carmen-Bellavista permaneció más en aceleración y desaceleración con 34,2 y 31,5% respectivamente los domingos. En el hipercentro fue donde se presentó más tráfico vehicular para todos los días debido a su mayor permanencia en ralentí de 44 %; mientras que en el sector urbano y perimetral se obtuvieron conducciones similares.

La velocidad promedio general de los autobuses fue de 13,35 km/h y no tuvo mayor variación en función de la operadora, del día, del modelo de vehículo, de la edad de los conductores y de la franja horaria. Los factores que presentaron incidencia fueron la ruta y el sector de la ciudad; Carmen-Bellavista fue la ruta que obtuvo mayor velocidad promedio con 19,5 km/h y el sector perimetral presentó la mayor velocidad promedio de 16,9 %. La velocidad máxima registrada fue de 108,6 km/h en un bus Chevrolet FTR de la ruta Tanguarín-Aduana, en un día entre semana a una hora pico y operado por un conductor de edad entre 30 y 39 años.

La aceleración y desaceleración promedio general de la flota de autobuses fue de 0,158 m/s² y -0,158 m/s² respectivamente y no existió variación en función de la operadora, del día y de la edad del conductor. Las mayores variaciones de aceleración y desaceleración promedio se identificaron en base a la ruta, al modelo del vehículo y al sector de la ciudad. Entre semana, la ruta Chorlaví-La Victoria en el sector urbano obtuvo la mayor aceleración y desaceleración promedio de 0,18 m/s² y -0,18 m/s² respectivamente; el Hino GD fue el modelo de bus que adquirió mayor aceleración y desaceleración promedio de 0,21 m/s² y -0,21 m/s² respectivamente.

VI. REFERENCIAS

- [1] Acosta, E., & Fernando, T. (20 de Enero de 2013). Estudio de factibilidad para la creación de la unidad de Revisión Técnica Vehicular para la Municipalidad de Ibarra Provincia de Imbabura. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- [2] Sorgato, V. (10 de Junio de 2016). Seis urbes en Ecuador se exceden en contaminación ambiental, según OMS. El Comercio.
- [3] Ferdinand, B., Russell, J., & Phillip, C. (2010). Mecánica Vectorial para Ingenieros. Dinámica. México D.F, México: McGRAW-HILL.
- [4] Tong, H., Hung, W., & Cheung, C. (2014). On-Road Motor Vehicle Emissions and Fuel Consumption in Urban Driving Conditions. Journal of the Air & Waste Management Association, 37-41.
- [5] Sanabria Sandí, R. F. (2012). Desarrollo de un Ciclo de Conducción para la Ciudad de San José de Costa Rica. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- [6] Achour, H., & Olabi, A. (2015). Driving Cycle Developments And Their Impacts On Energy Consumption Of Transportation. Cleaner Production, 1-25.
- [7] Zamboni, G., André, M., Roveda, A., & Capobianco, M. (2015). Experimental evaluation of Heavy Duty Vehicle speed patterns in urban and port areas and estimation of their fuel consumption and exhaust emissions. Transportation Research Part D, 1-10.
- [8] Rosero, F., León, C., Mera, Z., & Rosero, C. (2017). Análisis del Consumo de Combustible en Autobuses Urbanos por Efecto de las Intersecciones Semaforizadas. Caso de Estudio Ciudad de Ibarra. Desarrollo Local Sostenible DELOS, 1-22.
- [9] Astudillo, R. (2016). Obtención de Ciclos de Conducción para la Flota de Buses Urbanos del Cantón Cuenca. Cuenca, Ecuador: Universidad del Azuay.
- [10] Hongjie, M., Hui, X., Denggao, H., & Shuo, X. (2015). Effects of driving style on the fuel consumption of city buses under different road conditions and vehicle masses. Transportation Research Part D, 205–216.
- [11] Rodríguez, R., Virguez, E., Rodríguez, P., & Behrentz, E. (2016). Influence of driving patterns on vehicle emissions: A case study for Latin American cities. Transportation Research Part D, 192-206.
- [12] Vieira da Rocha, T., Can, A., Parzani, C., Jeanneret, B., Trigui, R., & Leclercq, L. (2013). Are vehicle trajectories simulated by dynamic traffic models relevant for estimating fuel consumption? Transportation Research Part D, 17-26.

VII. BIOGRAFÍA



1 Jordan Ramírez. Nació el 25 de agosto de 1994 en la ciudad de San Gabriel, Carchi, Ecuador.

Sus estudios primarios los realizó en la Escuela John F. Kennedy de la provincia del Carchi.

Sus estudios secundarios los realizó en el Colegio Técnico Agropecuario Eugenio Espejo y en el Colegio Nacional José Julián Andrade de la provincia del Carchi, optando el título de Bachiller en Ciencias Especialización Físico Matemático.

Sus estudios superiores los realizó en la Universidad Técnica del Norte dentro de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz.