



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Determinación del ciclo típico de conducción para las rutas cien y veinte y siete de un bus eléctrico en la ciudad de Cuenca

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ

Nombre del autor:

BERNARDO ANDRÉS GARCÍA PACHECO

Nombre del director:

DANIEL CORDERO-MORENO

CUENCA-ECUADOR

2022

Dedicatoria

Con todo cariño y amor a mis padres Manuel y Beatriz, por su apoyo constante y por llenar mi vida con sus valiosos consejos.

Bernardo

Agradecimiento

A mis padres y por supuesto a mis profesores, gracias por la paciencia, orientación y por guiarme en el desarrollo de esta investigación.

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
INDICE DE CONTENIDOS.....	iv
INDICE DE FIGURAS	v
INDICE DE TABLAS.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
I INTRODUCCIÓN	1
Fuerza de arrastre.....	2
Resistencia a la rodadura.....	2
Resistencia a la pendiente.....	2
Resistencia a la inercia.....	2
II MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
Definir la ruta.....	3
Instrumentación del vehículo	3
Recolección de datos.....	4
Análisis de la información	4
Obtención del ciclo	5
III RESULTADOS	5
IV CONCLUSIONES	6
V REFERENCIAS	6

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Huella de carbono por sectores (Servicios Ambientales S.A, 2014)	2
Figura 2 Metodología usada para determinar el ciclo de conducción.....	3
Figura 3 Recorrido línea 27.....	3
Figura 4 Recorrido línea 100.....	3
Figura 5 GPS Qstars.....	3
Figura 6 Proceso para la obtención de los parámetros resumen	4
Figura 7 Interfaz en Matlab para la separación de trayectos	4
Figura 8 Datos obtenidos en Matlab.....	4
Figura 9 Ciclo de conducción seleccionado línea 100.....	6
Figura 10 Ciclo de conducción seleccionado línea 27.....	6

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Dimensiones del GPS.....	3
Tabla 2 Tiempos de grabación en las rutas.....	4
Tabla 3 Cantidad de viajes registrados	5
Tabla 4 Ponderación según energías	5
Tabla 5 Determinación del ciclo representativo	5
Tabla 6 Parámetros resumen línea 100 y línea 27	5
Tabla 7 Comparación de parámetros resumen autobús diésel y eléctrico	6

DETERMINACIÓN DEL CICLO TÍPICO DE CONDUCCIÓN PARA LAS RUTAS CIEN Y VEINTE Y SIETE DE UN BUS ELÉCTRICO EN LA CIUDAD DE CUENCA.

Resumen.

En Cuenca se realizan aproximadamente 400 000 desplazamientos diarios en los 475 autobuses que dispone la ciudad. El transporte es responsable del 55% de emisiones contaminantes en Cuenca y los vehículos eléctricos son una alternativa para disminuir esta contaminación. Para la implementación de vehículos eléctricos es necesario evaluar la configuración del vehículo y sus condiciones de operación. Para esto, se deben conocer los patrones de manejo, representados por una curva de velocidad-tiempo, denominado ciclo de conducción. Durante un mes un autobús eléctrico BYD-K9 trabajó conjuntamente con las actuales unidades a diésel, el estudio fue realizado en una de las rutas con mayor demanda de pasajeros, la línea 100 (Ricaurte-Baños) y una de las rutas con mayor pendiente, la línea 27 (Sinincay-Baños). La metodología usada fue parámetros resumen donde se instrumentó al autobús con un GPS que recolectó coordenadas, velocidad, tiempo y altura, la información fue descargada, filtrada y procesada utilizando Matlab. Además, se realizó un estudio sobre la energía demandada por el vehículo. Finalmente se utilizó el método de mínimas diferencias ponderadas para escoger el ciclo típico de conducción en las rutas.

Palabras clave. – Ciclo de conducción, promedios ponderados, bus eléctrico.



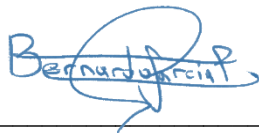
Ing. Robert Rockwood

Director de escuela



Daniel Cordero – Moreno

Director del trabajo de titulación



Bernardo García Pacheco

Autor

DETERMINATION OF THE TYPICAL DRIVING CYCLE FOR ROUTS 100 AND 27 OF AN ELECTRIC BUS IN THE CITY OF CUENCA

Abstract.

In Cuenca, approximately 400,000 trips are made daily in the 475 buses available in the city. Transport is responsible for 55% of polluting emissions in Cuenca and electric vehicles are an alternative to reduce this pollution. For the implementation of electric vehicles, it is necessary to evaluate the configuration of the vehicle and its operating conditions. For this, the driving patterns must be known, represented by a speed-time curve, called the driving cycle. For a month a BYD-K9 electric bus works or together with the current diesel units. The study was carried out on one of the routes with the highest passenger demand, line 100 (Ricaurte-Baños) and one of the routes with the highest slope, line 27 (Sinincay-Baños). The methodology used was summary parameters where the bus was instrumented with a GPS that collected coordinates, speed, time and height. The information was downloaded, filtered and processed by using Matlab. In addition, a study was carried out on the energy demanded by the vehicle. Finally, the method of minimum weighted differences was used to choose the typical driving cycle on the routes.

Keywords. – Driving cycle, weighted averages, electric bus.



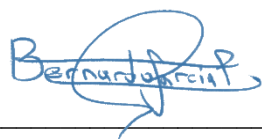
Eng. Robert Rockwood

School Director



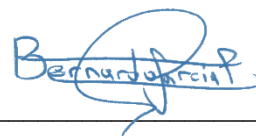
Daniel Cordero – Moreno

Director of the degree work



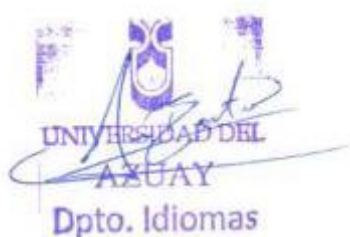
Bernardo Garcia Pacheco

Author



Bernardo Garcia Pacheco

Translated by



Trabajo de titulación

Bernardo Andrés García Pacheco

Enero, 2022

DETERMINACIÓN DEL CICLO TÍPICO DE CONDUCCIÓN PARA LAS RUTAS CIEN Y VEINTE Y SIETE DE UN BUS ELÉCTRICO EN LA CIUDAD DE CUENCA.

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Cuenca el 31% de las personas se movilizan en autobuses de transporte público. El transporte es la principal fuente de contaminación en la ciudad y los vehículos eléctricos son una alternativa para disminuir esta contaminación. Para la implementación de vehículos eléctricos en la ciudad se necesita evaluar la configuración del vehículo y sus condiciones de operación. Para esto, se deben conocer los patrones de manejo, representados por una curva de velocidad-tiempo, denominado ciclo de conducción. Un autobús eléctrico BYD-K9 recorrió en una de las rutas con mayor demanda de pasajeros, la línea 100 (Ricaurte-Baños) y una de las rutas con mayor pendiente, la línea 27 (Sinincay-Baños). La metodología usada fue parámetros resumen donde se instrumentó al autobús con un GPS que recolectó coordenadas, velocidad, tiempo y altura, la información fue descargada, filtrada y procesada utilizando Matlab. Además, se realizó un estudio sobre la energía demandada por el vehículo. Finalmente se utilizó el método de mínimas diferencias ponderadas para escoger el ciclo típico de conducción para las rutas 100 y 27.

DETERMINACIÓN DEL CICLO TÍPICO DE CONDUCCIÓN PARA LAS RUTAS CIEN Y VEINTE Y SIETE DE UN BUS ELÉCTRICO EN LA CIUDAD DE CUENCA.

García Pacheco Bernardo Andrés

Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología,

Escuela de Ingeniería en Mecánica Automotriz,

Av. 24 de mayo 7-77 y Hernán Malo, Cuenca, Ecuador

bernardogarciapacheco@es.uazuay.edu.ec

Resumen.

En Cuenca se realizan aproximadamente 400 000 desplazamientos diarios en los 475 autobuses que dispone la ciudad. El transporte es responsable del 55% de emisiones contaminantes en Cuenca y los vehículos eléctricos son una alternativa para disminuir esta contaminación. Para la implementación de vehículos eléctricos es necesario evaluar la configuración del vehículo y sus condiciones de operación. Para esto, se deben conocer los patrones de manejo, representados por una curva de velocidad-tiempo, denominado ciclo de conducción. Durante un mes un autobús eléctrico BYD-K9 trabajó conjuntamente con las actuales unidades a diésel, el estudio fue realizado en una de las rutas con mayor demanda de pasajeros, la línea 100 (Ricaurte-Baños) y una de las rutas con mayor pendiente, la línea 27 (Sinincay-Baños). La metodología usada fue parámetros resumen donde se instrumentó al autobús con un GPS que recolectó coordenadas, velocidad, tiempo y altura, la información fue descargada, filtrada y procesada utilizando Matlab. Además, se realizó un estudio sobre la energía demandada por el vehículo. Finalmente se utilizó el método de mínimas diferencias ponderadas para escoger el ciclo típico de conducción en las rutas.

Palabras clave. Ciclo de conducción, promedios ponderados, bus eléctrico.

Abstract.

In Cuenca, approximately 400,000 trips are made daily in the 475 buses available in the city. Transport is responsible for 55% of polluting emissions in Cuenca and electric vehicles are an alternative to reduce this pollution. For the implementation of electric vehicles, it is necessary to evaluate the configuration of the vehicle and its operating conditions. For this, the driving patterns must be known, represented by a speed-time curve, called the driving cycle. For a month a BYD-K9 electric bus works or together with

the current diesel units. The study was carried out on one of the routes with the highest passenger demand, line 100 (Ricaurte-Baños) and one of the routes with the highest slope, line 27 (Sinincay-Baños). The methodology used was summary parameters where the bus was instrumented with a GPS that collected coordinates, speed, time and height. The information was downloaded, filtered and processed by using Matlab. In addition, a study was carried out on the energy demanded by the vehicle. Finally, the method of minimum weighted differences was used to choose the typical driving cycle on the routes.

Keywords. Driving cycle, weighted averages, electric bus.

I INTRODUCCIÓN

El transporte en la ciudad de Cuenca está conformado por autobuses, tranvía, taxis, transporte mixto, transporte escolar e institucional. La población actual de Cuenca es de 636 996 habitantes según las proyecciones del INEC [1]. El principal motivo por el cual los cuencanos se movilizan es el trabajo (33%), seguido por el estudio (18%), compras (17%), gestiones personales (16%) y otros (16%) [2]. Todos estos desplazamientos de personas se realizan en autobuses (30.7%), vehículo privado (32.3%), a pie (30.4%), otros (6.6%) [2]. Diariamente al casco urbano ingresan alrededor de 121 000 personas, de ellas el 49% usa el transporte público [2]. En el año 2012 la empresa ETS (Euskal Trenbide Sarea), dedicada a la construcción, gestión y administración de infraestructuras ferroviarias presentó el “Estudio de Ingeniería y Complementarios de la Red Primaria de Transporte para la ciudad de Cuenca”; la empresa estimó que en la urbe se realizan 381.992 desplazamientos diarios en transporte público. En el año 2016 el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) y la Agencia Francesa para el Desarrollo, estimaron que la huella de carbono en Cuenca es de 1.5 megatoneladas de CO_2 equivalente, [3] siendo el transporte la principal fuente de contaminación con un 55% como se observa en la figura 1.

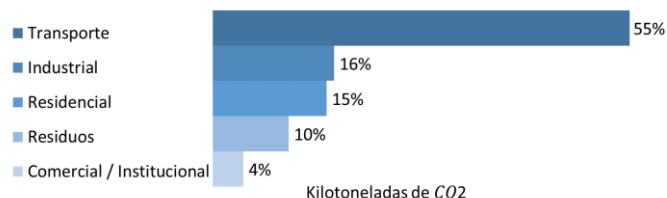


Figura 1 Huella de carbono por sectores (Servicios Ambientales S.A, 2014)

Una de las opciones para disminuir la contaminación en el sector del transporte es la utilización de autobuses eléctricos. Los autobuses eléctricos carecen de motor a combustión por lo que no generan emisiones contaminantes ni contaminación acústica.

En el año 2018 existían 386 000 buses eléctricos a nivel mundial y se estima que para el año 2025 sean 1.2 millones de unidades [4]. En América latina las ciudades con mayor cantidad de autobuses eléctricos son: Santiago de Chile con 776, Medellín con 65, Cali con 26, Guayaquil con 20, Mendoza con 18 y Buenos Aires con 8 buses eléctricos. [5] Para su implementación, estos buses deben cumplir parámetros de costos, parámetros del vehículo (dimensiones, pendiente máxima superable, coeficiente aerodinámico, coeficiente rodadura, masa, capacidad de pasajeros) y parámetros del tren de potencia (potencia máxima, torque máximo, velocidad máxima, eficiencia).

La fuerza de arrastre (F_d), la resistencia a la rodadura (R_x), la resistencia a la pendiente (R_g) y la resistencia a la inercia (R_i) son las fuerzas que debe vencer el vehículo para desplazarse [6].

Fuerza de arrastre.

También llamada resistencia aerodinámica es la resistencia que opone el aire al desplazamiento del vehículo. [6]

$$F_d = \frac{1}{2} * C_d * A * V^2 * \rho \quad [7]$$

- F_d : Fuerza de arrastre [N]
- C_d : Coeficiente de arrastre
- A : Área frontal del vehículo [m²]
- V : Velocidad del vehículo [m/s]
- ρ : Densidad del aire [kg/m³]

Resistencia a la rodadura.

Es la resistencia que opone un neumático debido a la deformación entre este y el camino por el que circula. [6]

$$R_x = m * g * f_r * \cos\theta \quad [7]$$

- R_x : Resistencia a la rodadura [N]
- m : masa [kg]
- g : gravedad [m/s²]
- f_r : coeficiente de rodadura

Resistencia a la pendiente.

Componente de la fuerza gravitacional paralela a la superficie de apoyo y aplicada en el centro de la masa. [8]

$$R_g = m * g * \sin\theta \quad [7]$$

- R_g : Resistencia a la pendiente
- m : masa [kg]
- g : gravedad [m/s²]
- θ : pendiente [°]

Resistencia a la inercia.

“Es una fuerza que se opone al aumento o disminución de la velocidad del vehículo; ocurre tanto en aceleraciones como en deceleraciones” [9].

$$R_i = m * a \quad [9]$$

- R_i : Resistencia a la inercia
- m : masa [kg]
- a : aceleración [m/s²]

Dentro de estas fórmulas hay variables que dependen del vehículo (coeficiente aerodinámico, área frontal, coeficiente de rodadura, masa), variables que dependen donde está el vehículo (densidad del aire, gravedad), y variables que dependen de lo que hace el vehículo (velocidad, pendiente, aceleración). La velocidad, la pendiente y la aceleración se obtienen mediante un ciclo de conducción representativo que representa el comportamiento de la velocidad de un vehículo en el tiempo, bajo diferentes condiciones de circulación, en algún lugar específico y se usa para medir las emisiones de escape y la economía del combustible. Un ciclo de conducción puede ser reproducido en un dinamómetro, donde se recopila la información obtenida de consumo y emisiones, de este modo pueden ser comparados varios vehículos.

No existe un método estándar o unificado para construir ciclos de conducción. Actualmente, los métodos de micro-viajes, segmento de viajes, cadenas de Markov-Monte Carlo (MCMC) y parámetros característicos son los enfoques más comunes pero estos métodos son de naturaleza estocástica y, por lo tanto, son repetibles, pero no reproducibles, lo que significa que producen un ciclo de conducción diferente cada vez que se aplican. [10] El método de parámetros resumen es de naturaleza determinística, es decir, las mismas condiciones iniciales producirán siempre los mismos resultados.

Si bien es cierto existen estudios sobre ciclos de conducción de autobuses con motor a combustión interna, no existe un trabajo sobre ciclos de conducción de autobuses eléctricos, cuyas velocidades están limitadas a 60 km/h [11]. Es importante, entonces, evaluar esta diferencia en la operación para predecir su desempeño y realizar una comparación entre estas dos configuraciones.

En este trabajo se utilizó el método de parámetros característicos, el cual consiste en recolectar datos de velocidad, tiempo y altitud con un GPS (1Hz) que almacena la información. Estos datos se descargaron diariamente y posteriormente fueron procesarlos en Matlab donde se encontraron sus parámetros resumen (velocidad máxima, velocidad promedio, aceleración máxima, aceleración positiva promedio, aceleración negativa promedio, distancia, pendiente positiva promedio, pendiente negativa promedio, pendiente máxima, pendiente mínima, tiempo de parada, tiempo en movimiento, tiempo total y energías) para finalmente escoger el recorrido que más se aproxime a la media de las muestras.

II MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada como se indica en la figura 2 requirió inicialmente definir una ruta (los autobuses ya tienen una ruta definida), luego se instrumentó el autobús con el GPS y así se inició la toma de datos, luego la información recolectada se procesó y finalmente se obtuvo el ciclo de conducción.

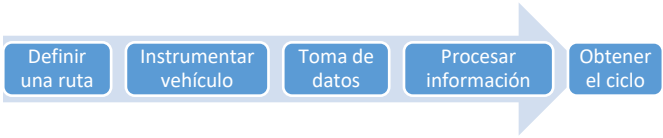


Figura 2 Metodología usada para determinar el ciclo de conducción.

Definir la ruta

En el caso de los autobuses éstos ya tienen una ruta definida. Las rutas en las que se recolectó la información fueron:

Línea 27 que cubre la ruta Baños Sinincay y opera de domingo a viernes ya que los días sábados no hay servicio, su horario regular de operación va desde las 05h52 a 22h12, tiene 78 paradas y la duración total del viaje para esta ruta es de aproximadamente 62 minutos. [12]



Figura 3 Recorrido línea 27.

La línea 100 cubre la ruta Baños Ricaurte y opera todos los días de la semana con el horario de 05h20 a 21h55, consta de 53 paradas y la duración total del viaje para esta ruta es de aproximadamente 51 minutos. [12]



Figura 4 Recorrido línea 100.

Instrumentación del vehículo

El equipo ocupado fue un GPS Qstarz BT-Q1000 (figura 5) que genera información con frecuencia de 1 Hz y proporciona datos de velocidad instantánea, tiempo y altitud; necesarios para construir el ciclo de conducción. Además, el GPS proporciona una herramienta software Qtravel que permite descargar los datos al computador.



Figura 5 GPS Qstars.

Tabla 1 Dimensiones del GPS

Longitud	72mm
Altura	45mm
Ancho	20mm
Frecuencia	1 Hz
Altitud	< 18 000 m
Velocidad	< 515 m/s
Aceleración	< 4 g

El dispositivo GPS debe colocarse en un lugar donde tenga buena recepción de los satélites y cubierto de la lluvia o el sol. Se colocó una batería automotriz de 12 voltios para que alimente en todo momento al GPS. Así se aseguró el funcionamiento del equipo durante todas las horas de trabajo.

Recolección de datos

Se realizó el almacenamiento de información por un mes iniciando la recolección de datos el 15 de enero del 2019 y finalizando el 15 de febrero del 2019. Del total de días de grabación 19 fueron en la línea 100 y 3 días en la línea 27.

El GPS iniciaba la grabación las mañanas en el laboratorio de Micro-Redes de la Universidad de Cuenca. La información se descargaba al medio día y al terminar su recorrido cuando el autobús retornaba al laboratorio de Micro-Redes donde recargaba sus baterías.

En la tabla 2 se especifican fechas, cantidad de tiempo registrado en las rutas, número de recorridos realizados y la distancia total recorrida.

Tabla 2 Tiempos de grabación en las rutas

Línea 100	
Fecha	15/1/2019 al 15/2/2019
Tiempo de grabación	281:31:22
Número de viajes	89
Distancia recorrida [km]	3 165.91
Línea 27	
Fecha	5/2/2019 al 7/2/2019
Tiempo de grabación	47:02:16
Número de viajes	12
Distancia recorrida [km]	514.04

Análisis de la información

El GPS graba información del recorrido de todo el día, luego esta información debe ser procesada para escoger únicamente los datos donde el autobús estuvo cubriendo la ruta.

Para el procesamiento de estos datos se utilizó un programa desarrollado en Matlab por el Ing. Byron Romero de ERGON (Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Automotriz de la Universidad del Azuay). Esta herramienta ayudó con la separación de los trayectos generados diariamente y suavizó la curva de velocidad y altitud ya que el GPS al momento de pasar por edificios o túneles tiene bajas de señal que provocan saltos en la velocidad y altitud, se debe realizar un ajuste a estas curvas para detectar tendencias en presencia de datos ruidosos. [13]

Al correr el programa en Matlab se debe importar el archivo Excel original extraído del GPS. Al seleccionar la ruta línea 100 o línea 27 se muestra la gráfica v-t de la trayectoria del bus a lo largo del día, se coloca el punto inicial donde visiblemente se note que inició el recorrido y el punto final igualmente hasta donde se aprecie el final del trayecto. La interfaz cuenta con líneas que sirven de referencia de la distancia que hay de un extremo del recorrido al otro, distancia Ricaurte Baños, por ejemplo. Éstas líneas sirven de guía para tener mayor precisión al momento de colocar los puntos inicial y final de cada trayecto.

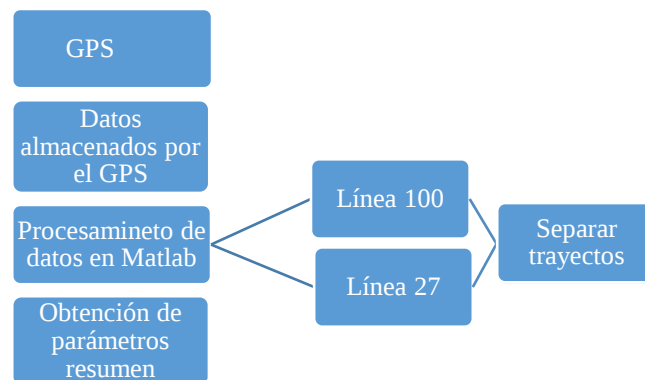


Figura 6 Proceso para la obtención de los parámetros resumen

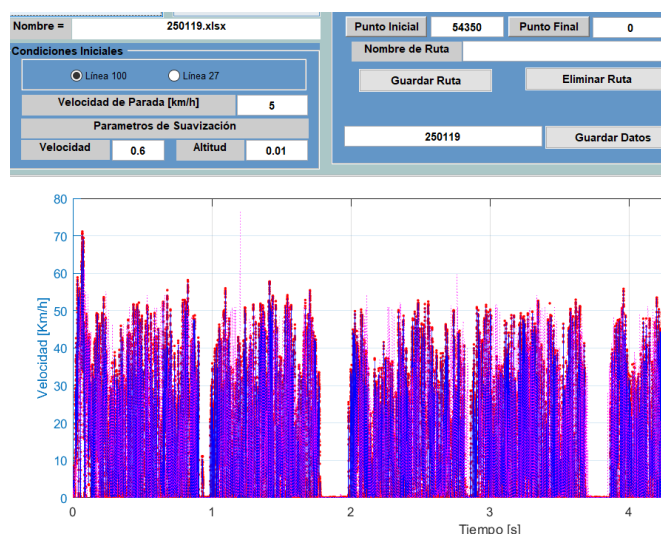


Figura 7 Interfaz en Matlab para la separación de trayectos

De cada trayecto que se grabe el programa calculará a partir de los datos del GPS los parámetros resumen (distancia total, tiempo, número de paradas, tiempo de paradas, tiempo en movimiento, velocidad máxima, velocidad promedio, aceleración máxima, aceleración promedio positiva y negativa, pendiente máxima, pendiente promedio positiva y negativa) esta información se recopila y aplicando ponderaciones se escoge el recorrido que más se aproxime a la media de las muestras.

Nombre de Ruta =	rbr	Fecha de registro de datos =	25/1/2019
Hora de Inicio =	8:25 AM	Mapa de Ruta	Generar Reporte
Hora Final =	10:37 AM		
Distancia [km]	35.3902	Tiempo [s]	7939
# Paradas	147	T_paradas [s]	3155
		T_movimiento [s]	4784
Datos del Vehículo		Datos de Dinámica del Vehículo	
Masa del Vehículo [kg]	13850	Velocidad (max)(pro_total)(pro_mov) [km/h]	57.94 16.05 25.98
Masa de Carga (Vacio-Medio-Full) [kg]	70 2800 5650	Aceleración (max)(+pro)(-pro) [m/s ²]	2.96 0.42 -0.43
Área Frontal [m ²]	7.54	Pendiente (max)(min)(+pro)(-pro) [%]	13.17 % -11.06 % 2.05 % -2.17 %
p [Kg/m ³]	0.9		
Cd [-]	0.75		
fr [-]	0.0092		

Figura 8 Datos obtenidos en Matlab

Obtención del ciclo

Una vez procesada toda la información se obtuvieron 22 archivos de reportes correspondientes a cada día de grabación. Cada archivo incluye los datos ya procesados y separados por rutas.

Realizando una recopilación de todos los archivos se obtiene el número de viajes realizados en cada trayecto.

Tabla 3 Cantidad de viajes registrados

Línea 100	
Trayecto	Número de viajes
Ricaurte-Baños-Ricaurte	89
Ricaurte-Baños	98
Baños-Ricaurte	97
Línea 27	
Sinincay-Baños-Sinincay	12
Sinincay-Baños	12
Baños-Sinincay	12

Cada fuerza que se opone al movimiento de un vehículo demanda una energía [14], se evaluó la demanda energética de las fuerzas de arrastre, rodadura, inercia y pendiente. Con este análisis se identificó que energía tuvo mayor presencia y así se asignó la ponderación para definir los resultados.

$$P=F*v$$

- P =Potencia [W]
- F = Fuerza [N]
- v = Velocidad [m/s]

$$E=P*dt$$

- E =Energía [Kwh]
- dt = Variación de tiempo [s]
- P =Potencia [W]

La energía que más altos valores demanda es la producida por la inercia (tabla 4).

Tabla 4 Ponderación según energías

Ponderación		
	Línea 100 (RBR)	Línea 27 (SBS)
Energía Fd (arrastre)	0.02	0.02
Energía Rx (rodadura)	0.15	0.12
Energía Rg (pendiente)	0.16	0.31
Energía Ri (inercia)	0.67	0.55

Sumatoria:

Aplicando la fórmula de ponderación a las rutas 100 y 27 aplicando los valores de ponderación de la tabla 3 se escogió el recorrido que más se aproxima a la media de las muestras (tabla 4).

$$|ERi_x - \overline{ERi}| * Pond Ri + |ERx_x - \overline{ERx}| * Pond Rx + |ERg_x - \overline{ERg}| * Pond Rg + |EFd_x - \overline{EFd}| * Pond Fd$$

- ERi_x = Energía de inercia
- ERx_x = Energía de rodadura
- ERg_x = Energía de pendiente
- EFd_x = Energía de arrastre

(Cedillo K. , 2013)

III RESULTADOS

El recorrido N°8 en la ruta 100 y el N°6 en la ruta 27 son los que menor valor presentan en la sumatoria por lo que estos son los ciclos de conducción representativos de cada una de las rutas.

Tabla 5 Determinación del ciclo representativo

	Recorrido N°	Fecha	Hora Inicio	Hora Final	Tiempo (s)
100	8	16/1/2019	14:57:00	17:10:00	7934
27	6	6/2/2019	8:21:00	10:59:00	9435

Tabla 6 Parámetros resumen línea 100 y línea 27

	Ricaurte Baños Ricaurte	Sinincay Baños Sinincay
Fecha	28/1/2019	6/2/2019
Hora Inicio	8:31 am	5:56 am
Hora Final	10:47 am	8:18 am
Tiempo [s]	8174	8509
Tiempo Paradas [s]	2649	2700
Tiempo Movimiento [s]	5525	5809
Número de paradas	153	131
Distancia [m]	35635.25	42775.96
Velocidad máxima [Km/h]	57.43	52.57
Velocidad promedio Total [Km/h]	15.69	18.1
Velocidad promedio en movimiento [Km/h]	22.94	26.34
Aceleración máxima [m/s2]	2.48	2.42

Aceleración promedio positiva [m/s ²]	0.43	0.46
Aceleración promedio negativa [m/s ²]	-0.43	-0.46
Pendiente máxima [%]	0.12	0.17
Pendiente mínima [%]	-0.11	-0.12
Pendiente promedio positiva [%]	0.02	0.04
Pendiente promedio negativa [%]	-0.02	-0.04
Energía Total [Wh]	63022.73	87146.56
Energía Fd [Wh]	1270.04	1680.86
Energía Rx [Wh]	8710.09	10333.36
Energía Rg [Wh]	8926.86	25530.97
Energía Ri [Wh]	44115.73	49601.37

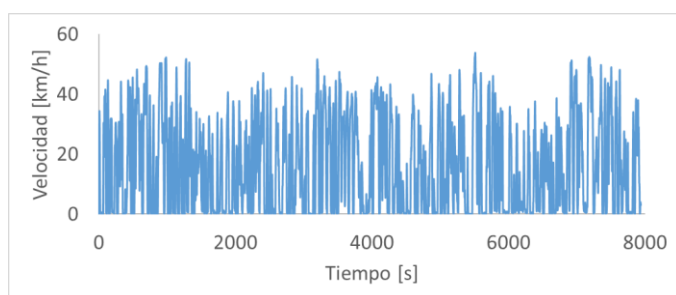


Figura 9 Ciclo de conducción seleccionado línea 100

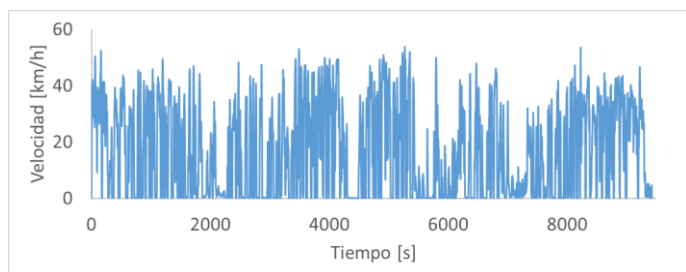


Figura 10 Ciclo de conducción seleccionado línea 27

Luego de determinar los ciclos de conducción del autobús eléctrico se realizó una comparación con el ciclo de conducción determinado en la tesis “Obtención de ciclos de conducción para la flota de buses urbanos del cantón Cuenca” del Ing. Rómulo Fernando Astudillo Bravo en donde se determinó el ciclo de conducción de la línea 100 de un autobús con motor a combustión.

En el trabajo antes mencionado el autor instrumenta un autobús Mercedes Benz OF 1721-5 y un Chevrolet FTR, donde se registran 105h09min12s de grabación obteniendo un total de 38 viajes para el trayecto Ricaurte-Baños y 34 viajes para el trayecto Baños-Ricaurte. Posteriormente usando promedios ponderados escoge el ciclo que más se aproxima a la media de las muestras.

Tabla 7 Comparación de parámetros resumen autobús diésel y eléctrico

Ricaurte Baños		
	Diésel	Eléctrico
Velocidad promedio [Km/h]	18.05	15.99
Velocidad máxima [Km/h]	59.56	53.28
Tiempo en ralentí [s]	830.13	1314.27
Número de paradas [-]	42.82	69.26
Tiempo de recorrido [s]	3758.84	4065.86
Distancia recorrida [m]	18817.61	17993.37
Aceleración máxima [m/s ²]	1.39	2.37
Baños Ricaurte		
	Diésel	Eléctrico
Velocidad promedio [Km/h]	16.74	16.05
Velocidad máxima [Km/h]	63.78	54.63
Tiempo en ralentí [s]	1147.15	1297.42
Número de paradas [-]	54.68	65.90
Tiempo de recorrido [s]	4301.09	3957.88
Distancia recorrida [m]	19845.89	17565.65
Aceleración máxima [m/s ²]	1.41	2.40

IV CONCLUSIONES

En el presente trabajo se determinaron los ciclos de conducción de un autobús eléctrico en una de las rutas con mayor demanda de pasajeros (línea 100) y con mayor pendiente (línea 27).

Mediante un GPS instalado en el autobús se recopiló información registrando un total de 89 viajes en la línea 100 y 12 viajes en la línea 27.

Con el uso de Matlab se procesó la información y se obtuvieron los parámetros resumen, luego mediante ponderaciones se escogió el recorrido que más se aproxima a la media de las muestras.

Los ciclos seleccionados fueron N° 8 (de 89 curvas experimentales) en la línea 100 y el N° 6 (de 12 curvas experimentales) en la línea 27.

V REFERENCIAS

- [1] INEC, «Instituto Nacional de Estadística y Censos,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>.

- [2] Ilustre Municipalidad de Cuenca, «Plan de movilidad y espacios públicos,» Municipio de Cuenca, Cuenca, 2017.
- [3] S. Ambientales, «Huella de ciudades,» SASA, 2014. [En línea]. Available: <https://www.huelladeciudades.com/huella-carbono.html>. [Último acceso: 2019].
- [4] M. Chediak, «Electric Buses Will Take Over Half the World Fleet by 2025,» Bloomberg, 1 febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-02-01/electric-buses-will-take-over-half-the-world-by-2025>.
- [5] F. Koop, M. Andreoni, A. Bermúdez Liévano y A. Cuéllar, «Diálogo Chino,» 29 junio 2020. [En línea]. Available: <https://dialogochino.net/es/clima-y-energia-es/36128-los-buses-electricos-chinos-se-despliegan-en-toda-america-latina/>. [Último acceso: noviembre 2020].
- [6] T. D. Gillespie, Fundamentals of Vehicle Dynamics, Warrendale, 1992.
- [7] R. Cedillo, X. Guamán, K. Encarnación y J. Hidalgo, Fuerzas que se oponen al movimiento de un vehículo, Cuenca, 2019.
- [8] J. Ramirez Morales, Estudio de la dinámica de tracción de un vehículo eléctrico, Pereira, 2017.
- [9] E. J. Domínguez y J. Ferrer, Sistemas de transmisión y frenado, Editex, 2012.
- [10] J. Huertas, L. Quirama, M. Giraldo y J. Díaz, Comparación de tres métodos para construir ciclos de conducción reales, Monterrey, 2019.
- [11] BYD, «eBus Andino-12,» 2015. [En línea]. Available: <http://bydelectricos.com/producto-detalle/buses/2/ebus-andino-12>.
- [12] Moovit, «Moovit,» 2020. [En línea]. Available: <https://moovitapp.com/cuenca-3813/lines/es-419?customerId=4908&ref=2&poiType=DeletedPageDeletedAgency>.
- [13] A. F. Mata Hidalgo, «Análisis de las técnicas de suavizado para series,» 2019.
- [14] D. S. Dávalos Figueroa, «Obtención de un ciclo típico de conducción para los vehículos de la Unión de Taxisas del Azuay,» 2017.
- [15] B. Eckhouse, «The U.S. Has a Fleet of 300 Electric Buses. China Has 421,000,» Bloomberg, 15 mayo 2019. [En línea]. Available: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-05-15/in-shift-to-electric-bus-it-s-china-ahead-of-u-s-421-000-to-300>. [Último acceso: 2019].
- [16] K. Cedillo, Determinación de ciclos típicos de conducción, Toluca, 2013.