



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Eléctrica

“Estimación de la energía requerida para la sustitución de la flota de autobuses públicos por autobuses eléctricos de la ciudad de Cuenca”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

Ingeniero Eléctrico

Autor:

Wilson Efraín Luzuriaga Carrillo

C. I. 0105775183

Director:

Ph. D. Luis Gerardo González Morales

C. I. 1729711059

Codirector:

Ph. D. Juan Leonardo Espinoza Abad

C. I. 0102559325

Cuenca, Ecuador

14 / 10 / 2019



RESUMEN

La situación actual de la ciudad de Cuenca, en cuanto se refiere a contaminación ambiental, es grave debido a la gran cantidad de contaminantes que son emitidos por el uso de combustibles fósiles. Estos contaminantes provenientes ya sea del parque automotor o del sector industrial pueden llegar a niveles críticos, representando uno de los temas más importantes a ser tratados en la ciudad para procurar así su reducción o eliminación. Hoy en día se están planteando en todo el mundo nuevas alternativas para la reducción de contaminantes aéreos que no solo afectan la calidad del medio ambiente, sino también afectan la salud de los seres vivos, incluidas las personas, siendo los más afectados aquellos que se encuentran cerca de los puntos de concentración de contaminación, como son los sectores urbanos de las ciudades.

La ciudad de Cuenca no es ajena a esta situación, donde una de las fuentes más importantes de contaminación es el transporte público urbano, conformado totalmente por autobuses a diésel. El presente estudio consiste en estimar la energía requerida para sustituir la flota de autobuses públicos por autobuses eléctricos en la ciudad. Luego de un estudio de las variables iniciales del autobús eléctrico que se encontraba disponible en la ciudad durante 3 meses a partir de diciembre de 2018, se determinó que el valor de eficiencia o autonomía del autobús es variable para cada una de las líneas de transporte. Es por eso que mediante la ayuda de un modelo matemático implementado en MATLAB, se logró aproximar el perfil de Estado de Carga (SOC), que tendría cada una de las líneas de transporte público presentes en la Ciudad de Cuenca, para de esta manera conocer los valores de energía que requerirá cada línea con su número de autobuses correspondiente y por lo tanto el valor de Energía Total, el cual fue de 121.1 MWh durante un día de operación.

También se realizó el análisis de la factibilidad de cambio de autobuses a diésel por autobuses eléctricos, y de la capacidad disponible que tiene la red de distribución de la ciudad que está a cargo de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A. determinándose que existe aún un total de 137.57 MVA de potencia en transformadores disponibles de las subestaciones urbanas, de donde se podría tomar la carga necesaria para los autobuses. Además se determinó bajo qué condiciones se podría implementar el cambio, ya que el perfil de la curva de demanda que necesitarán los autobuses no debe representar una sobrecarga en la red eléctrica.

Únicamente el 53.6 % del total de autobuses de la ciudad podrían funcionar correctamente dando servicio de transporte público normal, si fueran remplazados por autobuses eléctricos mientras que el porcentaje restante necesariamente requiere de recargas parciales para completar las rutas diarias bajo ciertos parámetros de carga.

Palabras clave: Contaminación. Ambiente. Combustible. Transporte público. Línea de transporte. Autobús eléctrico. Energía eléctrica. Algoritmo. Modelo matemático. Perfil. Estado de carga. Eficiencia.



ABSTRACT

The current situation of the city of Cuenca, in terms of environmental pollution, is serious due to the large amount of pollutants that are emitted due to the combustion of fossil fuels. These pollutants from either the car park or the industrial sector can reach critical levels, representing one of the most important issues to be addressed in the city to ensure its reduction or elimination. Today, new alternatives for reducing air pollutants that not only affect the quality of the environment, but also affect the health of living beings, including people, are being considered, the most affected being those found near the points of concentration of pollution, such as the urban sectors of the cities.

The city of Cuenca is no stranger to this situation, where one of the most important sources of pollution is urban public transport, consisting entirely of diesel buses. The present study consists in estimating the energy required to replace the public bus fleet with electric buses in the city. After a study of the initial variables of the electric bus that was available in the city for 3 months from December 2018, it was determined that the value of efficiency or autonomy of the bus is variable for each of the transport lines. That is why, with the help of a mathematical model implemented in MATLAB, it was possible to approximate the profile of the State of Charge (SOC), which would have each of the public transport lines present in the City of Cuenca, in order to know the energy values that each line will require with its corresponding number of buses and therefore the Total Energy value, which was 121.1 MWh during one day of operation.

The analysis of the feasibility of changing buses to diesel for electric buses was also carried out, and of the available capacity of the distribution network of the city that is in charge of the Centro Sur C. A. Regional Electric Company, determining that there is still a total of 137.57 MVA of power in transformers available from urban substations, where the necessary load for buses could be taken. In addition, it was determined under what conditions the change could be implemented, since the profile of the demand curve that buses will need should not represent an overload in the electricity grid.

Only 53.6% of the total buses in the city could function properly giving normal public transport service, if they were replaced by electric buses while the remaining percentage necessarily requires partial recharges to complete the daily routes under certain load parameters.

Keywords: Pollution. Environment. Fuel. Public transport. Transport line. Electric bus. Electric power. Algorithm. Mathematical model. Profile. State of charge. Efficiency.



ÍNDICE

| | |
|---|----------|
| RESUMEN..... | I |
| ABSTRACT | II |
| ÍNDICE | III |
| ÍNDICE DE FIGURAS | VI |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | VII |
| | |
| CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN..... | VIII |
| CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL..... | IX |
| AGRADECIMIENTOS..... | X |
| DEDICATORIA..... | XI |
| | |
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Contexto y motivación | 1 |
| 1.2. Antecedentes | 3 |
| 1.3. Objetivos | 4 |
| 1.3.1. Objetivo General | 4 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos | 4 |
| 1.4. Justificación..... | 5 |
| 1.5. Metodología..... | 6 |
| | |
| CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE..... | 7 |
| 2.1 Principales contaminantes del aire y sus efectos..... | 7 |
| 2.1.1. Dióxido de nitrógeno (NO ₂) | 7 |
| 2.1.2. Material particulado (MP) | 7 |
| 2.1.3. Dióxido de azufre (SO ₂) | 8 |
| 2.1.4. Monóxido de carbono (CO)..... | 9 |
| 2.1.5. Ozono troposférico (O ₃) | 9 |
| 2.2 Normas sobre emisiones de contaminantes | 10 |
| 2.2.1. Concentraciones máximas permisibles de contaminantes | 10 |
| 2.2.2. Plan de alerta, alarma y emergencia debido a emisiones | 12 |
| 2.2.3. Normas EURO y EPA | 13 |
| 2.3 Tecnologías de autobuses públicos | 14 |
| 2.3.1. Diésel..... | 14 |



| | | |
|--|--|-----------|
| 2.3.2. | Gas Natural Comprimido (GNC) | 15 |
| 2.3.3. | Gas Natural Licuado (GNL)..... | 16 |
| 2.3.4. | Biodiésel..... | 16 |
| 2.3.5. | Etanol..... | 17 |
| 2.3.6. | Híbrido MCI - eléctrico..... | 17 |
| 2.3.7. | Hidrógeno..... | 17 |
| 2.3.8. | Electricidad..... | 18 |
| 2.4 | Alternativas para la reducción de contaminantes emitidos por autobuses | 18 |
| 2.5 | Comparación de precios entre tecnologías de vehículos | 19 |
| 2.6 | Panorama tecnológico en la Ciudad de Cuenca | 21 |
| 2.6.1. | Sistema tranviario..... | 21 |
| 2.6.2. | Autobús eléctrico..... | 22 |
| 2.6.3. | Surtidores de energía eléctrica (electrolineras) | 24 |
| 2.6.4. | Red eléctrica para electrolineras..... | 26 |
| CAPÍTULO 3: DATOS DE CAMPO..... | | 27 |
| 3.1. | Características del autobús eléctrico en estudio | 27 |
| 3.2. | Pruebas realizadas para el análisis..... | 29 |
| 3.2.1. | Distancia recorrida | 29 |
| 3.2.2. | Tiempo..... | 30 |
| 3.2.3. | Elevación y Velocidad..... | 30 |
| 3.2.4. | Energía consumida | 30 |
| 3.2.5. | Latitud y longitud | 31 |
| 3.3. | Análisis de los datos de campo obtenidos en el autobús eléctrico | 31 |
| 3.4. | Datos de las líneas de transporte iniciales | 33 |
| 3.5. | Análisis de resultados iniciales..... | 34 |
| 3.6. | Gráficas obtenidas de resultados iniciales con autobús eléctrico | 37 |
| CAPÍTULO 4: MODELO MATEMÁTICO | | 40 |
| 4.1. | Análisis inicial para el modelo matemático..... | 40 |
| 4.2. | Configuración del modelo matemático | 41 |
| 4.3. | Perfil de Estado de Carga de las baterías con el modelo matemático | 44 |
| 4.4. | Intervalos de recarga de las baterías | 45 |



| | |
|--|-----|
| CAPÍTULO 5: APLICACIÓN LOCAL | 47 |
| 5.1. Empresas de transporte público de la Ciudad de Cuenca y sus líneas..... | 47 |
| 5.2. Datos obtenidos de las líneas de Cuenca..... | 49 |
| 5.3. Perfiles de Estado de Carga de las líneas de transporte..... | 51 |
| 5.4. Energía estimada de cada línea durante 1 día de operación | 57 |
| 5.5. Análisis de eficiencia del autobús eléctrico en las líneas | 58 |
| | |
| CAPÍTULO 6: IMPACTOS DEL ANÁLISIS | 60 |
| 6.1. Situación actual de la red eléctrica en Cuenca | 60 |
| 6.2. Capacidad de potencia disponible | 62 |
| 6.3. Energía total requerida por autobuses eléctricos | 63 |
| 6.4. Perfiles de carga lenta y carga rápida | 70 |
| 6.5. Demanda de potencia en la red eléctrica de Cuenca | 71 |
| | |
| CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 73 |
| 7.1 Conclusiones | 73 |
| 7.2 Recomendaciones..... | 77 |
| | |
| REFERENCIAS | 79 |
| ANEXO 1 | 81 |
| ANEXO 2..... | 108 |
| ANEXO 3..... | 112 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|---|--|----|
| Figura 3.1. Dimensiones del autobús eléctrico BYD - K9G | 29 | |
| Figura 3.2. Perfil de Elevación vs. Tiempo - Línea 100 con autobús eléctrico..... | 31 | |
| Figura 3.3. Perfil de Elevación vs. Tiempo - Línea 27 con autobús eléctrico..... | 32 | |
| Figura 3.4. Energía vs. Distancia - Línea 27 | 37 | |
| Figura 3.5. Energía vs Distancia - Línea 100..... | 37 | |
| Figura 3.6. Perfil de Elevación vs. Tiempo - Línea 27 | 38 | |
| Figura 3.7. Perfil de Elevación vs. Tiempo - Línea 100 | 38 | |
| Figura 3.8. Perfil de Velocidad vs. Tiempo - Línea 27 | 39 | |
| Figura 3.9. Perfil de Velocidad vs. Tiempo - Línea 100 | 39 | |
| Figura 4.1. Importación de vectores de datos desde Excel | 41 | |
| Figura 4.2. Variables de escenarios y de variación de SOC..... | 41 | |
| Figura 4.3. Algoritmo principal del modelo matemático | 42 | |
| Figura 4.4. Código de gráficas de SOC y perfil de elevación | 43 | |
| Figura 4.5. Código de 2 gráficas en una misma ventana..... | 43 | |
| Figura 4.6. Perfil de Estado de Carga - Línea 27 | 44 | |
| Figura 4.7. Perfil de Estado de Carga - Línea 100 | 44 | |
| Figura 4.8. Intervalos de recarga de baterías - Línea 27 | 45 | |
| Figura 4.9. Intervalos de recarga de baterías - Línea 100 | 45 | |
| Figura 5.1. Perfil de SOC, Línea 1 | Figura 5.2. Perfil de SOC, Línea 2 | 51 |
| Figura 5.3. Perfil de SOC, Línea 3 | Figura 5.4. Perfil de SOC, Línea 5 | 51 |
| Figura 5.5. Perfil de SOC, Línea 6 | Figura 5.6. Perfil de SOC, Línea 7 | 52 |
| Figura 5.7. Perfil de SOC, Línea 8 | Figura 5.8. Perfil de SOC, Línea 10 | 52 |
| Figura 5.9. Perfil de SOC, Línea 12 | Figura 5.10. Perfil de SOC, Línea 13 | 52 |
| Figura 5.11. Perfil de SOC, Línea 13-2 | Figura 5.12. Perfil de SOC, Línea 14 | 53 |
| Figura 5.13. Perfil de SOC, Línea 15 | Figura 5.14. Perfil de SOC, Línea 16 | 53 |
| Figura 5.15. Perfil de SOC, Línea 17 | Figura 5.16. Perfil de SOC, Línea 18 | 53 |
| Figura 5.17. Perfil de SOC, Línea 19 | Figura 5.18. Perfil de SOC, Línea 20 | 54 |
| Figura 5.19. Perfil de SOC, Línea 22 | Figura 5.20. Perfil de SOC, Línea 24 | 54 |
| Figura 5.21. Perfil de SOC, Línea 25 | Figura 5.22. Perfil de SOC, Línea 26 | 54 |
| Figura 5.23. Perfil de SOC, Línea 27 | Figura 5.24. Perfil de SOC, Línea 28 | 55 |
| Figura 5.25. Perfil de SOC, Línea 28-2 | Figura 5.26. Perfil de SOC, Línea 50 | 55 |
| Figura 5.27. Perfil de SOC, Línea 100 | Figura 5.28. Perfil de SOC, Línea 101 | 55 |
| Figura 6.1. Área de concesión de la EERCS C.A. | 60 | |
| Figura 6.2. Perfiles estimados de carga lenta y rápida de todas las líneas | 70 | |
| Figura 6.3. Perfiles de energía con carga lenta y carga rápida de todas las líneas | 70 | |
| Figura 6.4. Curva de demanda de potencia en la red eléctrica de Cuenca | 71 | |
| Figura 6.5. Curva de demanda TOTAL y con perfil de autobuses eléctricos | 72 | |



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1. Concentraciones de contaminantes que definen niveles de alerta, alarma y emergencia.... | 12 |
| Tabla 2.2. Normas europeas de emisiones (g/km)..... | 13 |
| Tabla 2.3. Normas de la EPA sobre emisiones (g/km)..... | 13 |
| Tabla 2.4. Gastos medios totales de un vehículo..... | 20 |
| Tabla 3.1. Especificaciones técnicas del autobús eléctrico | 27 |
| Tabla 3.2. Datos de campo iniciales obtenidos del autobús eléctrico | 33 |
| Tabla 3.3. Eficiencia promedio de líneas iniciales | 34 |
| Tabla 3.4. Datos de una sola vuelta de ruta de las líneas iniciales | 35 |
| Tabla 3.5. Valores promedios de líneas iniciales | 36 |
| Tabla 3.6. Valores reales y teóricos de energía consumida..... | 36 |
| Tabla 4.1. Porcentajes consumidos reales y del modelo matemático..... | 44 |
| Tabla 5.1. Empresas y Líneas de transporte público actuales de Cuenca..... | 48 |
| Tabla 5.2. Datos de las líneas de transporte recopilados con el GPS | 49 |
| Tabla 5.3. Energía consumida por cada línea durante una vuelta de ruta | 56 |
| Tabla 5.4. Energía consumida por cada línea durante 1 día de operación..... | 57 |
| Tabla 5.5. Eficiencia de cada una de las líneas de transporte..... | 58 |
| Tabla 6.1. Subestaciones del SEP de la EERCS y capacidad de transformadores | 61 |
| Tabla 6.2. Potencia disponible en transformadores cercanos..... | 62 |
| Tabla 6.3. Potencia de Subestaciones en construcción..... | 63 |
| Tabla 6.4. Porcentajes finales de baterías para las líneas durante un día de operación..... | 64 |
| Tabla 6.5. Porcentaje de recarga y final con un conector de 40 kWh | 65 |
| Tabla 6.6. Porcentaje de recarga y final con dos conectores de 40 kWh c/u..... | 66 |
| Tabla 6.7. Porcentajes finales con recargas parciales durante un día de operación | 67 |
| Tabla 6.8. Energía requerida para recargar baterías de un autobús de cada línea | 68 |
| Tabla 6.9. Energía requerida para cargar baterías de todos los autobuses de cada línea..... | 69 |



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Yo, WILSON EFRAÍN LUZURIAGA CARRILLO, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "*Estimación de la energía requerida para la sustitución de la flota de autobuses públicos por autobuses eléctricos de la Ciudad de Cuenca*", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad en lo dispuesto en el Art. 114 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, julio de 2019

Wilson Efraín Luzuriaga Carrillo

C. I. 0105775183



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, WILSON EFRAÍN LUZURIAGA CARRILLO, autor del trabajo de titulación "*Estimación de la energía requerida para la sustitución de la flota de autobuses públicos por autobuses eléctricos de la Ciudad de Cuenca*", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, julio de 2019

Wilson Efraín Luzuriaga Carrillo

C. I. 0105775183



AGRADECIMIENTOS

A Dios por sus bendiciones.

A mis padres por haberme dado la vida, principalmente a mi madre Sandra ya que gracias a su infinito amor, trabajo duro y apoyo incondicional desde el comienzo, he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que ahora soy.

A mi hermana Michelle, quien estuvo presente en cada paso.

A José, y mis hermanos Daniel y Juan Pablo, quienes estuvieron apoyándome cada día.

A toda mi familia, quienes me ayudaron a continuar en este proceso.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca y a quienes fueron mis maestros durante todo este tiempo, especialmente al Ing. Luis González quien con su apoyo y tutoría, me ayudó a cumplir con este objetivo.

A Lourdes quien en poco tiempo estuvo apoyándome de alguna u otra manera.

A mis amigos, y a todos aquellos que con sus palabras me dieron ese apoyo y motivación, necesarios para no darme por vencido y seguir adelante en cada tropiezo.

Gracias a todos por esto...

Wilson Efraín Luzuriaga



DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a Dios por darme la sabiduría y motivación durante toda mi vida.

A mi madre Sandra, ya que ella estuvo y siempre estará en los mejores momentos a lo largo de mi vida siempre apoyándome y guiándome con su amor y confianza.

Y a todos mis seres queridos...

Wilson Efraín Luzuriaga



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto y motivación

Cuenca constituye una ciudad que se encamina al desarrollo sostenible para mejorar la calidad de vida de sus habitantes, presentándose como uno de sus principales inconvenientes la contaminación de su medio ambiente, específicamente del aire debido a varios factores, siendo el principal la emisión de contaminantes del parque automotor por el uso de combustibles fósiles; ya que los niveles de contaminación aérea se han elevado notablemente durante los últimos años.

Debido a que la ciudad se encuentra en un estado de crecimiento y desarrollo, se ha obligado a los ciudadanos a concientizar sobre hábitos diarios que contribuyen a la contaminación del aire, por ejemplo, el incremento de obras civiles en el sector urbano, ya que contribuye a la mayor emisión de material particulado al ambiente, el uso de varios químicos, entre otros.

Según los últimos informes sobre la calidad del aire del año 2017 en la Ciudad de Cuenca realizado por la EMOV E.P. determinó que las principales fuentes de contaminación del aire en la Ciudad de Cuenca son el tráfico vehicular, industrias, ladrilleras artesanales, uso de disolventes, uso de aerosoles y el uso de varios químicos en el sector de la agricultura para la vegetación. [1]

Además, dicho informe determinó que la emisión de material particulado grueso MP_{10} (como polvo, hollín, humo, etc.) en el año 2014 fue de $31.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en el 2015 de $39.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en el 2016 de $44.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en los cuales se observa como poco a poco los niveles se van acercando de manera notable al límite permitido, establecido por la Norma de Calidad del Aire Ambiente (NCAA) el cual actualmente es de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y en el año 2017 de $38.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en donde la emisión se redujo pero aún es un nivel alto. [1]

El porcentaje de contaminación emitida por el parque automotor puede alcanzar hasta el 75% del total de contaminación aérea presente en la ciudad, ya que está conformado por un aproximado de 110000 vehículos privados y una flota de 475 autobuses urbanos que circulan por la ciudad. Además, las calles con mayor emisión y concentración de dióxido de azufre producidas por vehículos de combustión son las calles Presidente Córdova ($41.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Larga ($35.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Antonio Vega Muñoz ($32.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). [2]

Investigaciones iniciadas en mayo del año 2016 apoyadas por el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) y por la Agencia Francesa para el Desarrollo y Servicios Ambientales, revelaron los niveles de contaminación ambiental del aire que se encuentran presentes en la Ciudad de Cuenca. Leandra Díaz dio a conocer los resultados del proyecto en donde se midieron la huella hídrica y la de carbono de Cuenca mediante parámetros tales como la emisión de CO_2 en vehículos de transporte público y particulares, entre otros. [3]



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Díaz reveló que los niveles de contaminación mayores respecto a la huella de carbono en la ciudad son aquellos emitidos desde el transporte público, específicamente autobuses, alcanzando un 55% del porcentaje total de la contaminación, además del sector industrial con un 16%, el sector residencial con un 15%, los residuos con un 10% y el sector comercial con un 4%. [3]

Bernardo Requena, representante de CAF en la Ciudad de Cuenca, indicó que en el año 2016 se emitieron un total de 1500000 toneladas de CO₂. Catalina Albán, directora de la Comisión de la Gestión Ambiental (CGA), planteó que el estudio realizado constituye una importante herramienta para tomar decisiones que ayuden a la ciudad como motivar acciones que ayuden a mitigar los niveles de contaminación y por lo tanto el cambio climático. [3]

La emisión de contaminantes a la atmósfera se encuentra presente de manera notable en la sociedad que de una manera directa afecta a la calidad de vida de las personas y por lo tanto al desarrollo de la ciudad. Según resultados de la Organización Panamericana de Salud (OPS 2010) se determinó que la muerte promedio por causa de enfermedades debido a la contaminación ambiental del aire en el Ecuador es de 500 personas por año, [1] representando un valor serio.

Los efectos de la contaminación del aire no solo afectan a la calidad de vida de las personas, si no, de manera global afectan al desarrollo del país y de manera mundial aspectos como el calentamiento global. Es por esta razón que se debe concientizar sobre prácticas diarias que contribuyen notoriamente a la contaminación.

La Ciudad de Cuenca ha tomado medidas para la reducción de los niveles de contaminación que se emiten al medio ambiente, dado que ha desarrollado estudios de factibilidad técnica para la implementación de nuevas tecnologías en el área del transporte público como el sistema tranviario de Cuenca que es un sistema completamente eléctrico, y desde hace un año ha realizado estudios técnicos y de factibilidad sobre el autobús eléctrico, específicamente con el modelo K9FE de la marca BYD como alternativa de transporte público en la ciudad. [4]

A inicios del año 2018 empezaron los estudios del primer autobús eléctrico en la Ciudad de Cuenca con una unidad de transporte de la marca china BYD que se incorporó al servicio de transporte público en el mes de enero. Las primeras pruebas se realizaron en el mes de febrero del año 2018 en convenio entre la Municipalidad, BYD Motors y la Universidad de Cuenca. [5]

Daniel Cárdenas, Director Municipal de Transporte explicó en uno de sus discursos: “El objetivo es dar un verdadero salto respecto a la tecnología y así mejorar el nivel de servicio y de vida de los cuencanos, pues contribuimos a la no contaminación ambiental y sonora de la ciudad”. [6]



1.2. Antecedentes

La empresa EMOV E.P. cuenta con una Red de Monitoreo de Calidad del Aire que opera desde el año 2008 y se encuentra distribuida en 20 estaciones de monitoreo ubicadas alrededor de toda la ciudad, además, desde el año 2012 cuenta con una estación automática ubicada en el Centro Histórico y en el año 2016 empezó el funcionamiento de una estación automática en el sector del Parque Industrial, de las cuales se puede obtener información de los niveles de contaminación como dióxido de azufre, ozono, dióxido de nitrógeno, partículas sedimentables y material particulado MP₁₀ y MP_{2.5}, además de variables meteorológicas como dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad, radiación solar, precipitación y presión barométrica. [1]

Con los datos obtenidos por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire se analizó que en la zona urbana de la Ciudad de Cuenca la mayor fuente de emisión de contaminación son los vehículos que funcionan a base de algún combustible fósil, mientras que al noroccidente se tienen principalmente fuentes de emisiones industriales.

En el Ecuador casi el total de transporte público opera a base de diésel como combustible, el cual es causante de contaminación ambiental y por ende responsable de afectar la salud de los seres vivos. Debido a esto, en el país se ha empezado a tomar conciencia y buscar maneras de reducir esto, teniendo en planes la importación de autobuses eléctricos. [7]

El Ingeniero Ambiental Jorge Escudero reveló que la adquisición de autos alternativos como los que funcionan con energía eléctrica es una buena alternativa para la reducción de la Huella de Carbono. En la capital del Ecuador se encuentran tres autobuses eléctricos que fueron importados por la empresa BYD E-motors Ecuador. Durante tres meses de prueba el autobús eléctrico recorrió un total de 9000 km sin generar emisión contaminante en comparación a un autobús que opera a diésel el cual puede llegar a emitir a la atmósfera hasta 12 toneladas de CO₂. [7]

La Organización de Naciones Unidas (ONU) indicó que si las ciudades latinoamericanas reemplazaran toda su flota de autobuses y taxis por vehículos eléctricos se ahorrarían un total de \$ 64000 millones en combustible desde el 2018 hasta el año 2030. Además se evitaría la emisión de un total de 300 millones de toneladas de dióxido de carbono al ambiente y por consecuencia la muerte de más de 36500 personas con enfermedades respiratorias relacionadas con el problema. [7]

Gustavo Máñez, Coordinador de Cambio Climático de la ONU Medio Ambiente para Latinoamérica afirmó: “Los vehículos eléctricos son el medio de transporte más eficiente que existe en la actualidad, pues se alimentan de electricidad en lugar de combustibles fósiles”. [7]



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

A inicios del año 2018 se realizaron pruebas durante un mes, utilizando un autobús eléctrico en la Ciudad de Cuenca gracias a la gestión de la Alcaldía de Cuenca, el aval técnico de la Universidad de Cuenca y el emprendimiento de la empresa BYD. Esta unidad de transporte eléctrico ha realizado pruebas en las ciudades de Loja, Guayaquil y Quito anteriormente, teniendo buenos resultados en cada una de las ciudades. [8]

En la Ciudad de Cuenca se realizó un total de 7 recorridos al día con una duración de 1 hora y 10 minutos más o menos cada recorrido. Finalizada la fase de prueba se obtuvieron resultados positivos como el cumplimiento de la norma internacional para la calidad de carga con la reducción de la emisión de 12 toneladas de CO₂, además de una autonomía de 304 km dada la capacidad de la batería de 276.5 kW. [8]

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Estimar la energía necesaria para satisfacer la demanda de autobuses eléctricos que sustituirían la flota actual de autobuses de la Ciudad de Cuenca mediante una aproximación matemática.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar un análisis de campo experimental y técnico del autobús eléctrico de la marca BYD para obtener datos de entrada y salida de algunas líneas de transporte.
- Modelar mediante métodos computacionales el comportamiento del autobús eléctrico y realizar una comparación de los resultados obtenidos con los resultados de campo.
- Aplicar el modelo elaborado a las demás líneas de transporte público disponibles en la ciudad y aproximar la demanda de energía necesaria para la sustitución de autobuses actuales de la Ciudad de Cuenca por autobuses eléctricos.
- Analizar los posibles impactos en la red eléctrica de la ciudad que tendría la sustitución de la flota actual de autobuses públicos por autobuses totalmente eléctricos.



1.4. Justificación

Es cada vez más notoria la contaminación y sus efectos presentes en la Ciudad de Cuenca debido a la emisión de contaminantes al medio ambiente de los vehículos pesados y más comúnmente de autobuses de transporte público que tienen motores de combustión interna. Pese a que los niveles de contaminación en la ciudad no superan los límites de contaminación permisibles según la Norma de Calidad del Aire Ambiente (NCAA) el cual es de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, es importante realizar estudios para eliminar o contrarrestar los efectos de la contaminación emitida.

Mediante los estudios que se han realizado a partir de principios del año 2018 con la utilización de un autobús eléctrico BYD modelo K9FE y la estación de carga o electrolinera presente en el Laboratorio de Microrred Eléctrica de la Universidad de Cuenca, ha sido posible tener los primeros datos o estadísticas que sirven para posibles implementaciones de sistemas que ayuden a la reducción de emisiones de contaminantes al medio ambiente.

Es importante realizar este tipo de estudios para que de esa manera los ciudadanos de Cuenca creen consciencia sobre los efectos que tienen las emisiones de contaminantes al ambiente. También mediante incentivos de algunas empresas como la Cámara de Transportes de Cuenca, Hyundai Ecuador, BYD E-Motors Ecuador, La Municipalidad de Cuenca, y otras, se puede empezar a cambiar las perspectivas a las cuales según especialistas aseguran que la Ciudad de Cuenca está encaminada.

La Ciudad de Cuenca cada vez avanza más hacia un enfoque tecnológico positivo para con el medio ambiente y por lo tanto para con los ciudadanos, con la implementación de sistemas que ayudan a la reducción de contaminantes al ambiente y sirven como punto de partida para futuros proyectos relacionados.

La implementación del sistema tranviario en la Ciudad de Cuenca ha marcado un inicio a la propuesta tecnológica para cambiar la matriz de emisión de contaminantes ya que reduce en un porcentaje la utilización de vehículos convencionales los cuales además de emitir contaminantes al medio ambiente también tienen mayor tiempo de utilización debido al tráfico presente, lo que crea lapsos perdidos para los ciudadanos.

Poco a poco la Ciudad de Cuenca va implementando sistemas que no emiten contaminantes al medio ambiente y los ciudadanos han empezado a cambiar la mentalidad sobre los efectos de los contaminantes y su gran importancia en la calidad de vida que esto significa.

Este proyecto trata de representar un avance al cambio de los sistemas actuales de transporte público, por lo tanto de la calidad del aire de Cuenca.



1.5. Metodología

Se realizó un análisis de las características del autobús eléctrico en base a pruebas técnicas en campo, tomando los datos exportados del GPS que fue implementado en la unidad de transporte eléctrico durante los días que fueron disponibles para el estudio y los datos obtenidos por el medidor de energía implementado en la estación de carga del Laboratorio de Microrred de la Universidad de Cuenca.

MATLAB es un lenguaje de alto rendimiento, el cual sirve para realizar cálculos técnicos, integrando una programación en un ambiente fácil de utilizar, ya que los problemas y soluciones se expresan en una notación netamente matemática. Además, es una herramienta que permite resolver varios problemas computacionales, precisamente aquellos que involucren vectores y matrices de datos, gracias a esto fue posible trabajar con los datos que se obtuvieron inicialmente.

Así se elaboró el algoritmo en base a algunos escenarios planteados en los cuales se encontró el autobús eléctrico durante su recorrido por algunas de las líneas de transporte público de la ciudad y además permitió obtener una aproximación bastante cercana a valores reales de datos obtenidos por el medidor de energía.

Luego, a partir de los datos de campo de todas las líneas de autobuses actuales de la Ciudad de Cuenca obtenidos de manera experimental se procede con la aplicación del algoritmo o modelo matemático, con el cual se obtuvo un valor estimado de la energía que se requerirá para suplir la demanda de las unidades de todos los autobuses durante un día de operación.

Finalmente, se analizó si la implementación de autobuses eléctricos en la flota de la ciudad es factible teniendo en cuenta factores como la autonomía en cada una de las líneas. Además se analizará si dicha implementación no afectará el sistema de distribución eléctrica.



CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

2.1 Principales contaminantes del aire y sus efectos

La contaminación aérea no es más que la presencia de cualquier sustancia que ha sido introducida en la atmósfera debido a varias prácticas diarias de las personas y además tiene un efecto notable sobre el medio ambiente y los seres vivos. Existen varios tipos de estos contaminantes que son considerados gases de efecto invernadero y afectan tanto a los seres vivos como al medio ambiente, entre los que se puede encontrar el dióxido de nitrógeno, material particulado, dióxido de azufre, monóxido de carbono, ozono troposférico, etc.

2.1.1. Dióxido de nitrógeno (NO₂)

El dióxido de nitrógeno es un contaminante atmosférico que se forma debido a la oxidación del óxido nítrico (NO) y proviene de los procesos de combustión como por ejemplo de los motores de los vehículos, centrales térmicas, procesos industriales, etc.

Los niveles de este contaminante en la atmósfera aumentan cada año de forma notable, principalmente debido a la combustión de diésel.

Este se presenta como un gas de color café rojizo, además es reactivo, tóxico e irritante cuando se tiene en altas concentraciones. También contribuye a la formación de otros contaminantes como el ozono y el material particulado fino y grueso.

La exposición a niveles elevados llega al punto de provocar irritación pulmonar, disminución de la función pulmonar así como la disminución de la resistencia a infecciones pulmonares. Además aumenta infecciones respiratorias y agudiza síntomas de pacientes con enfermedades respiratorias, asmáticos y alérgicos. [9]

2.1.2. Material particulado (MP)

El material particulado es básicamente una mezcla de partículas líquidas y sólidas que puede formarse por la condensación de contaminantes gaseosos, también debido a la licuefacción de precursores gaseosos siendo principalmente los hidrocarburos.



Aquellas partículas más grandes (con diámetro mayor a $10\mu\text{m}$) no permanecen por mucho tiempo en la atmósfera (aire) y regresan cerca de la fuente de donde fueron emitidas inicialmente y se les llama partículas sedimentables (PS). Las partículas que tienen un diámetro menor o igual a 10 micrómetros ($\text{MP}_{10} \geq 10\mu\text{m}$) se denominan partículas gruesas y son principalmente emitidas por el tráfico en vías sin pavimento, también debido a la erosión producida del viento en áreas secas, por la quema de residuos de cosechas agrícolas y por actividades de construcción. [1]

Aquellas partículas más pequeñas que tienen un diámetro menor o igual a 2.5 micrómetros ($\text{MP}_{2.5} \geq 2.5\mu\text{m}$) se denominan partículas finas y se emiten principalmente a través de los motores de los vehículos de combustión de diésel, por la generación de energía eléctrica en centrales térmicas y por la combustión industrial y residencial. [1]

Los MP_{10} pueden ingresar hasta la nariz y la garganta mediante la respiración mientras que los $\text{MP}_{2.5}$ pueden ingresar directamente hasta los alvéolos pulmonares y pueden asociarse con la pérdida de visibilidad. El $\text{MP}_{2.5}$ es considerado un contaminante cancerígeno. [1]

2.1.3. Dióxido de azufre (SO_2)

El dióxido de azufre es un gas contaminante incoloro, no explosivo ni inflamable y tiene mucha estabilidad, puede producir una sensación distinguible a partir de 3ppm (partes por millón). [1]

Este se forma por la oxidación del azufre que contienen la mayoría de combustibles fósiles. Se emite a la atmósfera por la combustión de productos petrolíferos y por la quema de carbón en las centrales eléctricas, además se genera por fuentes naturales como volcanes.

Al estar en contacto con agua se convierte en ácido sulfúrico, el cual es un compuesto que se transporta con la lluvia y provoca la acidificación de suelos, lagunas, ríos y mares, además es responsable de la llamada lluvia ácida. Es un gas que provoca alteraciones en las mucosas oculares y también en vías respiratorias, afecta a las defensas del sistema respiratorio y empeora las enfermedades cardiovasculares. [1]

Forman partículas secundarias que son perjudiciales para la salud de los seres, dispersan la luz y reducen la visibilidad. Es asociado a problemas de asma y bronquitis severa, aumentando la mortalidad en niños y personas mayores.



2.1.4. Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono es un gas venenoso, no tiene olor ni color y principalmente se forma cuando los combustibles no se oxidan en su totalidad.

Una de sus principales fuentes de emisión son los vehículos a gasolina a través del tubo de escape, teniendo su mayor concentración en zonas urbanas debido a que existe más utilización de vehículos de este tipo y también en zonas en donde se encuentran procesos de combustión de gasolina como en algunas industrias. [1]

Si se tiene contacto con grandes cantidades de este gas y durante un tiempo prolongado, se puede producir una privación de oxígeno causando alteraciones como variaciones en el ritmo cardíaco y en el flujo de sangre, además de molestias en la vista y cabeza, reducción de destreza manual, mareos, vómitos, desmayos, convulsiones, y llegar a un punto en el que la persona caiga en coma o incluso muera.

Mayormente estas alteraciones que se da en las personas, es debido a la combustión de dispositivos con funcionamiento deficiente que dan concentraciones de monóxido de carbono en áreas cerradas sin adecuadas condiciones de ventilación. [1]

2.1.5. Ozono troposférico (O₃)

El ozono troposférico es un gas oxidante y se encuentra presente en la composición natural de la atmósfera, pero solo un 10% de su total se encuentra en contacto con la tropósfera.

El O₃ de origen antropogénico se produce generalmente por la reacción entre óxidos de nitrógeno (NO_x) y algunos compuestos orgánicos volátiles en presencia de radiación solar. [1]

Según estudios de la OMS (Organización Mundial de la Salud) indican que una concentración horaria de 200 µg/m³ puede provocar irritación en ojos, nariz y parte de la garganta siendo las personas que sufren de asma, bronquitis crónica y enfisema las más afectadas. [1]

También afecta al desarrollo y crecimiento normal de las plantas, y conduce al deterioro de algunos materiales tales como el caucho, algunos colorantes textiles y pinturas.



2.2 Normas sobre emisiones de contaminantes

Las emisiones más comunes que se asocian a autobuses que funcionan con combustibles fósiles son el Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarburos (HC), Óxidos de Nitrógeno (NO_x) y Material Particulado (MP) que causan contaminación del aire local, contaminación del agua y afectan además a la salud de los seres vivos. Estas emisiones producen gases causantes de efecto invernadero como lo es principalmente el Dióxido de Carbono (CO₂) que actualmente no ha sido posible reducirlas con las tecnologías de postratamiento. [10]

Estas emisiones se encuentran vinculadas a las normas y reglamentos establecidos por cada país, en los cuales se tienen reglas y procedimientos que se deben seguir para reducir o limitar las emisiones al medio ambiente, es por eso que se deben conocer estas normas y sobre todo los valores límites sobre las emisiones que se deben mantener en cada país.

Existen algunas normas en varios países que sirven para regular estas emisiones y que estimulan el desarrollo sostenible, la aplicación de nuevas tecnologías para vehículos que usan combustibles y mejoras de postratamiento de emisiones en los escapes de los vehículos. Las reglamentaciones sobre emisiones de gases de efecto invernadero en Europa cubren solamente vehículos pequeños y camionetas para pasajeros, mientras que a partir del año 2011, los Estados Unidos anunciaron las primeras reglas sobre emisiones de GEI, normas para la economía de combustible para vehículos pesados como autobuses. [10]

2.2.1. Concentraciones máximas permisibles de contaminantes

El martes 7 de junio de 2011, en el Registro Oficial se publicó la reforma a la Norma de Calidad de Aire Ambiente la cual forma parte del conjunto de normas técnicas ambientales para la prevención y control de la contaminación, cuyo objetivo principal es el de preservar la calidad y la buena salud de las personas, la calidad del aire, el bienestar de todos los ecosistemas y del medio ambiente en general. [11]

En la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire se establece los límites máximos que son permisibles de emisión de contaminantes a nivel del suelo en el aire ambiente, además proporciona los métodos y procedimientos destinados a la resolución de las concentraciones de emisiones de contaminantes en el aire ambiente. [11]



Entre las normas generales para concentraciones de las principales emisiones de contaminantes en el aire ambiente por parte de vehículos que funcionan con combustibles fósiles se tiene:

- **Dióxido de Nitrógeno:** el promedio aritmético de concentración determinado en las muestras en un año no deberá exceder de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la concentración máxima en una hora no deberá exceder los $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- **Material Particulado (MP_{2.5}):** el promedio aritmético de concentración de todas las muestras en un año no deberá exceder de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que el promedio aritmético continuo durante 24 horas no deberá exceder de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- **Material Particulado (MP₁₀):** el promedio aritmético de concentración de todas las muestras en un año no deberá exceder de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que el promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas no deberá exceder los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- **Dióxido de Azufre:** el promedio aritmético de concentración de todas las muestras en un año no deberá exceder los $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la concentración en 24 horas no deberá exceder los $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$, además, la concentración continua para un periodo de 10 minutos no deberá exceder los $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- **Monóxido de Carbono:** la concentración de las muestras determinadas de forma continua en un período de 8 horas no deberá exceder los $10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no más de una vez al año, mientras que la concentración máxima en una hora no deberá exceder los $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ también no más de una vez al año.
- **Ozono:** la máxima concentración obtenida mediante una muestra continua en un período de 8 horas no deberá exceder de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no más de una vez en al año.

También para partículas sedimentables se tiene que la máxima concentración de una muestra durante 30 días de forma continua será de $1 \text{ mg}/\text{m}^2$.

Dichos valores de concentración de emisiones de contaminantes al aire establecidos en la norma están sujetos a las condiciones de referencia de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ y 760 mm Hg .



2.2.2. Plan de alerta, alarma y emergencia debido a emisiones

La Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable ante el Sistema Único de Manejo Ambiental establece un Plan de Alerta, de Alarma y de Emergencia ante situaciones de contaminación del aire basado en 3 niveles de concentración de contaminantes emitidos al ambiente que se muestran en la **Tabla 2.1.** [11]

Tabla 2.1. Concentraciones de contaminantes que definen niveles de alerta, alarma y emergencia [11]

| Contaminante | Tiempo de concentración promedio | Alerta ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Alarma ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Emergencia ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|--|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|
| Monóxido de Carbono | 8 horas | 15000 | 30000 | 40000 |
| Ozono | 8 horas | 200 | 400 | 600 |
| Dióxido de Nitrógeno | 1 hora | 1000 | 2000 | 3000 |
| Dióxido de Azufre | 24 horas | 200 | 1000 | 1800 |
| Material Particulado MP_{10} | 24 horas | 250 | 400 | 500 |
| Material Particulado $\text{MP}_{2.5}$ | 24 horas | 150 | 250 | 350 |

Fuente: Secretaría de Ambiente. (2011). *Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire.*

A continuación se presentan las actividades mínimas que deben ejecutarse ante niveles de concentración de contaminantes de alerta, alarma y emergencia:

Nivel de Alerta: informar inmediatamente al público mediante medios de comunicación; restringir la circulación vehicular y disminuir actividades de mantenimiento de fuentes de combustión.

Nivel de Alarma: informar al público del nivel de alarma, restringir o prohibir la circulación vehicular y fuentes de combustión en la zona.

Nivel de Emergencia: informar al público del nivel de emergencia, prohibir circulación de vehículos automotores y utilización de fuentes fijas de combustión presentes.



2.2.3. Normas EURO y EPA

Muchos gobiernos nacionales utilizan pruebas y normas de emisiones para poder controlar la cantidad y tipo de emisiones de contaminantes al medio ambiente que provienen directo de la combustión. Entre las normas más comunes se encuentran las normas de emisiones europeas (EURO) **Tabla 2.2**, y las normas de la EPA estadounidense **Tabla 2.3** las cuales son aplicadas en varios países. [10]

Tabla 2.2. Normas europeas de emisiones (g/km) [10]

| Normas sobre emisiones | Fecha | CO | HC | NO _x | MP |
|------------------------|-------|------|-------|-----------------|-------|
| Euro I | 1992 | 8.1 | 1.98 | 14.4 | 0.648 |
| Euro II | 1998 | 7.2 | 1.98 | 12.6 | 0.27 |
| Euro III | 2000 | 3.78 | 1.188 | 9 | 0.18 |
| Euro IV | 2005 | 2.7 | 0.828 | 6.3 | 0.036 |
| Euro V | 2008 | 2.7 | 0.828 | 3.6 | 0.036 |
| EEV | | 2.7 | 0.45 | 3.6 | 0.036 |
| Euro VI | 2013 | 2.7 | 0.234 | 0.72 | 0.018 |

Fuente: Erin Cooper, et al. (2012). *Emisiones de Escape de Autobuses de Transporte Público*.

Tabla 2.3. Normas de la EPA sobre emisiones (g/km) [10]

| Normas sobre emisiones | CO | HC | NO _x | MP |
|------------------------|-------|------|-----------------|------|
| 1994 | 45.06 | 3.78 | 14.54 | 0.2 |
| 1996 | 45.06 | 3.78 | 11.63 | 0.15 |
| 1998 | 45.06 | 3.78 | 11.63 | 0.15 |
| 2004 (1) | 45.06 | 3.78 | - | 0.03 |
| 2004 (2) | 45.06 | 3.78 | - | 0.03 |
| 2007 | 45.06 | 3.78 | 3.92 | 0.03 |
| 2010 | 45.06 | 3.78 | 0.58 | 0.03 |

Fuente: Erin Cooper, et al. (2012). *Emisiones de Escape de Autobuses de Transporte Público*.



2004 (1) y (2) representan opciones distintas para el cumplimiento. Estos valores están presentados para normas de emisiones para vehículos de transporte público, comúnmente son autobuses y se han elaborado las conversiones a g/km para su comparación. Como se observa las normas sobre CO estadounidenses no ha cambiado debido a que los vehículos utilitarios pesados a motor de diésel no se presentan como una fuente de contaminación significativa según la Administración Federal de Transporte (2006). Las normas relativas al NO_x y MP se encuentran en valores similares y comparables. [10]

2.3 Tecnologías de autobuses públicos

A medida que las normas sobre emisiones que afectan al medio ambiente son cada vez más relevantes y estrictas, los niveles de emisiones y sus postratamientos deben ser más críticos por lo tanto las tecnologías que se utilizan en autobuses deben ser cada vez mejores y positivas para con el ambiente. En la actualidad existen tipos de tecnologías que son completamente libres de emisiones al medio ambiente, pero debido a su alto costo de adquisición aún es permitida la utilización de combustibles cuyos niveles de emisiones están normalizados.

Existen diferentes tipos de tecnologías que son aplicables al transporte público como por ejemplo autobuses, y cada una tiene sus respectivas ventajas y desventajas en comparación con otras. A continuación se mencionan las tecnologías más utilizadas en la actualidad:

2.3.1. Diésel

El diésel más utilizado y disponible es el de petróleo refinado a partir del petróleo crudo, pero debido a su próximo agotamiento están siendo exploradas otras fuentes de diésel con diferentes características referentes a emisiones al aire y al medio ambiente. Las emisiones de diésel se caracterizan principalmente por la cantidad de azufre que este contiene y además, de las tecnologías de reducción de emisiones.

Las emisiones de CO en el caso de motores a base de diésel son relativamente bajas, así también emisiones de HC por lo general son no-metano y no representan un peligro respecto al calentamiento global; siendo las principales emisiones a tratar el NO y el MP sobre el diésel.



El azufre presente en los combustibles contribuye a la formación de partículas que pueden obstruir los filtros por lo tanto, disminuyen la efectividad de la tecnología que sirven para la reducción de emisiones al ambiente, es por eso que se debe reducir este elemento del diésel para de esa manera reducir la contaminación del aire y permitir el uso de nuevas tecnologías de postratamiento de escapes de vehículos.

Existen tratamientos para emisión-reducción de diésel como el *convertidor catalítico de oxidación en vehículos a diésel* el cual utiliza un proceso químico que descompone los contaminantes de los motores dentro de la corriente de escape que los transforma en compuestos nocivamente menores. Este proceso reduce las emisiones de MP, HC y CO; pero solamente puede ser utilizado cuando el contenido de azufre en el diésel sea menor a 500 ppm.

También existe un *filtro de partículas diésel* el cual es un dispositivo que se coloca sobre el sistema de escape de los vehículos y tiene la misma configuración que otros dispositivos de postratamiento de escape. Con este tratamiento se cumple la norma EPA 2007 y solo es efectivo si se aplica a un combustible diésel cuyo contenido de azufre sea menor a 50 ppm.

Además, otra tecnología es la *reducción catalítica selectiva*, que es un proceso en el cual se combina urea y agua para producir amoníaco y dióxido de carbono los que se combinan a su vez con NO_x para luego producir nitrógeno y agua. Este proceso puede reducir las emisiones de NO_x hasta un 90% y cumple con la norma EPA 2010. [10]

2.3.2. Gas Natural Comprimido (GNC)

El gas natural comprimido es considerado una fuente de energía con elevado contenido de metano, el cual se comprime para aumentar la densidad de la energía contenida. Principalmente, las emisiones del GNC son metano y NO_x, además en comparación con el diésel, las emisiones de MP y NO_x de gas natural comprimido son notablemente menores, aunque, los valores varían de acuerdo al tipo de autobús. El GNC tiene un bajo nivel de emisión de MP al medio ambiente, aunque con cargas elevadas de pasajeros en autobuses se puede tener cantidades comparables a los del diésel.

Una de las principales tecnologías para reducir las emisiones del GNC es la *oxidación catalítica* la cual está diseñada para oxidar tanto el CO como los HC que a su vez produce CO₂.



También se puede utilizar el *catalizador de tres vías* conocido también como catalizador de oxidación-reducción el cual está diseñado para oxidar tanto el CO como los HC dando como resultado la producción de CO₂, nitrógeno y agua; reduciendo el NO₂. [10]

2.3.3. Gas Natural Licuado (GNL)

El gas natural licuado es un gas que tiene mayor contenido de energía que el gas natural comprimido, pero los vehículos que funcionan a base de GNC y GNL utilizan los mismos tipos de motores, debido a que su funcionamiento es idéntico, del mismo modo estos dos combustibles comparten y cumplen las mismas normas de emisiones y tecnologías para la reducción de sus emisiones contaminantes al ambiente.

2.3.4. Biodiésel

El biodiésel se elabora principalmente con aceite de colza o de soja y es producido a través de un proceso llamado *transesterificación*, el cual consiste fundamentalmente en combinar aceites con alcohol mediante un catalizador que sirve para producir biodiésel. Este combustible contiene una menor cantidad de azufre que el diésel, por lo tanto genera menos emisiones de cantidad de material particulado.

Las emisiones del diésel y biodiésel se diferencian por la cantidad de concentración de diésel que contiene el biodiésel, como por ejemplo, la mezcla de B20 el cual indica que es una combinación de 20% biodiésel y 80% diésel, con el cual se puede llegar a reducir hasta un 6% las emisiones de NO_x y hasta un 20% las emisiones de MP.

El biodiésel también reduce las emisiones de HC y CO, pero debido a las normas sobre emisiones EPA 2010 han hecho que sus diferencias sean insignificantes puesto que el diésel y el B20 son bastante parecidos.

Además, debido a su alta similitud con el combustible diésel, muchos modelos de autobuses actuales pueden llegar a tener un funcionamiento de igual manera utilizando cualquiera de estos dos combustibles, incluso ambos combustibles utilizan las mismas tecnologías para la reducción de las emisiones al medio ambiente. [10]



2.3.5. Etanol

El etanol o también conocido como alcohol etílico, se elabora generalmente a partir de maíz, caña de azúcar o de materia prima celulósica. La emisión de MP de los autobuses a base de etanol es similar a las emisiones de autobuses con motores a diésel. Este combustible genera menos emisiones de NO_x comparándolas con las emisiones que genera el diésel, sin embargo el diésel genera menos emisiones de HC y CO. [10]

2.3.6. Híbrido MCI - eléctrico

Un vehículo del tipo híbrido eléctrico tiene dos tipos de fuente de energía almacenada como un combustible consumible y un sistema de almacenamiento de energía el cual es recargable. Este logra generar menos emisiones dañinas al medio ambiente debido a tener un menor consumo de combustible mediante el frenado regenerativo y la disminución de operaciones transitorias del motor mediante un sistema de gestión de potencia. [10]

2.3.7. Hidrógeno

Un vehículo de hidrógeno o también conocido como vehículo de pila de combustible, dispone de tanques de hidrógeno el cual se mezcla con oxígeno para generar la propulsión del vehículo. Es un proceso electroquímico que se da en la pila de combustible que genera tanto energía eléctrica como agua, mientras la energía eléctrica se almacena en las baterías para ir abasteciendo al motor del vehículo, el agua restante generada se expulsa en forma de vapor por el tubo de escape.

Una gran ventaja en comparación a los vehículos eléctricos es el tiempo de recarga completa de combustible. Es un proceso bastante parecido al repostaje con combustibles tradicionales, que se hace a través de una manguera sellada al depósito mientras dura el repostaje del tanque el cual dura aproximadamente hasta 5 minutos.

Se puede llegar a tener una autonomía similar a vehículos de combustión muy cercana a 450km por cada tanque. [12]



2.3.8. Electricidad

El vehículo eléctrico al igual que los vehículos a hidrógeno genera cero emisiones dañinas al medio ambiente, por lo que se coloca entre los primeros lugares como alternativa para la eliminación de emisiones de autobuses tradicionales con combustibles fósiles. Mediante la utilización de baterías en las cuales se almacena la energía eléctrica suministrada por una fuente llamada electrolinera, se llega a poner en marcha los motores. También es importante mencionar el frenado regenerativo el cual sirve para alimentar de cierta manera las baterías.

Uno de las principales desventajas puede ser el tiempo que se debe esperar para llenar completamente el almacenamiento de energía, ya que puede durar hasta 5 horas de suministro continuo, esto puede resolverse mediante la recarga del autobús en la noche cuando no se lo utiliza. Aunque se puede decir que el principal inconveniente de este medio de transporte es el precio de adquisición en comparación con autobuses convencionales ya que su valor puede llegar a significar hasta el doble del precio de un autobús convencional. Pero se calcula que para el año 2025 el costo de adquisición de un vehículo eléctrico y uno de diésel será similar. [13]

2.4 Alternativas para la reducción de contaminantes emitidos por autobuses

A partir de los tipos de tecnologías para vehículos mencionados, es importante considerar y entender los niveles de emisiones que generan estos combustibles y sus tratamientos para poder reducirlos de manera notable. Los autobuses modernos que aún funcionan con combustibles que emiten contaminación al medio ambiente se encuentran en investigación para reducir la emisión de estos contaminantes mediante la implementación de sistemas de tratamiento de las emisiones al ambiente como filtros, lo que ayudaría a aumentar la eficiencia del autobús y reducir el consumo de combustible necesario.

Los actuales vehículos pesados y autobuses EURO VI tienen una tecnología relativamente limpia, ya que se ha podido reducir las emisiones de NO_x hasta en un 80% y las emisiones de material particulado a la mitad comparándolos con los límites establecidos por los EURO V. Además las normas EURO cada vez son más predecibles de tal manera que con el paso del tiempo se puedan obtener niveles bajos de emisiones de contaminantes por los medios de transporte.



Una de las importantes alternativas para la reducción de emisiones de contaminantes al medio ambiente, es la utilización de combustibles más limpios como el biodiésel, gas natural, gas licuado de petróleo y últimamente se han llevado a cabo investigaciones sobre el bioetanol.

Los sistemas de propulsión híbridos constituyen una buena alternativa para la eliminación parcial de contaminantes emitidos al ambiente, pero esto deberá tener una buena estrategia de coordinación entre los sistemas de combustión y eléctrico.

Los vehículos que son completamente eléctricos también constituyen una buena alternativa al momento de hablar sobre la cantidad de emisiones de contaminantes al medio ambiente, teniendo como su principal inconveniente el costo de una unidad de transporte público en comparación con el costo de un autobús que funciona a combustión de algún combustible como por ejemplo el diésel.

Los sistemas de propulsión de vehículos que funcionan con hidrógeno al igual que los autobuses eléctricos se posicionan bien al momento de hablar sobre emisiones de contaminantes al medio ambiente y de igual manera el precio es inclusive aún mayor al precio de un vehículo eléctrico.

También se optaría por un aumento de pago de la tarifa por la emisión de gases y contaminación acústica en el sistema de peajes actual, para que de esta manera se pueda crear conciencia sobre el tipo de vehículo que está siendo utilizado y las consecuencias que tienen. [14]

2.5 Comparación de precios entre tecnologías de vehículos

Debido al notorio aumento del número de vehículos amigables con el medio ambiente es importante considerar un análisis y comparación de precios, a su vez una comparación con los vehículos convencionales. Los vehículos que son ecológicos cada vez deberían tener costos menores para que de esa manera se pueda reducir el número de vehículos de combustión.

La Organización de Consumidores Europeos junto con la OCU (Organización de consumidores y Usuarios) ha puesto en marcha la producción de informes en varios países europeos en los cuales se averigua el costo total de vida de un vehículo dependiendo del tipo de tecnología y motor que utiliza.

Dichos informes revelaron que los vehículos eléctricos llegan a ser beneficiosos si se recorre un cierto número de kilómetros, es por esta razón que se ha empezado a ser competitivo en precios con los demás tipos de vehículos. [15]



Mediante un ejemplo se puede observar cuáles serían los gastos medios de un vehículo de diferentes tipos de combustibles para su arranque mostrados en la **Tabla 2.4**. Los parámetros que se han utilizado para el ejemplo son:

- Vehículo del segmento C (compacto/familiar pequeño)
- 11 años de uso
- 12900 km/año

Tabla 2.4. Gastos medios totales de un vehículo [15]

| Tipo de combustible | Costos financieros e impuestos | Costo de combustible | Mantenimiento y seguro | TOTAL \$ |
|---------------------|--------------------------------|----------------------|------------------------|----------|
| Gasolina | 33280 | 17696 | 11902 | 62878 |
| Diésel | 35258 | 12435 | 11163 | 58856 |
| Gas natural | 34290 | 7010 | 11902 | 53202 |
| GLP | 34003 | 11505 | 11902 | 57410 |
| Híbrido de gasolina | 37826 | 5963 | 10747 | 54536 |
| Hidrógeno | 64270 | 9026 | 9977 | 83273 |
| Electricidad | 44607 | 2153 | 9977 | 56737 |

Fuente: Organización de Consumidores y Usuarios OCU. (2018). *La transición a los coches eléctricos*.

Los valores mostrados en la tabla anterior se encuentran en unidades de dólares después de haber hecho la conversión correspondiente.

Como se puede observar, el costo de un vehículo eléctrico a pesar de ser mayor al momento de la adquisición en comparación a un vehículo de combustión interna a diésel, llega a ser similar en el costo total a lo largo de 11 años de uso, esto es debido al precio menor en el costo del combustible y mantenimiento.

Se espera que las tecnologías más ecológicas sean cada vez más baratas empezando desde el costo de adquisición y así puedan volverse más rentables que los vehículos tradicionales significando un cambio positivo al medio ambiente y al planeta. [15]



2.6 Panorama tecnológico en la Ciudad de Cuenca

2.6.1. Sistema tranviario

La unidad de tranvía de Cuenca es el mayor sistema de transporte público en la ciudad, único en todo el país y el segundo implementado en América Latina. Según información oficial, la inversión por parte del Gobierno para la obtención de la obra es de \$270 millones de los cuales la Alcaldía de Cuenca asumirá el 20% del total mientras que el Gobierno Nacional del Ecuador deberá asumir el 80% restante. [16]

El Municipio de Cuenca espera que el sistema de transporte tranviario público beneficie a un aproximado de 120000 pasajeros diarios (115000 pasajeros mínimo y 130000 pasajeros máximo), representando así cerca de 39 millones de usuarios anuales. Esto debido a que la tasa de crecimiento del número de vehículos aumenta a un 8% anual y la congestión vehicular, el ruido y la contaminación ambiental ha llegado a convertirse en un grave problema para la ciudad.

Además se encargó a la empresa francesa Artelia-Cobeta con el apoyo económico de \$650000 que donó el Gobierno Francés para los respectivos estudios técnicos. También, los estudios de los suelos fueron realizados por la empresa española Red Ferroviaria Vasca el cual tuvo un costo de \$3.8 millones.

Se utilizarán 14 unidades de tranvía de las cuales 12 estarán en servicio mientras que 2 servirán de reserva, los cuales pasarán cada 10 minutos en hora normal, y en hora pico pasarán cada 6 minutos. Cada unidad realizará el trayecto desde la primera estación hasta la última estación en un total de 35 minutos, lo que significaría que un vehículo normal realizaría el mismo recorrido en más o menos una hora.

El tranvía tiene un sistema de alimentación eléctrica mediante LAC (línea aérea de contacto) a lo largo de 17 kilómetros, mientras que en el Centro Histórico se ha instalado la alimentación mediante APS (Alimentación por el suelo) que representan alrededor de 4 kilómetros y es utilizado para evitar impactos visuales negativos que producen las líneas aéreas eléctricas en la zona patrimonial de Cuenca. El sistema de APS se da por un tercer carril que se activa eléctricamente y únicamente cuando el tranvía se encuentra encima. [17]

La alimentación eléctrica se realiza a 750 voltios de corriente directa. Tiene una potencia de inicio de 3.29 MVA y se prevé un consumo mensual de energía total que llegará a sumar \$60000. [18]



2.6.2. Autobús eléctrico

Actualmente, la empresa BYD E-Motors Ecuador S.A. ha puesto 3 unidades de autobuses eléctricos en circulación en las ciudades de Loja, Guayaquil, Quito y Cuenca empezando así una etapa de investigación y pruebas para estudios de factibilidad de los sistemas de transporte eléctrico. Esto representa una iniciativa de motivación de movilidad con cero emisiones de contaminantes y ruido al medio ambiente esperando de esta manera que se tengan resultados positivos en sus fases de pruebas.

Con la Alcaldía de Cuenca, el emprendimiento de la empresa BYD E-Motors Ecuador S.A. y aval técnico de la Universidad de Cuenca ha sido posible la realización de pruebas técnicas y de factibilidad de autobuses eléctricos implementados en algunas de las rutas de las líneas de la Ciudad de Cuenca, mediante la facilitación de dos unidades de autobuses eléctricos BYD los cuales tuvieron su estación de carga conectada al transformador trifásico de 100kVA presente en el Laboratorio de Microrred de la Universidad de Cuenca, en donde también se realizan estudios del sistema de carga de autobús y rendimiento de la batería teniendo resultados exitosos.

La tecnología de los autobuses eléctricos BYD E-Motors tiene menos componentes que los autobuses tradicionales, significando un ahorro del 30% en mantenimiento debido a su falta de motor de combustión, transmisión, embrague y aceites. Debido a la existencia del motor eléctrico y el freno regenerativo, el sistema de frenos dura más kilómetros que un motor de combustión representando un aumento en la eficiencia de la movilidad y una reducción total de contaminantes. [8]

El primer hito de pruebas del autobús eléctrico BYD se realizó durante el mes de febrero del año 2018 haciendo un promedio de 6 recorridos al día, con distancia promedio de 15.9 km cada uno, por sitios turísticos y concurridos de la ciudad de manera gratuita, con una duración promedio de 1 hora con 10 minutos, en donde circuló con aire acondicionado y velocidad controlada por software el cual estaba configurado para que el autobús eléctrico no sobrepasara los 60km/h.

Con una capacidad de 80 pasajeros, esta primera unidad de transporte eléctrico modelo K9FE de BYD termina su fase de pruebas a comienzos de marzo del mismo año, concluyendo que la calidad de la energía requerida para cargar el autobús eléctrico cumple con las normas internacionales de calidad de carga en donde 12 toneladas de CO₂ no se emitieron al ambiente debido a la no utilización de combustibles. [8]



CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

El objetivo principal es dar un gran paso de tecnología mejorando la calidad de vida de los ciudadanos gracias a la reducción de contaminación del ambiente y ruido de la ciudad. [6]

A partir del 7 de diciembre de 2018, nuevamente una unidad de autobús eléctrico empezó su etapa de pruebas durante 3 meses, el cual operó de manera aleatoria en algunas líneas de transporte público, gracias a la firma de un contrato entre la empresa BYD E-Motors Ecuador S.A. y la Cámara de Transportes de Cuenca, lo que significó que la unidad de autobús eléctrico fue adaptada para que funcione con normalidad como una unidad de transporte público convencional, incorporando el sistema de pago de la tarifa de transporte público y la señalización correspondiente.

Durante esta fase de pruebas se puso en marcha la operación de la unidad de autobús de transporte eléctrico para su análisis en cuanto a la viabilidad y costos para poder trabajar con unidades de autobuses eléctricos en la Ciudad de Cuenca. Se realizaron costos reales de operación al mismo costo de pasaje establecido de 30 centavos. [19]

Esta unidad de autobús eléctrico modelo K9G de BYD alimenta a los motores mediante baterías que tienen una vida útil de aproximadamente 15 años, las cuales se recargan en su totalidad de 4 a 5 horas. Mediante un software, el autobús eléctrico no pudo sobrepasar los 50 km/h en operación, para seguridad de los pasajeros, además tampoco pudo arrancar la unidad mientras las puertas no se encontraban cerradas totalmente.

Es un vehículo completamente automático que no tiene caja de cambios ni embrague, además de otros componentes que tienen incorporados los autobuses convencionales significando así un ahorro apreciable en mantenimiento de la unidad y entre un 40% y 60% en combustible. [19]

La alimentación de las baterías de esta unidad de autobús eléctrico de BYD se realizó igual que la primera unidad de autobús eléctrico, en el Laboratorio de Microrred de la Universidad de Cuenca en donde también se instaló un cargador BYD de 80 kW/h. [20]

Personal técnico de la Universidad de Cuenca realizó los análisis correspondientes para poder dar a conocer los resultados de la operación del autobús eléctrico como una unidad de transporte público alterna en la Ciudad de Cuenca.

Se espera tener resultados positivos tanto en los estudios de viabilidad y técnicos para de esta manera encaminar a la Ciudad de Cuenca a convertirse en una ciudad libre de contaminación ambiental.



2.6.3. Surtidores de energía eléctrica (electrolineras)

Se espera que la Ciudad de Cuenca se convierta en la primera ciudad del Ecuador en comenzar con la instalación de electrolineras (estaciones de carga) para abastecer de energía a los vehículos de motor eléctrico presentes en la ciudad. Para este proyecto participan la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A., la Empresa Hyundai en Ecuador, y también la Universidad de Cuenca para su respectiva revisión y puesta en marcha.

Debido a la falta de estaciones de carga para vehículos eléctricos en la ciudad, la carga de las baterías de estos vehículos se realiza exclusivamente en los domicilios de los propietarios mediante una conexión directa de tensión a un nivel de 220 V.

La primera estación de carga se encuentra por ahora en el Laboratorio de Microrred de la Universidad de Cuenca la cual dispone de 3 conectores que se adecúan a las principales configuraciones de tipo de conexión eléctrica que son: Combo, CHAdeMO y la configuración Estándar Europea. Esto sirve para suministrar de energía a diferentes marcas de vehículos eléctricos sin importar su origen. [21]

La meta del proyecto es implementar y colocar 10 estaciones de carga rápida de 380 V en diferentes sectores de la ciudad teniendo en cuenta los puntos más relevantes. [21] Contando con un panel de control digital con una pantalla en donde se muestra el tiempo necesario que le toma para llegar a una carga promedio del 80% para poder seguir circulando con normalidad.

Con esta implementación se planea reducir el tiempo de carga de un vehículo eléctrico que servirá para salir de apuros en ciertos casos, ya que los equipos adquiridos tienen una potencia de 50 kW y con una tensión de 380 V, convierte al sistema de carga en una red de carga rápida. Se observa la diferencia que se tiene, ya que en un domicilio el tiempo de carga puede llegar a ser de aproximadamente 5 horas, mientras que en las nuevas estaciones de carga se reducen a 25 minutos aproximadamente.

Antes de proceder con el lanzamiento al público se encuentran en etapas de análisis del comportamiento de estas estaciones de carga, en donde se verifica la reacción del vehículo presente en el laboratorio y además muy importante un análisis de la red eléctrica pública que suministrará de energía.

Para evitar que la vida útil de los equipos se reduzca es importante que el uso de las electrolineras sea de manera esporádica y no continua.



El principal objetivo del proyecto de la implementación de las estaciones de carga en la Ciudad de Cuenca es impulsar el uso de los vehículos eléctricos por lo que se piensa instalar las electrolineras en estaciones de servicio y restaurantes en Cuenca, Paute, Gualaceo, Girón, Santa Isabel y además, en la vía Cuenca-Molleturo-Naranjal. [21]

La implementación de estos equipos de carga se impulsa tras un convenio entre las empresas ya mencionada, en el cual uno de sus apartados indica que las recargas de energía serán gratuitas para los ciudadanos hasta el 31 de diciembre de 2020. Se espera que sea esta una manera de motivación para la compra de vehículos eléctricos en la ciudad.

La primera estación de carga se propone implementar en la Av. Don Bosco de la cual se encuentra a cargo de la empresa Neohyundai que invertirá \$500000 en equipamiento y obra civil.

Francisco Carrasco, presidente ejecutivo de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A. indicó que dicho proyecto aprovechará los alimentadores existentes en los lugares que han sido escogidos para su implementación en donde en cada uno se instalará 3 transformadores monofásicos con una conexión en la que se obtenga 380 V. [21]

Además, la compañía coreana PNE (Power and Energy Solutions) inició un programa para poder definir los lugares en donde se podrían localizar las electrolineras en la Ciudad de Cuenca, con el fin de ayudar a la comercialización de vehículos eléctricos significando un cambio positivo para con el medio ambiente, reduciendo las emisiones de contaminantes que afectan a la salud de los ciudadanos.

Se realizarán estudios de factibilidad por parte del equipo de estudio de la compañía coreana durante 3 meses, los cuales se espera que finalicen en octubre de 2019. Para la implementación de la infraestructura que requieren las electrolineras, el Banco Korea Eximbank concederá un crédito a Cuenca de aproximadamente \$20 millones. [22]

Entre los modelos de los vehículos eléctricos que estarán disponibles en el Ecuador para su comercialización se encuentran Nissan Leaf, Kangoo y Twizy, también la empresa KIA presenta su modelo Soul para la comercialización, mientras que la empresa china BYD E-Motors presentará su modelo E6.

Estos surtidores de energía no servirán para la alimentación de las baterías de autobuses eléctricos que se encuentran cerca de ser implementados debido a su amplio análisis durante los últimos tiempos, sino únicamente para vehículos livianos eléctricos.



2.6.4. Red eléctrica para electrolinerías

La empresa Hyundai en Ecuador y la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A. se asocian para instalar la primera red nacional eléctrica para estaciones de carga para vehículos eléctricos en la provincia del Azuay siendo el principal objetivo de este convenio el de contribuir con la movilidad limpia de la ciudad y la provincia.

Durante las sesiones de socialización para aprobación de la Ley de Eficiencia Energética por medio de la Asamblea Nacional se dio inicio al proyecto a finales del año 2018.

La compañía Neohyundai se encargará de la inversión de los costos de los equipos y de la obra civil para la implementación de las respectivas electrolinerías, y la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A. estará encargada de toda la infraestructura necesaria para potenciar a los equipos.

En el evento de la firma del convenio se aprovechó para anunciar el lanzamiento del nuevo Hyundai Kona eléctrico, el cual posee una autonomía de 400 km que permite una mayor autonomía en distancia recorrida que sus antecesores con una sola carga completa de la batería el cual se empezará a comercializar en el Ecuador a finales de 2019.

Con esta iniciativa, Hyundai Ecuador impulsa a la provincia del Azuay y pone a la vanguardia a la Ciudad de Cuenca en temas de movilidad eléctrica y limpia en el país. [23]

Todos estos sistemas presentados que se han implementado y sobre los que se han empezado a realizar sus respectivos estudios, han servido de puntos de partida para encaminar a la Ciudad de Cuenca hacia una de las primeras ciudades del país libre de contaminación del aire.

Para esto es necesario tener compromiso por parte de las autoridades y de los ciudadanos, para de esta manera llegar a tener un desarrollo sostenible en la ciudad, en un ambiente limpio y sin enfermedades que este causa.



CAPÍTULO 3: DATOS DE CAMPO

3.1. Características del autobús eléctrico en estudio

A continuación, en la **Tabla 3.1** se presentan las características del autobús, que fueron proporcionadas por la empresa BYD E-Motors Ecuador:

Tabla 3.1. Especificaciones técnicas del autobús eléctrico

| DATOS DEL PRODUCTO | |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| Marca | BYD |
| Modelo | K9G (piso alto) |
| Tipo | Bus Urbano |
| Categoría (clase) | M3 (Clase II) |
| Combustible | Electricidad |
| MOTOR | |
| Tipo | AC síncrono de imanes permanentes |
| Modelo | BYD - 2912TZ-XY-A |
| Potencia máxima | 150 kW ×2 |
| Torque máximo | 550 Nm ×2 |
| Autonomía | 300 km |
| Velocidad máxima | 80 km/h |
| DIMENSIONES | |
| Longitud | 12.54 m |
| Ancho | 2.55 m |
| Alto | 3.411 m |
| Distancia entre ejes | 6.15 m |
| Voladizo delantero | 2.7 m |
| Voladizo posterior | 3.69 m |
| Trocha eje delantero | 2.11 m |
| Trocha eje posterior | 2.904 m |
| Ángulo de aproximación / salida | 8.5° |
| Ángulo de salida | 8.5° |
| Altura mínima al suelo | 0.153 m |
| Radio de giro | ≤ 12 m |
| PESOS Y CAPACIDADES | |
| Peso bruto vehicular | 19500 kg |



CAPÍTULO 3: DATOS DE CAMPO

| | |
|--|---|
| Peso en vacío | 13850 kg |
| Capacidad de carga | 5650 kg |
| Economía de combustible | 0.93 km/kWh |
| Capacidad de pasajeros de pie | 49 |
| Capacidad de pasajeros sentados | 31 + 1 (chofer) |
| Área útil disponible para pasajeros de pie | 8 m ² |
| TRANSMISIÓN | |
| Tipo | Motor en llanta sin cajas de cambio |
| Número de marchas | 3: drive, neutro, retro |
| Tracción | 4×2 trasera |
| SUSPENSIÓN | |
| Delantera y Posterior | Suspensión neumática de cuatro enlaces |
| DIRECCIÓN | |
| Descripción sistema | Sistema de dirección hidráulica controlada electrónicamente |
| FRENOS | |
| Frenos delanteros y posteriores | |
| Marca | Knorr |
| Tipo de accionamiento | Freno de disco, freno neumático |
| Frenos de estacionamiento | |
| Marca | Knorr |
| Tipo de accionamiento | Freno de resorte |
| RENDIMIENTO | |
| Rango de operación | 350 km |
| Velocidad máxima | 50 km/h |
| Tiempo de aceleración | ≤ 22 seg |
| Grado máximo | 20% |
| CARGA Y BATERÍA | |
| Capacidad de la batería | 324 kWh |
| Potencia de carga | 40 kW ×2 |
| Modelo del arma de carga | AC estándar europeo |
| Tiempo de carga | 4 - 5 horas |
| Número de pistolas de carga | 2 pistolas |
| Tensión de carga | 440 V |
| Frecuencia de carga | 60 Hz |

Fuente: Build Your Dreams BYD. (2018). *Especificaciones Técnicas BYD K9G*.

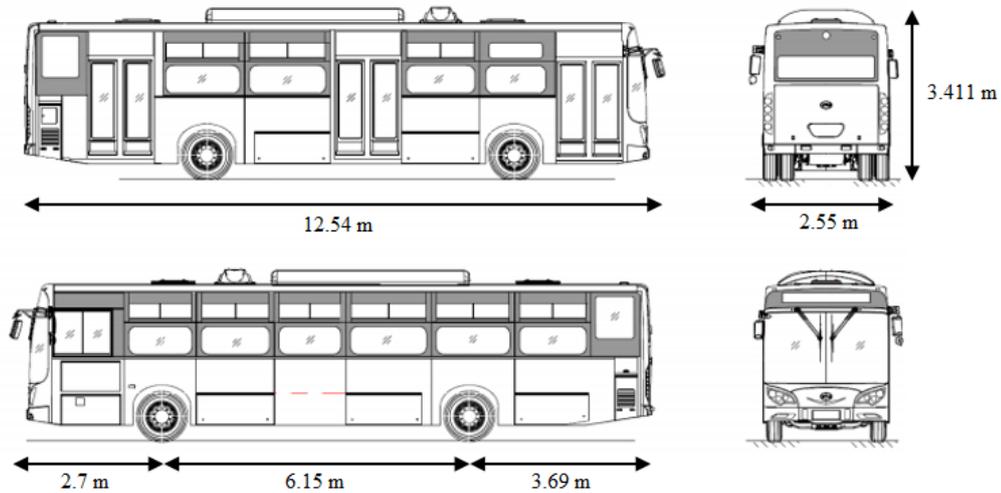


Figura 3.1. Dimensiones del autobús eléctrico BYD - K9G

Fuente: Build Your Dreams BYD. (2018). *Especificaciones Técnicas BYD K9G.*

3.2. Pruebas realizadas para el análisis

Mediante la firma de un convenio entre la empresa BYD, la cámara de Transportes de Cuenca (CTC) y la Universidad de Cuenca, fue posible realizar las pruebas mecánicas y de rendimiento del autobús eléctrico BYD K9G durante un tiempo de 3 meses en el cual se alternó las líneas de transporte. A partir del 7 de diciembre de 2018 el autobús eléctrico empezó su operación y análisis, realizando recorridos en algunas líneas de transporte público de la ciudad. Las líneas más relevantes en las cuales se probó la unidad de autobús eléctrico fueron la línea 27 (Sinincay - Huizhil) y la línea 100 (Ricaurte - Baños), siendo las rutas con elevaciones notables para el análisis y obtención de datos.

3.2.1. Distancia recorrida

Para la medición de la distancia recorrida durante un día de operación del autobús se utilizó la distancia que proporciona el odómetro o indicador que tiene incorporado el autobús, realizando la diferencia entre los valores marcados en la salida de la estación de carga hasta el valor que mostró el odómetro al momento de retorno a la estación de carga. Este dato se puede considerar el más importante ya que la cantidad de energía requerida para el funcionamiento del autobús eléctrico depende sobretodo de la distancia que recorre.



3.2.2. Tiempo

El tiempo es un dato importante y se consideró el tiempo total en el cual el autobús se encontraba en operación, es decir, desde que abandonó la estación de carga hasta su punto inicial del recorrido de la ruta establecida, luego el tiempo que se demoró en ir desde el punto inicial hasta el punto final y viceversa, hasta cuando terminó de hacer sus recorridos, y regresó a la estación de carga; sin considerar el tiempo cuando el autobús estuvo apagado.

Para este procedimiento se utilizó un reloj normal, calculando los minutos desde su salida hasta su llegada.

3.2.3. Elevación y Velocidad

Los valores o datos de elevación (metros sobre el nivel del mar) y de velocidad (km/h) del autobús eléctrico durante su operación, son considerados como vectores que se forman con los datos proporcionados por el GPS durante todo el tiempo de operación durante un día.

Estos valores son esenciales para analizar la energía que se consume a lo largo del tiempo.

3.2.4. Energía consumida

Los datos de energía que se obtuvieron se calcularon mediante la utilización del instrumento medidor de potencia PM130 PLUS el cual se ubicó en el lado primario del transformador trifásico (INATRA No: 011864560) presente en el Laboratorio, que alimentaba a la estación de carga (electrolinera) entregada por la empresa BYD la cual tiene capacidad nominal de 80 kW utilizando los dos conectores.

La metodología para la obtención de los datos de energía consumida fue que al inicio del recorrido de las líneas, las baterías se encontraban cargadas totalmente, es decir al 100%. Al terminar con su recorrido diario, el autobús regresaba a la estación de carga con un cierto porcentaje de carga de las baterías para luego medir la cantidad de energía que se necesitó para volver a tener las baterías cargadas totalmente.



3.2.5. Latitud y longitud

Mediante un equipo de GPS se pudieron obtener los valores de latitud y longitud, para luego graficar el recorrido de las líneas en un mapa de la Ciudad de Cuenca y de esta manera tener una mejor percepción de la ruta.

Cabe mencionar que en relación al comportamiento de la eficiencia energética del autobús eléctrico con respecto a la masa trasladada, el estudio realizado no contabiliza la afluencia de pasajeros en las rutas comerciales realizadas. Sin embargo, de acuerdo a unas encuestas realizadas a los conductores, se determinó que la afluencia de pasajeros en los distintos recorridos podría considerarse similar a las que habitualmente se realiza con los autobuses de combustión interna, por cuanto, en el análisis realizado puede considerarse que las condiciones exógenas del estudio son similares en cuanto a la afluencia de pasajeros durante su recorrido.

3.3. Análisis de los datos de campo obtenidos en el autobús eléctrico

Los valores como tiempo, y número de vueltas de una ruta para las líneas correspondientes, se obtienen de analizar los datos que se exportaron del GPS y al graficarlos para poder reconocer cuando se ha efectuado una vuelta de una ruta, viendo cuando la gráfica se vuelve repetitiva, como se observa en las **Figuras 3.2 y 3.3**.

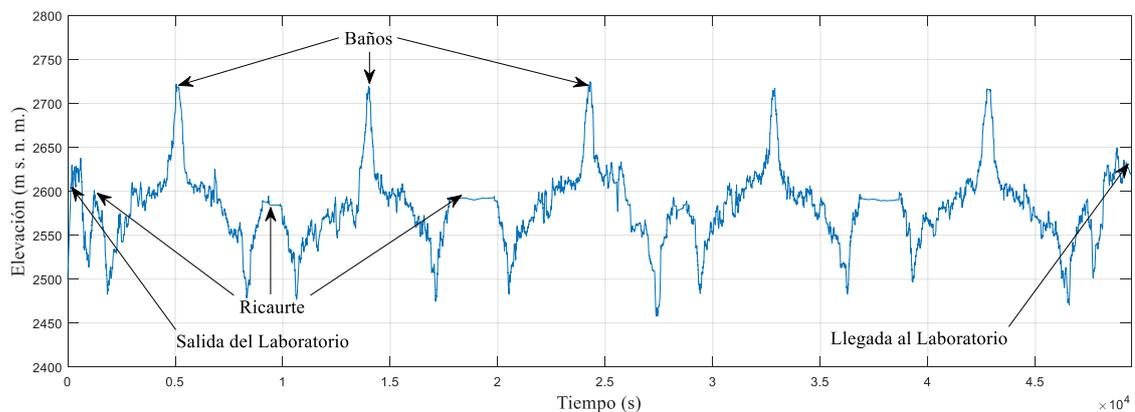


Figura 3.2. Perfil de Elevación vs. Tiempo - Línea 100 con autobús eléctrico

Fuente: *Elaboración propia.*



CAPÍTULO 3: DATOS DE CAMPO

Trazando en GOOGLE MAPS, el punto inicial y final de los datos correspondientes a la Latitud y Longitud (-2.891719, -79.038498) se encuentra que inicialmente el autobús eléctrico está localizado en el Laboratorio de Microrred de la Universidad de Cuenca, mientras que el punto (-2.856607, -78.962863) se encuentra localizado en Ricaurte, y el punto (-2.91887, -79.0642) se encuentra en Baños. Determinando así el recorrido que realizó el autobús eléctrico.

Lo que significa que el autobús eléctrico inició su recorrido en el Laboratorio y luego empezó con el recorrido de la Línea 100, y más tarde regresó nuevamente al punto de inicio, concluyendo así el recorrido de un día de operación del autobús eléctrico implementado en la Línea 100 el día 21 de enero del año 2019.

El trayecto desde Ricaurte hasta Baños y de regreso a Ricaurte se considera como una vuelta de la ruta en el recorrido total de un día, esto sirve para obtener el número de vueltas de una ruta que hizo el autobús en un día. En la **Figura 3.3** se observa que el autobús eléctrico realizó 5 vueltas de la ruta del recorrido total de la línea 100 en un día de operación.

También se observa que el autobús eléctrico estaba fuera de operación cuando se encontraba localizado en Ricaurte, por lo que ese tiempo que estuvo detenido no se debe considerar para la obtención del tiempo total de operación del autobús eléctrico durante un día completo.

La siguiente gráfica, muestra el comportamiento de la elevación en función del tiempo, conforme avanza el recorrido que realizó el autobús eléctrico en operación en la Línea 27, el día 05 de febrero del año 2019.

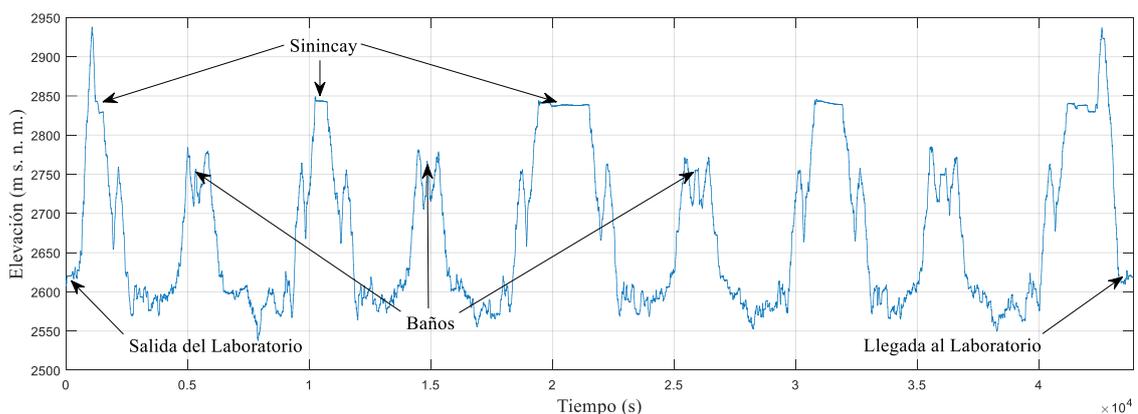


Figura 3.3. Perfil de Elevación vs. Tiempo - Línea 27 con autobús eléctrico

Fuente: *Elaboración propia.*



De igual manera, se tiene que el punto inicial y final de los vectores de datos de Latitud y Longitud (-2.891719, -79.038498) se encuentra en el laboratorio de la Universidad de Cuenca, mientras que el punto (-2.847357, -79.030711) se encuentra en Sinincay, y el punto (-2.923111, -79.066522) se encuentra en Baños. En la **Figura 3.3** se observa que el autobús realizó 4 vueltas y además se encuentra “fuera de operación” cuando está en el punto inicial (Sinincay), lo que significa que, este tiempo que se encontraba en reposo no debe incluirse en el análisis del tiempo total del día de operación del autobús para la línea 27.

Para determinar los valores de tiempos totales y los tiempos de solo rutas (desde inicio a final de ruta) se utilizan los valores para los demás días de la tabla en que se implementó el autobús. Así también para determinar el número de vueltas de la ruta que realizó el autobús eléctrico en operación de acuerdo a la línea de transporte correspondiente, es necesario analizar las gráficas que fueron obtenidas del GPS.

3.4. Datos de las líneas de transporte iniciales

Tabla 3.2. Datos de campo iniciales obtenidos del autobús eléctrico

| Fecha | Línea | Distancia recorrida (km) | Tiempo (min) | Cantidad de vueltas | Porcentaje final de las baterías (%) | Energía consumida (kWh) |
|------------|-------|--------------------------|--------------|---------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| 16/01/2019 | 100 | 258 | 876 | 6.5 | 19.1 | 293 |
| 21/01/2019 | 100 | 206 | 757 | 5 | 32.7 | 234 |
| 22/01/2019 | 100 | 243 | 804 | 6 | 23.4 | 268 |
| 24/01/2019 | 100 | 199 | 733 | 5 | 32.2 | 237 |
| 25/01/2019 | 100 | 206 | 738 | 5 | 33.0 | 231 |
| 28/01/2019 | 100 | 204 | 740 | 5 | 32.9 | 234 |
| 29/01/2019 | 100 | 200 | 749 | 5 | 33.1 | 235 |
| 30/01/2019 | 100 | 205 | 808 | 5 | 31.5 | 241 |
| 31/01/2019 | 100 | 206 | 746 | 5 | 32.4 | 238 |
| 02/02/2019 | 100 | 221 | 795 | 5.5 | 27.9 | 249 |
| 05/02/2019 | 27 | 197 | 695 | 4 | 22.1 | 283 |
| 06/02/2019 | 27 | 198 | 703 | 4 | 21.5 | 285 |
| 07/02/2019 | 27 | 200 | 710 | 4 | 19.3 | 287 |
| 08/02/2019 | 27 | 199 | 705 | 4 | 19.5 | 286 |
| 13/02/2019 | 100 | 259 | 896 | 6.5 | 19.9 | 291 |
| 14/02/2019 | 100 | 184 | 727 | 4.5 | 41.6 | 206 |
| 15/02/2019 | 100 | 242 | 914 | 6 | 23.9 | 265 |

Fuente: *Elaboración propia.*



Distancia recorrida: se obtuvo del odómetro propio del tablero del autobús eléctrico.

Tiempo: es el total de minutos en que el autobús eléctrico se encontraba en operación durante un día.

Cantidad de recorridos: es el número de veces que el autobús realizó la ruta completa de la línea correspondiente. Se observa que a veces realizó media ruta y regresó a la estación de carga.

Porcentaje final de las baterías: estado de baterías al regresar a la estación de carga.

Energía consumida: Es la cantidad de energía que se necesitó para volver a cargar las baterías al 100%.

3.5. Análisis de resultados iniciales

Para mayores valores de distancias recorridas se tiene un porcentaje menor de estado de carga (SOC) de la batería, por consiguiente se necesitará mayor cantidad de energía para poder recargar las baterías al 100%, este se encuentra reflejado en la columna de valores de energía consumida.

La eficiencia se la obtiene de la división de la distancia recorrida para la energía consumida y se puede obtener un valor promedio para las líneas de transporte:

Tabla 3.3. Eficiencia promedio de líneas iniciales

| Línea | Eficiencia promedio km/kWh |
|-------|----------------------------|
| 27 | 0.69588 |
| 100 | 0.8781 |

Fuente: *Elaboración propia.*

El valor de eficiencia para la ruta de la Línea 27 es menor, esto es debido a que el recorrido tiene elevaciones más notables, como se observa en la **Figura 3.6**, siendo así un aumento de energía consumida para la distancia recorrida.

Se comenzará por analizar la energía requerida para la implementación de una sola vuelta de ruta completa de las líneas de transporte iniciales, así que se debe tener datos de este tipo (desde el punto inicial de la ruta hasta el punto final y luego de regreso al punto inicial) y no para un día completo como se mostró en la **Tabla 3.2** de datos de las líneas.



CAPÍTULO 3: DATOS DE CAMPO

Además, se debe tener en cuenta que se tienen diferentes números de vueltas de rutas completas realizadas al día, es por esto que se deben establecer nuevos valores, las demás variables de una sola ruta para los 17 días de datos que se tienen.

Es importante restar de la distancia total, la distancia que existe desde la estación de carga hasta el punto inicial de la ruta para cada una de las líneas establecidas. Además del tiempo en qué se demoró haciendo ese tramo de operación diaria.

De esos valores que se tienen se debe dividir para el número total de vueltas de rutas realizadas, de esa manera se obtendrán los valores para únicamente una vuelta de una ruta para cada línea.

Los valores obtenidos de energía consumida y porcentaje consumido para una sola ruta de las líneas se han obtenido quitando un porcentaje aproximado consumido el momento que el autobús abandona la estación de carga y llega al punto inicial de la ruta, y también en viceversa.

Tabla 3.4. Datos de una sola vuelta de ruta de las líneas iniciales

| Línea | Distancia recorrida (km) | Tiempo (min) | Energía consumida (kWh) | Porcentaje de batería consumido (%) |
|-------|--------------------------|--------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 100 | 36.39 | 134.6 | 40.63 | 11.613 |
| 100 | 36.408 | 135.6 | 41.054 | 11.79 |
| 100 | 36.59 | 137 | 41.207 | 11.682 |
| 100 | 36.608 | 147.8 | 41.275 | 11.971 |
| 100 | 36.61 | 136.8 | 41.509 | 12.02 |
| 100 | 36.8 | 134.8 | 41.593 | 11.45 |
| 100 | 36.806 | 146.222 | 41.762 | 11.975 |
| 100 | 36.808 | 138.8 | 41.811 | 12.025 |
| 100 | 36.84 | 122.83 | 41.867 | 11.56 |
| 100 | 36.841 | 132.545 | 42.5 | 12.071 |
| 100 | 36.866 | 124.769 | 42.993 | 12.24 |
| 100 | 37.02 | 127.538 | 43.036 | 12.232 |
| 100 | 37.491 | 141.666 | 43.338 | 12.398 |
| 27 | 43.86 | 150.5 | 63.007 | 17.343 |
| 27 | 44.11 | 152.5 | 63.491 | 17.488 |
| 27 | 44.36 | 153.1 | 63.753 | 17.944 |
| 27 | 44.61 | 153.75 | 64.015 | 18.001 |

Fuente: *Elaboración propia.*



La importancia de analizar los datos para una sola vuelta de una ruta completa de las líneas de transporte urbano de flota de autobuses públicos de la Ciudad de Cuenca, es que no realizan el mismo número de vueltas de rutas completas al día. Además entre líneas de transporte tampoco se realizan iguales números de vueltas de rutas, ya que dependen de la distancia recorrida y del tiempo que se demoran en completar la ruta.

Tabla 3.5. Valores promedios de líneas iniciales

| Línea | Distancia recorrida (km) | Tiempo (min) | Energía consumida (kWh) | Porcentaje de batería consumido (%) |
|-------|--------------------------|--------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 27 | 44.23 | 152.46 | 63.56 | 17.69 |
| 100 | 36.77 | 135.45 | 41.89 | 11.92 |

Fuente: *Elaboración propia.*

Se observa en la **Tabla 3.1** que la capacidad de las baterías del autobús eléctrico es de 324 kWh, el cual al compararlos con los valores reales calculados (multiplicando por los porcentajes obtenidos en la **Tabla 3.5** se obtiene:

$$\text{Energía consumida}_{LÍNEA27} = 0.1769 * 324 \text{ kWh} = 57.31 \text{ kWh/vuelta}$$

$$\text{Energía consumida}_{LÍNEA100} = 0.1192 * 324 \text{ kWh} = 38.62 \text{ kWh/vuelta}$$

Tabla 3.6. Valores reales y teóricos de energía consumida

| Línea | Energía real consumida (kWh) | Energía teórica consumida (kWh) |
|-------|------------------------------|---------------------------------|
| 27 | 63.56 | 57.31 |
| 100 | 41.89 | 38.62 |

Fuente: *Elaboración propia.*

Se tiene que los valores reales son mayores a los teóricos, debido a que el consumo de energía puede aumentar impredeciblemente por la utilización de radio, limpia parabrisas, ventiladores e iluminación en las noches. Por esta razón se utilizó los valores reales para las líneas de transporte público para el análisis correspondiente y obtener el modelo matemático.



3.6. Gráficas obtenidas de resultados iniciales con autobús eléctrico

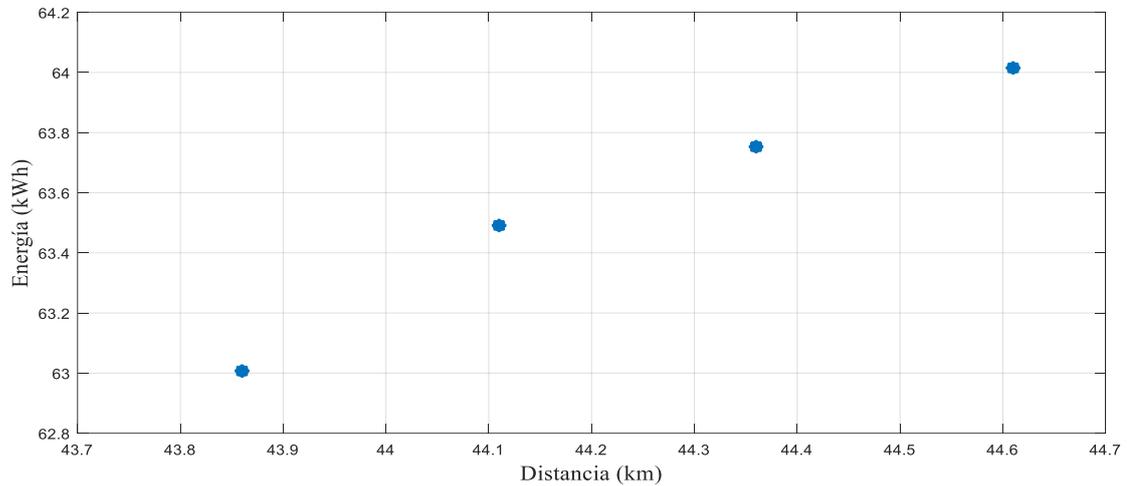


Figura 3.4. Energía vs. Distancia - Línea 27

Fuente: *Elaboración propia.*

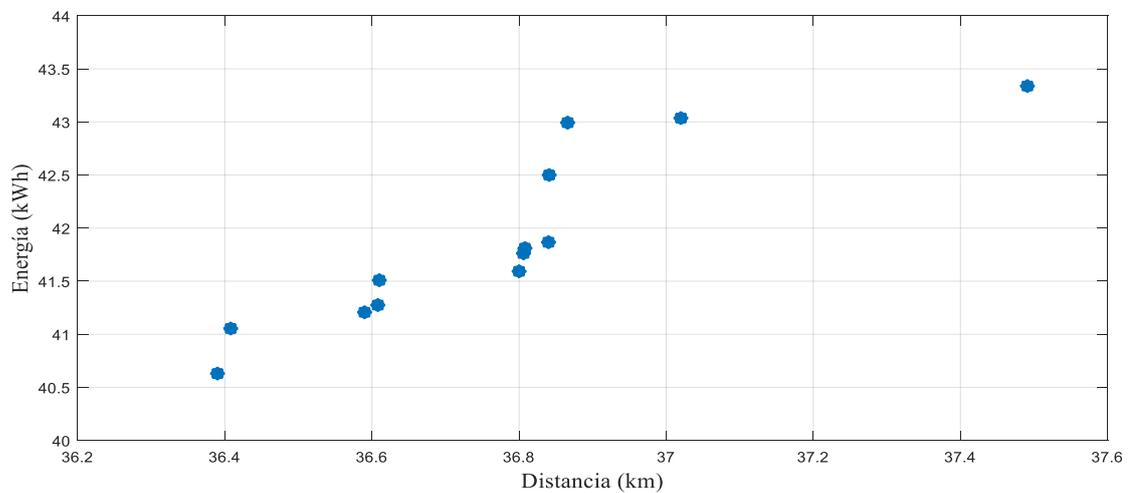


Figura 3.5. Energía vs Distancia - Línea 100

Fuente: *Elaboración propia.*

En las **Figuras 3.4** y **3.5**, se observa que no se tiene un comportamiento completamente lineal debido a diferentes circunstancias que tuvo cada uno de los recorridos del autobús eléctrico durante el día correspondiente, además se observa que se tiene una mayor energía para una distancia recorrida mayor y viceversa.

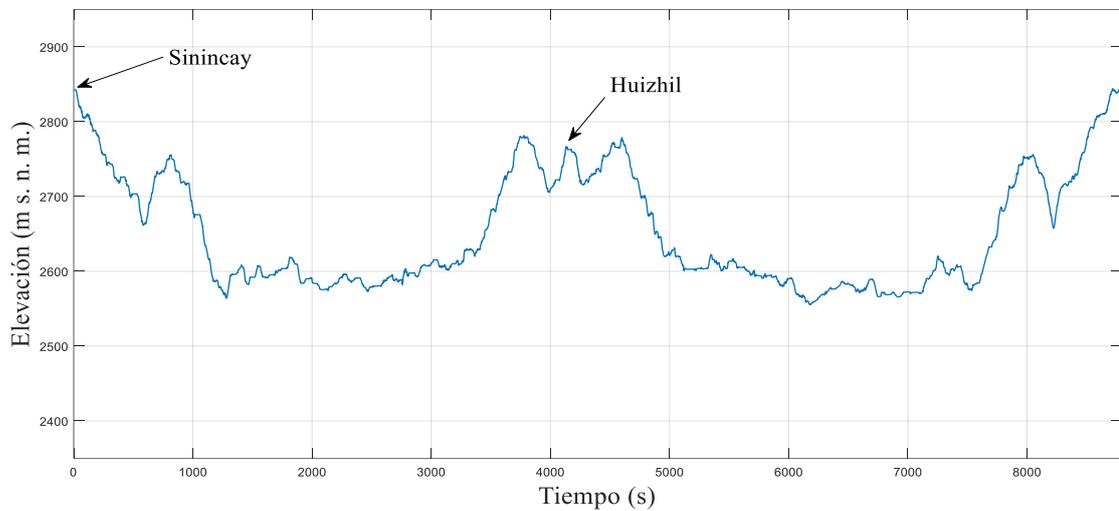


Figura 3.6. Perfil de Elevación vs. Tiempo - Línea 27

Fuente: *Elaboración propia.*

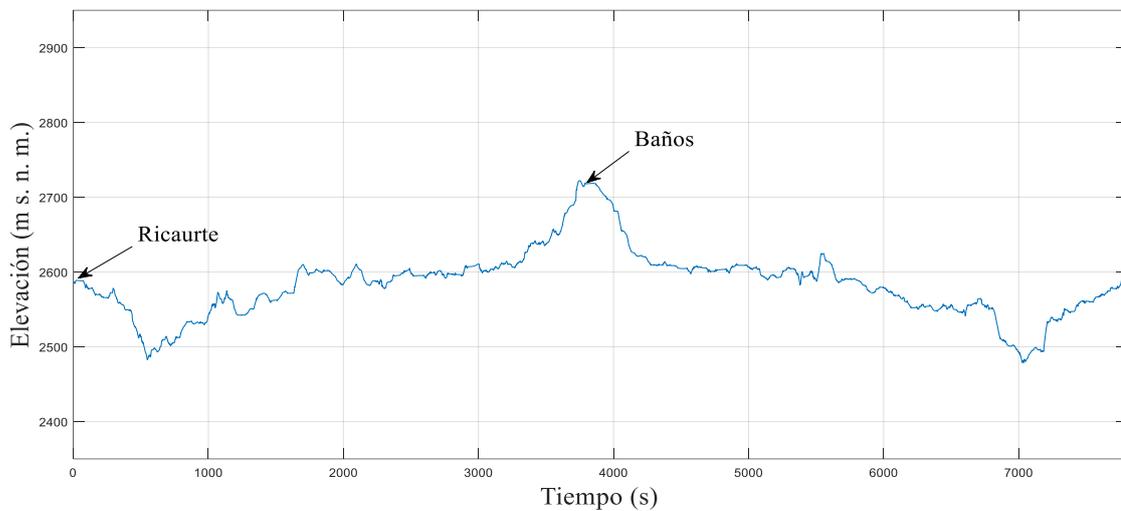


Figura 3.7. Perfil de Elevación vs. Tiempo - Línea 100

Fuente: *Elaboración propia.*

En las **Figuras 3.6 y 3.7** se muestran los perfiles de elevaciones a las que se encuentra expuesto el autobús eléctrico para completar el recorrido de una vuelta completa, correspondientes a las líneas 27 y 100. Además en las **Figuras 3.8 y 3.9** de perfiles de velocidad se observa que los valores no sobrepasan los 60 km/h, esto es debido a que el autobús eléctrico tiene una configuración para que no exceda esta velocidad por temas de seguridad.

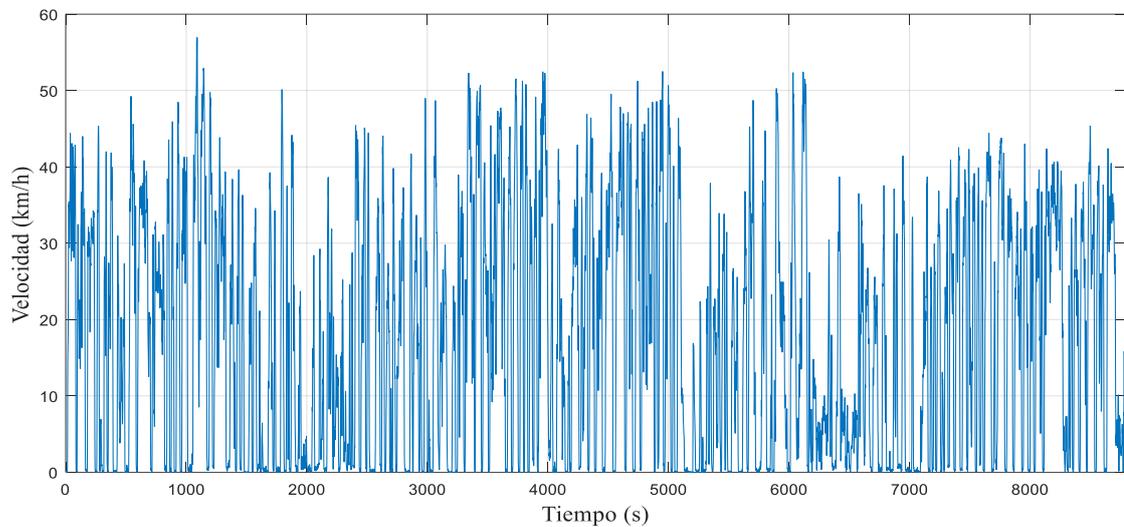


Figura 3.8. Perfil de Velocidad vs. Tiempo - Línea 27

Fuente: *Elaboración propia.*

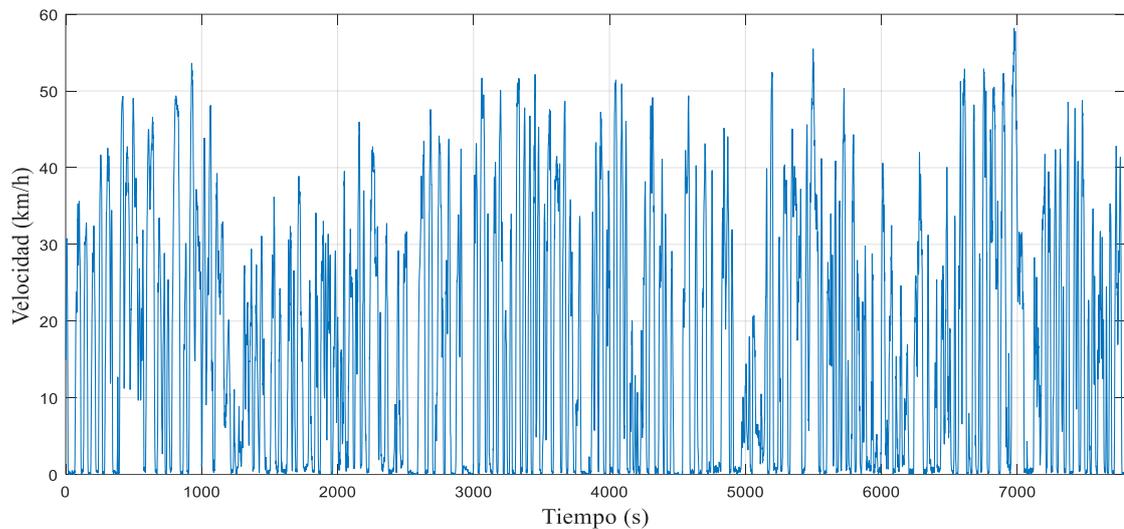


Figura 3.9. Perfil de Velocidad vs. Tiempo - Línea 100

Fuente: *Elaboración propia.*

Los datos de perfiles de Elevación y Velocidad para las líneas de transporte iniciales exportadas del GPS, son necesarias para elaborar el análisis del modelo matemático ya que de estos dependen los escenarios en los cuales estuvo presente el autobús eléctrico para completar los recorridos diarios de las líneas. Se debe mencionar que los datos que han sido obtenidos son cada segundo del recorrido diario.



CAPÍTULO 4: MODELO MATEMÁTICO

4.1. Análisis inicial para el modelo matemático

De manera lógica, es posible analizar o tratar de determinar los valores que afectan el rendimiento del autobús eléctrico en función del estado del mismo, es decir se puede aproximar un coeficiente que determine la variación de consumo de energía. Los escenarios en los cuales el autobús eléctrico se encontrará son:

- Aceleración en ascenso
- Aceleración en descenso
- Desaceleración en ascenso
- Desaceleración en descenso

El escenario en donde más energía se va a consumir es cuando el autobús se encuentre acelerando en ascenso, y el escenario con menos consumo de energía será cuando el autobús se encuentre desacelerando en descenso, debido a que no se necesita hacer esfuerzo en los motores para mover el autobús, ya que el propio peso del mismo ayuda en su movimiento.

Además, es en este último escenario en donde es más notorio el sistema de frenado regenerativo, significando así incluso un aumento mínimo de energía.

Para el modelo matemático, se debe realizar una comparación entre el valor de elevación y velocidad actual con el anterior (datos del GPS obtenidos cada segundo) para determinar en qué escenario se encuentra el autobús. Luego este valor de escenario se multiplica por la diferencia de velocidades y la diferencia de elevaciones para obtener la variación de Estado de Carga:

$$SOC = a_{escenario} * (vel_2 - vel_1) * (elev_2 - elev_1)$$

El cual, también se multiplicará por una variable de consumo de energía estimado (CONenergía) y se suma el valor de SOC anterior:

$$SOC_{actual} = SOC_{anterior} + Con_{energía} * SOC$$

Dependiendo en qué escenario se encuentre, el valor de variación de Estado de Carga se sumará o se restará al valor de Estado de Carga anterior.



4.2. Configuración del modelo matemático

Lo primero que se debe hacer es importar los vectores de datos correspondientes a tiempo, elevación y velocidad, presentes en los archivos de Excel descargados del GPS para la Línea 27 en este caso, y guardarlos en variables como se muestra a continuación:

```
1 - clear
2 - linea='Línea27';
3 - hora=xlsread('1_DatosAutobusEléctrico1Vuelta.xlsx',linea,'A:A');
4 - vel=xlsread('1_DatosAutobusEléctrico1Vuelta.xlsx',linea,'B:B');
5 - altitud=xlsread('1_DatosAutobusEléctrico1Vuelta.xlsx',linea,'C:C');
6
```

Figura 4.1. Importación de vectores de datos desde Excel

Fuente: *Elaboración propia.*

A continuación se tienen las variables que van a ser utilizadas en cada escenario. Los escenarios en donde se va a ver reflejado más el consumo de energía, serán en aquellos en donde el autobús se encuentre en ascenso, por eso se tienen con signo negativo:

```
7 - a1=-1.00;           %Aceleración en ascenso
8 - a2= 0.11;          %Desaceleración en ascenso
9 - a3=-0.32;          %Aceleración en descenso
10 - a4= 0.42;          %Desaceleración en descenso
11 - a5= 0.01689;      %Variación de SOC
12
```

Figura 4.2. Variables de escenarios y de variación de SOC

Fuente: *Elaboración propia.*

Estas variables han sido seleccionadas, de tal manera que el estado de carga o porcentaje de batería consumido, sea igual o aproximado a los valores promedios que se obtuvieron en la **Tabla 3.5**. Esto se verá reflejado de manera gráfica más adelante y se observará por qué estas variables han sido tomadas.

Para el algoritmo matemático, se empleará un comando de MATLAB, el cual en forma de bucle dé la variación del Estado de Carga de acuerdo a cada uno de los escenarios. Para el bucle y análisis de los vectores de datos se utilizará el comando “for”, y para las condiciones se utilizará el comando “if” como se muestra a continuación:



```
13 - len=length(hora); %longitud del vector
14 - SOC(1)=100; %SOC inicial 100%
15 - for n=2:len
16 -
17 -     if altitud(n)>altitud(n-1) %ascenso
18 -         if vel(n)>vel(n-1) %aceleración
19 -             DSOC=a1*(vel(n)-vel(n-1))*(altitud(n)-altitud(n-1));
20 -         end
21 -         if vel(n)<vel(n-1) %desaceleración
22 -             DSOC=a2*(vel(n-1)-vel(n))*(altitud(n)-altitud(n-1));
23 -         end
24 -
25 -     end
26 -
27 -     if altitud(n)<altitud(n-1) %descenso
28 -         if vel(n)>vel(n-1) %aceleración
29 -             DSOC=a3*(vel(n)-vel(n-1))*(altitud(n-1)-altitud(n));
30 -         end
31 -         if vel(n)<vel(n-1) %desaceleración
32 -             DSOC=a4*(vel(n)-vel(n-1))*(altitud(n)-altitud(n-1));
33 -         end
34 -
35 -     end
36 -
37 -     SOC(n)=SOC(n-1)+a5*DSOC;
38 -
39 -     if SOC(n)>100
40 -         SOC(n)=SOC(n-1)-a5*DSOC;
41 -     end
42 - end
43 -
44 - end
45 -
```

Figura 4.3. Algoritmo principal del modelo matemático

Fuente: *Elaboración propia.*

Las condiciones para saber si el autobús está en ascenso o en descenso son las de comparar los datos actuales con el dato anterior, es decir un segundo antes en qué posición estaba el autobús, si el valor actual es mayor significa que el autobús se encuentra en ascenso, mientras que si el valor actual es menor al anterior significa que el autobús se encuentra en descenso. De igual manera se analiza para los valores de velocidad.

De esta manera se va construyendo un nuevo vector de datos que se guarda en la variable $SOC(n)$ y que corresponde al estado de carga de las baterías que se va actualizando en cada iteración. El último condicional hace referencia al inicio del análisis, ya que si el autobús se encuentra en descenso, las baterías empezarían a cargarse, es por eso que se ha condicionado a que el valor del SOC no pase del 100%.



```
46 - texto=['Autobús Eléctrico, ', linea];
47
48 - figure(1) %Estado de Carga / SOC
49 - plot(hora,SOC,'g'); title(texto);
50 - ylabel('Estado de Carga (%)');
51 - xlabel('Tiempo (s)');
52 - axis([0 len 80 100]); grid on;
53
54 - figure(2) %Perfil de Elevación
55 - plot(hora,altitud,'g'); title(texto);
56 - ylabel('Elevación (m s. n. m.)');
57 - xlabel('Tiempo (s)');
58 - axis([0 len 2350 2950]); grid on;
59
```

Figura 4.4. Código de gráficas de SOC y perfil de elevación

Fuente: *Elaboración propia.*

Los límites del eje X para ambas gráficas son las mismas, entre 0 y la longitud del vector de los datos, mientras que para el eje Y del Estado de Carga se han tomado entre 80 y 100 %, y para el perfil de elevación entre 2350 y 2950, ya que estos valores son considerables para las líneas de transporte.

```
60 - figure(3)
61 - yyaxis left; plot(hora,SOC,'g'); title(texto);
62 - ylabel('Estado de Carga (%)'); xlabel('Tiempo(s)');
63 - axis([0 len 60 100]); grid on;
64 - hold on
65 - yyaxis right; plot(hora,altitud);
66 - ylabel('Elevación (m s. n. m.)');
67 - axis([0 len 2200 3800]); grid on;
68 - hold off
```

Figura 4.5. Código de 2 gráficas en una misma ventana

Fuente: *Elaboración propia.*

El comando “hold on” ha sido utilizado para poder tener las 2 gráficas en una misma figura, y analizar el comportamiento del Estado de Carga a lo largo del trayecto en función del tiempo. Se realiza el procedimiento para la Línea 100 al igual que para la Línea 27.

Como se observa en las **Figuras 4.6** y **4.7**, el comportamiento del Estado de Carga no es lineal, debido a que por los diferentes escenarios este varía impredeciblemente, y de acuerdo al perfil de elevación se tienen diferentes valores.



4.3. Perfil de Estado de Carga de las baterías con el modelo matemático

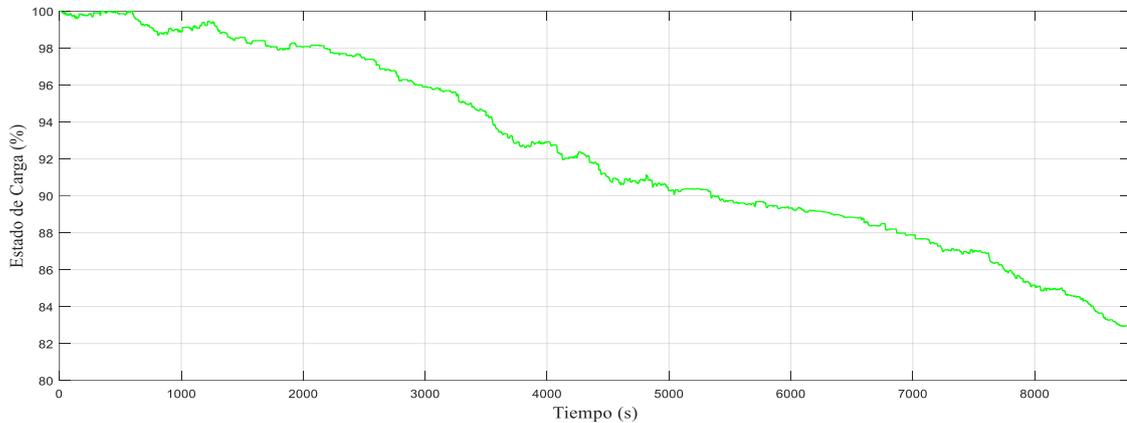


Figura 4.6. Perfil de Estado de Carga - Línea 27

Fuente: *Elaboración propia.*

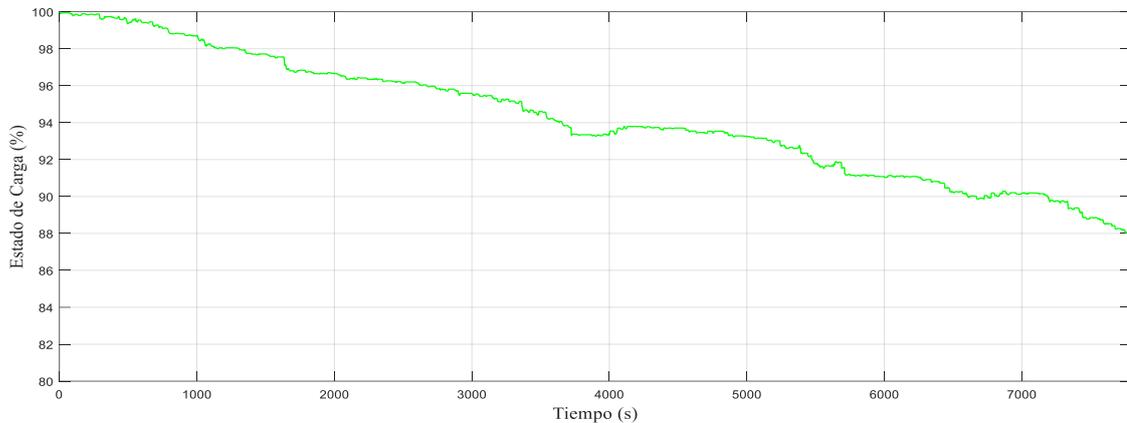


Figura 4.7. Perfil de Estado de Carga - Línea 100

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 4.1. Porcentajes consumidos reales y del modelo matemático

| Línea | Porcentaje consumido de baterías - real (%) | Porcentaje consumido de baterías - modelo matemático (%) |
|-------|---|--|
| 27 | 17.69 | 17.0449 |
| 100 | 11.92 | 11.9284 |

Fuente: *Elaboración propia.*



4.4. Intervalos de recarga de las baterías

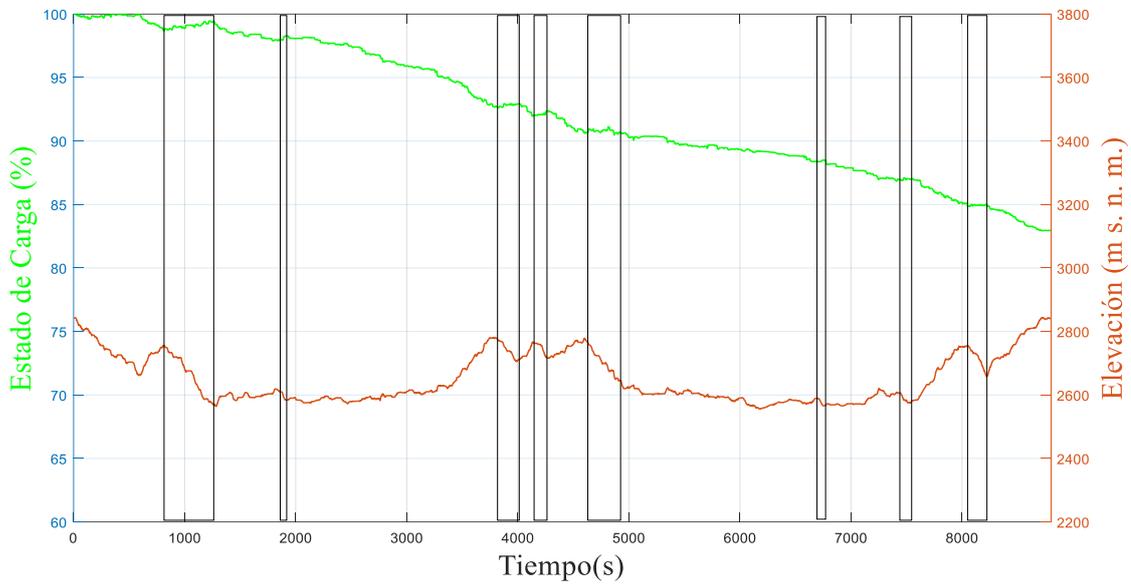


Figura 4.8. Intervalos de recarga de baterías - Línea 27

Fuente: *Elaboración propia.*

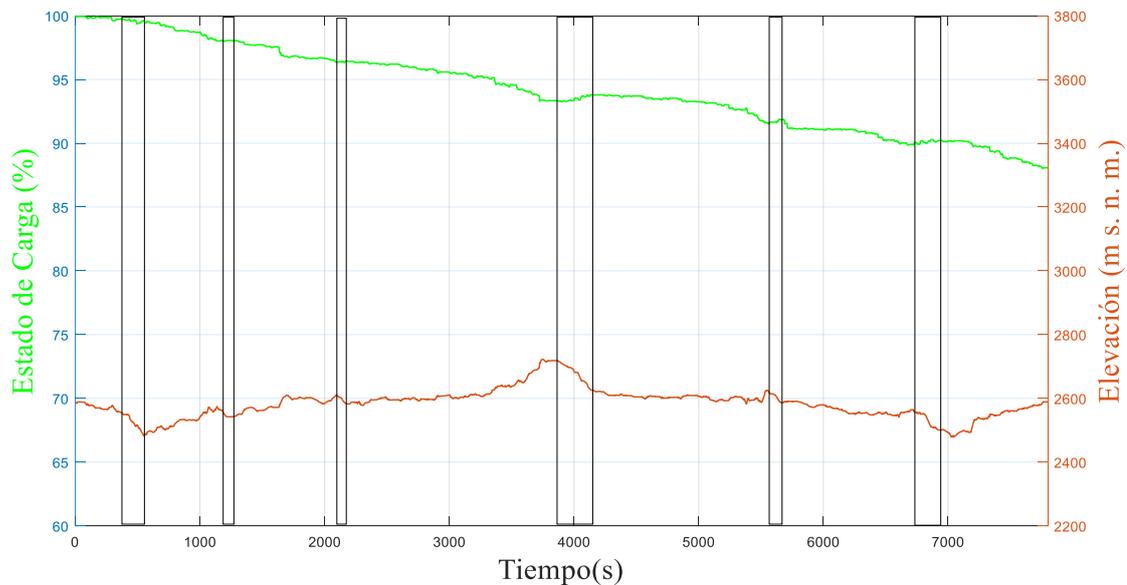


Figura 4.9. Intervalos de recarga de baterías - Línea 100

Fuente: *Elaboración propia.*



Se observa en las **Figuras 4.8 y 4.9**, los intervalos de mayor percepción de recarga de las baterías se encuentran en los descensos y cuando el autobús se encuentre desacelerando. También en algunos descensos no se tiene un notorio aumento de recarga de baterías, sino un mantenimiento constante del Estado de Carga, esto puede interpretarse como que el autobús se encontraba acelerando, es decir, consumiendo energía.

Además los valores más críticos de consumo de energía se encuentran en los ascensos, haciéndose más notorio cuando el autobús aceleraba.

En los momentos iniciales, se observa que el Estado de Carga logra mantenerse cercano al 100%, ya que el autobús se encontró descendiendo.

Por lo que se tiene de manera experimental que la variación del estado de carga durante un segundo es de aproximadamente 0.01689 multiplicado por un valor que depende de la variación de la velocidad y elevación durante un segundo, y además multiplicado por un factor que depende de cada escenario presentado anteriormente:

- 100 % de descarga cuando el autobús se encuentra acelerando en ascenso.
- 11 % de recarga cuando el autobús se encuentra desacelerando en ascenso.
- 32 % de descarga cuando el autobús se encuentra acelerando en descenso.
- 42 % de carga cuando el autobús se encuentra desacelerando en descenso.

Cuando el autobús se encontró ascendiendo, se tenía un estado de consumo de energía, mientras que cuando el autobús se encontró descendiendo, el estado de las baterías aumentaba de poca manera.

Luego de realizado el análisis de los perfiles de Estado de Carga, se dan como válidos los valores planteados, teniendo así el algoritmo del modelo matemático final para la aplicación de los demás valores a las otras líneas de transporte público de Cuenca. Para de esta manera tener la energía requerida para realizar una vuelta de cada ruta de las líneas de transporte, el cual se multiplicará por el número de autobuses y número de vueltas que realiza un autobús diariamente. Y de esta manera finalmente tener un valor de energía requerida total para un día de operación.



CAPÍTULO 5: APLICACIÓN LOCAL

5.1. Empresas de transporte público de la Ciudad de Cuenca y sus líneas

En el año 1999, debido al amplio crecimiento de la población en la Ciudad de Cuenca se crea, por parte de la administración municipal, la Unidad Municipal de Tránsito (llamado así en ese entonces) con lo cual se buscaba un cambio radical del marco normativo y técnico del transporte urbano, además desarrollar propuestas para implantar un nuevo sistema de transporte urbano eficiente y de calidad. [24]

Es por eso que a inicios del año 2000 se crea la Cámara de Transportes de Cuenca (CTC) por parte de los dirigentes de las empresas de transporte público presentes, con base a la unificación del servicio de transporte público urbano. La Cámara de Transportes de Cuenca agrupa a 7 empresas de transporte público y además cuenta con un total de 475 unidades de autobuses en circulación desde el 1 de enero de 2007. [25]

Cuenca es la primera ciudad del Ecuador que logró formar la llamada Caja Común, que consiste en la recaudación de todo el dinero de ingresos debido a pasajes durante todo el día para luego repartirlo de manera equitativa a las 475 unidades de autobuses existentes (restando el 9.15% del total, destinado a funcionamiento y mantenimiento del SIR). Además los miembros de la CTC han creado dos consorcios: [26]

- El consorcio CONCUENCA que es el encargado de la operación de todas las rutas de transporte urbano y bienes, las rutas convencionales, alimentadoras y troncales pertenecientes al Sistema Integrado de Transporte (SIT).
- El consorcio SIR CUENCA el cual se encarga de todo el sistema de recaudación de ingresos, y almacena todo lo ocurrido en el transcurso de un día como dinero recaudado por medio electrónico, cantidad de usuarios, rutas que recorrieron las unidades, etc. [24]

La flota de autobuses actuales que cubre el consorcio CONCUENCA está formado por 3 sistemas [24]:

- Las líneas CONVENCIONALES, que hacen referencia a las cuales inician, atraviesan o terminan cerca del centro urbano de Cuenca.
- Las líneas SIT, que hacen referencia a líneas troncales y alimentadoras que circulan por el centro de la ciudad hasta las dos terminales de intercambiadores (Terminal Terrestre y El Arenal), también aquellas que pertenecen a varias empresas.
- Las líneas MICROREGIONALES, que son similares a las rutas convencionales, pero sus terminales son más alejadas de las cabeceras parroquiales. Este sistema no ha sido tomado para este trabajo de titulación.



CAPÍTULO 5: APLICACIÓN LOCAL

Tabla 5.1. Empresas y Líneas de transporte público actuales de Cuenca

| EMPRESA | N° de unidades | Líneas | Sistema |
|--------------------|----------------|---|--|
| COMTRANUTOME S.A. | 123 | 1 Sayausí - Eucaliptos 13 Bosque de Monay - Mall del Río 13 Bosque de Monay - Tejar 15 Monay - Feria Libre 19 Católica - San Joaquín 22 Salesianos - Gapal 28 Llacao - Feria Libre 28 Chaullabamba - Feria Libre 100 Ricaurte - Baños Paccha Cementerio - Paccha Turi Centenario - Turi Rayoloma | SIT CONV CONV CONV CONV CONV CONV CONV SIT MICR MICR MICR |
| COMCUETU S.A. | 102 | 1 Sayausí - Eucaliptos 3 Sayausí - Eucaliptos 8 Trigales - San Joaquín 14 El Valle - Feria Libre 24 Cochapamba - Miraflores 100 Ricaurte - Baños CRS TURI Centenario - Turi Sidcay - Guabo Tomás Ordoñez- Sidcay | SIT CONV CONV CONV CONV SIT MICR MICR |
| LANCOMTRI S.A. | 64 | 1 Sayausí - Eucaliptos 5 Totoracocha - Control Sur 16 San Pedro - Monay 20 San Pedro - Cdla. Kennedy 100 Ricaurte - Baños Nulti Cementerio Nulti | SIT CONV CONV CONV SIT MICR |
| UNCÓMETRO S.A. | 55 | 1 Sayausí - Eucaliptos 7 Trigales - Feria Libre 10 Ochoa León - Feria Libre 26 Checa - Mercado 27 de Febrero 100 Ricaurte - Baños 101 E.T. Terminal - Yanaturu | SIT CONV CONV CONV SIT SIT |
| RICAURTE S.A. | 50 | 1 Sayausí - Eucaliptos 12 Baños - Quinta Chica 50 Monay IESS - San J. de Balzay 100 Ricaurte - Baños Llacao Santa Rosa | SIT CONV CONV SIT MICR |
| TURISMO BAÑOS S.A. | 42 | 2 Totoracocha - Feria Libre 25 Jaime Roldós - Sta. María del Vergel 27 Huizhil - Sinincay 100 Ricaurte - Baños | CONV CONV CONV SIT |
| URBADIEZ S.A. | 39 | 6 Mayancela - 9 de Octubre 17 10 de Agosto - Feria Libre 18 Zhucay - Técnico 100 Ricaurte - Baños Tarqui Feria Libre - El Verde Tarqui | CONV CONV CONV SIT MICR |

Fuente: *Elaboración propia.*

**5.2. Datos obtenidos de las líneas de Cuenca****Tabla 5.2.** Datos de las líneas de transporte recopilados con el GPS

| Línea | Ruta | Distancia recorrida (km) | Tiempo aproximado (min) |
|--------------|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 1 | Sayausí - Eucaliptos | 39.33 | 131 |
| 2 | Totoracocha - Feria Libre | 26.23 | 97 |
| 3 | Sayausí - Eucaliptos | 33.46 | 111 |
| 5 | Totoracocha - Control Sur | 27.17 | 98 |
| 6 | Mayancela - 9 de Octubre | 20.15 | 73 |
| 7 | Trigales - Feria Libre | 36.54 | 132 |
| 8 | Trigales - San Joaquín | 33.75 | 114 |
| 10 | Ochoa León - Feria Libre | 42.99 | 154 |
| 12 | Baños - Quinta Chica | 35.60 | 132 |
| 13 | Bosque de Monay - Mall del Río | 32.84 | 125 |
| 13-2 | Bosque de Monay - Tejar | 26.86 | 102 |
| 14 | El Valle - Feria Libre | 26.31 | 75 |
| 15 | Monay - Feria Libre | 33.34 | 108 |
| 16 | San Pedro - Monay | 42.12 | 137 |
| 17 | Feria Libre - 10 de Agosto | 27.58 | 100 |
| 18 | Zhucay - Técnico | 27.07 | 96 |
| 19 | Católica - San Joaquín | 30.35 | 112 |
| 20 | San Pedro - Cdla. Kennedy | 34.74 | 124 |
| 22 | Salesianos - Gapal | 29.20 | 129 |
| 24 | Cochapamba - Miraflores | 39.61 | 128 |
| 25 | J. Roldós - Sta. María del Vergel | 32.27 | 113 |
| 26 | Checa - Mercado 27 de Febrero | 36.17 | 111 |
| 27 | Sinincay - Huizhil | 43.60 | 130 |
| 28 | Llacao - Feria Libre | 34.05 | 112 |
| 28-2 | Chaullabamba - Feria Libre | 40.00 | 118 |
| 50 | Monay IESS - San J. de Balzay | 26.39 | 107 |
| 100 | Ricaurte E.T. Terminal Terrestre | 13.93 | 44 |
| | E.T. Terminal Terrestre - Baños | 22.61 | 85 |
| 101 | E.T. Terminal Terrestre - Yanaturo | 9.05 | 37 |

Fuente: *Elaboración propia.*



Los datos de la **Tabla 5.2** fueron obtenidos de manera experimental, subiendo a una unidad de transporte de cada una de las líneas de las empresas, con ayuda de un GPS el cual también servirá para tener los datos de velocidad, elevación y las coordenadas de las rutas.

Las rutas actuales que tienen las unidades de autobuses de transporte urbano han sido definidas por entidades municipales de tránsito y la Cámara de Transportes de Cuenca, que a su vez, han sido modificadas luego del funcionamiento de las estaciones de transferencia presentes.

La Línea 1 se ha conformado de la unión de las Líneas Troncal Norte 102 (Eucaliptos E.T Terminal Terrestre) y Troncal Sur 201 (Sayausí - E.T. El Arenal), las cuales funcionaban como líneas del Sistema Integrado de Transporte y llegaban hasta las Estaciones de Transferencia.

La Línea 4 (Ciudadela Álvarez - El Tejar), se ha combinado con la Línea 13, manteniendo el número de la Línea 13 y formando así una sola ruta que parte desde El Bosque de Monay y llega hasta El Tejar. [27]

La Línea 9 combinó su ruta con la Línea 28, manteniendo el número de la Línea 28. Aunque la Línea 9 (Chaulabamba/Capulispamba - Feria Libre) tiene dos puntos finales se ha considerado el punto más alejado para el análisis, ya que este requerirá de más energía. [27]

La Línea 11 (Ricaurte - Baños) se ha modificado para tener una línea del Sistema Integrado de Transporte formando así parte de las Líneas Troncal Norte 100 (Ricaurte - E.T. Terminal El Arenal) y Troncal Sur 200 (Baños - E.T. Terminal Terrestre) [27], que luego a su vez, se modificará y tendrá un solo número de línea llamado Troncal Norte 100, que mantiene su recorrido desde Ricaurte hasta Baños, pasando únicamente por la Estación de transferencia del Terminal Terrestre.

No se tiene conocimiento sobre la Línea 21.

La Línea 23 (Yanaturu - La Florida) ha cambiado su ruta, convirtiéndose así en una de las líneas del Sistema Integrado de Transporte, la Línea Troncal Norte 101 (Yanaturu - E.T. Terminal Terrestre).

La Línea 29 ha sido reemplazada por la Línea 50 (Hospital del IESS - San José de Balzay). [27]

Las líneas mostradas son las que actualmente se encuentran presentes en la Ciudad de Cuenca y dan servicio a los ciudadanos. Los recorridos de cada una de las líneas de la ciudad se muestran en los **Anexos 1** y **Anexos 2**, así también como los perfiles de altitud (m s. n. m.) y velocidad (km/h) que han sido obtenidos de manera experimental, así como también la distancia recorrida (km) y el tiempo aproximado (min).



5.3. Perfiles de Estado de Carga de las líneas de transporte

Para la aplicación del modelo matemático a las demás líneas, es necesario tener datos que sean de igual manera, tomados cada segundo en velocidad y elevación, los cuales fueron registrados y descargados del GPS.

Es posible observar los Perfiles de Elevación vs. Tiempo de cada una de las líneas de transporte, adjuntos en el **Anexo 1** y **2**, así como también los Perfiles de Velocidad vs. Tiempo.

Como se observa a continuación, se tienen diferentes perfiles de Estado de Carga para cada línea de transporte público (**Fuente: Elaboración propia**):

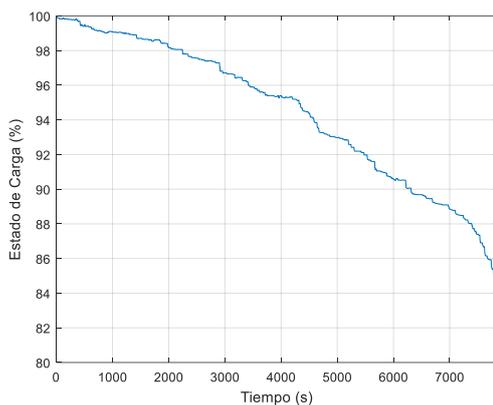


Figura 5.1. Perfil de SOC, Línea 1

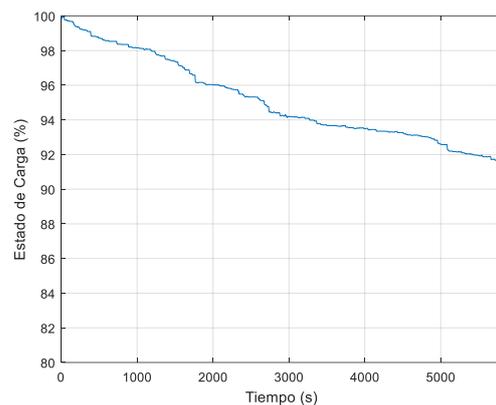


Figura 5.2. Perfil de SOC, Línea 2

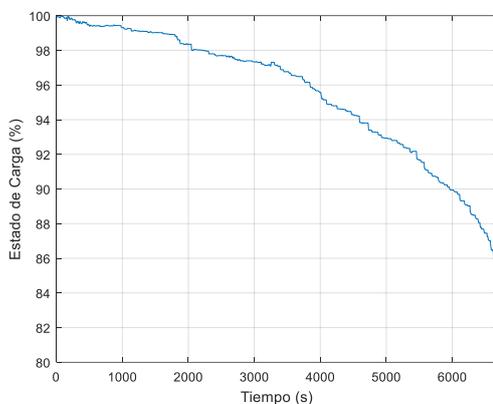


Figura 5.3. Perfil de SOC, Línea 3

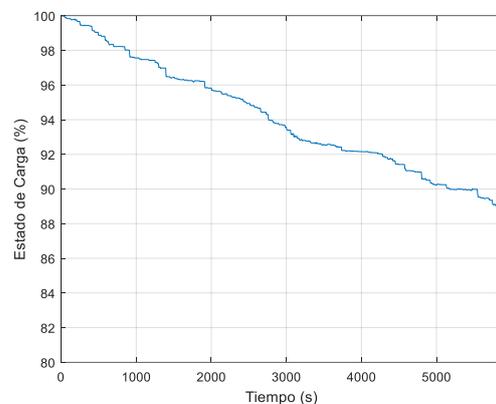


Figura 5.4. Perfil de SOC, Línea 5

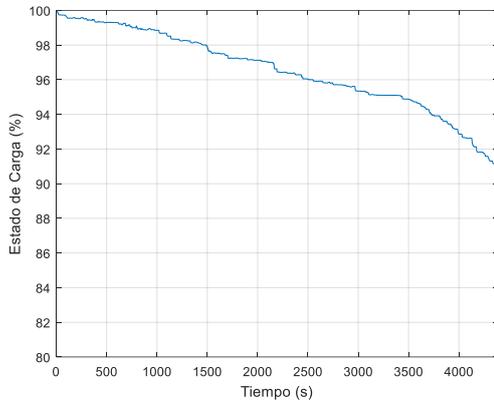


Figura 5.5. Perfil de SOC, Línea 6

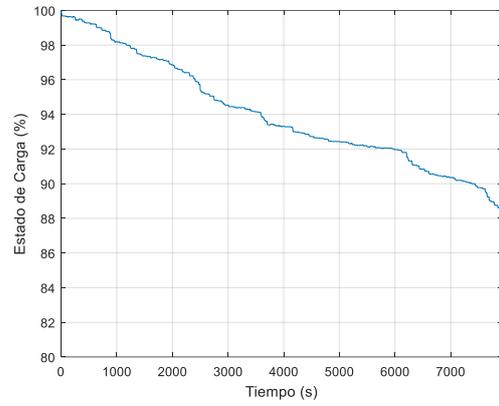


Figura 5.6. Perfil de SOC, Línea 7

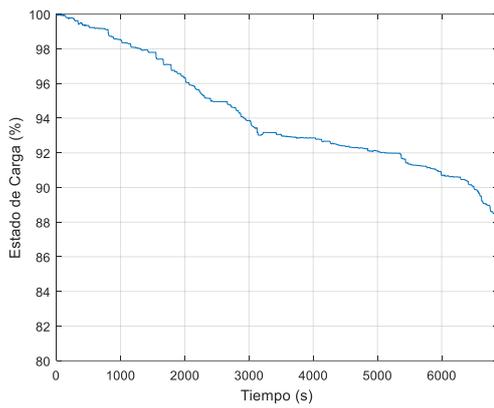


Figura 5.7. Perfil de SOC, Línea 8

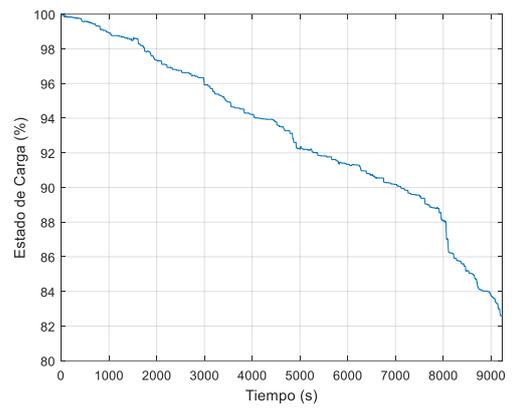


Figura 5.8. Perfil de SOC, Línea 10

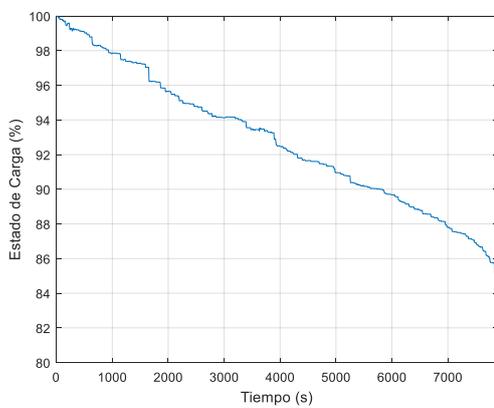


Figura 5.9. Perfil de SOC, Línea 12

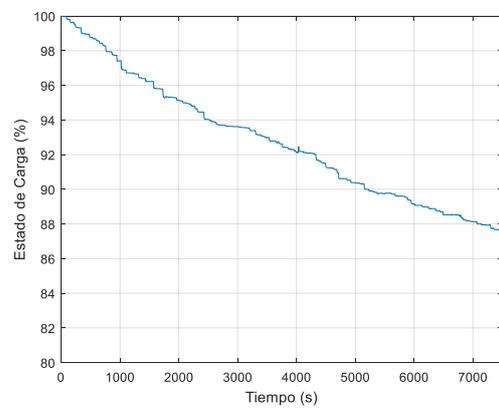


Figura 5.10. Perfil de SOC, Línea 13

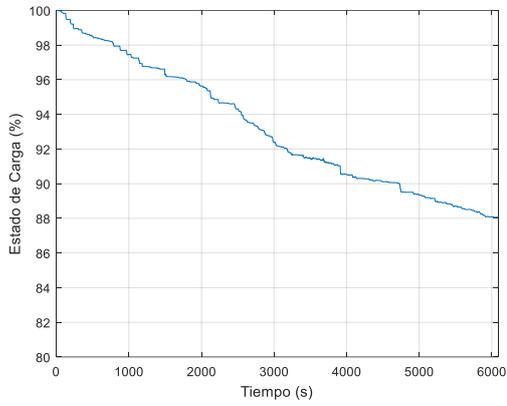


Figura 5.11. Perfil de SOC, Línea 13-2

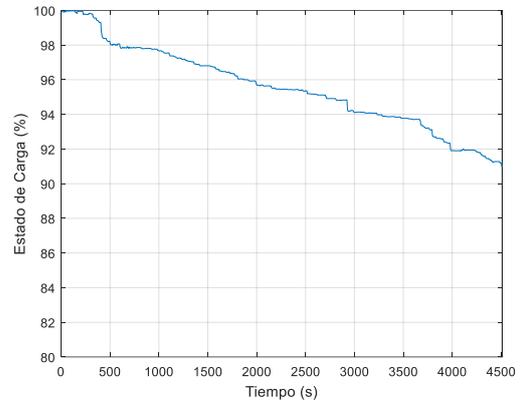


Figura 5.12. Perfil de SOC, Línea 14

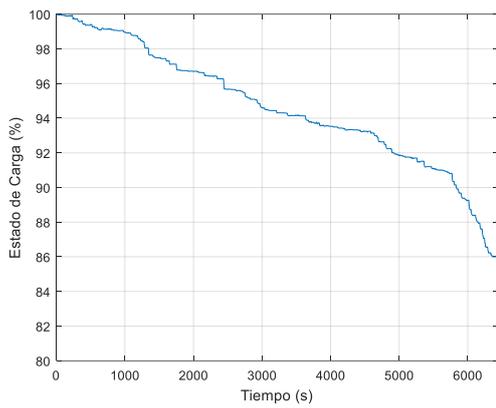


Figura 5.13. Perfil de SOC, Línea 15

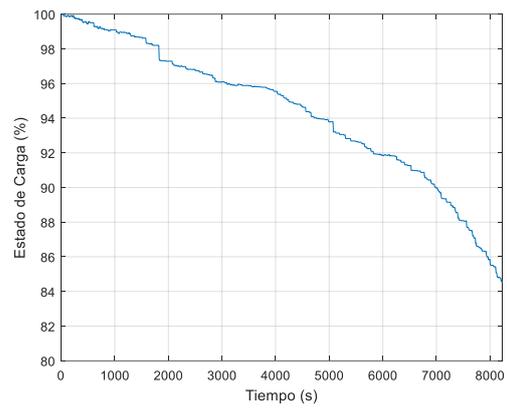


Figura 5.14. Perfil de SOC, Línea 16

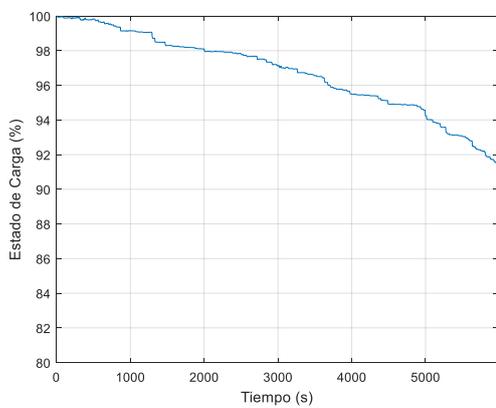


Figura 5.15. Perfil de SOC, Línea 17

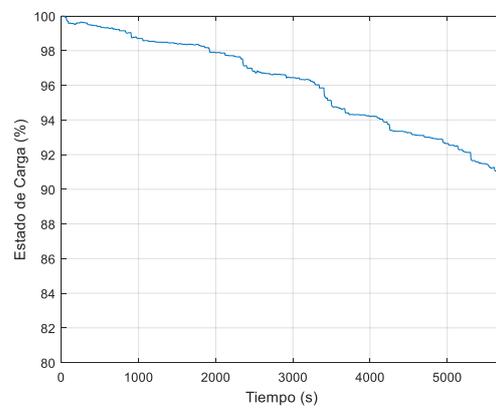


Figura 5.16. Perfil de SOC, Línea 18

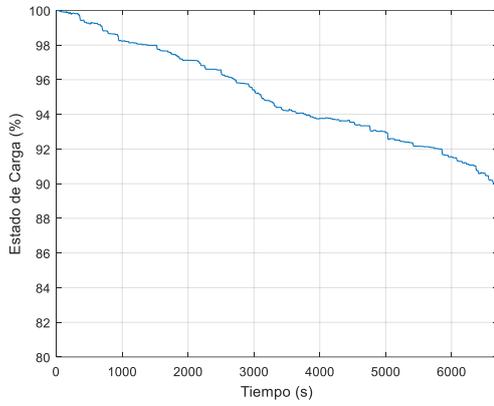


Figura 5.17. Perfil de SOC, Línea 19

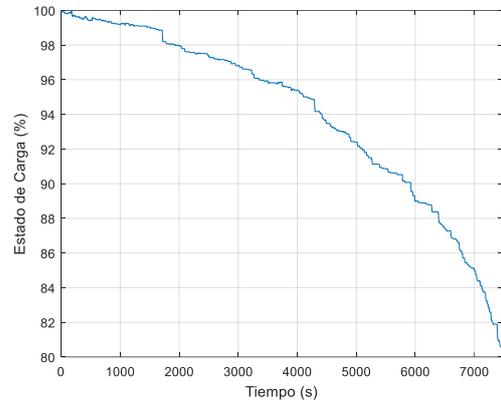


Figura 5.18. Perfil de SOC, Línea 20

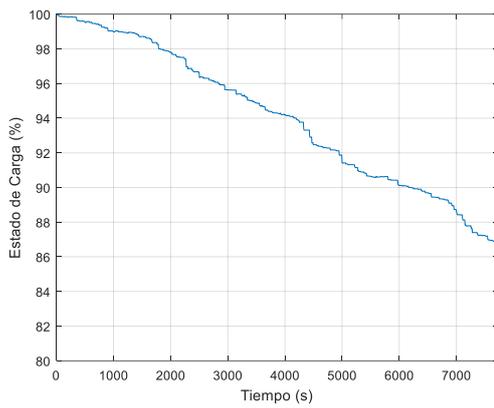


Figura 5.19. Perfil de SOC, Línea 22

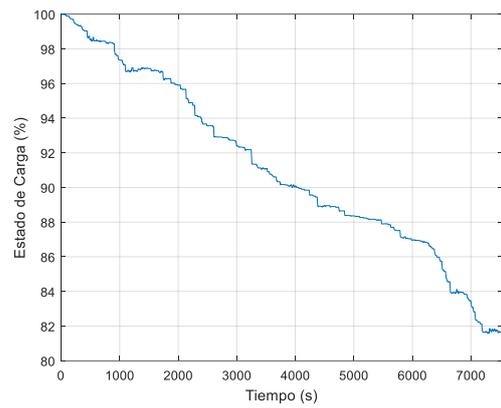


Figura 5.20. Perfil de SOC, Línea 24

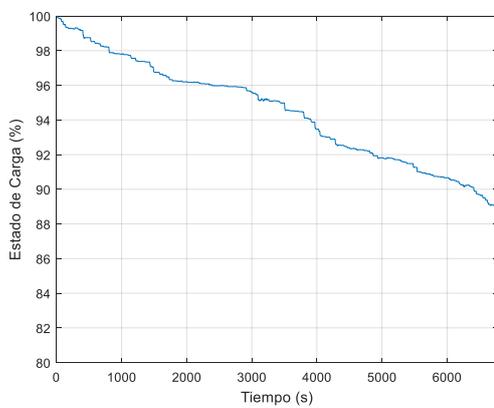


Figura 5.21. Perfil de SOC, Línea 25

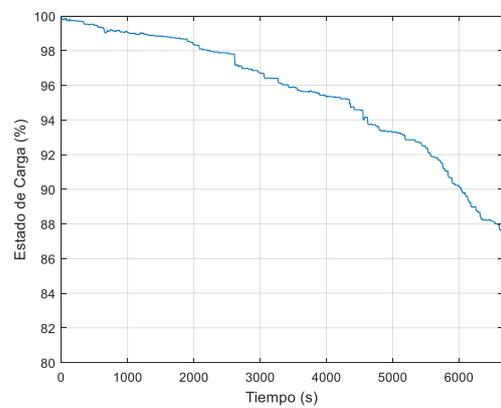


Figura 5.22. Perfil de SOC, Línea 26

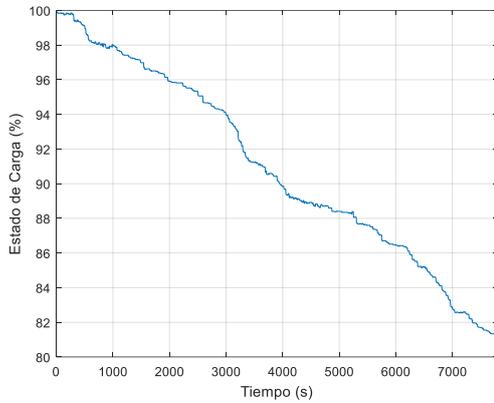


Figura 5.23. Perfil de SOC, Línea 27

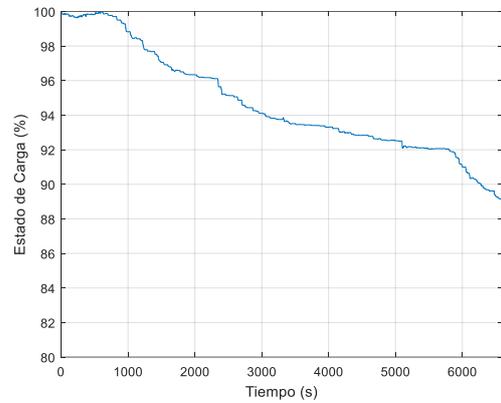


Figura 5.24. Perfil de SOC, Línea 28

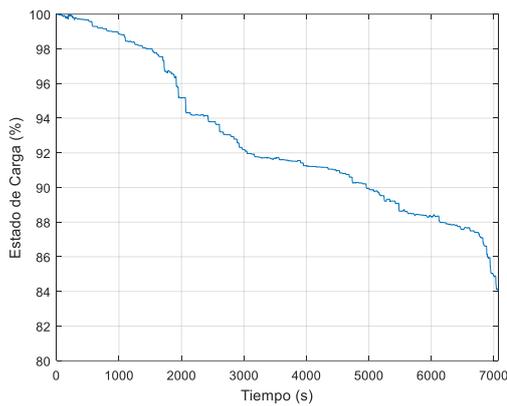


Figura 5.25. Perfil de SOC, Línea 28-2

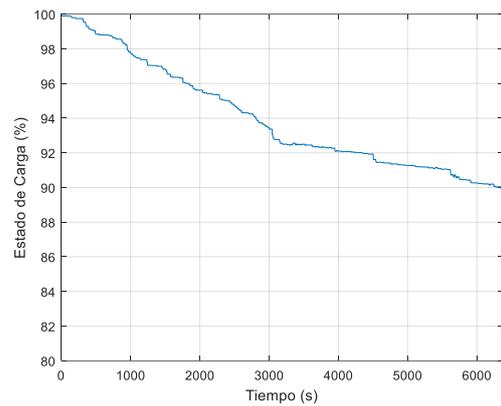


Figura 5.26. Perfil de SOC, Línea 50

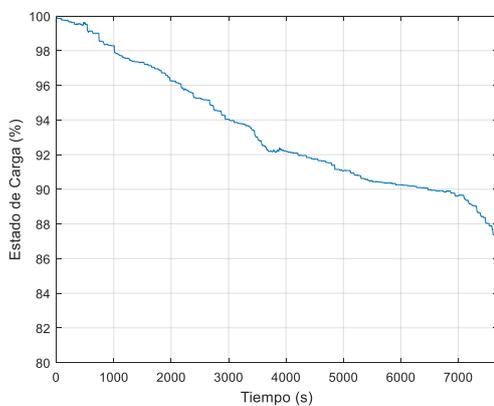


Figura 5.27. Perfil de SOC, Línea 100

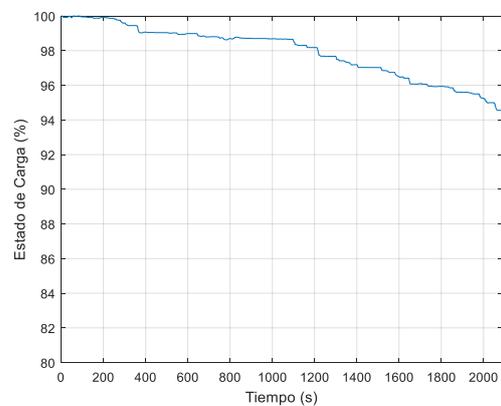


Figura 5.28. Perfil de SOC, Línea 101



Mediante el análisis de las gráficas de perfiles de estado de carga de cada una de las líneas, se determina el valor de energía consumida durante una vuelta de ruta:

Tabla 5.3. Energía consumida por cada línea durante una vuelta de ruta

| LÍNEA | Porcentaje final de baterías (%) | Porcentaje de batería consumido (%) | Energía consumida 1 vuelta (kWh) |
|-------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 84.9941 | 15.0059 | 48.6191 |
| 2 | 91.3451 | 8.6549 | 28.0419 |
| 3 | 85.7469 | 14.2531 | 46.1800 |
| 5 | 88.9209 | 11.0791 | 35.8963 |
| 6 | 91.1508 | 8.8492 | 28.6714 |
| 7 | 87.9164 | 12.0836 | 39.1509 |
| 8 | 88.4552 | 11.5448 | 37.4052 |
| 10 | 82.6075 | 17.3925 | 56.3517 |
| 12 | 85.0062 | 14.9938 | 48.5799 |
| 13 | 87.6906 | 12.3094 | 39.8825 |
| 13-2 | 88.0598 | 11.9402 | 38.6862 |
| 14 | 90.9933 | 9.0067 | 29.1817 |
| 15 | 85.9333 | 14.0667 | 45.5761 |
| 16 | 84.5302 | 15.4698 | 50.1222 |
| 17 | 90.8884 | 9.1116 | 29.5216 |
| 18 | 91.0785 | 8.9215 | 28.9057 |
| 19 | 89.8518 | 10.1482 | 32.8802 |
| 20 | 80.5895 | 19.4105 | 62.8900 |
| 22 | 86.8651 | 13.1349 | 42.5571 |
| 24 | 81.6474 | 18.3526 | 59.4624 |
| 25 | 89.0715 | 10.9285 | 35.4083 |
| 26 | 87.6077 | 12.3923 | 40.1511 |
| 27 | 81.2035 | 18.7965 | 60.9007 |
| 28 | 88.7132 | 11.2868 | 36.5692 |
| 28-2 | 84.0849 | 15.9151 | 51.5649 |
| 50 | 89.9048 | 10.0952 | 32.7084 |
| 100 | 87.3031 | 12.6969 | 41.1380 |
| 101 | 94.5619 | 5.4381 | 17.6194 |

Fuente: *Elaboración propia.*



5.4. Energía estimada de cada línea durante 1 día de operación

Para tener una estimación de la energía requerida, es necesario tener datos sobre las líneas, para lo cual se realizó una encuesta a los conductores (**Anexo 3**), obteniendo así:

Tabla 5.4. Energía consumida por cada línea durante 1 día de operación

| Línea | Energía consumida durante una vuelta (kWh) | Número de Vueltas por día / línea | Número de autobuses por línea | Energía consumida 1 día (kWh) |
|--------------|--|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 48.6191 | 7 | 18 | 6126.0086 |
| 2 | 28.0419 | 6 | 10 | 1682.5126 |
| 3 | 46.1800 | 6 | 20 | 5541.6053 |
| 5 | 35.8963 | 8 | 19 | 5456.2352 |
| 6 | 28.6714 | 11 | 6 | 1892.3129 |
| 7 | 38.1510 | 7 | 25 | 6851.4012 |
| 8 | 37.4052 | 7 | 19 | 4974.8852 |
| 10 | 56.3517 | 6 | 9 | 3042.9918 |
| 12 | 38.8599 | 7 | 20 | 6801.1877 |
| 13 | 39.8825 | 4 | 11 | 1754.8281 |
| 13 -2 | 38.6862 | 4 | 11 | 1702.1949 |
| 14 | 29.1817 | 7 | 20 | 4085.4391 |
| 15 | 45.5761 | 6 | 13 | 3554.9364 |
| 16 | 50.1222 | 7 | 18 | 6315.3912 |
| 17 | 27.5219 | 6 | 8 | 1417.0360 |
| 18 | 28.9057 | 6 | 15 | 2601.5094 |
| 19 | 32.8802 | 6 | 15 | 2959.2151 |
| 20 | 62.8900 | 6 | 18 | 6792.1222 |
| 22 | 42.5571 | 7 | 29 | 8639.0864 |
| 24 | 59.4624 | 6 | 20 | 7135.4909 |
| 25 | 35.4083 | 6 | 9 | 1912.0504 |
| 26 | 40.1511 | 6 | 9 | 2168.1568 |
| 27 | 60.9007 | 6 | 17 | 6211.8673 |
| 28 | 36.5692 | 6 | 9 | 1974.7368 |
| 28 -2 | 51.5649 | 6 | 9 | 2784.5059 |
| 50 | 32.7084 | 6 | 12 | 2355.0083 |
| 100 | 41.1380 | 7 | 32 | 9214.9021 |
| 101 | 17.6194 | 14 | 3 | 740.0166 |
| TOTAL | | | 424 | 116.68 MWh |

Fuente: *Elaboración propia.*



5.5. Análisis de eficiencia del autobús eléctrico en las líneas

Tabla 5.5. Eficiencia de cada una de las líneas de transporte

| Línea | Distancia recorrida (km) | Energía consumida durante una vuelta (kWh) | Eficiencia (km/kWh) |
|-------|--------------------------|--|---------------------|
| 1 | 39.33 | 48.6191 | 0.808 |
| 2 | 26.23 | 28.0419 | 0.935 |
| 3 | 33.46 | 46.1800 | 0.724 |
| 5 | 27.17 | 35.8963 | 0.756 |
| 6 | 20.15 | 28.6714 | 0.702 |
| 7 | 36.54 | 39.1509 | 0.933 |
| 8 | 33.75 | 37.4052 | 0.902 |
| 10 | 42.99 | 56.3517 | 0.762 |
| 12 | 35.60 | 48.5799 | 0.732 |
| 13 | 32.84 | 39.8825 | 0.823 |
| 13 -2 | 26.86 | 38.6862 | 0.694 |
| 14 | 26.31 | 29.1817 | 0.901 |
| 15 | 33.34 | 45.5761 | 0.731 |
| 16 | 42.12 | 50.1222 | 0.840 |
| 17 | 27.58 | 29.5216 | 0.934 |
| 18 | 27.07 | 28.9057 | 0.936 |
| 19 | 30.35 | 32.8802 | 0.923 |
| 20 | 34.74 | 62.8900 | 0.552 |
| 22 | 29.20 | 42.5571 | 0.686 |
| 24 | 39.61 | 59.4624 | 0.666 |
| 25 | 32.27 | 35.4083 | 0.911 |
| 26 | 36.17 | 40.1511 | 0.900 |
| 27 | 43.60 | 60.9007 | 0.715 |
| 28 | 34.05 | 36.5692 | 0.931 |
| 28 -2 | 40.00 | 51.5649 | 0.775 |
| 50 | 26.39 | 32.7084 | 0.806 |
| 100 | 36.54 | 41.1380 | 0.888 |
| 101 | 9.05 | 17.6194 | 0.513 |

Fuente: *Elaboración propia.*



Como se observa en la **Tabla 5.5**, los valores de eficiencia o economía del combustible del autobús eléctrico son variantes, debido a que el autobús en las diferentes líneas se encontró en diferentes tipos de escenarios.

Teniendo así valores entre 0.5136 y 0.9364, los cuales indican que los valores menores son resultado de un recorrido de autobús en el que no existen muchos efectos del frenado regenerativo, o tenían muchos arranques en su recorrido, es decir, que el autobús se detuvo en muchas ocasiones debido a tráfico, semáforos o paradas de autobuses, que significan que el autobús necesita más energía para romper la inercia de los motores.

Se puede concluir que la eficiencia del autobús, debido a las elevaciones que tiene la Ciudad de Cuenca es aproximadamente de:

$$\text{eficiencia promedio} = 0.799 \text{ km/kWh}$$

Cabe mencionar que los valores de energía obtenidos son una estimación de una vuelta de ruta de operación de cada una de las líneas, así que dichos valores no pueden ser tomados como exactos, pero si aproximados. Como se sabe la rutina de un autobús no es siempre la misma, ya que este depende de la hora de operación, tráfico en las calles, accidentes de tránsito, desviaciones de la ruta, clima, etc., lo que significa que el valor de energía varía con cada vuelta, además del número de paradas que haga el autobús, ya que para arrancar necesitará de más energía para romper la inercia de los motores.

CAPÍTULO 6: IMPACTOS DEL ANÁLISIS

6.1. Situación actual de la red eléctrica en Cuenca

En el año de 1999, con el fin de cumplir la normativa vigente en el sector eléctrico ecuatoriano, la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A. conforma dos empresas [28]:

- la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A. (EERCS) la cual limitó sus actividades a la Distribución y Comercialización de la energía eléctrica.
- la Empresa Electro Generadora del Austro S. A. (ELECAUSTRO) que se dedicó únicamente a la Generación de energía eléctrica.

Con una cobertura de 30273 km², la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A. tiene un área de concesión que abarca las provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago, representando el 11.77% del total del territorio ecuatoriano [28] como se indica:

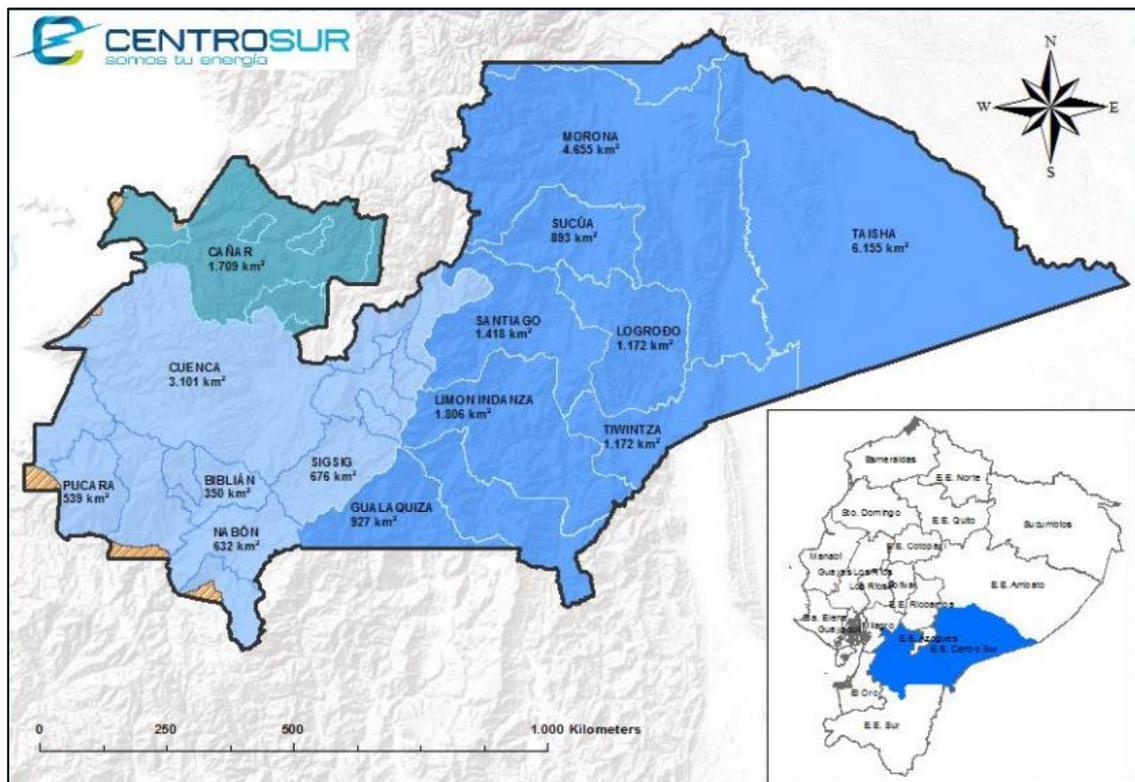


Figura 6.1. Área de concesión de la EERCS C.A. [29]

Fuente: CENTROSUR. (2019). *Área de concesión de la CENTROSUR.*



CAPÍTULO 6: IMPACTOS DEL ANÁLISIS

El Sistema de Distribución de Media Tensión está compuesto por un total de 18 subestaciones eléctricas (S/E), en las cuales existen 27 Transformadores de Potencia OA/FA con una capacidad instalada total de 411.82/522.32 MVA (OA/FA), como se indica en la **Tabla 6.1** [30]:

Tabla 6.1. Subestaciones del SEP de la EERCS y capacidad de transformadores [30]

| Descripción | | Número de transformadores | Voltajes (kV) | Capacidad (MVA) | |
|-------------|-------------------|---------------------------|---------------|-----------------|--------|
| Código | Denominación | | | OA | FA |
| S/E 01 | Luis Cordero | 2 | 22/6.3 | 15 | 19 |
| S/E 02 | Pte. Centenario | 2 | 22/6.3 | 15 | 19 |
| S/E 03 | Monay | 2 | 69/22 | 48 | 64 |
| S/E 04 | Parque Industrial | 2 | 69/22 | 48 | 64 |
| S/E 05 | El Arenal | 2 | 69/22 | 48 | 64 |
| S/E 06 | El Verdillo | 1 | 69/22 | 10 | 12.5 |
| S/E 07 | Ricaurte | 2 | 69/22 | 22.5 | 25 |
| S/E 08 | Turi | 1 | 69/22 | 24 | 32 |
| S/E 09 | Huablincay | 1 | 69/22 | 10 | 12.5 |
| S/E 12 | El Descanso | 2 | 69/22 | 20 | 22.5 |
| S/E 14 | Léntag | 2 | 69/22 | 34 | 44.5 |
| S/E 15 | Gualaceo | 1 | 138/22 | 16 | 16 |
| S/E 18 | Cañar | 2 | 69/22 | 34 | 44.5 |
| S/E 19 | Corpanche | seccionamiento | - | - | - |
| S/E 21 | Macas | 2 | 69/22 | 34 | 44.5 |
| S/E 22 | Méndez | 1 | 138/13.8 | 6.66 | 6.66 |
| S/E 23 | Limón | 1 | 138/13.8 | 6.66 | 6.66 |
| S/E 50 | La Troncal | 1 | 69/13.8 | 20 | 25 |
| | TOTAL | 28 | - | 411.82 | 522.32 |

Fuente: CENTROSUR. (2018). *Descripción de la CENTROSUR.*

Los transformadores OA/FA son de tipo variantes resultado de la combinación de dos tipos de transformadores, son sumergidos en líquido aislante para enfriamiento propio (OA) y además cuenta de enfriamiento forzado (FA) el cual tiene ventiladores adicionales para aumentar su capacidad de disipar calor [31].



6.2. Capacidad de potencia disponible

De la encuesta realizada a los conductores, que se observa en el **Anexo 3**, se tiene que las empresas de transporte no tienen un lugar específico de pernocte de todas las unidades de transporte, sino existe en la mayoría un garaje en donde guardan cierto porcentaje de las mismas.

La mayoría de dueños de los autobuses guardan los autobuses en garajes propios, los cuales se encuentran dentro de la ciudad o ligeramente alejados, es por esto que se tiene que analizar el factor de utilización de los transformadores más cercanos a la ciudad, como se observa en la **Tabla 6.2**:

Tabla 6.2. Potencia disponible en transformadores cercanos [30]

| Subestación | Transformador | Capacidad Nominal (MVA) | Factor de utilización (%) | Capacidad disponible (MVA) |
|--------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|
| S/E 01 Luis Cordero | T011 | 5 | 43.10 | 2.845 |
| | T012 | 10 | 34.28 | 6.572 |
| S/E 02 Pte. Centenario | T021 | 5 | 56.21 | 2.1895 |
| | T022 | 10 | 44.71 | 5.529 |
| S/E 03 Monay | T034 | 24 | 37.75 | 14.94 |
| | T035 | 24 | 37.75 | 14.94 |
| S/E 04 Parque Industrial | T041 | 24 | 57.21 | 10.2696 |
| | T042 | 24 | 56.89 | 10.3464 |
| S/E 05 El Arenal | T051 | 24 | 70.97 | 6.9672 |
| | T052 | 24 | 74.37 | 6.1512 |
| S/E 06 El Verdillo | T061 | 10 | 67.34 | 3.266 |
| S/E 07 Ricaurte | T071 | 10 | 78.86 | 2.114 |
| | T072 | 12.5 | 93.89 | 0.76375 |
| S/E 08 Turi | T081 | 24 | 81.25 | 4.5 |
| S/E 12 El Descanso | T122 | 10 | 44.61 | 5.539 |
| | T123 | 10 | 33.57 | 6.643 |
| TOTAL | | 250.5 MVA | | 103.57 MVA |

Fuente: CENTROSUR. (2018). *Descripción de la CENTROSUR.*



Además, se cuenta con la construcción de 2 subestaciones, S/E 13 Chaullayacu en el sector de Chaullayacu y la S/E 17 los Cerezos que se dispondrá en la calle Los Cerezos, sector Virgen del Milagro de la parroquia de San Sebastián. Los cuales tendrán las características mostradas en la **Tabla 6.3** [32]:

Tabla 6.3. Potencia de Subestaciones en construcción [32]

| Descripción | | Número de transformadores | Voltajes (kV) | Capacidad (MVA) | |
|--------------|--------------|---------------------------|---------------|-----------------|------|
| Código | Denominación | | | OA | FA |
| S/E 13 | Chaullayacu | 1 | 69/22 | 10 | 12.5 |
| S/E 17 | Los Cerezos | 1 | 69/22 | 24 | 32 |
| TOTAL | | 2 | - | 34 | 44.5 |

Fuente: CENTROSUR. (2019). *CENTROSUR*.

Llegando así a un total de 137.57 MVA de potencia en transformadores disponibles de las subestaciones más cercanas a la ciudad.

6.3. Energía total requerida por autobuses eléctricos

En cuanto a la implementación de autobuses eléctricos como parte del sistema de transporte público en la ciudad, se observa en la **Tabla 6.4** que algunas líneas de transporte en las cuales no se va a poder utilizar un autobús eléctrico para poder cumplir con el total de vueltas de ruta requeridas durante un día, por ejemplo en el caso de la Línea 1, que aproximadamente se consumirá el 15% de carga de las baterías durante 1 vuelta, sin embargo un autobús en dicha línea realiza 7 vueltas diarias, llegando así a necesitar de 105% de capacidad en las baterías, lo que es imposible con este autobús.

Para el recorrido del autobús desde su lugar de pernocte hasta el inicio de ruta de cada línea y viceversa, es necesario un porcentaje de energía que se encuentra fuera del análisis de energía para completar un día de operación en las vueltas de las líneas. También, durante la investigación de los datos del **Anexo 3**, se obtuvo que los autobuses, luego de terminar su recorrido diario en las líneas de transporte, deben dirigirse a las estaciones de transferencia de la ciudad para descargar algunos datos diarios.

Por eso se ha estimado un porcentaje del 15% para cumplir con lo dicho, estos valores se encuentran de color rojo en la **Tabla 6.4**, considerándose “no válidos”:



Tabla 6.4. Porcentajes finales de baterías para las líneas durante un día de operación

| Línea | Porcentaje de batería consumido (%) | Número de Vueltas por día | Porcentaje final de rutas durante un día de operación (%) |
|-------|-------------------------------------|---------------------------|---|
| 1 | 15.0059 | 7 | -5.0413 |
| 2 | 8.6549 | 6 | 48.0706 |
| 3 | 14.2531 | 6 | 14.4814 |
| 5 | 11.0791 | 8 | 11.3672 |
| 6 | 8.8492 | 11 | 2.6588 |
| 7 | 12.0836 | 7 | 15.4148 |
| 8 | 11.5448 | 7 | 19.1864 |
| 10 | 17.3925 | 6 | -4.3550 |
| 12 | 14.9938 | 7 | -4.9566 |
| 13 | 12.3094 | 4 | 50.7624 |
| 13 -2 | 11.9402 | 4 | 52.2392 |
| 14 | 9.0067 | 7 | 36.9531 |
| 15 | 14.0667 | 6 | 15.5998 |
| 16 | 15.4698 | 7 | -8.2886 |
| 17 | 9.1116 | 6 | 45.3304 |
| 18 | 8.9215 | 6 | 46.4710 |
| 19 | 10.1482 | 6 | 39.1108 |
| 20 | 19.4105 | 6 | -16.4630 |
| 22 | 13.1349 | 7 | 8.0557 |
| 24 | 18.3526 | 6 | -10.1156 |
| 25 | 10.9285 | 6 | 34.4290 |
| 26 | 12.3923 | 6 | 25.6462 |
| 27 | 18.7965 | 6 | -12.7790 |
| 28 | 11.2868 | 6 | 32.2793 |
| 28 -2 | 15.9151 | 6 | 4.5094 |
| 50 | 10.0952 | 6 | 39.4288 |
| 100 | 12.6969 | 7 | 11.1217 |
| 101 | 5.4381 | 14 | 23.8666 |

Fuente: *Elaboración propia.*

Se observan valores negativos en el porcentaje final de las baterías, lo que resulta imposible, es decir que en esas líneas no se podría implementar el cambio de autobuses a diésel por autobuses eléctricos, ya que se necesita más energía que la disponible en las baterías del autobús eléctrico para poder cumplir con el recorrido normal diario de las líneas. Teniendo así un porcentaje del 46.4 % de líneas que requieren recargas parciales.



En el **Anexo 3** se menciona que los autobuses tienen un tiempo de espera para poder realizar el cambio de vuelta, el cual podría ser utilizado por dichas líneas para recargar parte del porcentaje de las baterías.

La alternativa sería que se coloque una estación de carga (las cuales normalmente son de valores de 40 kW para carga lenta, utilizando un solo conector y de 80 kW utilizando ambos conductores, siendo este de carga rápida) en cada uno de los inicios de rutas de las líneas “no válidas”, y suponiendo que los autobuses usen un solo conector de carga (40 kW - carga lenta) para su recarga, se tiene nuevos porcentajes finales que se muestran en la **Tabla 6.5**:

Tabla 6.5. Porcentaje de recarga y final con un conector de 40 kWh

| Línea | Tiempo de cambios de vuelta (min) | | Porcentaje de recarga con un conector de 40 kWh (%) | Porcentaje final con recarga a 40 kWh durante los tiempos de cambios de vueltas (%) |
|-------|-----------------------------------|-------|---|---|
| | 1 vuelta | 1 día | | |
| 1 | 120 | | 16.2000 | 11.1587 |
| 3 | 125 | | 16.8750 | 31.3564 |
| 5 | 140 | | 18.9000 | 30.2672 |
| 6 | 200 | | 27.0000 | 29.6588 |
| 10 | 125 | | 16.8750 | 12.5200 |
| 12 | 90 | | 12.1500 | 7.1934 |
| 16 | 90 | | 12.1500 | 3.8614 |
| 20 | 125 | | 16.8750 | 0.4120 |
| 22 | 60 | | 8.1000 | 16.1557 |
| 24 | 75 | | 10.1250 | 0.0094 |
| 27 | 75 | | 10.1250 | -2.6540 |
| 28 -2 | 100 | | 13.5000 | 18.0094 |
| 100 | 90 | | 12.1500 | 23.2717 |

Fuente: *Elaboración propia.*

Se observa que algunas de las líneas mejoraron su porcentaje final de las baterías, lo que significa que en aquellas se puede implementar estaciones de carga y utilizar un solo conector para cumplir con su operación normal diaria.

Mientras que para los valores de color rojo, aún se puede plantear la utilización de los dos conectores de 40 kW cada una, teniendo así un total de 80 kW (carga rápida) de recarga para los intervalos de cambios de vueltas, de manera que pueda mejorarse el valor de porcentaje final en las baterías como se muestra en la **Tabla 6.6**.



Tabla 6.6. Porcentaje de recarga y final con dos conectores de 40 kWh c/u

| Línea | Porcentaje final sin recarga (%) | Porcentaje de recarga con dos conectores de 40 kWh c/u (%) | Porcentaje final con recarga a 80 kWh durante los tiempos de cambios de vueltas (%) |
|-------|----------------------------------|--|---|
| 1 | -5.0413 | 32.4000 | 27.3587 |
| 10 | -4.3550 | 33.7500 | 29.3950 |
| 12 | -4.9566 | 24.3000 | 19.3434 |
| 16 | -8.2886 | 24.3000 | 16.0114 |
| 20 | -16.4630 | 33.7500 | 17.2870 |
| 24 | -10.1156 | 20.2500 | 10.1344 |
| 27 | -12.7790 | 20.2500 | 7.4710 |

Fuente: *Elaboración propia.*

La mayoría de líneas mejoraron su porcentaje final de baterías en el caso que se utilicen los dos conectores de recarga (carga rápida) de las estaciones de carga, mientras que para las líneas 24 y 27, aún se tienen niveles por debajo del establecido como límite. Pero estas líneas podrían considerarse como válidas, en el caso de que los autobuses no necesariamente necesiten más del 7% para cumplir con lo establecido de porcentaje de batería para el recorrido desde el sitio de pernocte hasta el inicio de la ruta y viceversa, además para la descarga de datos en las estaciones de transferencia.

También podría plantearse la posibilidad de que los autobuses en dichas líneas realicen menos vueltas de ruta durante un día de operación, lo que significa que se deberían aumentar el número de autobuses por cada una de dichas líneas, aumentando así el tiempo de cambio de vuelta, y aumentando el porcentaje final de las baterías, debido a las recargas parciales durante los tiempos de espera de cambio de vuelta.

Pero se debe tener en cuenta que estos valores son aproximados, ya que en muchos de los casos no se cumple este tiempo de cambio de vuelta establecido, ya que este podría variar de acuerdo al tráfico que exista en la ciudad, además de otros contratiempos. También es importante considerar que un autobús no solo presta sus servicios para una sola línea, sino que estos varían cada semana las líneas de transporte entre cada una de las líneas pertenecientes a cada una de las empresas de transporte de la ciudad.

En el caso de la implementación de las estaciones de carga, es importante tener en cuenta que, máximo se podrían recargar 2 autobuses al mismo tiempo utilizando cada uno un conector de carga lenta (40 kWh), mientras que para aquellos casos en los que se necesita utilizar la carga rápida (80 kWh), se podrá únicamente recargar un autobús. Esto significa que hay que conocer cuántos autobuses se encuentran en el tiempo de cambio de vuelta para ser recargados.



En cuanto a valores de potencia disponible y energía aproximada requerida para recargar todos los autobuses eléctricos, durante un día de operación, primero se va a obtener la gráfica posible de carga diaria de autobuses eléctricos, partiendo de la tabla de porcentajes finales de autobuses eléctricos al final del día, es decir luego de realizar sus rutas y hasta llegar a su lugar de pernocte, y aplicando las recargas parciales a los autobuses que lo demanden, como se observa en la **Tabla 6.7**:

Tabla 6.7. Porcentajes finales con recargas parciales durante un día de operación

| Línea | Porcentaje de batería consumido para rutas (%) | % Utilizando recarga de 40kW | % Utilizando recarga de 80kW | Porcentaje final durante un día de operación (%) |
|-------|--|------------------------------|------------------------------|--|
| 1 | -5.0413 | 11.1587 | 27.3587 | 12.3587 |
| 2 | 48.0706 | 48.0706 | 48.0706 | 33.0706 |
| 3 | 14.4814 | 31.3564 | 31.3564 | 16.3564 |
| 5 | 11.3672 | 30.2672 | 30.2672 | 15.2672 |
| 6 | 2.6588 | 29.6588 | 29.6588 | 14.6588 |
| 7 | 15.4148 | 15.4148 | 15.4148 | 0.4148 |
| 8 | 19.1864 | 19.1864 | 19.1864 | 4.1864 |
| 10 | -4.3550 | 12.5200 | 29.3950 | 14.3950 |
| 12 | -4.9566 | 7.1934 | 19.3434 | 4.3434 |
| 13 | 50.7624 | 50.7624 | 50.7624 | 35.7624 |
| 13 -2 | 52.2392 | 52.2392 | 52.2392 | 37.2392 |
| 14 | 36.9531 | 36.9531 | 36.9531 | 21.9531 |
| 15 | 15.5998 | 15.5998 | 15.5998 | 0.5998 |
| 16 | -8.2886 | 3.8614 | 16.0114 | 1.0114 |
| 17 | 45.3304 | 45.3304 | 45.3304 | 30.3304 |
| 18 | 46.4710 | 46.4710 | 46.4710 | 31.4710 |
| 19 | 39.1108 | 39.1108 | 39.1108 | 24.1108 |
| 20 | -16.4630 | 0.4120 | 17.2870 | 2.2870 |
| 22 | 8.0557 | 16.1557 | 16.1557 | 1.1557 |
| 24 | -10.1156 | 0.0094 | 10.1344 | 0.0000 |
| 25 | 34.4290 | 34.4290 | 34.4290 | 19.4290 |
| 26 | 25.6462 | 25.6462 | 25.6462 | 10.6462 |
| 27 | -12.7790 | -2.6540 | 7.4710 | 0.0000 |
| 28 | 32.2793 | 32.2793 | 32.2793 | 17.2793 |
| 28 -2 | 4.5094 | 18.0094 | 18.0094 | 3.0094 |
| 50 | 39.4288 | 39.4288 | 39.4288 | 24.4288 |
| 100 | 11.1217 | 23.2717 | 23.2717 | 8.2717 |
| 101 | 23.8666 | 23.8666 | 23.8666 | 8.8666 |

Fuente: *Elaboración propia.*



Además, en la **Tabla 6.7**, los valores en rojo serían los más críticos, es decir los que requieren de más tiempo para recargar. Así que, para el análisis de la gráfica de carga de autobuses se debe tener presente primero dichas líneas, y se irá avanzando de manera que los valores finales de potencia mayores sean los que se recarguen al último, como se analiza en la **Tabla 6.8**:

Tabla 6.8. Energía requerida para recargar baterías de un autobús de cada línea

| Línea | Porcentaje final durante un día de operación (%) | Porcentaje de batería requerido (%) | Energía requerida/día (kWh) |
|-------|--|-------------------------------------|-----------------------------|
| 24 | 0.0000 | 100.0000 | 324.0000 |
| 27 | 0.0000 | 100.0000 | 324.0000 |
| 7 | 0.4148 | 99.5852 | 322.6560 |
| 15 | 0.5998 | 99.4002 | 322.0566 |
| 16 | 1.0114 | 98.9886 | 320.7231 |
| 22 | 1.1557 | 98.8443 | 320.2555 |
| 20 | 2.2870 | 97.7130 | 316.5901 |
| 28-2 | 3.0094 | 96.9906 | 314.2495 |
| 8 | 4.1864 | 95.8136 | 310.4361 |
| 12 | 4.3434 | 95.6566 | 309.9274 |
| 100 | 8.2717 | 91.7283 | 297.1997 |
| 101 | 8.8666 | 91.1334 | 295.2722 |
| 26 | 10.6462 | 89.3538 | 289.5063 |
| 1 | 12.3587 | 87.6413 | 283.9578 |
| 10 | 14.3950 | 85.6050 | 277.3602 |
| 6 | 14.6588 | 85.3412 | 276.5055 |
| 5 | 15.2672 | 84.7328 | 274.5343 |
| 3 | 16.3564 | 83.6436 | 271.0053 |
| 28 | 17.2793 | 82.7207 | 268.0152 |
| 25 | 19.4290 | 80.5710 | 261.0500 |
| 14 | 21.9531 | 78.0469 | 252.8720 |
| 19 | 24.1108 | 75.8892 | 245.8810 |
| 50 | 24.4288 | 75.5712 | 244.8507 |
| 17 | 30.3304 | 69.6696 | 225.7295 |
| 18 | 31.4710 | 68.5290 | 222.0340 |
| 2 | 33.0706 | 66.9294 | 216.8513 |
| 13 | 35.7624 | 64.2376 | 208.1298 |
| 13-2 | 37.2392 | 62.7608 | 203.3450 |

Fuente: *Elaboración propia.*



Los valores que se obtuvieron para la **Tabla 6.8**, representan la energía que necesita una unidad de transporte de cada una de las líneas para cumplir su servicio durante un día de operación, por lo que es necesario multiplicar por el número de autobuses de cada línea, como se muestra en la **Tabla 6.9**:

Tabla 6.9. Energía requerida para cargar baterías de todos los autobuses de cada línea

| Línea | Energía requerida para un autobús (kWh) | Número de autobuses | Energía total requerida para todos los autobuses de cada línea/día (kWh) |
|--------------|---|---------------------|--|
| 24 | 324.0000 | 20 | 6480.000 |
| 27 | 324.0000 | 17 | 5508.000 |
| 7 | 322.6560 | 25 | 8066.400 |
| 15 | 322.0566 | 13 | 4186.736 |
| 16 | 320.7231 | 18 | 5773.016 |
| 22 | 320.2555 | 29 | 9287.410 |
| 20 | 316.5901 | 18 | 5698.622 |
| 28-2 | 314.2495 | 9 | 2828.246 |
| 8 | 310.4361 | 19 | 5898.286 |
| 12 | 309.9274 | 20 | 6198.548 |
| 100 | 297.1997 | 32 | 9510.390 |
| 101 | 295.2722 | 3 | 885.817 |
| 26 | 289.5063 | 9 | 2605.557 |
| 1 | 283.9578 | 18 | 5111.240 |
| 10 | 277.3602 | 9 | 2496.242 |
| 6 | 276.5055 | 6 | 1659.033 |
| 5 | 274.5343 | 19 | 5216.152 |
| 3 | 271.0053 | 20 | 5420.106 |
| 28 | 268.0152 | 9 | 2412.137 |
| 25 | 261.0500 | 9 | 2349.450 |
| 14 | 252.8720 | 20 | 5057.440 |
| 19 | 245.8810 | 15 | 3688.215 |
| 50 | 244.8507 | 12 | 2938.208 |
| 17 | 225.7295 | 8 | 1805.836 |
| 18 | 222.0340 | 15 | 3330.510 |
| 2 | 216.8513 | 10 | 2168.513 |
| 13 | 208.1298 | 11 | 2289.428 |
| 13-2 | 203.3450 | 11 | 2236.795 |
| TOTAL | | 424 | 121.1 MWh |

Fuente: *Elaboración propia.*



6.4. Perfiles de carga lenta y carga rápida

Los perfiles de carga estimados para autobuses pueden ser los que se observan en la **Figura 6.2**, en donde se tiene el perfil de carga lenta (40kWh) y el perfil de carga rápida (80kWh). Al inicio los autobuses de las líneas de transporte se empezarán a conectar a la red eléctrica de las estaciones de carga, de manera continua y sucesiva cada 1 minuto por cada línea, para que no generar una elevación crítica de potencia en el sistema de distribución en la red eléctrica de la ciudad.

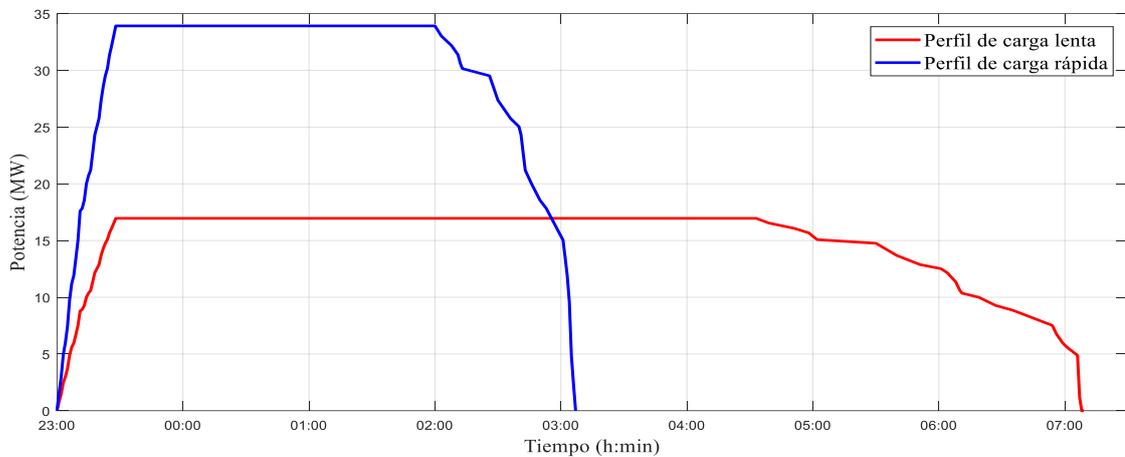


Figura 6.2. Perfiles estimados de carga lenta y rápida de todas las líneas

Fuente: *Elaboración propia.*

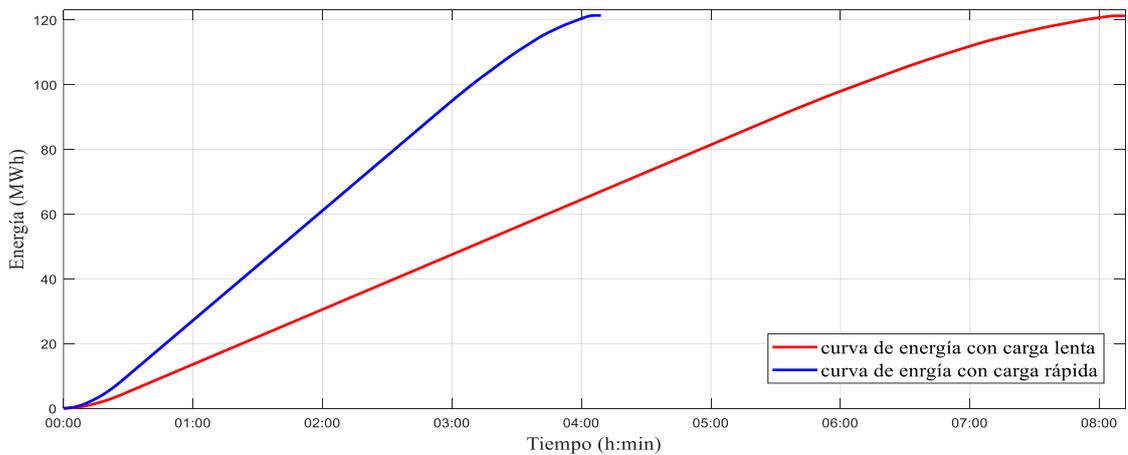


Figura 6.3. Perfiles de energía con carga lenta y carga rápida de todas las líneas

Fuente: *Elaboración propia.*



6.5. Demanda de potencia en la red eléctrica de Cuenca

En la **Figura 6.2** se observa que el máximo valor de potencia se alcanza aproximadamente a los 30 minutos. En cuanto a tiempos totales de recarga, se tiene que si se utiliza la configuración de carga lenta en estaciones de carga, el tiempo total que se requiere para cargar completamente todos los autobuses sería de aproximadamente 8 horas y 10 minutos, mientras que para la configuración de carga rápida se tiene un tiempo total de carga completa de los autobuses de aproximadamente 4 horas y 5 minutos, significando la mitad de tiempo que el anterior.

Además realizando una estimación de hora de carga a partir de las 23:00 h utilizando la configuración de carga lenta, los autobuses terminarían de cargarse aproximadamente a las 07:10 h, mientras que si los autobuses estuvieran con carga rápida, estos terminarían de cargarse aproximadamente a las 03:05 h, significando así un buen resultado ya que como se observa en el **Anexo 3**, los autobuses empiezan sus recorridos diarios entre las 05:45 h y 06:00 h, así mismo empezarían a movilizarse desde su lugar de pernocte del autobús hasta el inicio de la ruta, lo que no se cumpliría si se utiliza la carga lenta.

Debido a que el tiempo de carga total de autobuses es menor en configuración de carga rápida de las estaciones de carga, la potencia aumenta hasta llegar a un valor aproximado de 33.92 MW, mientras que para carga lenta se tiene un valor aproximado de 16.96 MW. Es importante analizar el tiempo total para cargar todos los autobuses, ya que se debe establecer el perfil de carga en una hora del día determinada, de manera que no afecte el perfil de demanda eléctrica en la red de Cuenca, como se indica a continuación:

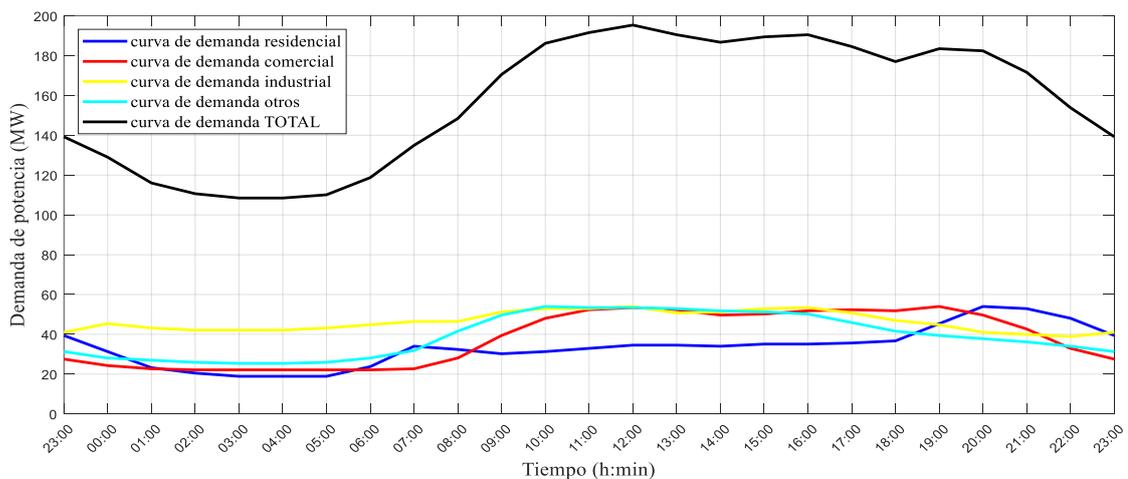


Figura 6.4. Curva de demanda de potencia en la red eléctrica de Cuenca

Fuente: *Elaboración propia.*



Los valores mostrados en la **Figura 6.4** son aproximados, teniendo valores de factores de potencia típicos para cada hora y cada tipo de demanda mostrada en la figura, además, tomando como valor de Demanda de Potencia Máxima anual de 195.39 MW [33].

De los valores obtenidos en la **Figura 6.2**, se puede tomar un aproximado de potencia durante cada una de las horas para el caso en el que se utilice la carga rápida para cargar los autobuses eléctricos, lo que daría como resultado la curva de la **Figura 6.5**.

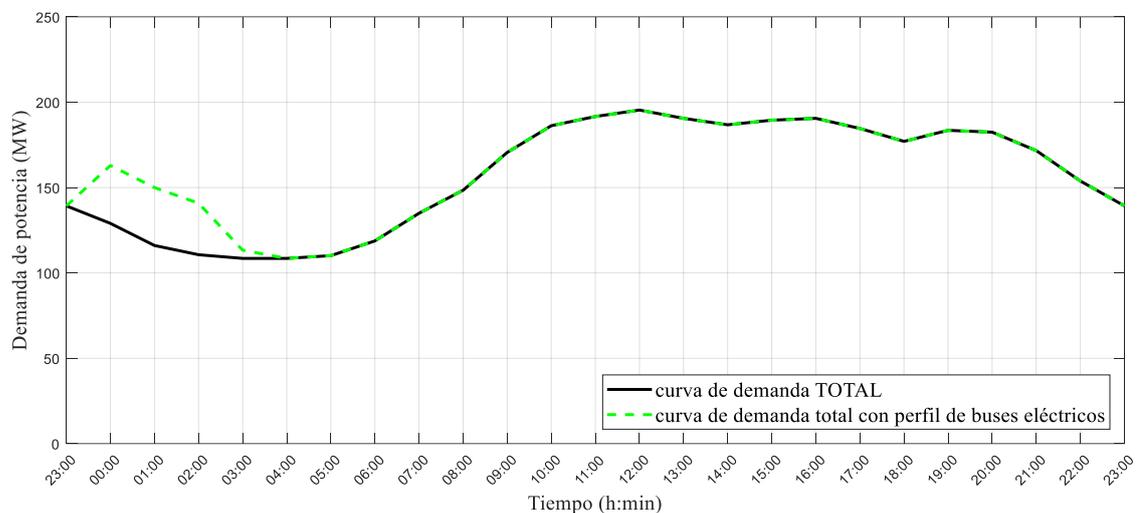


Figura 6.5. Curva de demanda TOTAL y con perfil de autobuses eléctricos

Fuente: *Elaboración propia.*

Pero es importante considerar que para no sobrecargar el sistema de distribución ni a los transformadores, la hora conveniente de recargar de los autobuses tendrían que ser en donde existan valles del perfil de demanda de energía de un día en la ciudad, es decir en hora en las que el sistema demande menos energía, las cuales podrían ser a partir de las 11 p.m., que también es la hora en la que ciertas unidades de autobuses regresan a su lugar de pernocte, ya que como se observa en el **Anexo 3** algunas líneas aún se encuentran en servicio incluso hasta luego de las 10 p.m.

Como se observa en la **Figura 6.5** agregando la curva de carga de autobuses eléctricos, se tiene que la curva de demanda total se encuentra dentro de los límites establecidos. Se observa que se crea un pico de valor de potencia que llega a 168.416 MW, teniendo así un comportamiento que será tomado como válido.



CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Desde el punto de vista ambiental, los niveles de contaminación ambiental en la Ciudad de Cuenca se encuentran por debajo de los límites establecidos por las normas, sin embargo, dado el crecimiento poblacional y del parque automotor estos podrían llegar a un punto en el que se tengan niveles críticos, representando así un factor negativo en la calidad de vida de los ciudadanos y a su vez, disminuir significativamente el avance en términos de calidad de vida con miras a un desarrollo sostenible.

La implementación de autobuses de transporte público con nuevas tecnologías que sean amigables con el medio ambiente es un tema que tiene ventajas y desventajas, siendo su principal ventaja la contribución a la reducción de emisión de contaminantes al medio ambiente, teniendo en cuenta que el 55% del total de la contaminación en la Ciudad de Cuenca es producto del parque automotor a combustión interna, específicamente autobuses públicos; y como principal desventaja actualmente como tecnología relativamente nueva, se tiene los costos de inversión y adquisición de un vehículo eléctrico alto, al igual que otras tecnologías prometedoras como el hidrógeno; en la actualidad se podrían tener precios de adquisición de un vehículo eléctrico en el orden de hasta 2 veces el precio de un vehículo convencional a diésel.

Los estudios realizados del autobús eléctrico como parte del transporte público de la Ciudad de Cuenca, tuvieron resultados positivos en cuanto a cumplimiento de satisfacción de las líneas de transporte en las cuales se encontraba en estudio, dado que se demostró el funcionamiento dentro de las rutas en estudio. De igual manera por parte de los ciudadanos quienes tuvieron la oportunidad de hacer uso de esta unidad, mostrándose satisfechos y alentados a aceptar este posible cambio.

Dentro del estudio realizado se utilizó la herramienta computacional MATLAB, el cual fue de suma importancia al momento de tratar con datos extensos y que pueden ser analizados adecuadamente para su evaluación a través de procesos matemáticos y cálculo matricial. Así también para el análisis de gráficas y perfiles presentados en este trabajo, tratando de realizar una buena aproximación en los perfiles del autobús eléctrico y convencional de la ciudad.

Se debe tener en cuenta que los resultados de los perfiles de Estado de Carga para cada una de las líneas del sistema de transporte de Cuenca han sido analizados para un perfil típico o aproximado de velocidad, y solo es una muestra que puede estar afectado por factores externos no controlados como número de paradas, estado del tráfico y vías, etc. Dentro del estudio realizado se ha logrado determinar que si se utilizan el autobús en estudio es necesario entre el 5.4% y el 19% de la capacidad de energía de sus baterías para realizar un solo recorrido en la Ciudad de Cuenca.



Los resultados obtenidos en este trabajo representan una estimación inicial de la energía requerida que pueden servir como hito o motivación de estudios futuros, teniendo en cuenta que varios de los factores presentados son aproximados, debido a la calidad de elementos y equipos utilizados a lo largo del desarrollo del trabajo. Considerando, por ejemplo, el uso de diferentes equipos de GPS no certificados para la obtención de datos tanto para el autobús eléctrico como para los autobuses presentes en la ciudad.

Del estudio, en caso de una sustitución total del sistema de autobuses públicos en la Ciudad de Cuenca la energía diaria requerida puede alcanzar 116.68 MWh, representando este valor como el valor de energía requerida para que los autobuses cumplan únicamente con su servicio normal como parte del transporte público de la Ciudad de Cuenca, es decir para el número de recorridos que realiza un autobús en un día, multiplicado por el número de autobuses presentes en la línea, como se tienen los datos presentes en el **Anexo 3**.

Del estudio, se concluye que únicamente el 46.4% de líneas existentes en la ciudad requieren recargas parciales dado a la autonomía nominal del autobús en estudio, pudiendo estas estar sometidas a cargas parciales durante los tiempos de cambios de vueltas, y además estimando un porcentaje que necesitaría el autobús para salir del lugar de pernocte hasta el inicio de la ruta y viceversa durante un día, se tiene que el valor de energía necesaria para volver a recargar las baterías luego de un día de recorrido total es de aproximadamente 121.10 MWh, que es este valor el que se necesita para la sustitución de autobuses a diésel por autobuses eléctricos.

En caso de la sustitución a autobuses eléctricos, el tiempo de carga está sujeto de la infraestructura disponible, en caso de una carga a 40kW por unidad el tiempo puede alcanzar aproximadamente 8 horas, sin embargo, este tiempo podría traer problemas en los tiempos de servicio, dado que la hora de finalización de carga podría ser posterior al inicio regular del servicio del día siguiente. En caso de utilizar la carga a 80kW, la carga total podría completarse en aproximadamente 4 horas, siendo esta la mejor opción únicamente en las rutas con mayor demanda energética. Adicionalmente es importante que la curva de demanda por concepto de carga de autobuses eléctricos no debe entrecruzarse con las condiciones picos de energía de la curva de demanda de la Ciudad de Cuenca, para que de esta manera no existan sobrecargas en las subestaciones.

Además, para las líneas en las cuales no se podría implementar los autobuses eléctricos ya que con una sola carga diaria no podrán cumplir con el servicio normal, se ha decidido estimar una implementación de estaciones de carga rápida, de los cuales se podrían utilizar en el caso de que para carga rápida, máximo se encuentren 2 autobuses en la estación de carga del inicio de ruta correspondiente, y para el caso en el que se necesite de carga rápida, únicamente se podrán recargar las baterías de una sola unidad de transporte público, así que, si existen más autobuses en la estación de carga esperando el tiempo de cambio de vuelta, no sería suficiente una sola estación de carga, siendo efectiva otra estación de carga.



CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se debe tener en cuenta que dicho análisis fue realizado con la estimación de que en cada lugar en donde se pernocte la unidad exista una estación de carga, para poder cargar las unidades, además de algunas estaciones de carga adicionales, ubicadas en las cabeceras de las rutas, con la finalidad de suplir a las líneas que requieren recargas parciales.

En base al análisis antes mencionado se estima la necesidad de 475 puntos de carga (1 estación de carga por autobús, en cada lugar de pernocte) aproximadamente, más aquellas necesarias en el caso que se tengan varios autobuses en tiempo de cambio de vuelta para la correspondiente carga de baterías, además de la necesidad de una adecuación de voltaje para la instalación de las mismas. Siendo este uno de los principales inconvenientes y temas a analizar, ya que se obtienen muchas estaciones. En este estudio no se abarca a profundidad la locación de las estaciones de carga, ni la capacidad de la red, dado que es necesario establecer en primera instancia su locación para luego estudiar la factibilidad de la capacidad de la red que suministra la energía.

Cabe mencionar que asumiendo estaciones de carga a 40kW, no se podrá cumplir por completo con los niveles de energía en el tiempo fuera de servicio, ya que se requiere de más tiempo para cargar las baterías, representando así un aproximado de 8 horas, lo que dificulta las recargas totales. Asumiendo que se deban recargar los autobuses desde 0% se obtiene multiplicando el valor de energía de las baterías (324 kWh) por el total de autobuses que prestan sus servicios durante un día (424), teniendo así un valor de 137.37 MWh, siendo este el peor de los casos.

Se ha estimado un 15% de su autonomía para que los autobuses realicen sus respectivos traslados desde el lugar de pernocte de los mismos hasta el punto inicial de las rutas de cada línea de transporte y viceversa, además como se mencionó, también los autobuses necesitan hacer un recorrido hasta las estaciones de transferencia para ir a descargar los datos de tarifas diarias y otros datos de rutas, significando un incremento de energía adicional, por esta razón el valor de 15% aproximado, pero este puede variar de acuerdo a la distancia en las que se encuentran los autobuses de las estaciones de transferencia y sus sitios de pernocte.

Como se analizó, los valores de eficiencia varían para cada una de los recorridos de las líneas del sistema de transporte, teniendo valores entre 0.5136 km/kWh y 0.9364 km/kWh, y un promedio aproximado de 0.799 km/kWh para los niveles de elevaciones en la Ciudad de Cuenca.

En base al estudio se obtiene, que se necesita un total de 137.57 MVA de capacidad en transformadores sujetos a los procesos de carga de las subestaciones más cercanas a la ciudad, el cual se encuentra muy por encima del valor de energía requerida para un día de operación de los autobuses eléctricos, como se dijo aplicando estaciones de carga rápida en cada uno de los lugares de pernocte.



CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Dentro de las rutas en estudio, es importante destacar que las rutas de las líneas 2, 13, 13 (Tejar), 17, 18 y 19 son las más ligeras en términos de demanda energética, mientras que las rutas de las líneas 1, 10, 12, 16, 20, 24 y 27 son las que más demanda energética requieren, básicamente por su perfil de altura y números de paradas, que como se mencionó, este último depende del tráfico, clima, semaforización, accidentes de tránsito, embotellamientos, etc.

Suponiendo que se utilice la configuración de carga rápida para todas las unidades de transporte público de la ciudad, se espera que la conexión a la red comience a partir de las 23:00 h, debido a que a esta hora existe un valle en la curva de demanda energética de la Ciudad de Cuenca. Además, todos los autobuses se encontrarían completamente cargados aproximadamente a las 03:00 h, lo que es factible ya que los autobuses empezarían los recorridos aproximadamente a las 05:00 h en algunos casos, dependiendo de la distancia entre el lugar de pernocte y el inicio de la ruta de cada una de las líneas de transporte público.

Dado a la capacidad instalada en la ciudad, el uso del sistema de transporte público a partir de autobuses eléctricos es factible bajo condiciones de carga nocturna fuera de las horas picos de la curva características de la ciudad, necesitando de 33.92 MW que representa aproximadamente el 15 % de la capacidad instalada en la ciudad que aproximadamente es de 224.69 MW.



7.2 Recomendaciones

La falta de conocimiento público acerca de la contaminación presente en la ciudad puede significar un descuido o falta de interés para la reducción de contaminantes al medio ambiente. Por esta razón es importante informarse acerca de los impactos que significa la contaminación en la ciudad, siendo principal, el impacto que se tienen en la salud de los ciudadanos.

La adquisición de un vehículo eléctrico tiene como principal inconveniente el precio del mismo, pero es importante analizar los impactos ambientales producidos por un vehículo a base de combustible fósil, además como se analizó, la variación de precios entre tecnologías de vehículos, se encuentra reflejado en un futuro análisis, llegando a significar un costo similar al de un vehículo a combustible fósil.

Se debe tener en cuenta, que cada vez las normas sobre emisiones de contaminantes al medio ambiente son más estrictas y van a llegar a un punto en el que se deba eliminar totalmente las emisiones contaminantes al medio ambiente.

Es importante continuar con estudios para la implementación de tecnologías que ayuden a mejorar la calidad del aire en la ciudad, y tomar la situación ambiental como un factor que influye mucho en el proceso de desarrollo en la ciudad. Es por eso que los sistemas que ya han sido implementados y que se implementarán en la ciudad forman parte de la motivación y concientización necesarias para el cambio positivo, como por ejemplo, el estudio de factibilidad y puesta en marcha de los surtidores de energía eléctrica en la ciudad que ya han empezado a elaborarse, ayuda a motivar a las personas a adquirir vehículos del tipo eléctrico.

Se debe tener presente que no es recomendable que las baterías de los autobuses eléctricos lleguen completamente a 0%, ya que esto solo acortaría el tiempo de vida útil de las mismas, por eso se debe realizar un análisis teniendo presente el porcentaje mínimo que recomiendan los fabricantes para que no sufran daños las baterías y se puedan tener mayor tiempo en uso correcto.

Las características del autobús eléctrico presentados por la Empresa BYD se encuentran establecidos en un margen de aplicación normal de la unidad, así que es necesaria la evaluación experimental en campo para obtener valores más reales de dichas características. Como ya se han realizado 2 estudios con 2 modelos de autobuses eléctricos en la Ciudad de Cuenca, prestados por la empresa BYD para su respectivo análisis experimental en campo.

Para un mejor resultado y aproximación, se debe utilizar equipos de mejor calidad o que tengan un error mínimo, para de esa manera plantear una estimación de valores mucho más cercanos a los obtenidos.



CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El problema que se ve reflejado en la falta de energía para cumplir con el recorrido diario de algunas líneas de transporte en las cuales no se podría implementar el cambio por autobuses eléctricos (20, 24 y 27) se puede manejar mediante el aumento de unidades de transporte, para que de esta manera se reduzca el número de vuelta que deben realizar diariamente las unidades actualmente.

También es importante realizar un estudio a profundidad de las subestaciones presentes en la Ciudad de Cuenca, y su utilización a lo largo del día, principalmente a las horas de la noche, que es en donde se ha planteado la carga de las unidades de transporte para que no exista una variación en la curva de carga en la red eléctrica de Cuenca. Realizando un análisis del factor de carga entre las 23:00 h y 4:00 h, de las subestaciones más cercanas a la ciudad.



REFERENCIAS

- [1] EMOV E. P., «Informe de la calidad del aire,» Cuenca, 2017.
- [2] Redacción El Tiempo, «Niveles de contaminación en Cuenca tienden a crecer,» *EL TIEMPO, DIARIO DE CUENCA*, 10 julio 2016.
- [3] Redacción El Telégrafo, «El 55% de la contaminación es generado por buses,» *EL TELÉGRAFO, NOTICIAS DEL ECUADOR Y DEL MUNDO*, 10 noviembre 2017.
- [4] Luis G. González; Juan L. Espinoza, «Estudio de variables eléctricas en el proceso de carga de un autobús eléctrico K9FE de BYD,» Cuenca, 2018.
- [5] Redacción El Mercurio, «Bus eléctrico hará recorridos gratis,» *DIARIO EL MERCURIO*, 31 enero 2018.
- [6] Redacción El Tiempo, «Bus 100% eléctrico circula en la ciudad,» *EL TIEMPO, DIARIO DE CUENCA*, 31 enero 2018.
- [7] Redacción El Telégrafo, «El transporte motorizado es el que más contamina,» *EL TELÉGRAFO, NOTICIAS DEL ECUADOR Y DEL MUNDO*, 02 agosto 2018.
- [8] Redacción BYD Build Your Dreams, «Recorridos en el bus eléctrico de Cuenca para las delegaciones del foro de ciudades intermedias,» 28 febrero 2018. [En línea].
- [9] Ayuntamiento de Madrid, «Dióxido de nitrógeno y salud,» España, 2018.
- [10] Erin Cooper; Magdala Arioli; Aileen Carrigan; Umang Jain, «Emisiones de Escape de Autobuses de Transporte Público,» 2012.
- [11] Secretaría de Ambiente, «Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire,» Quito, 2011.
- [12] Alejandra Otero, «Coches de hidrógeno: así funciona esta tecnología de cero emisiones contaminantes,» 2018.
- [13] Alicia Ruiz Fernández, «Los autobuses eléctricos ya son más económicos que los diésel, según un informe,» España, 2018.
- [14] Sergio M., «Alternativas para disminuir la contaminación en el transporte terrestre,» 2015.
- [15] Organización de Consumidores y Usuarios OCU, «La transición a los coches ecológicos,» España, 2018.
- [16] ECUADOR TV, «Inversión para el tranvía llega a los \$270 millones,» 2018.
- [17] WIKIPEDIA, La enciclopedia libre, «Tranvía de Cuenca,» 2018.



- [18] Redacción El Tiempo, «Características del sistema tranvía,» *EL TIEMPO, DIARIO DE CUENCA*, 07 noviembre 2013.
- [19] Cristina H., «Bus eléctrico a prueba en Cuenca por tres meses,» *DIARIO LA TARDE*, 07 diciembre 2018.
- [20] CSM, «Bus eléctrico circula por Cuenca para hacer pruebas,» *EL MERCURIO, DIARIO INDEPENDIENTE DEL AUSTRO*, 07 diciembre 2018.
- [21] Redacción El Universo, «Surtidores de energía para vehículos ya están listos para Cuenca,» *EL UNIVERSO*, 27 marzo 2019.
- [22] Jonathan Salazar, «Patio de Autos,» 01 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://patiodeautos.com/general/cuenca-se-alista-para-las-primeras-electrolineras/>.
- [23] Redacción Automagazine, «NeoHyundai y E. E. Centro Sur instalarán red de electrolinerías,» *AUTOMAGAZINE*, 18 03 2019.
- [24] Rómulo Astudillo, «Obtención de ciclos de conducción para la flota de buses urbanos del Cantón Cuenca,» Cuenca, 2016.
- [25] Redacción Ecuador inmediato, «Concejo aprobó reglamento para reducir flota de buses,» *ECUADOR INMEDIATO, EL PERIÓDICO INSTANTÁNEO DEL ECUADOR*, 24 agosto 2006.
- [26] Mayra Baculima; Ana Morales, «Cálculo de la tarifa óptima para los buses del servicio de transporte urbano en la Ciudad de Cuenca para el año 2015,» Cuenca, 2015.
- [27] Redacción El Tiempo, «Sistema de transferencia cambia 11 rutas de buses,» *EL TIEMPO, DIARIO DE CUENCA*, 04 julio 2013.
- [28] CENTROSUR, «Trayectoria de la Centrosur Al Servicio de la Región,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.centrosur.gob.ec/?q=node/10>.
- [29] CENTROSUR, «CENTROSUR,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.centrosur.gob.ec>.
- [30] CENTROSUR, «Descripción de la CENTROSUR,» Cuenca, 2018.
- [31] Redacción, «BF México,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.bfmx.com/tipos-de-transformadores-por-su-sistema-de-enfriamiento/>.
- [32] CENTROSUR, 26 junio 2019. [En línea]. Available: <http://www.centrosur.gob.ec/?q=node/1066>.
- [33] CENACE, «INFORME ANUAL 2018,» Quito - Ecuador, 2019.



ANEXO 1

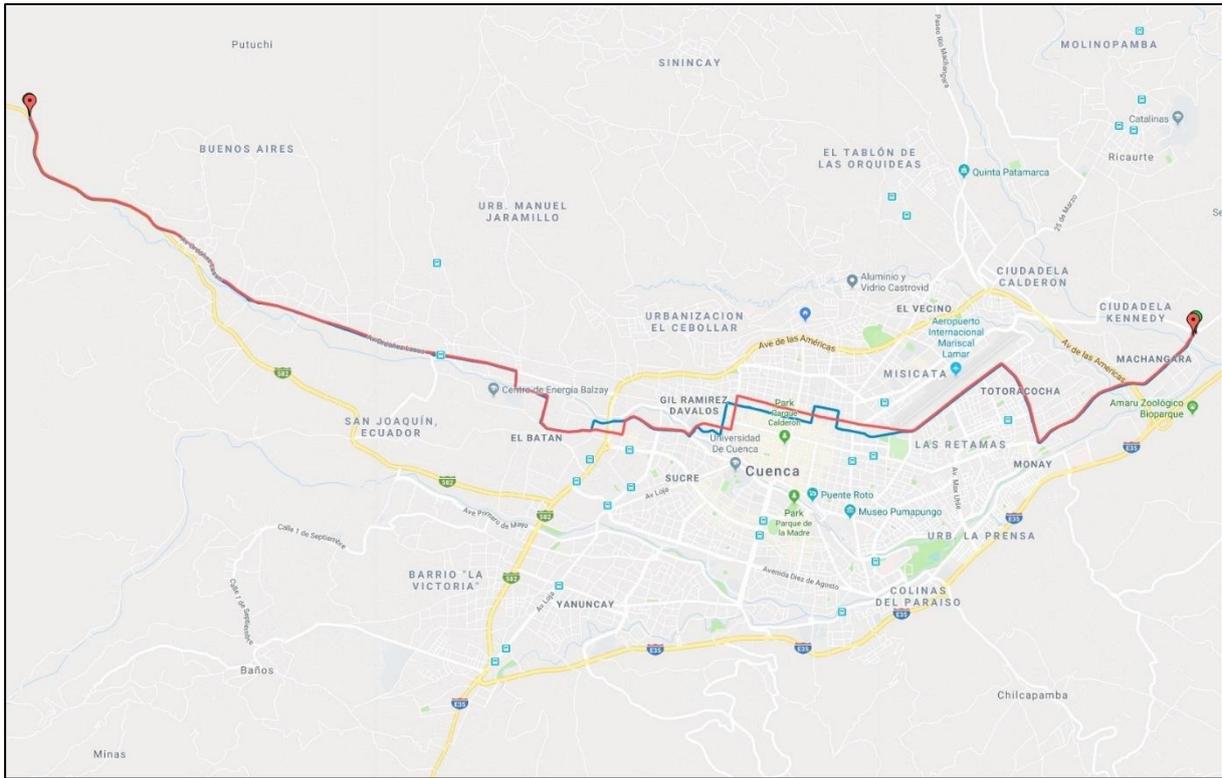
RECORRIDOS DE LAS LÍNEAS CONVENCIONALES ACTUALES DE CUENCA

Estadísticas, perfiles de altura y perfiles de velocidad determinadas a partir de los datos importados del GPS en las rutas actuales con autobuses a combustión interna (diésel)

Fuente: *Elaboración propia.*



LÍNEA 1: SAYAUSÍ - EUCALIPTOS

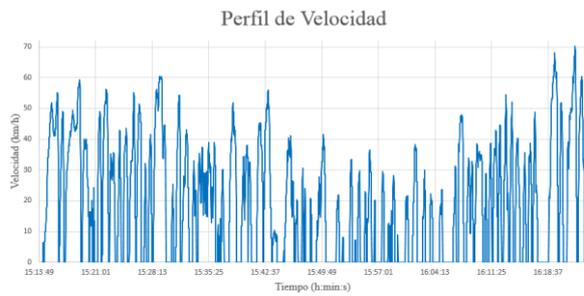
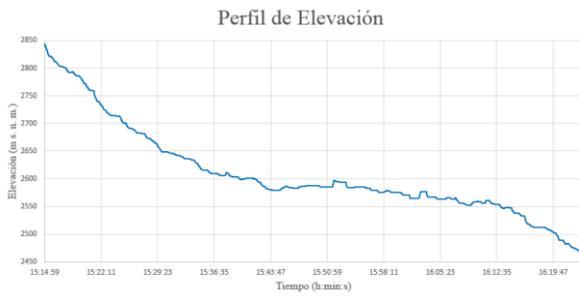


Sayausí: E582 Cuenca-Molleturo-Naranjal, Barrio “Marianza”, elevación: 2844 m s. n. m.

Eucaliptos: Redondel “Muñecas de Piedra”, elevación: 2468 m s. n. m.

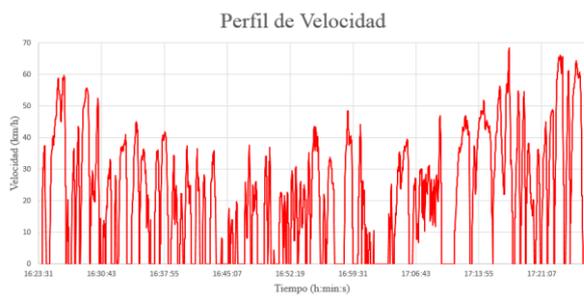
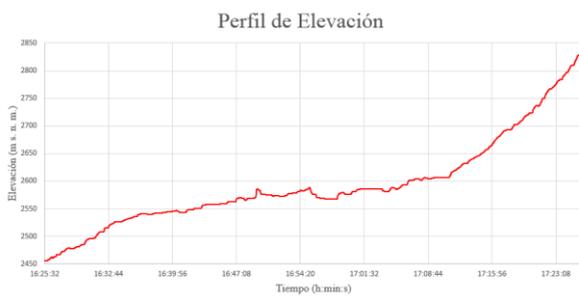
Elevación mínima: 2468 m s. n. m.

Elevación máxima: 2844 m s. n. m.



— **Sayausí - Eucaliptos:** distancia: 19.84 km, duración aproximada: 69 min

Velocidad máxima: 70.17 km/h, velocidad media: 30.38 km/h.

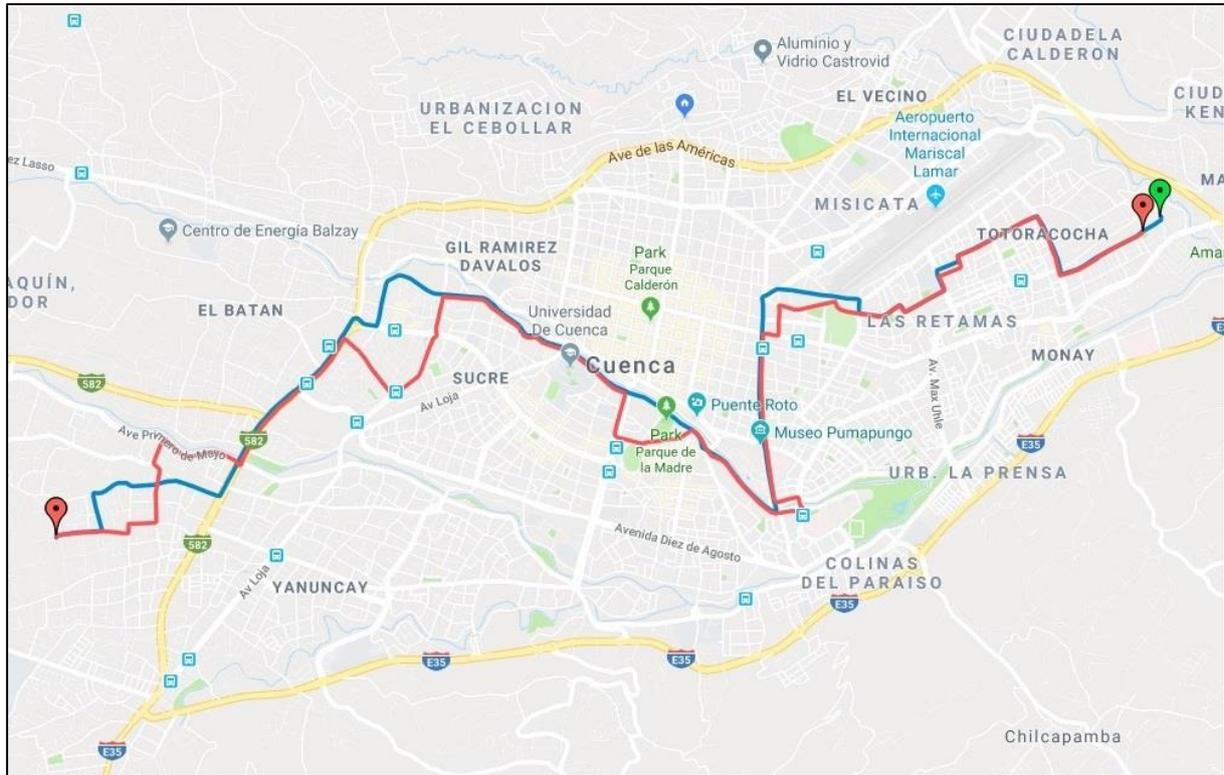


— **Eucaliptos - Sayausí:** distancia: 19.49 km, duración aproximada: 62 min

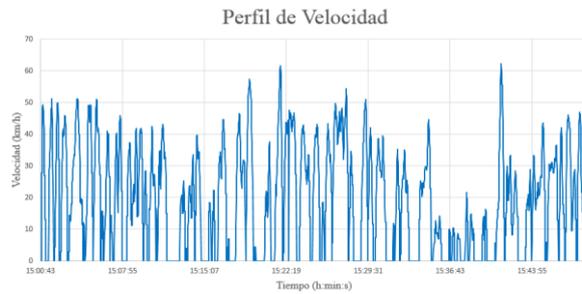
Velocidad máxima: 68.44 km/h, velocidad media: 30.00 km/h.



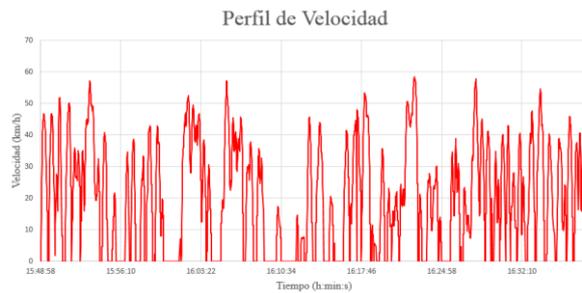
LÍNEA 2: TOTORACOCHA - FERIA LIBRE



Totoracocha: c/ Altiplano y c/ Daquilema, Parque “Interandino”, elevación: 2516 m s. n. m.
Feria Libre: c/ Manuel Arturo de Cisneros y c/ Cantón Portovelo, elevación: 2647 m s. n. m.
Elevación mínima: 2516 m s. n. m. Elevación máxima: 2647 m s. n. m.



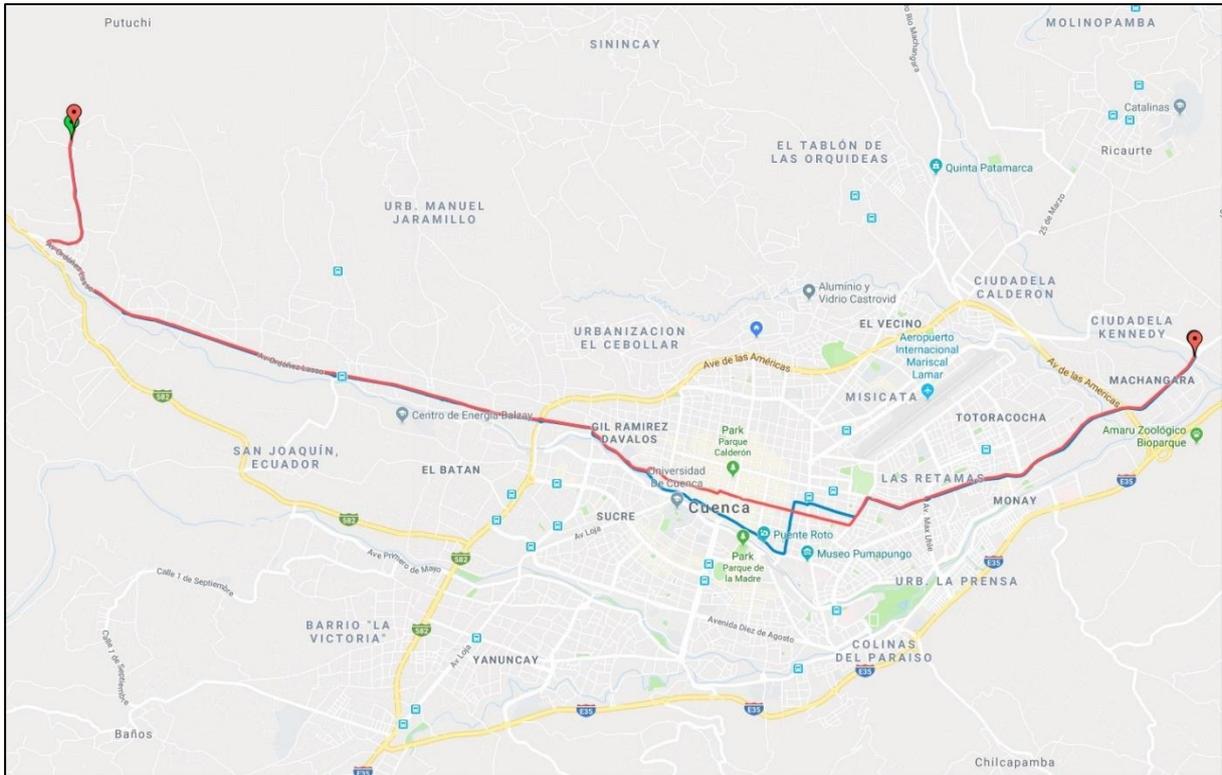
— **Totoracocha - Feria Libre:** distancia: 12.64 km, duración aproximada: 48 min
Velocidad máxima: 62.26 km/h, velocidad media: 26.90 km/h.



— **Feria Libre - Totoracocha:** distancia: 13.59 km, duración aproximada: 49 min
Velocidad máxima: 58.54 km/h, velocidad media: 27.86 km/h.



LÍNEA 3: SAYAUSÍ - EUCALIPTOS

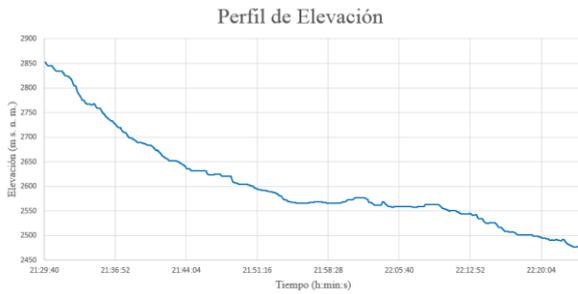


Sayausí: Camino a Buenos Aires, elevación: 2852 m s. n. m.

Eucaliptos: Redondel “Muñecas de Piedra”, elevación: 2468 m s. n. m.

Elevación mínima: 2468 m s. n. m.

Elevación máxima: 2852 m s. n. m.



— **Sayausí - Eucaliptos:** distancia: 17.01 km, duración aproximada: 54 min

Velocidad máxima: 71.39 km/h, velocidad media: 29.62 km/h.

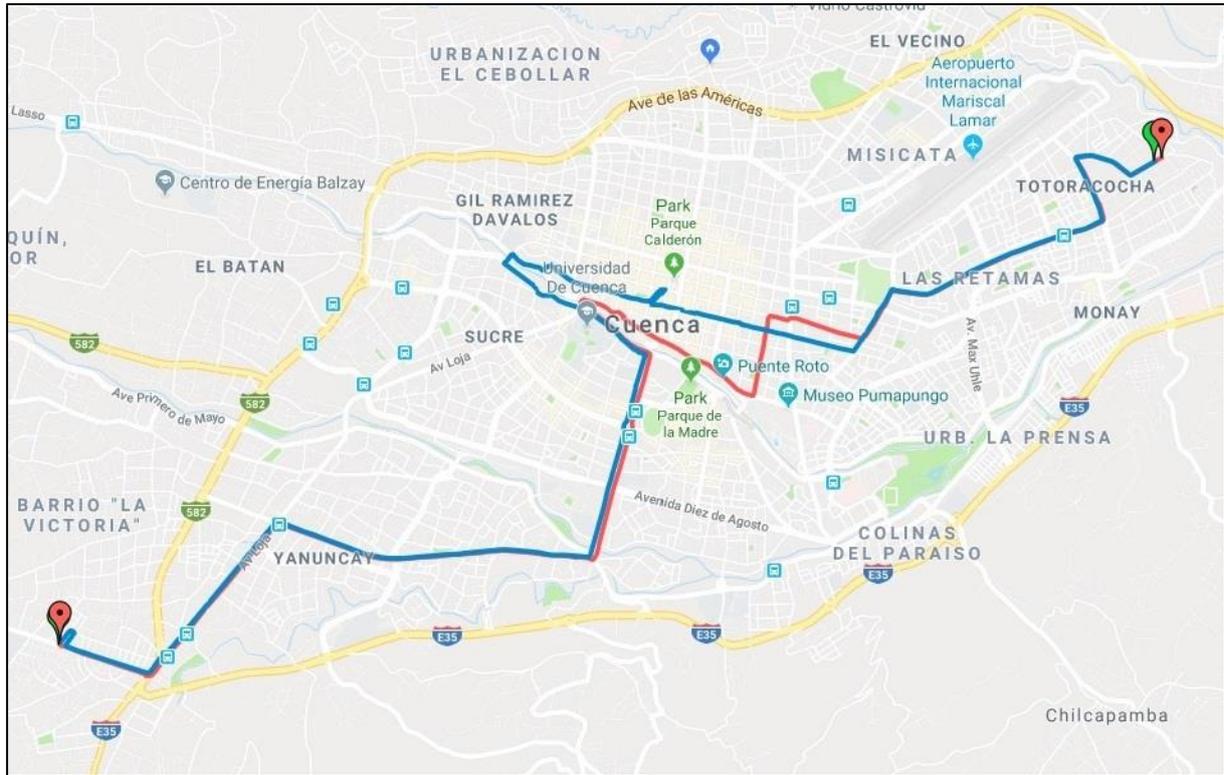


— **Eucaliptos - Sayausí:** distancia: 16.45 km, duración aproximada: 57 min

Velocidad máxima: 59.58 km/h, velocidad media: 28.16 km/h.



LÍNEA 5: TOTORACOCHA - CONTROL SUR

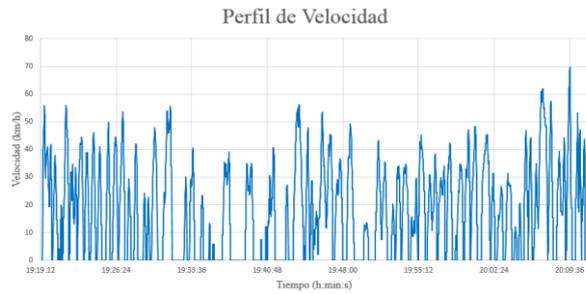


Totoracocha: c/ Altiplano y c/ De Los Colorados, elevación: 2535 m s. n. m.

Control Sur: c/ Mariano Godoy y Av. Ricardo Durán, elevación: 2612 m s. n. m.

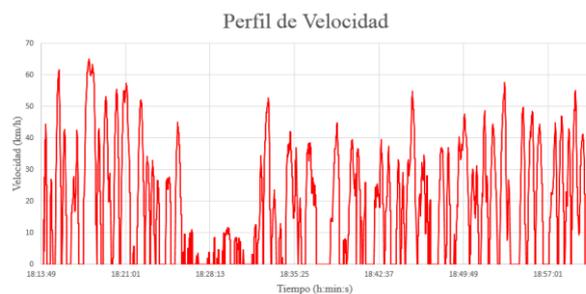
Elevación mínima: 2520 m s. n. m.

Elevación máxima: 2617 m s. n. m.



— **Totoracocha - Control Sur:** distancia: 14.09 km, duración aproximada: 52 min

Velocidad máxima: 69.83 km/h, velocidad media: 26.90 km/h.

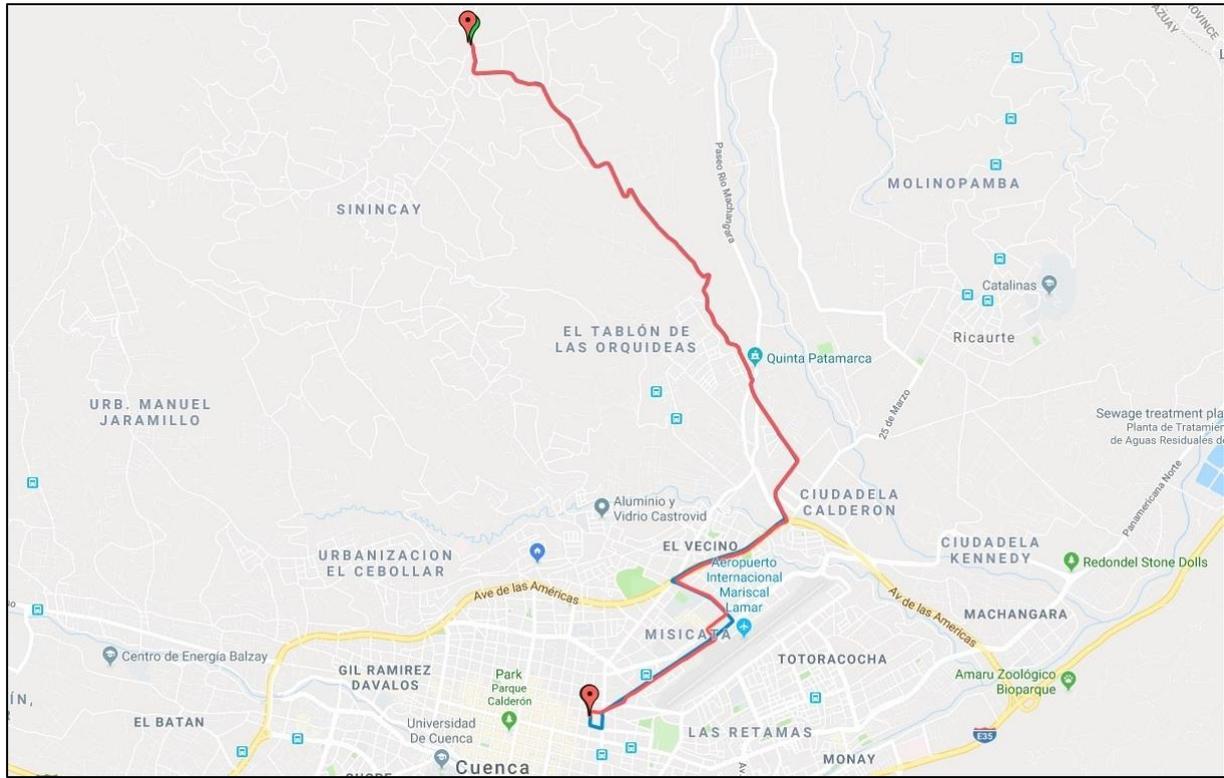


— **Control Sur - Totoracocha:** distancia: 13.08 km, duración aproximada: 46 min

Velocidad máxima: 64.99 km/h, velocidad media: 27.00 km/h.



LÍNEA 6: MAYANCELA - 9 DE OCTUBRE

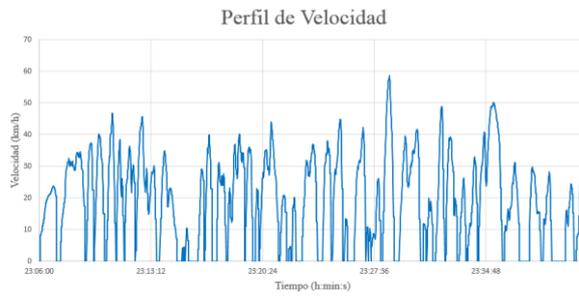


Mayancela: Iglesia Católica de “El Salado”, elevación: 2739 m s. n. m.

9 de Octubre: c/ Manuel Vega y c/ Gaspar Sangurima, elevación: 2552 m s. n. m.

Elevación mínima: 2531 m s. n. m.

Elevación máxima: 2739 m s. n. m.



— **Mayancela - 9 de Octubre:** distancia: 10.13 km, duración aproximada: 35 min

Velocidad máxima: 58.64 km/h, velocidad media: 24.46 km/h.

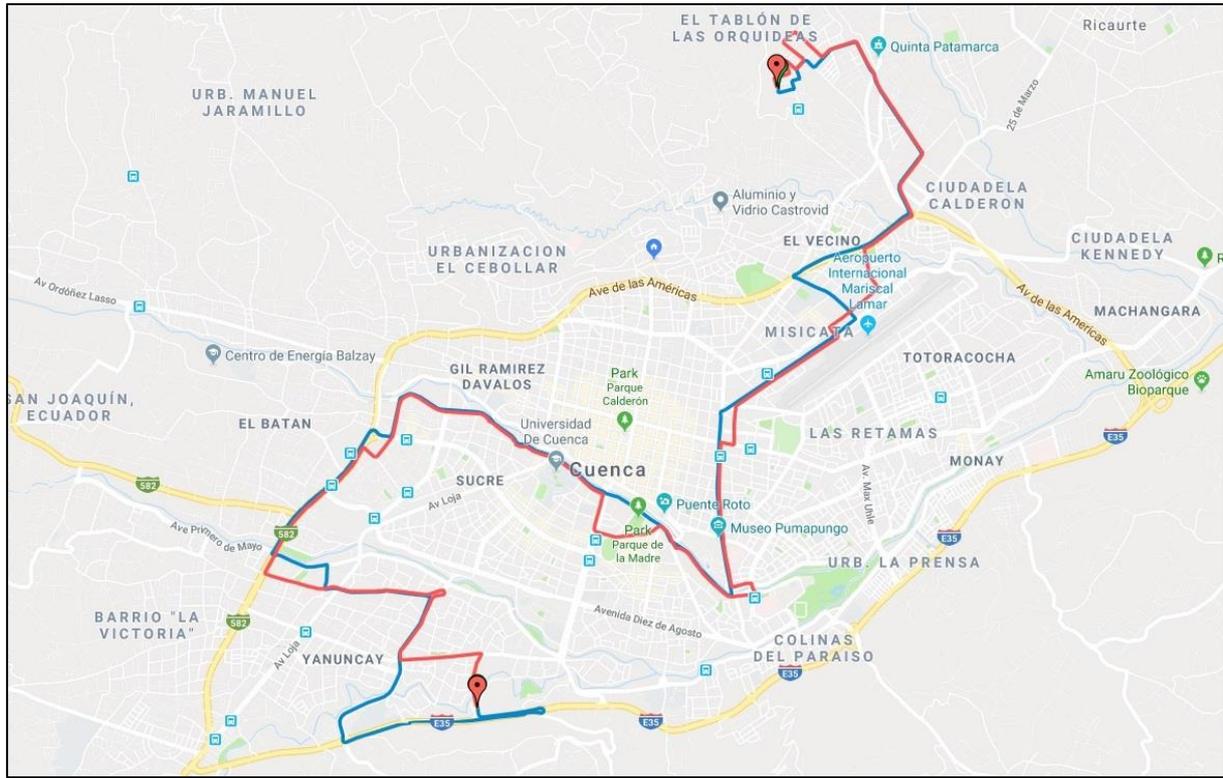


— **9 de Octubre - Mayancela:** distancia: 10.02 km, duración aproximada: 38 min

Velocidad máxima: 49.94 km/h, velocidad media: 23.72 km/h.



LÍNEA 7: TRIGALES - FERIA LIBRE

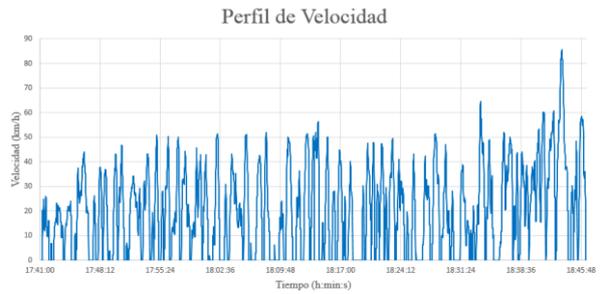


Trigales: c/ Luis Benigno Torres y c/ Gaspar de Gallegos, elevación: 2629 m s. n. m.

Feria Libre: Av. Felipe II y c/ José Ortega y Gasset, “Mall del Río”, elevación: 2586 m s. n. m.

Elevación mínima: 2522 m s. n. m.

Elevación máxima: 2629 m s. n. m.



— **Trigales - Feria Libre:** distancia: 18.85 km, duración aproximada: 65 min

Velocidad máxima: 85.53 km/h, velocidad media: 27.76 km/h.

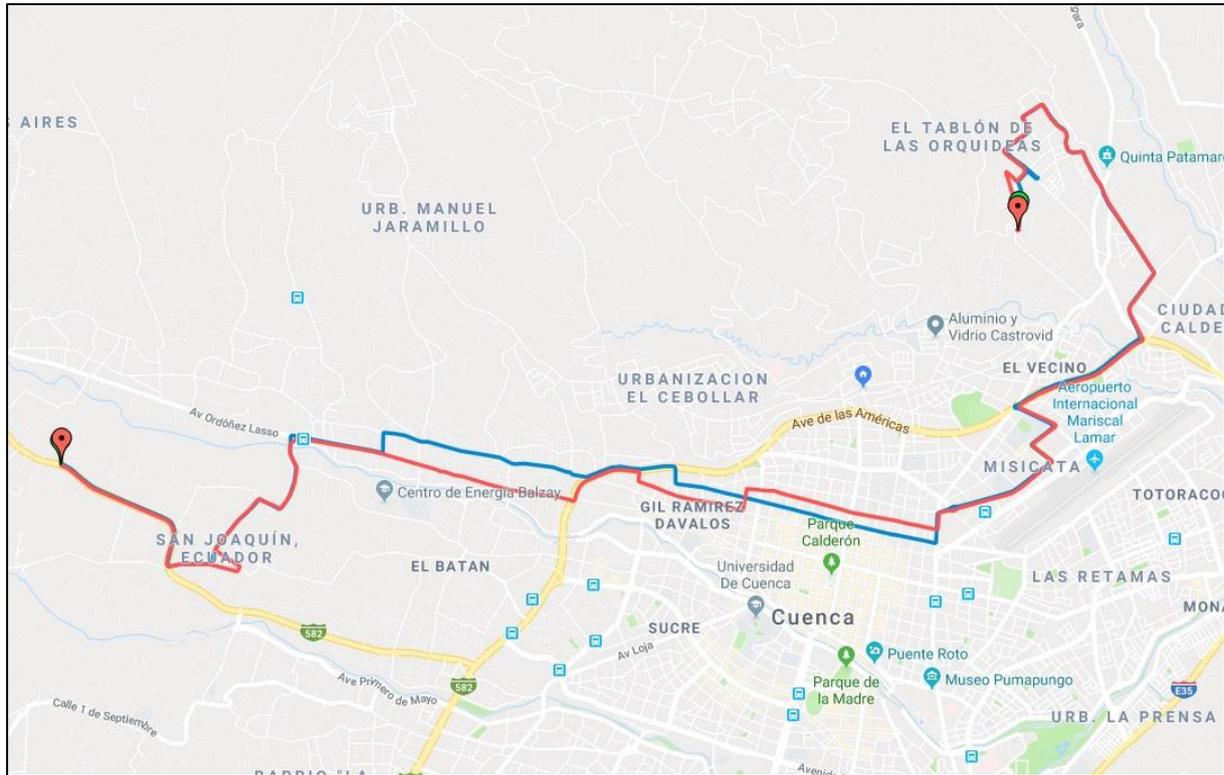


— **Feria Libre - Trigales:** distancia: 17.69 km, duración aproximada: 67 min

Velocidad máxima: 60.38 km/h, velocidad media: 24.89 km/h.



LÍNEA 8: TRIGALES - SAN JOAQUÍN

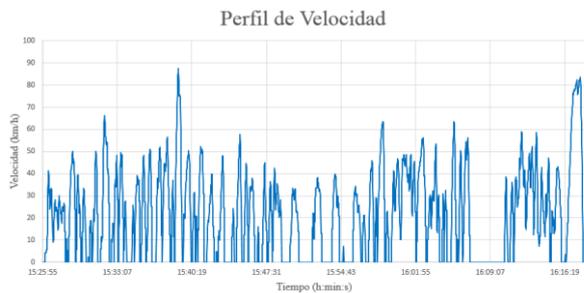
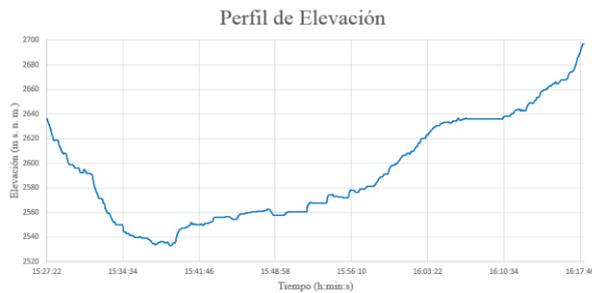


Triguales: c/ Vicente Alvarado y c/ Buena Vista, elevación: 2648 m s. n. m.

San Joaquín: E582 Cuenca-Molleturo-Naranjal y c/ de Retorno, elevación: 2704 m s. n. m.

Elevación mínima: 2532 m s. n. m.

Elevación máxima: 2704 m s. n. m.



— **Triguales - San Joaquín:** distancia: 16.74 km, duración aproximada: 52 min

Velocidad máxima: 87.60 km/h, velocidad media: 31.07 km/h.

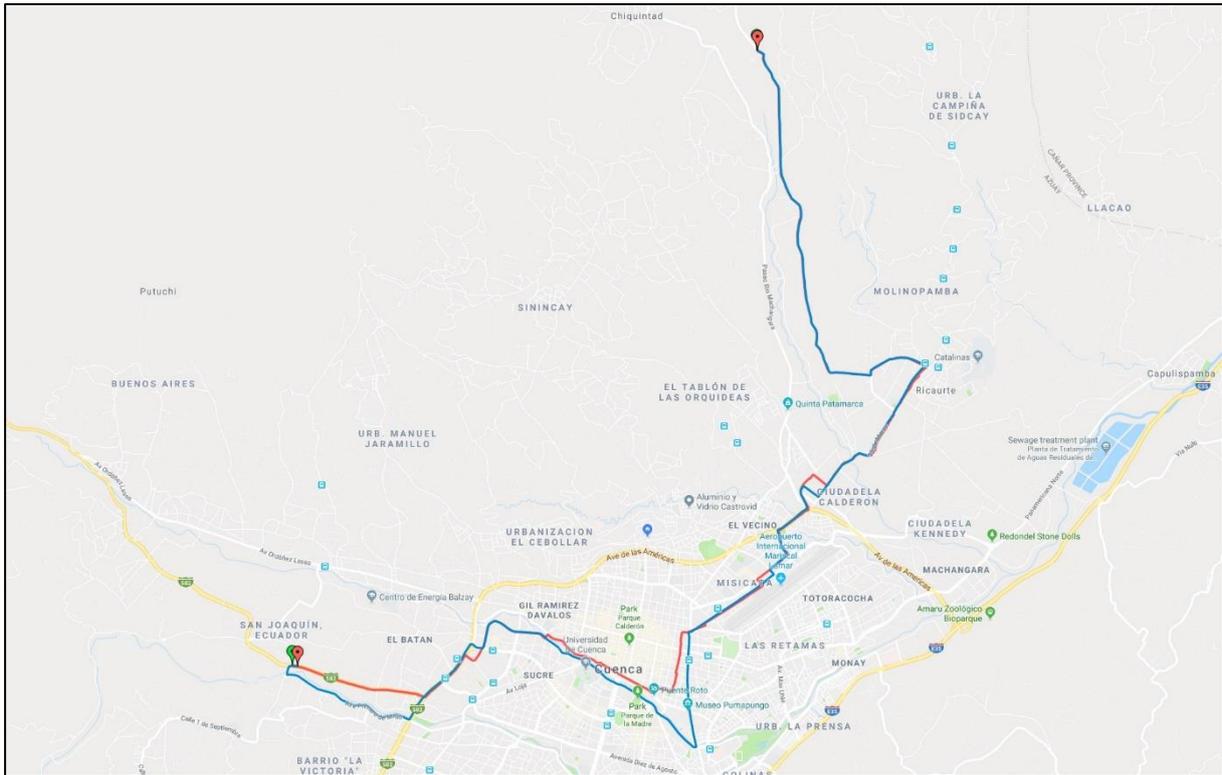


— **San Joaquín - Triguales:** distancia: 17.01 km, duración aproximada: 62 min

Velocidad máxima: 76.25 km/h, velocidad media: 26.63 km/h.



LÍNEA 10: OCHOA LEÓN - FERIA LIBRE

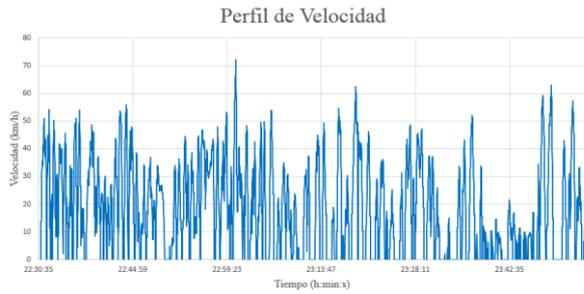


Ochoa León: Iglesia de “San Jacinto”, elevación: 2657 m s. n. m.

Feria Libre: E582 Cuenca-Molleturo-Naranjal y c/ Ciudad de Cuenca, elevación: 2631 m s. n. m.

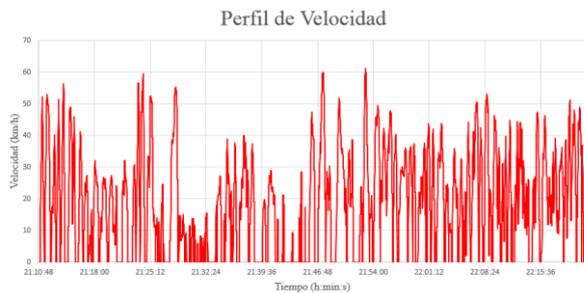
Elevación mínima: 2503 m s. n. m.

Elevación máxima: 2657 m s. n. m.



— Ochoa León - Feria Libre: distancia: 22.34 km, duración aproximada: 83 min

Velocidad máxima: 72.26 km/h, velocidad media: 25.42 km/h.

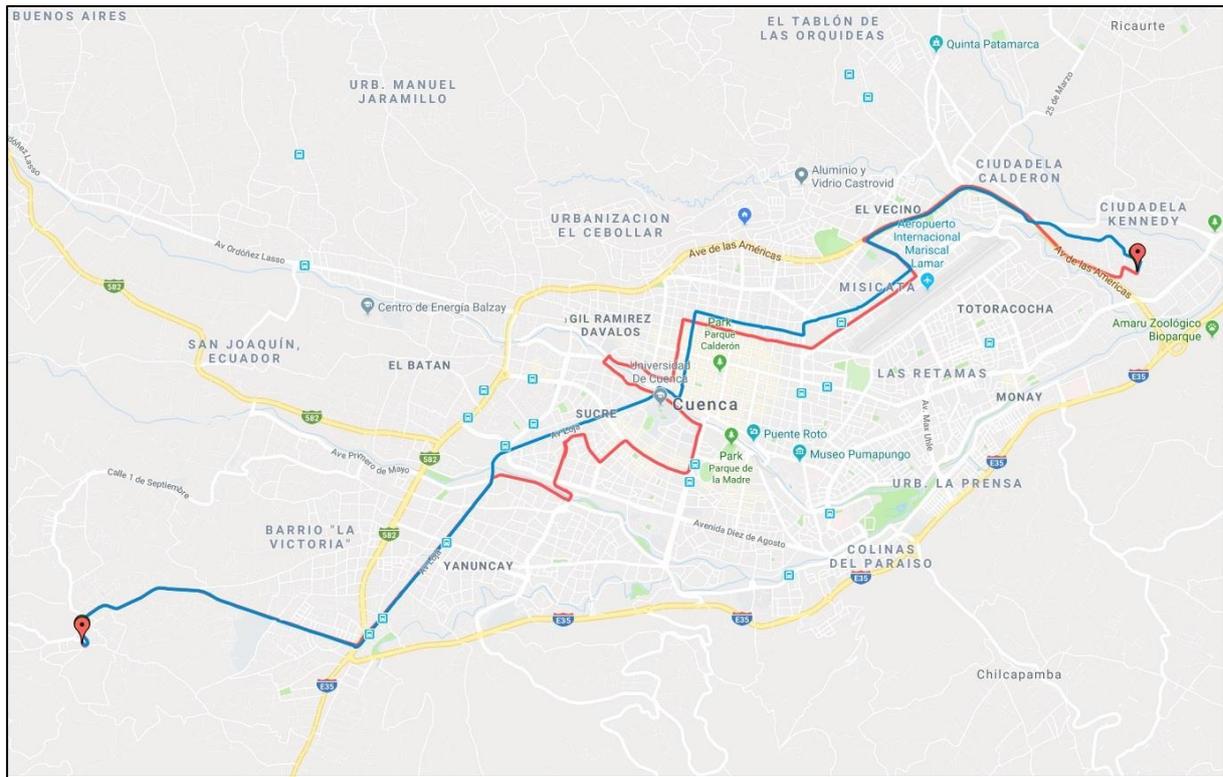


— Feria Libre - Ochoa León: distancia: 20.65 km, duración aproximada: 71 min

Velocidad máxima: 61.15 km/h, velocidad media: 25.93 km/h.



LÍNEA 12: BAÑOS - QUINTA CHICA

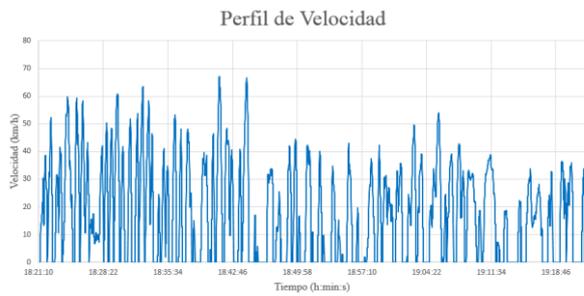


Baños: Iglesia de “Baños”, elevación: 2756 m s. n. m.

Quinta Chica: c/ Quinoas y c/ Buza, Parque “Los Lagos”, elevación: 2515 m s. n. m.

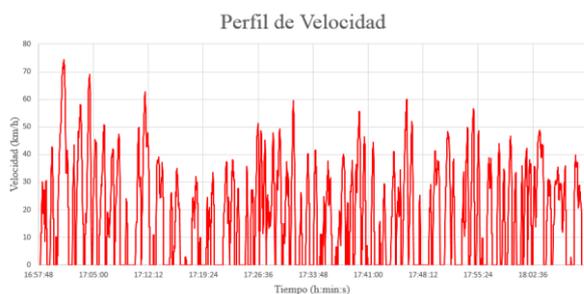
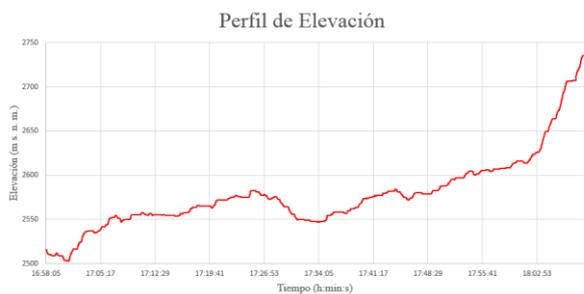
Elevación mínima: 2502 m s. n. m.

Elevación máxima: 2757 m s. n. m.



— **Baños - Quinta Chica:** distancia: 15.99 km, duración aproximada: 61 min

Velocidad máxima: 67.03 km/h, velocidad media: 26.80 km/h.

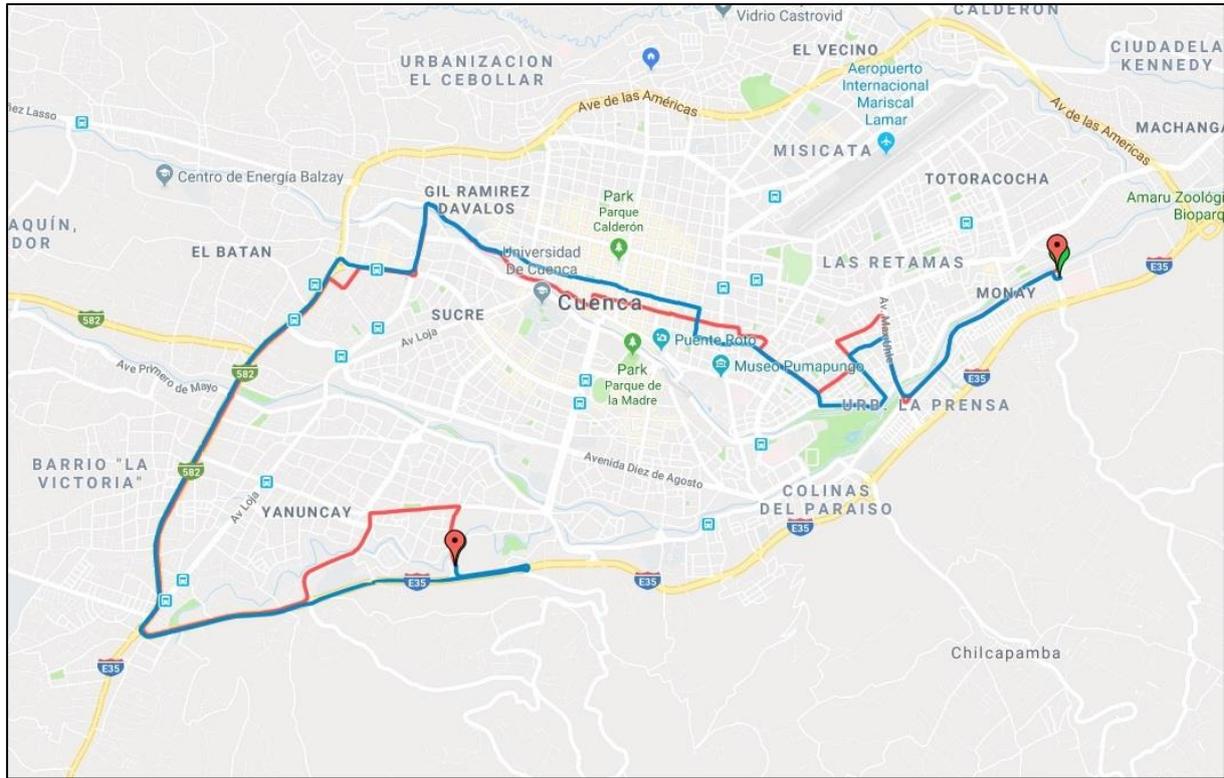


— **Quinta Chica - Baños:** distancia: 19.61 km, duración aproximada: 71 min

Velocidad máxima: 74.35 km/h, velocidad media: 27.66 km/h.



LÍNEA 13: BOSQUE DE MONAY - MALL DEL RÍO

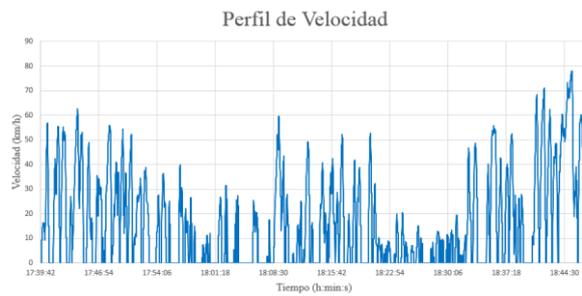


Bosque de Monay: Av. 24 de Mayo y c/ Cuzco, Hospital Regional (IESS), elevación: 2483 m s. n. m.

Mall del Río: Av. Felipe II y c/ José Ortega y Gasset, “Mall del Río”, elevación: 2586 m s. n. m.

Elevación mínima: 2483 m s. n. m.

Elevación máxima: 2615 m s. n. m.



— **Bosque de Monay - Mall del Río:** distancia: 16.61 km, duración aproximada: 67 min

Velocidad máxima: 77.94 km/h, velocidad media: 26.32 km/h.

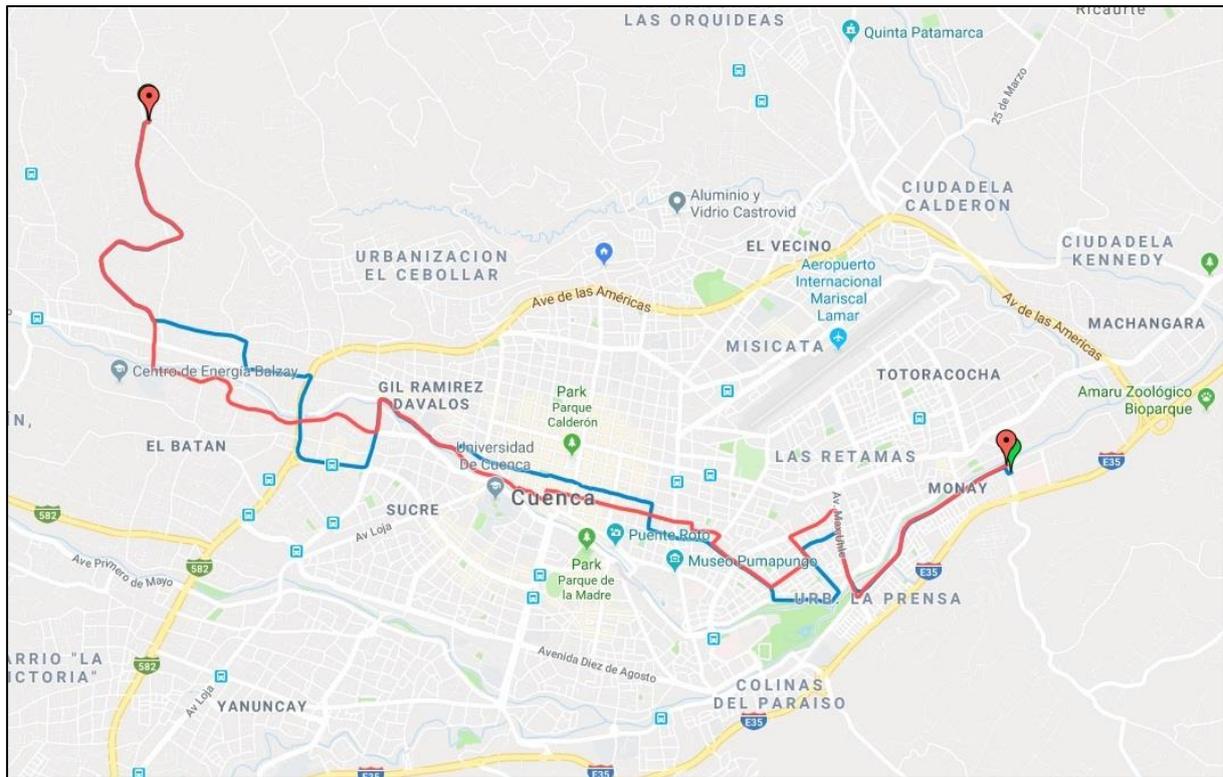


— **Mall del Río - Bosque de Monay:** distancia: 16.23 km, duración aproximada: 58 min

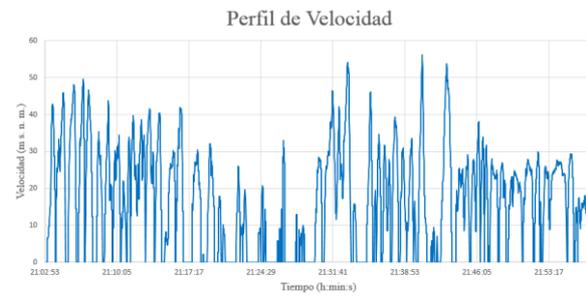
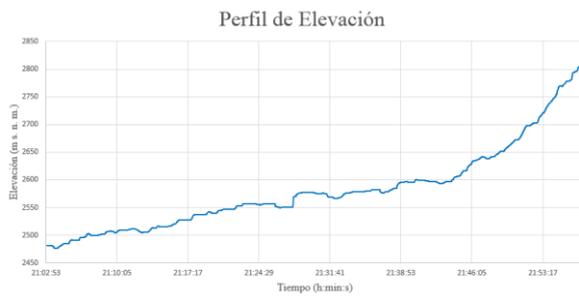
Velocidad máxima: 64.27 km/h, velocidad media: 28.20 km/h.



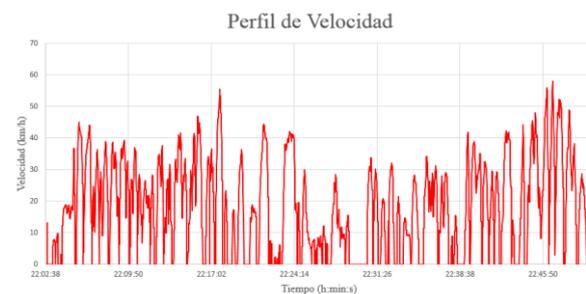
LÍNEA 13: BOSQUE DE MONAY - TEJAR



Bosque de Monay: Av. 24 de Mayo y c/ Cuzco, Hospital Regional (IESS), elevación: 2483 m s. n. m.
Tejar: c/ Luis Guillermo Peña Delgado y c/ Ernesto Muñoz Borrero, elevación: 28110m s. n. m.
 Elevación mínima: 2476 m s. n. m. Elevación máxima: 2811 m s. n. m.



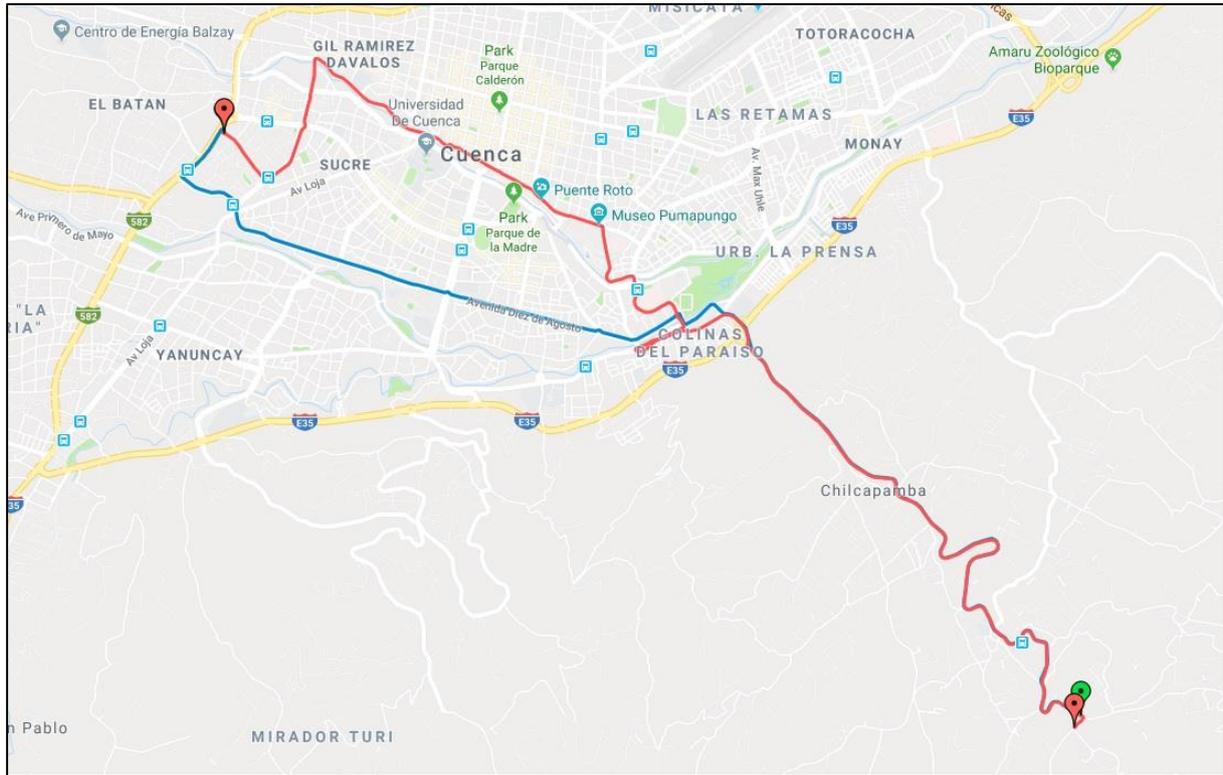
— Bosque de Monay - Tejar: distancia: 13.77 km, duración aproximada: 55 min
 Velocidad máxima: 56.24 km/h, velocidad media: 23.32 km/h.



— Tejar - Bosque de Monay: distancia: 13.09 km, duración aproximada: 47 min
 Velocidad máxima: 58.08 km/h, velocidad media: 23.80 km/h.



LÍNEA 14: EL VALLE - FERIA LIBRE

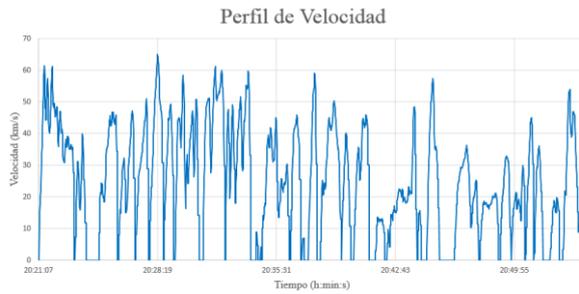


El Valle: Sector “El Valle”, elevación: 2688 m s. n. m.

Feria Libre: Av. Amazonas y Av. De las Américas, elevación: 2595 m s. n. m.

Elevación mínima: 2514 m s. n. m.

Elevación máxima: 2688 m s. n. m.



— **El Valle - Feria Libre:** distancia: 12.23 km, duración aproximada: 33 min

Velocidad máxima: 64.99 km/h, velocidad media: 30.10 km/h.

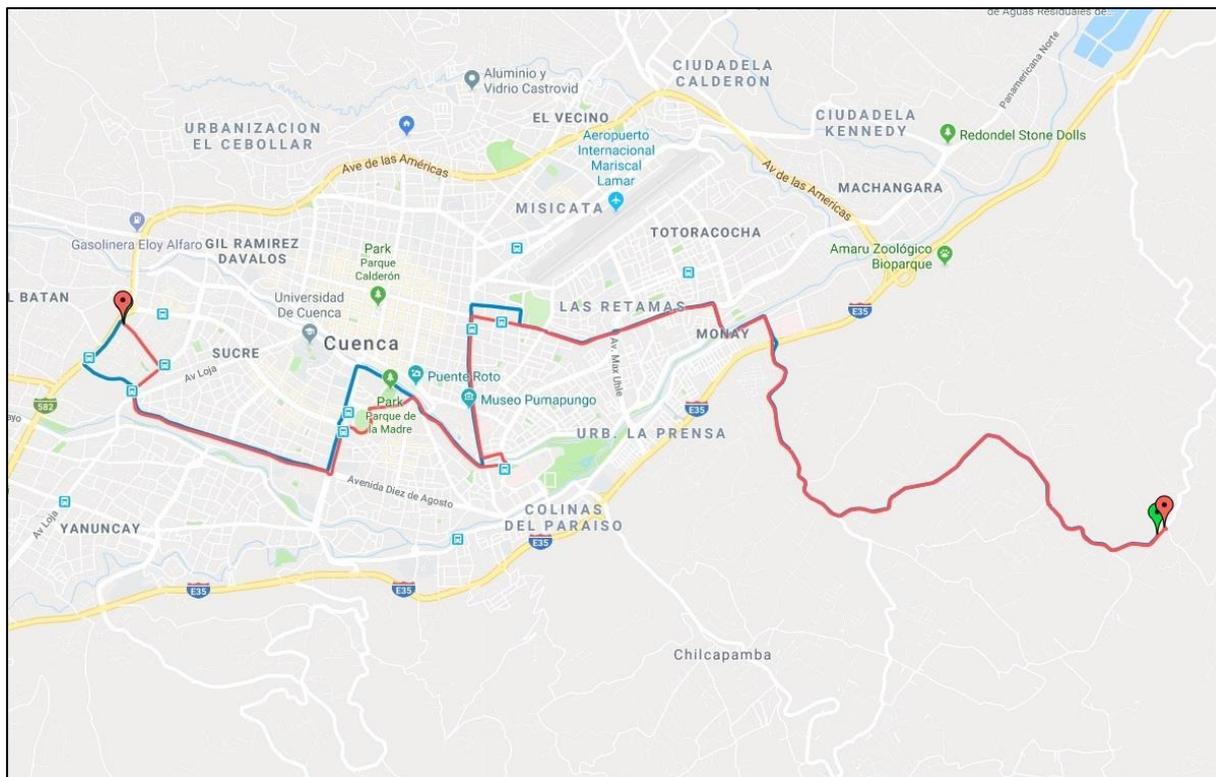


— **Feria Libre - El Valle:** distancia: 14.08 km, duración aproximada: 42 min

Velocidad máxima: 63.35 km/h, velocidad media: 29.34 km/h.



LÍNEA 15: MONAY - FERIA LIBRE

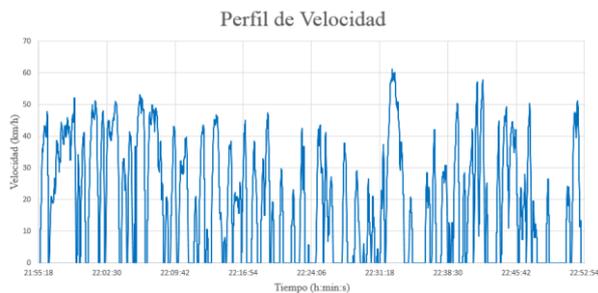


Monay: Iglesia “San Miguel de Baguanchi”, elevación: 2693 m s. n. m.

Feria Libre: Av. Amazonas y Av. De las Américas, elevación: 2595 m s. n. m.

Elevación mínima: 2481 m s. n. m.

Elevación máxima: 2693 m s. n. m.



— Monay - Feria Libre: distancia: 16.72 km, duración aproximada: 57 min

Velocidad máxima: 61.16 km/h, velocidad media: 28.92 km/h.

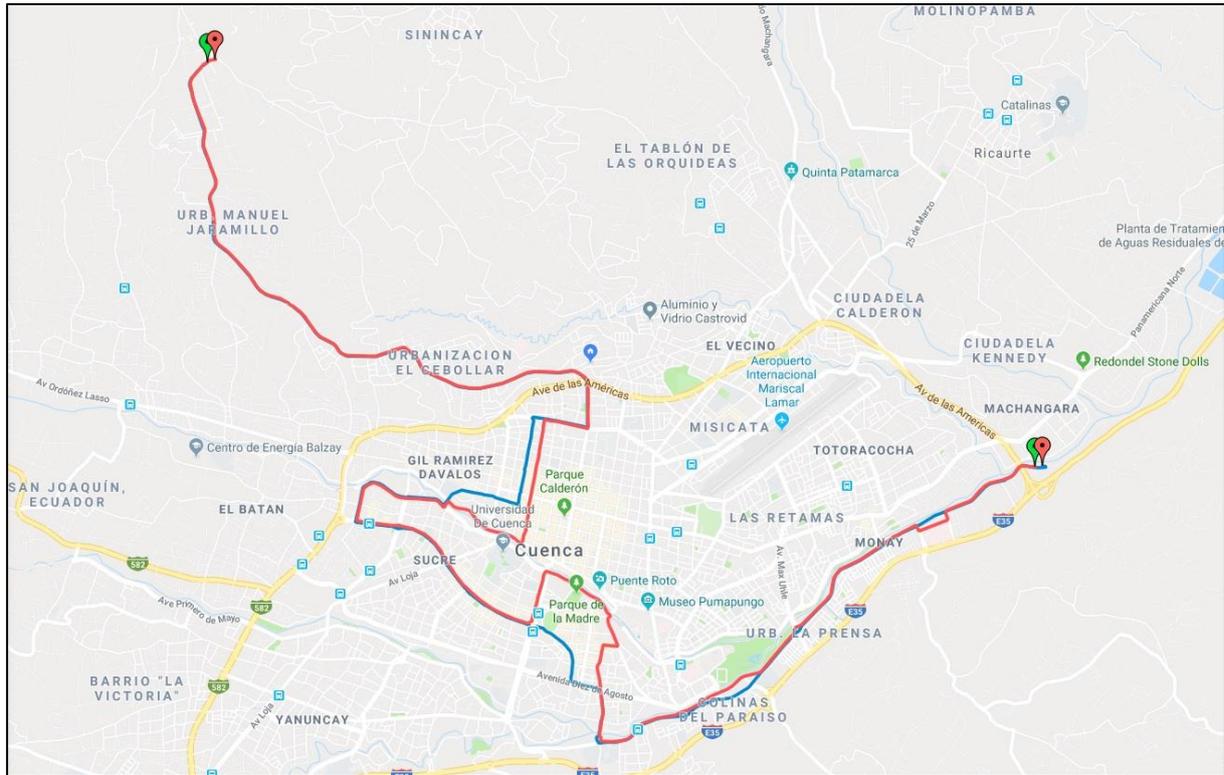


— Feria Libre - Monay: distancia: 16.62 km, duración aproximada: 51 min

Velocidad máxima: 69.86 km/h, velocidad media: 30.72 km/h.



LÍNEA 16: SAN PEDRO - MONAY



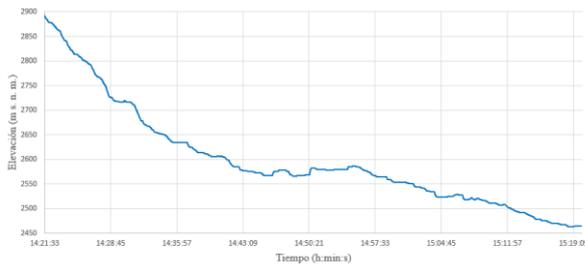
San Pedro: Iglesia de la Santísima Trinidad de Racar, elevación: 2908 m s. n. m.

Monay: Av. 24 de Mayo, Hospital Universitario del Río, elevación: 2464 m s. n. m.

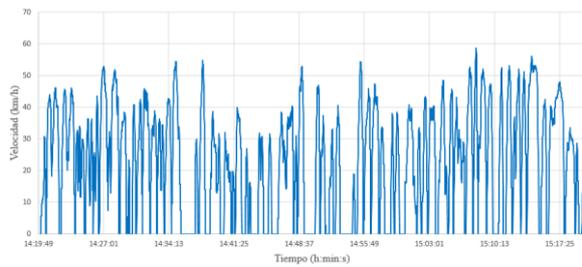
Elevación mínima: 2463 m s. n. m.

Elevación máxima: 2908 m s. n. m.

Perfil de Elevación



Perfil de Velocidad



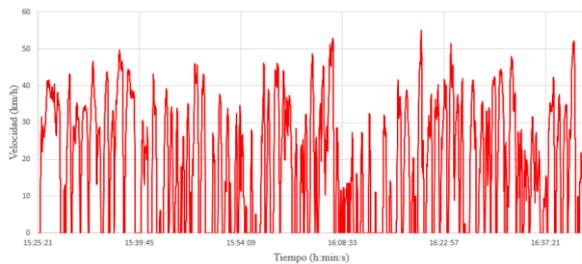
— **San Pedro - Monay:** distancia: 20.29 km, duración aproximada: 60 min

Velocidad máxima: 58.61 km/h, velocidad media: 30.69 km/h.

Perfil de Elevación



Perfil de Velocidad

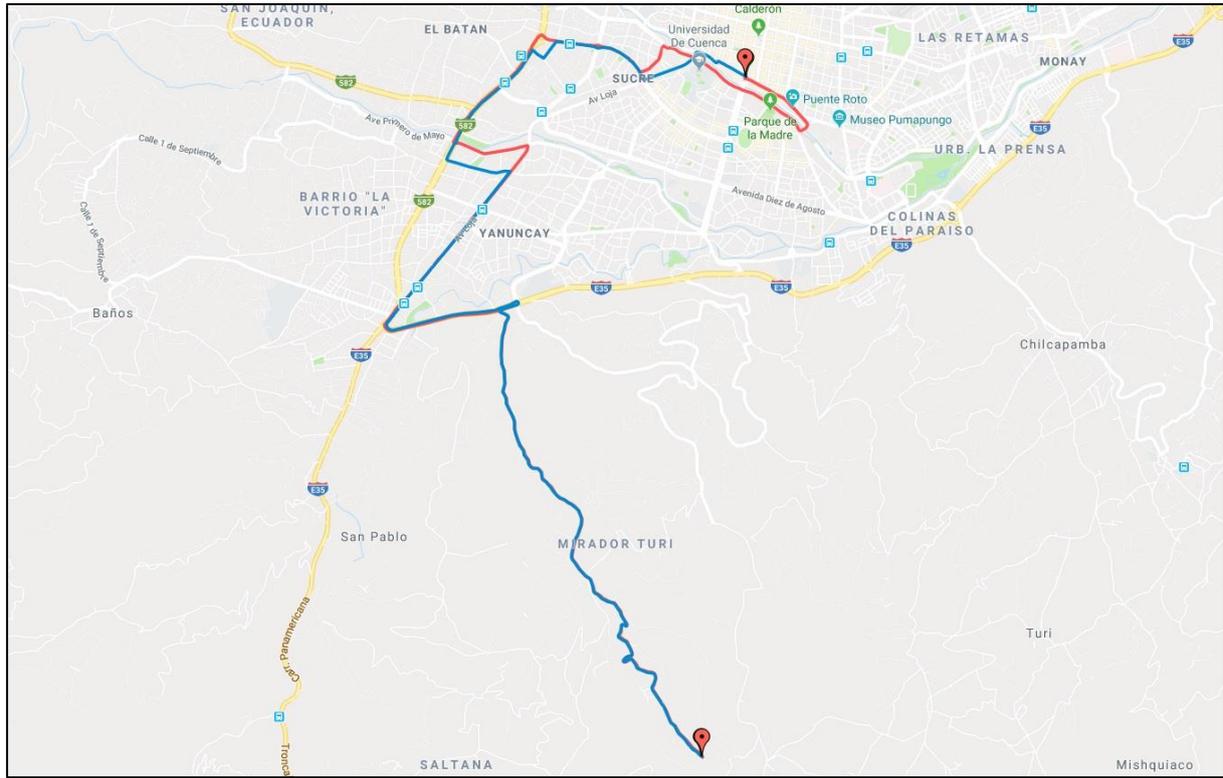


— **Monay - San Pedro:** distancia: 21.83 km, duración aproximada: 77 min

Velocidad máxima: 55.14 km/h, velocidad media: 26.62 km/h.



LÍNEA 17: PUNTACORRAL - 10 DE AGOSTO



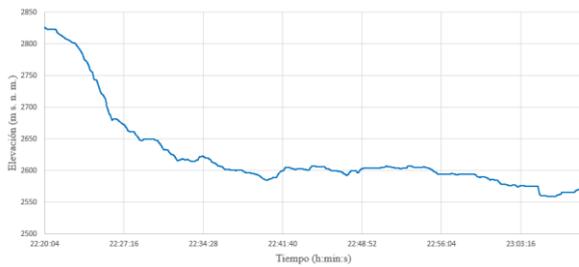
Puntacorral: Sector Patapamba, elevación: 2826 m s. n. m.

10 de Agosto: c/ Larga y c/ Benigno Malo, elevación: 2591 m s. n. m.

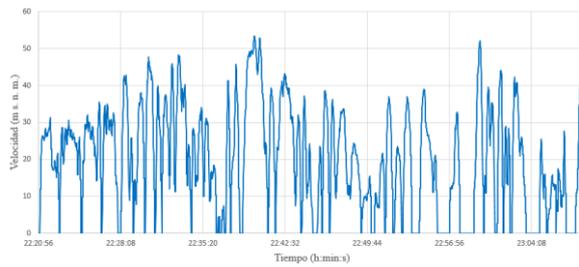
Elevación mínima: 2542 m s. n. m.

Elevación máxima: 2826 m s. n. m.

Perfil de Elevación



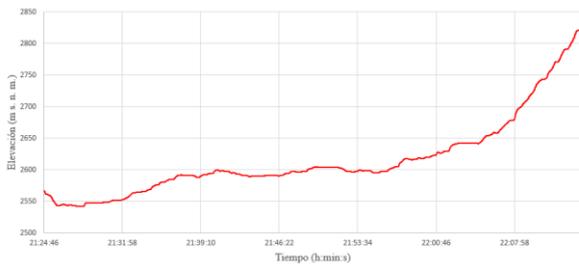
Perfil de Velocidad



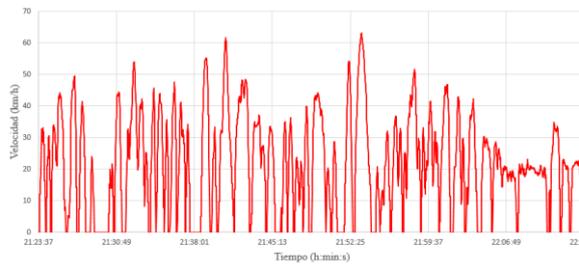
— **Puntacorral - 10 de Agosto:** distancia: 13.08 km, duración aproximada: 49 min

Velocidad máxima: 53.48 km/h, velocidad media: 24.56 km/h.

Perfil de Elevación



Perfil de Velocidad

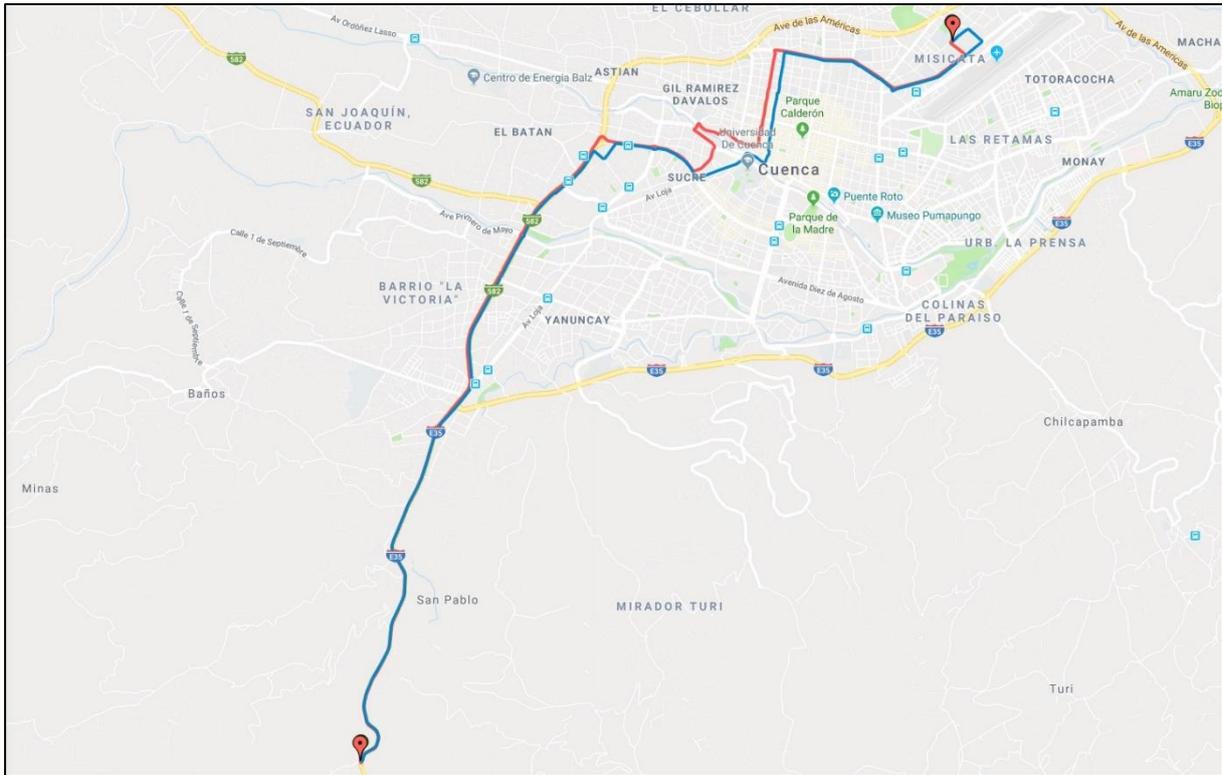


— **10 de Agosto - Puntacorral:** distancia: 14.50 km, duración aproximada: 51 min

Velocidad máxima: 63.08 km/h, velocidad media: 26.70 km/h.



LÍNEA 18: ZHUCAY - TÉCNICO

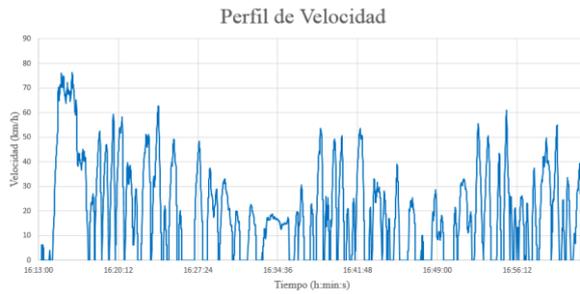


Zhucay: E35 Car. Panamericana, Estación de autobuses “URBADIEZ”, elevación: 2621 m s. n. m.

Técnico: Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador, elevación: 2556 m s. n. m.

Elevación mínima: 2542 m s. n. m.

Elevación máxima: 2636 m s. n. m.



— **Zhucay - Técnico:** distancia: 13.49 km, duración aproximada: 49 min

Velocidad máxima: 76.33 km/h, velocidad media: 27.68 km/h.

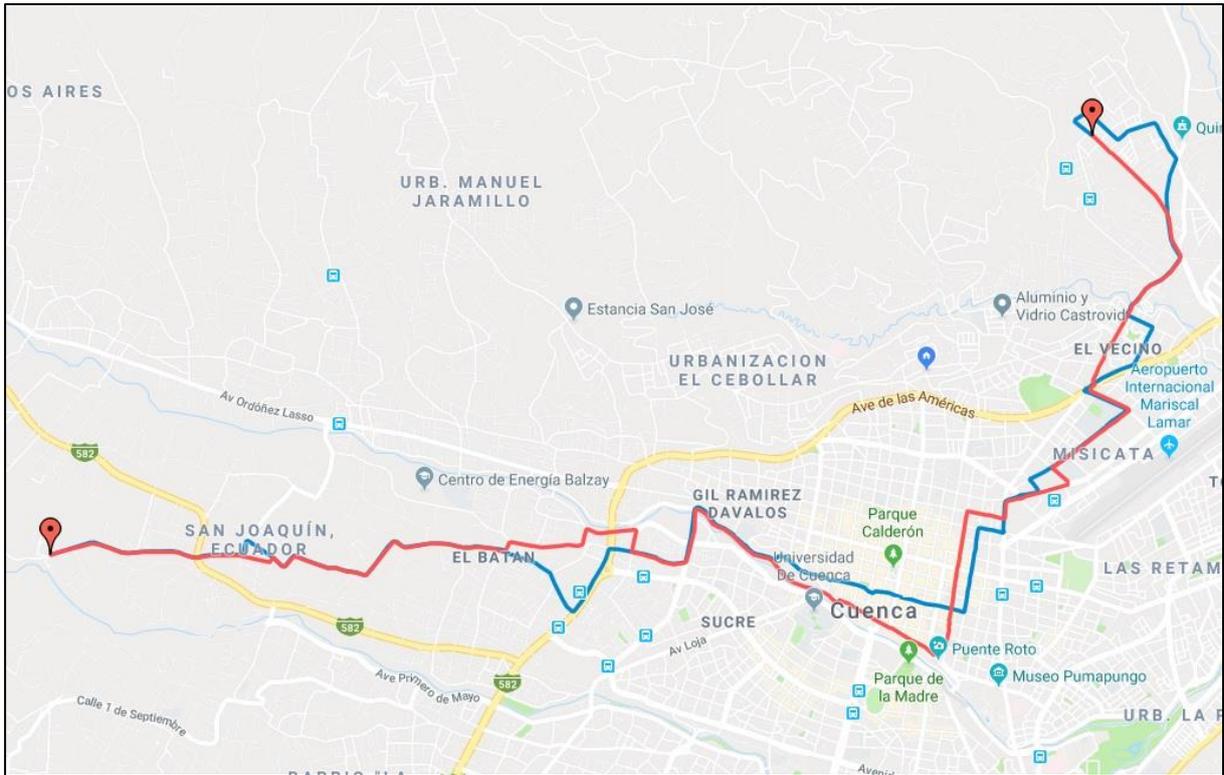


— **Técnico - Zhucay:** distancia: 13.58 km, duración aproximada: 47 min

Velocidad máxima: 80.49 km/h, velocidad media: 29.77 km/h.



LÍNEA 19: CATÓLICA - SAN JOAQUÍN

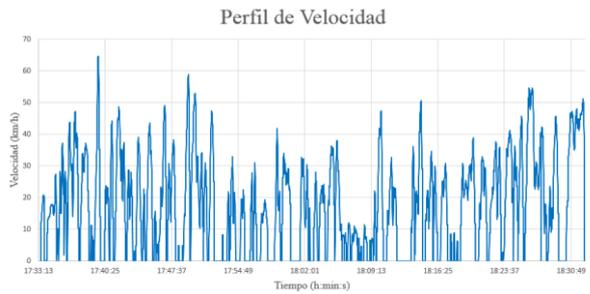


Católica: c/ X Juegos Bolivarianos y c/ Daniel A. Cañizares, elevación: 2594 m s. n. m.

San Joaquín: Tenis Club, elevación: 2672 m s. n. m.

Elevación mínima: 2540 m s. n. m.

Elevación máxima: 2683 m s. n. m.



— **Católica - San Joaquín:** distancia: 15.66 km, duración aproximada: 59 min

Velocidad máxima: 64.72 km/h, velocidad media: 23.65 km/h.

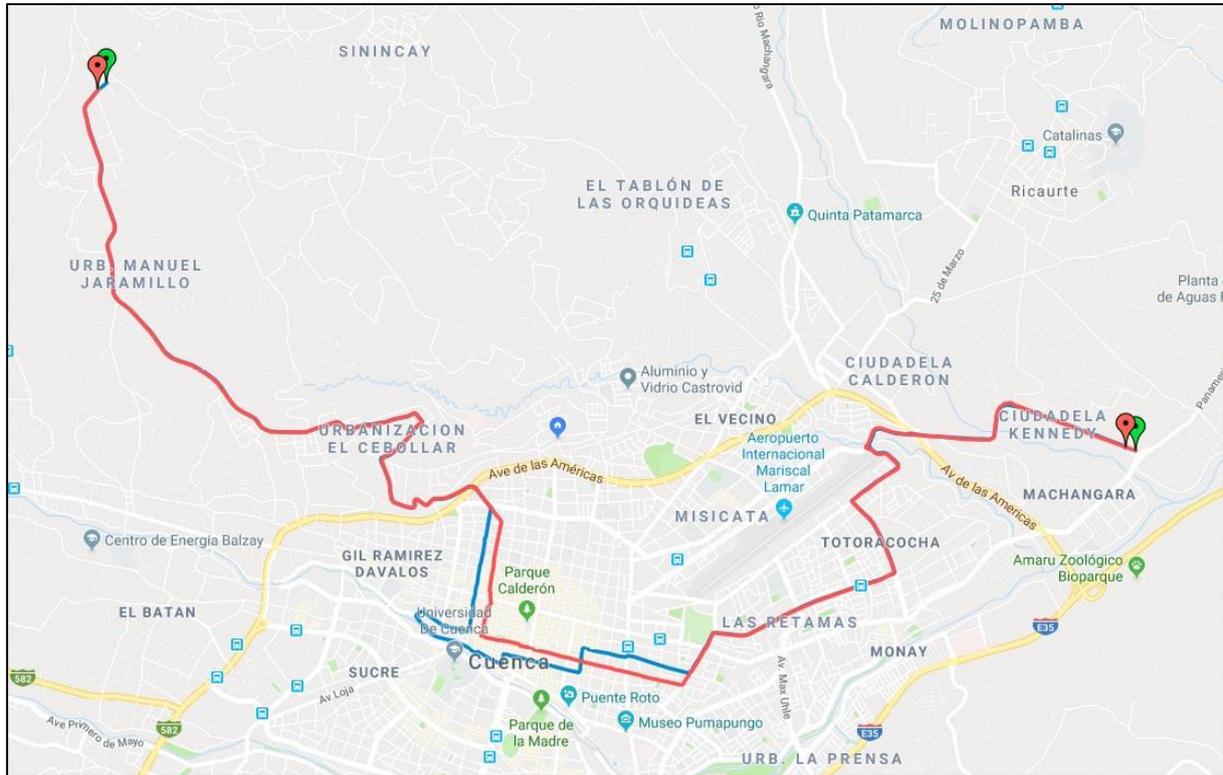


— **San Joaquín - Católica:** distancia: 14.69 km, duración aproximada: 53 min

Velocidad máxima: 67.40 km/h, velocidad media: 24.82 km/h.



LÍNEA 20: SAN PEDRO - CDLA. KENNEDY

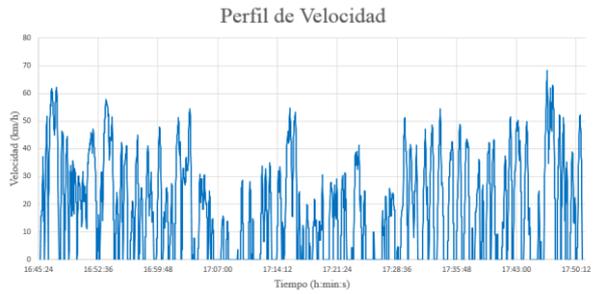


San Pedro: Iglesia de la Santísima Trinidad de Racar, elevación: 2908 m s. n. m.

Cdla. Kennedy: Redondel “Muñecas de Piedra”, elevación: 2467 m s. n. m.

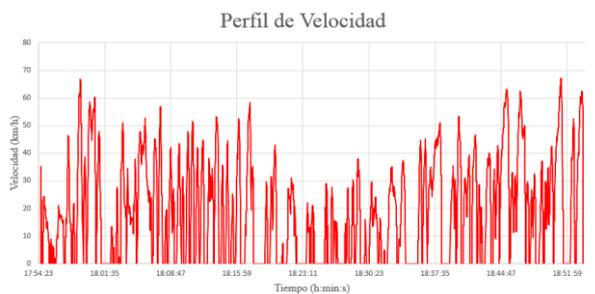
Elevación mínima: 2467 m s. n. m.

Elevación máxima: 2908 m s. n. m.



— **San Pedro - Cda. Kennedy:** distancia: 18.01 km, duración aproximada: 65 min

Velocidad máxima: 68.28 km/h, velocidad media: 27.23 km/h.

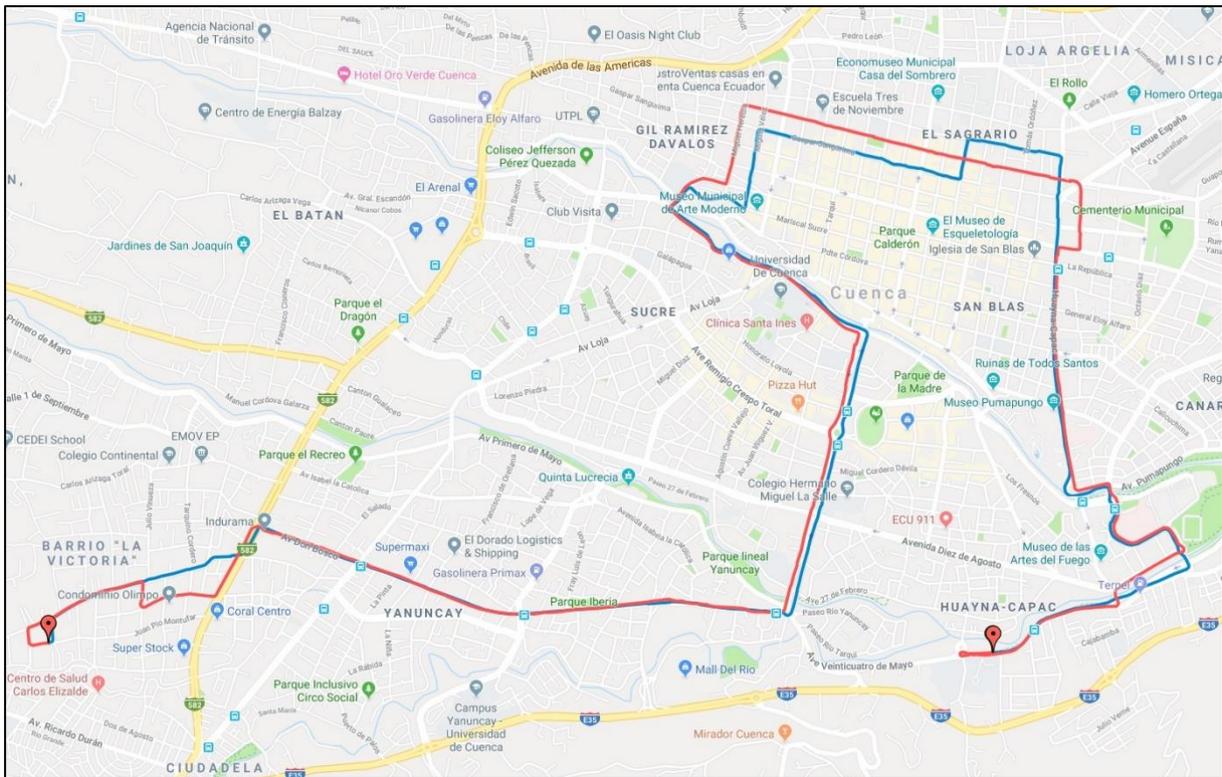


— **Cda. Kennedy - San Pedro:** distancia: 16.73 km, duración aproximada: 59 min

Velocidad máxima: 67.18 km/h, velocidad media: 28.26 km/h.



LÍNEA 22: SALESIANOS - GAPAL



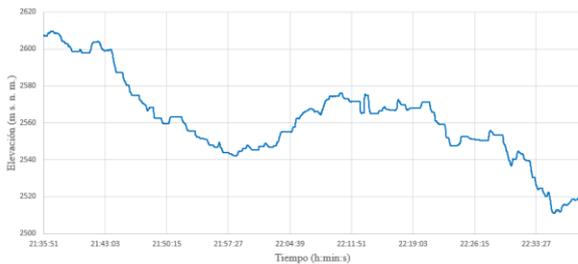
Salesianos: c/ Juan Pío Montufar y c/ Primera Convención, elevación: 2606 m s. n. m.

Gapal: Av. 24 de Mayo y c/ Las Garzas, Universidad del Azuay, elevación: 2523 m s. n. m.

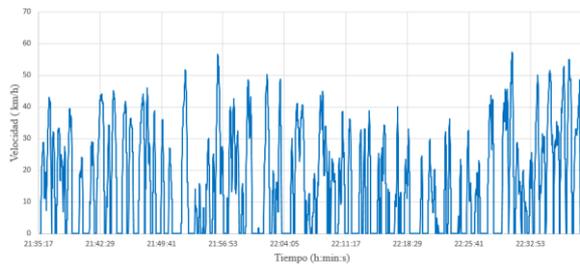
Elevación mínima: 2508 m s. n. m.

Elevación máxima: 2611 m s. n. m.

Perfil de Elevación



Perfil de Velocidad



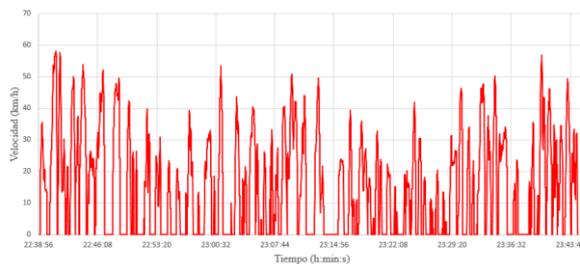
— **Salesianos - Gapal:** distancia: 14.31 km, duración aproximada: 63 min

Velocidad máxima: 56.41 km/h, velocidad media: 25.06 km/h.

Perfil de Elevación



Perfil de Velocidad

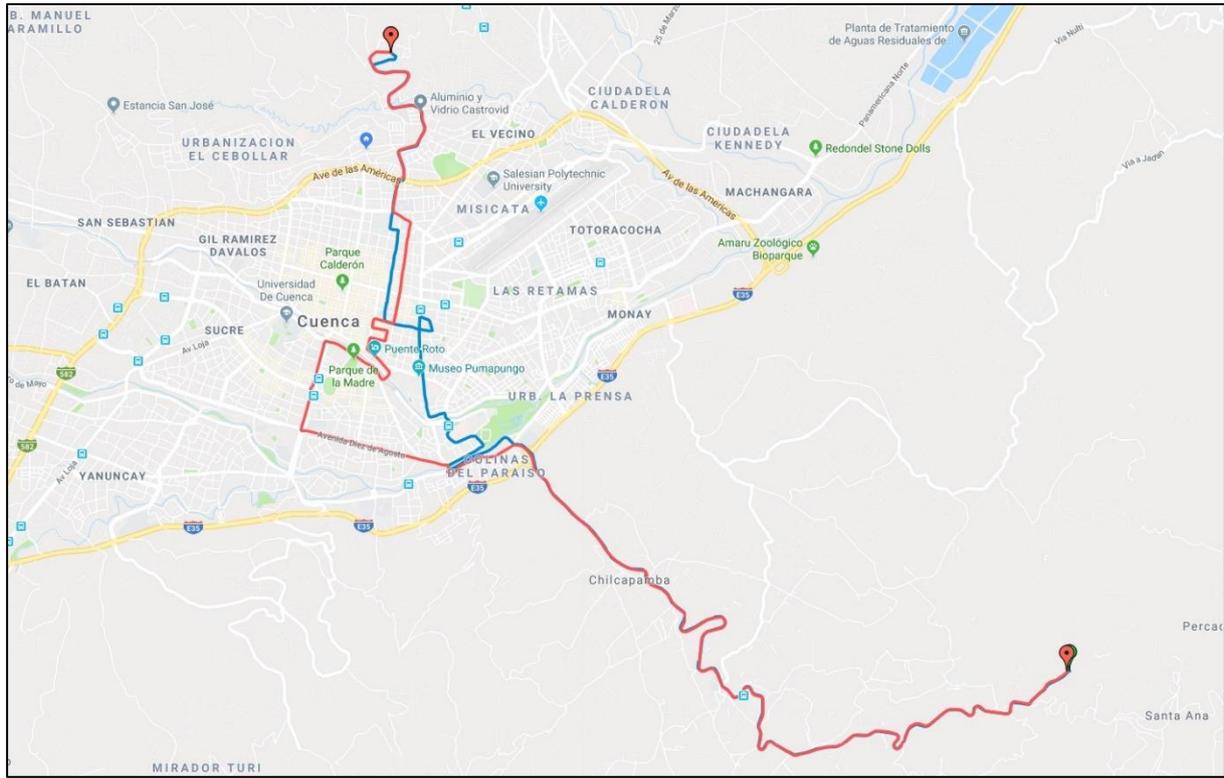


— **Gapal - Salesianos:** distancia: 14.89 km, duración aproximada: 66 min

Velocidad máxima: 58.25 km/h, velocidad media: 25.08 km/h.



LÍNEA 24: COCHAPAMBA - MIRAFLORES



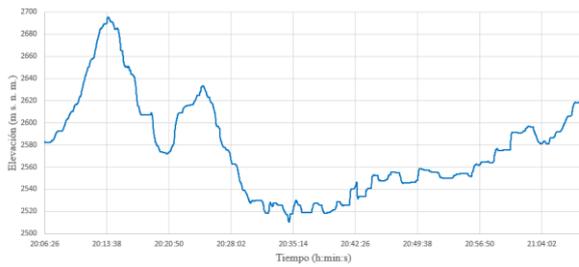
Cochapamba: Sector Auquilula - Santa Ana, elevación: 2578 m s. n. m.

Miraflores: El Santuario de la Virgen del Rosario de Miraflores, elevación: 2631 m s. n. m.

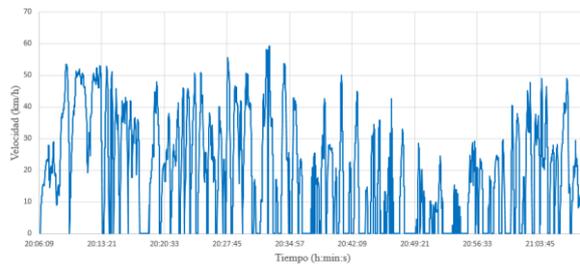
Elevación mínima: 2510 m s. n. m.

Elevación máxima: 2695 m s. n. m.

Perfil de Elevación



Perfil de Velocidad



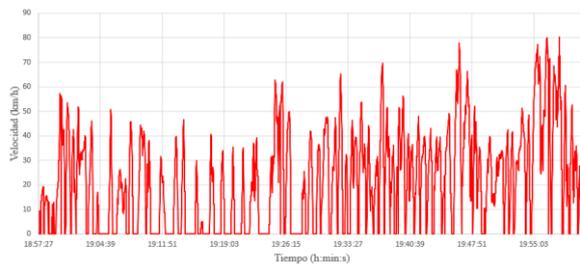
— **Cochapamba - Miraflores:** distancia: 18.95 km, duración aproximada: 63 min

Velocidad máxima: 59.16 km/h, velocidad media: 27.10 km/h.

Perfil de Elevación



Perfil de Velocidad

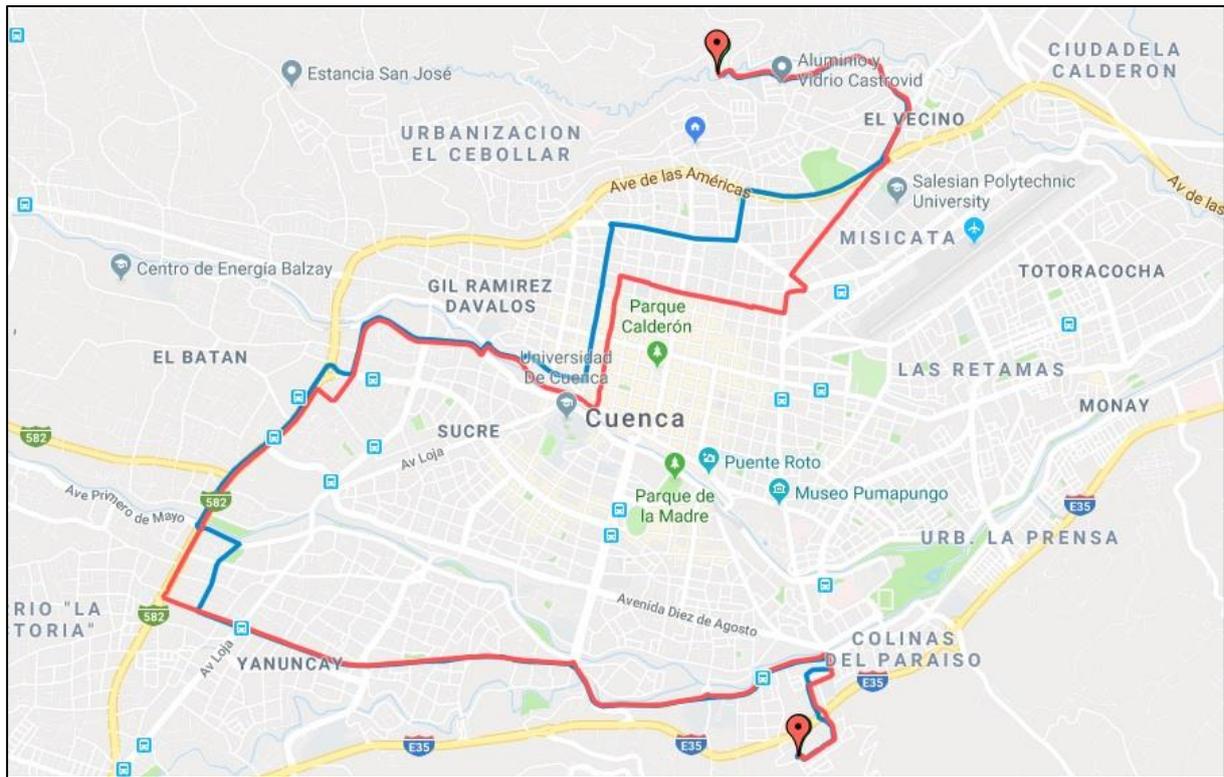


— **Miraflores - Cochapamba:** distancia: 20.66 km, duración aproximada: 65 min

Velocidad máxima: 80.18 km/h, velocidad media: 31.21 km/h.



LÍNEA 25: JAIME ROLDÓS - SANTA MARÍA DEL VERGEL

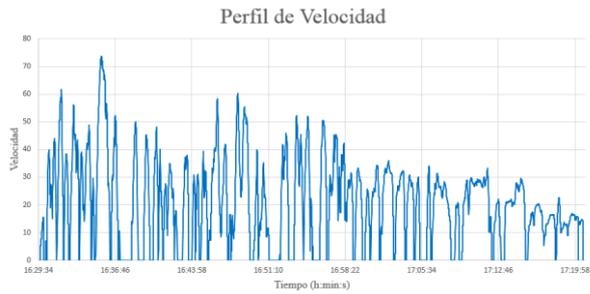


Jaime Roldós: Av. Miraflores y c/ De las Cocadas, elevación: 2562 m s. n. m.

Santa María del Vergel: c/ Horacio y c/ Julio Verne, elevación: 2569 m s. n. m.

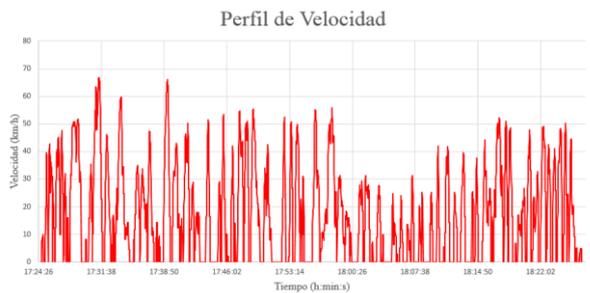
Elevación mínima: 2518 m s. n. m.

Elevación máxima: 2607 m s. n. m.



J. Roldós - Sta. María del Vergel: distancia: 16.00 km, duración aproximada: 51 min

Velocidad máxima: 73.56 km/h, velocidad media: 25.01 km/h.

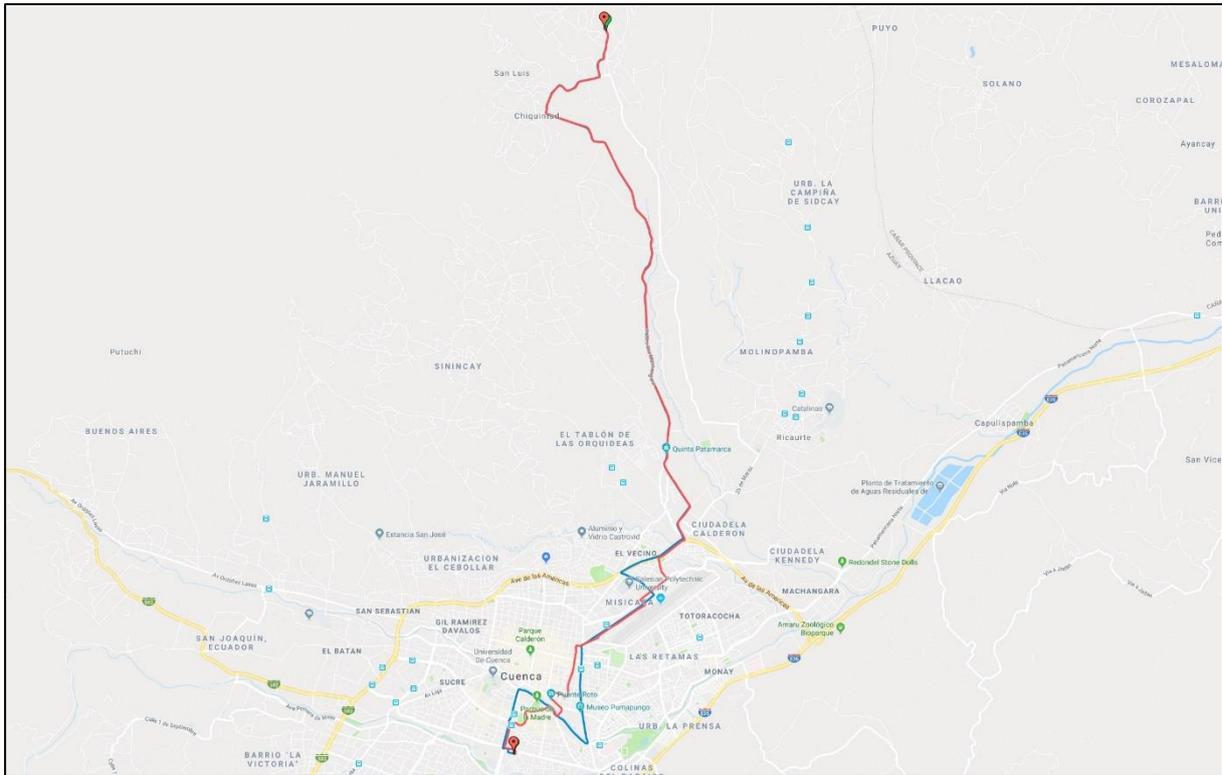


Sta. María del Vergel - J. Roldós: distancia: 16.27 km, duración aproximada: 62 min

Velocidad máxima: 66.76 km/h, velocidad media: 26.02 km/h.



LÍNEA 26: CHECA - MERCADO 27 DE FEBRERO

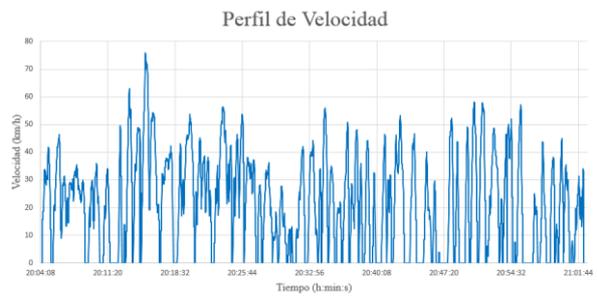


Checa: Parroquia Checa, elevación: 2750 m s. n. m.

M. 27 de Febrero: Mercado “27 de Febrero”, elevación: 2550 m s. n. m.

Elevación mínima: 2514 m s. n. m.

Elevación máxima: 2750 m s. n. m.



— **Checa - Mercado 27 de Febrero:** distancia: 18.71 km, duración aproximada: 58 min

Velocidad máxima: 75.83 km/h, velocidad media: 28.60 km/h.

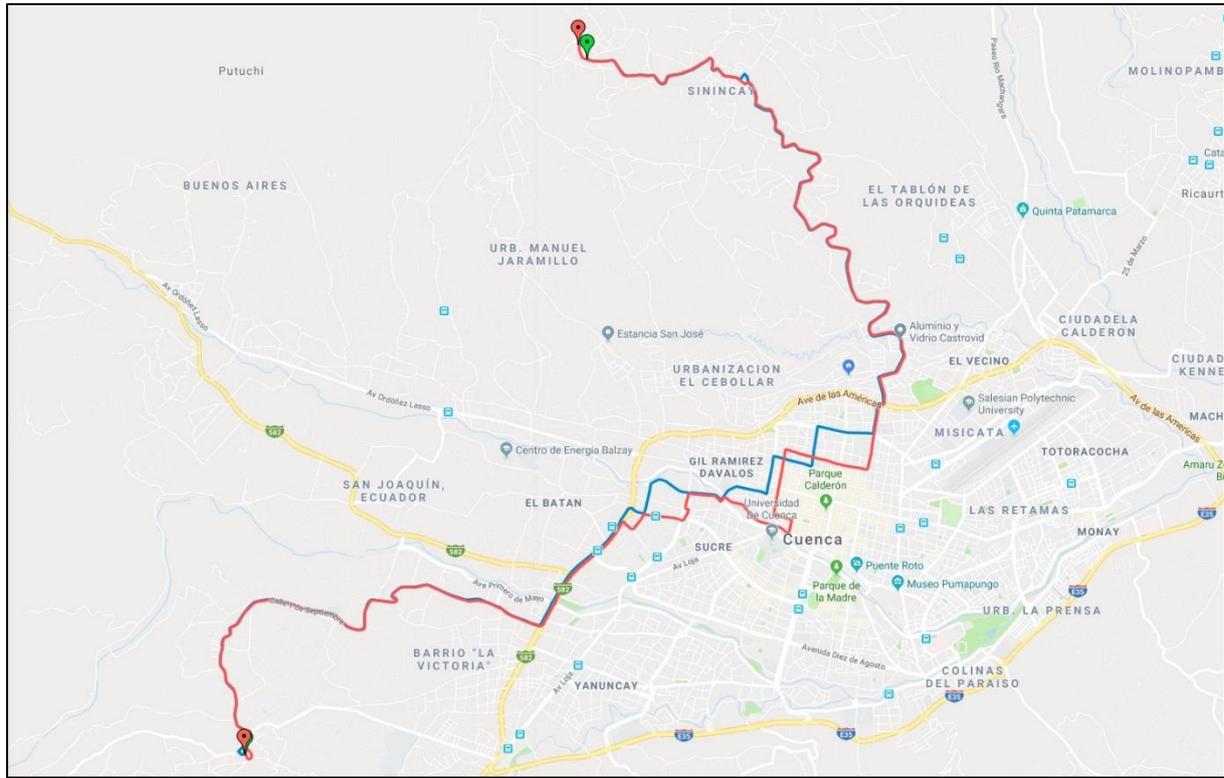


— **Mercado 27 de Febrero - Checa:** distancia: 17.46 km, duración aproximada: 53 min

Velocidad máxima: 67.41 km/h, velocidad media: 31.08 km/h.



LÍNEA 27: SININCAY - HUIZHIL

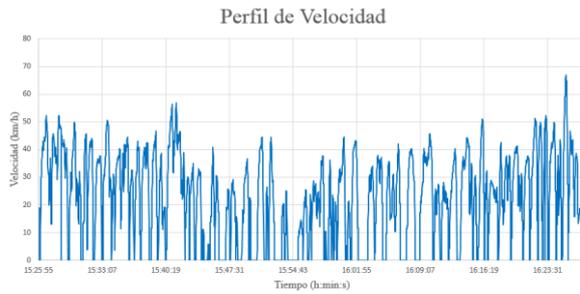


Sinincay: Sector “Las Cochass de Sinincay”, elevación: 2818 m s. n. m.

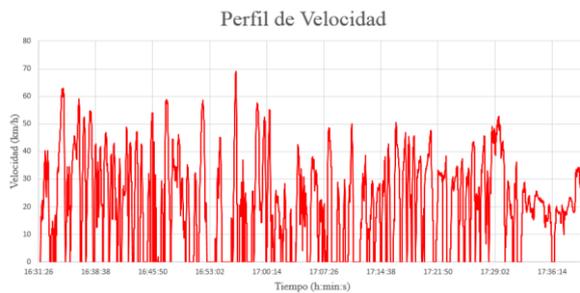
Huizhil: Iglesia de “Baños”, elevación: 2756 m s. n. m.

Elevación mínima: 2558 m s. n. m.

Elevación máxima: 2818 m s. n. m.



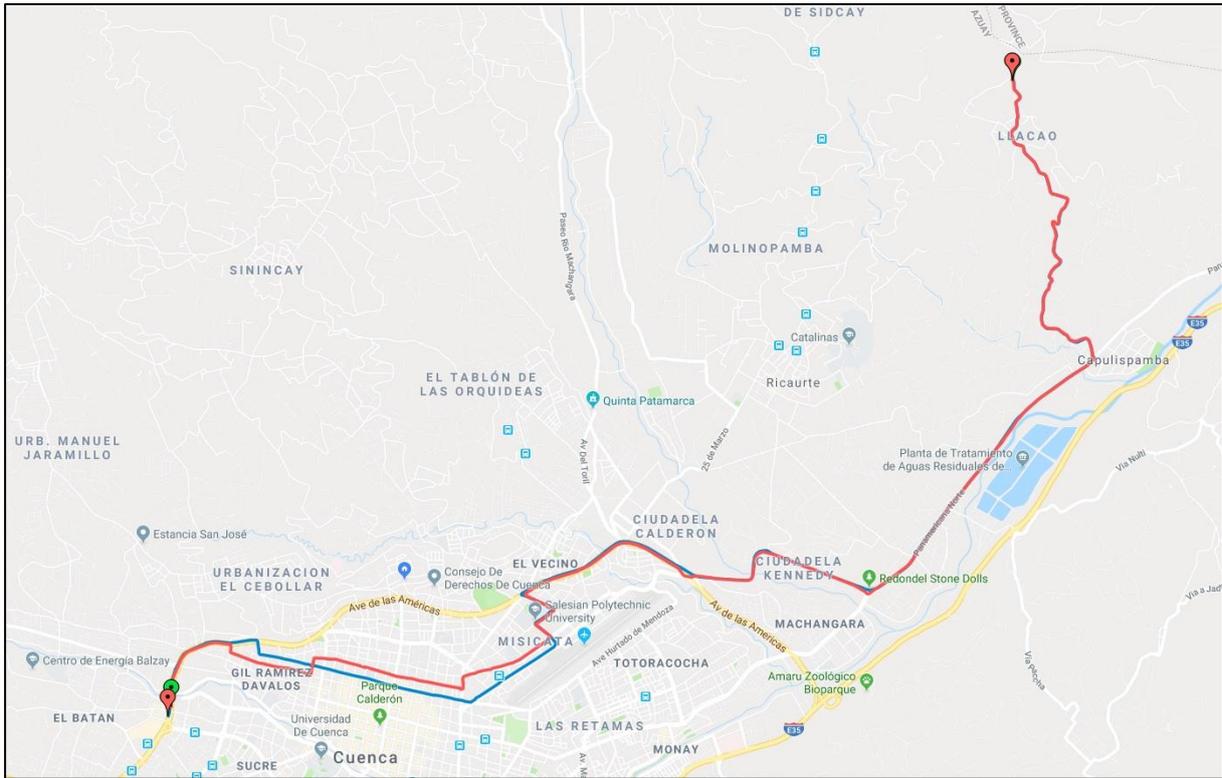
— **Sinincay - Huizhil:** distancia: 21.24 km, duración aproximada: 62 min
Velocidad máxima: 66.81 km/h, velocidad media: 28.89 km/h.



— **Huizhil - Sinincay:** distancia: 22.36 km, duración aproximada: 68 min
Velocidad máxima: 68.94 km/h, velocidad media: 27.81 km/h.



LÍNEA 28: LLACAO - FERIA LIBRE

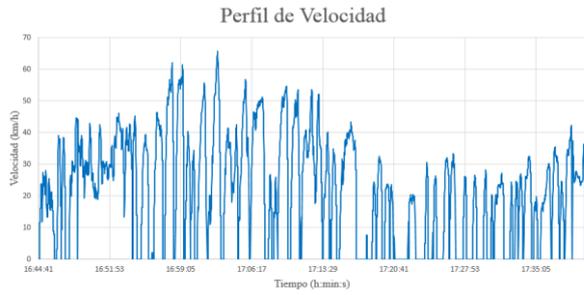
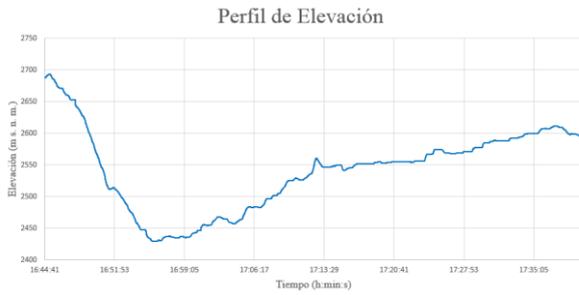


Llaqueo: Sector “Llaqueo”, elevación: 2693 m s. n. m.

Feria Libre: Av. De las Américas y c/ Del Batán, elevación: 2604 m s. n. m.

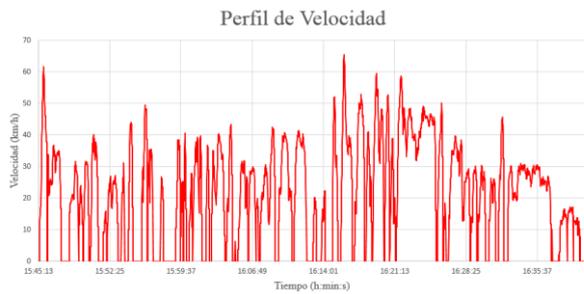
Elevación mínima: 2394 m s. n. m.

Elevación máxima: 2693 m s. n. m.



— Llaqueo - Feria Libre: distancia: 17.09 km, duración: 56 min

Velocidad máxima: 78.58 km/h, velocidad media: 32.53 km/h.

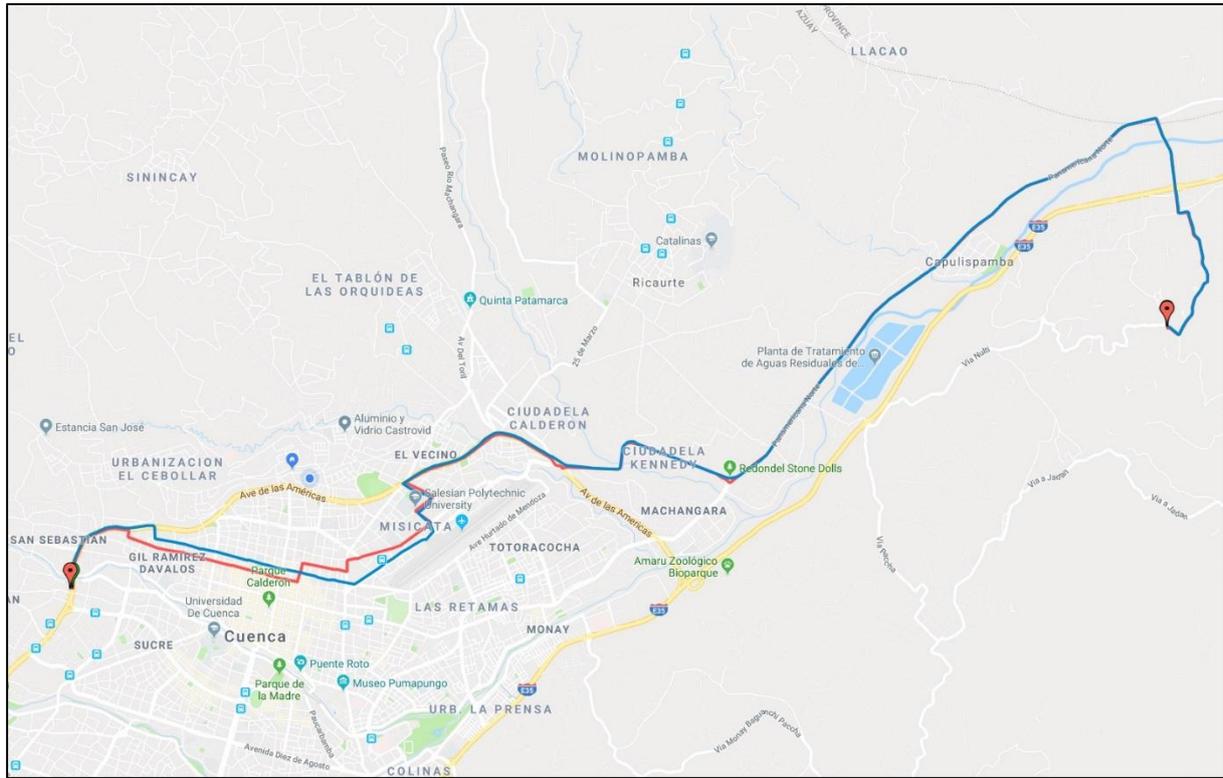


— Feria Libre - Llaqueo: distancia: 16.96 km, duración: 56 min

Velocidad máxima: 65.79 km/h, velocidad media: 29.49 km/h.



LÍNEA 28: CHAULLABAMBA - FERIA LIBRE

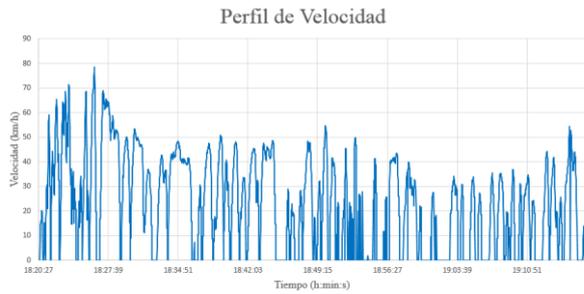
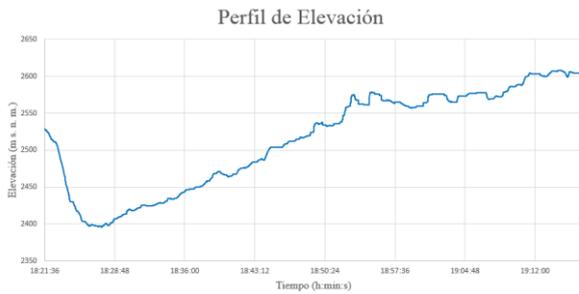


Chaullabamba: Sector “Chaullabamba”, elevación: 2531 m s. n. m.

Feria Libre: Av. De las Américas y c/ Del Batán, elevación: 2604 m s. n. m.

Elevación mínima: 2394 m s. n. m.

Elevación máxima: 2606 m s. n. m.



— Chaullabamba - Feria Libre: distancia: 19.97 km, duración: 56 min

Velocidad máxima: 78.58 km/h, velocidad media: 32.53 km/h.

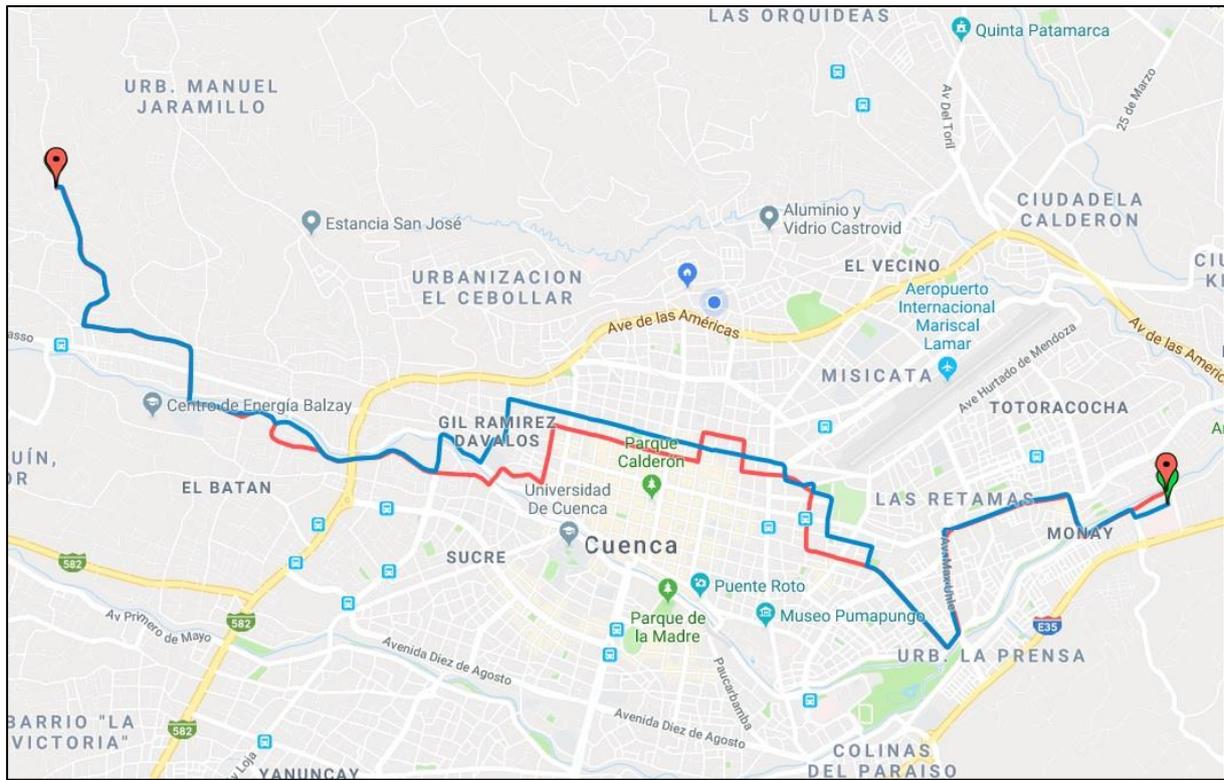


— Feria Libre - Chaullabamba: distancia: 20.03 km, duración: 62 min

Velocidad máxima: 89.24 km/h, velocidad media: 32.49 km/h.



LÍNEA 50: MONAY IESS - SAN JOSÉ DE BALZAY

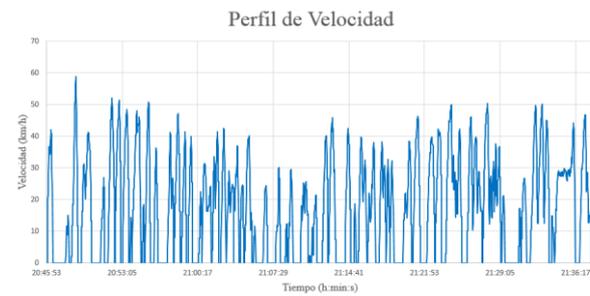


Monay IESS: Av. 24 de Mayo y c/ Cuzco, Hospital Regional (IESS), elevación: 2483 m s. n. m.

San J. de Balzay: Iglesia “San José de Balzay”, elevación: 2712 m s. n. m.

Elevación mínima: 2483 m s. n. m.

Elevación máxima: 2712 m s. n. m.



— Monay IESS - San J. de Balzay: distancia: 13.15 km, duración aproximada: 52 min

Velocidad máxima: 58.99 km/h, velocidad media: 25.53 km/h.



— San J. de Balzay - Monay IESS: distancia: 13.24 km, duración aproximada: 55 min

Velocidad máxima: 71.42 km/h, velocidad media: 24.04 km/h.



ANEXO 2

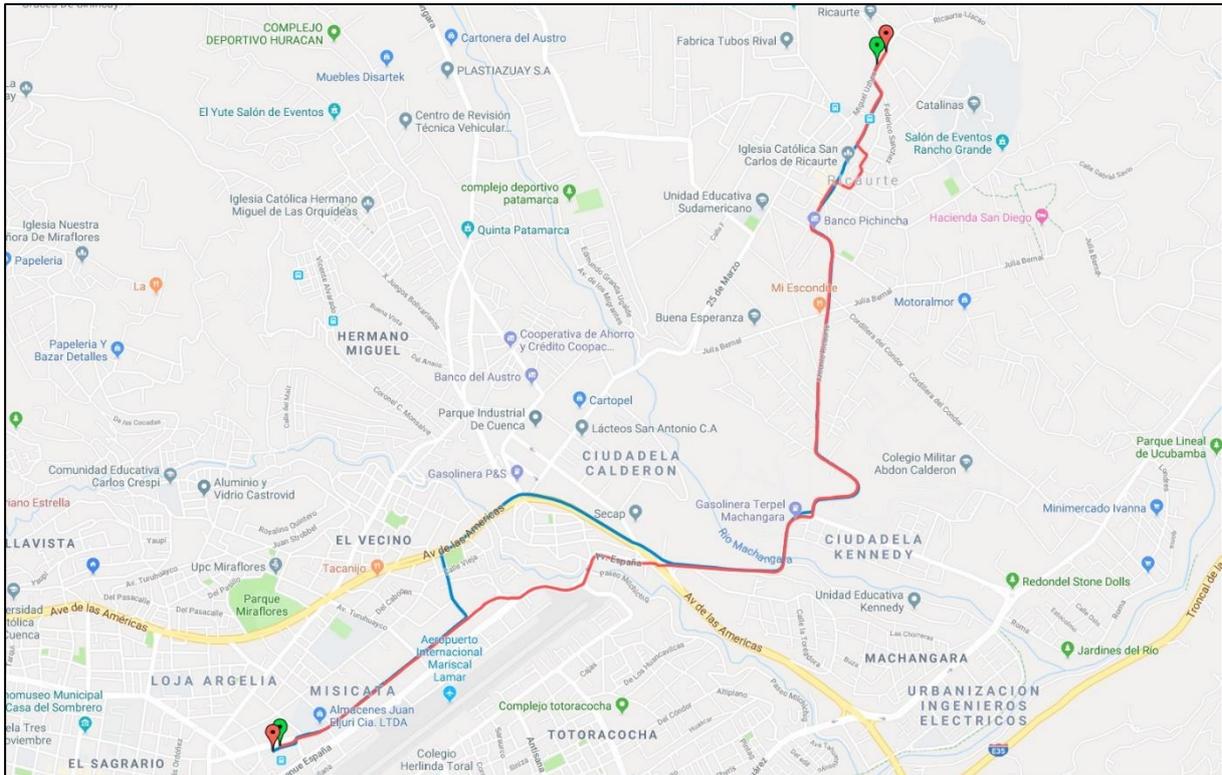
RECORRIDOS DE LAS LÍNEAS DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE ACTUALES DE CUENCA

Estadísticas, perfiles de altura y perfiles de velocidad determinadas a partir de los datos importados del GPS en las rutas actuales con autobuses a combustión interna (diésel)

Fuente: *Elaboración propia.*

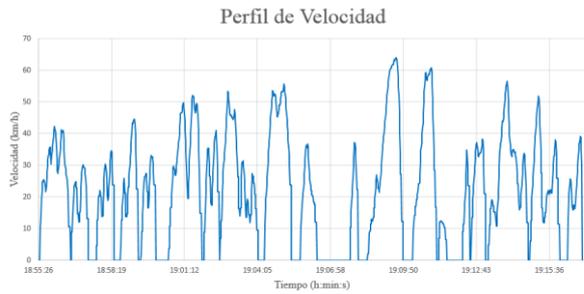


TRONCAL NORTE 100: RICAURTE - TERMINAL TERRESTRE



Ricaurte: c/ Miguel Uzhca y c/Ricaurte-El Guabo elevación: 2585 m s. n. m.

Terminal Terrestre: Estación de Transferencia del Terminal Terrestre, elevación: 2558 m s. n. m.
Elevación mínima: 2495 m s. n. m. Elevación máxima: 2585 m s. n. m.



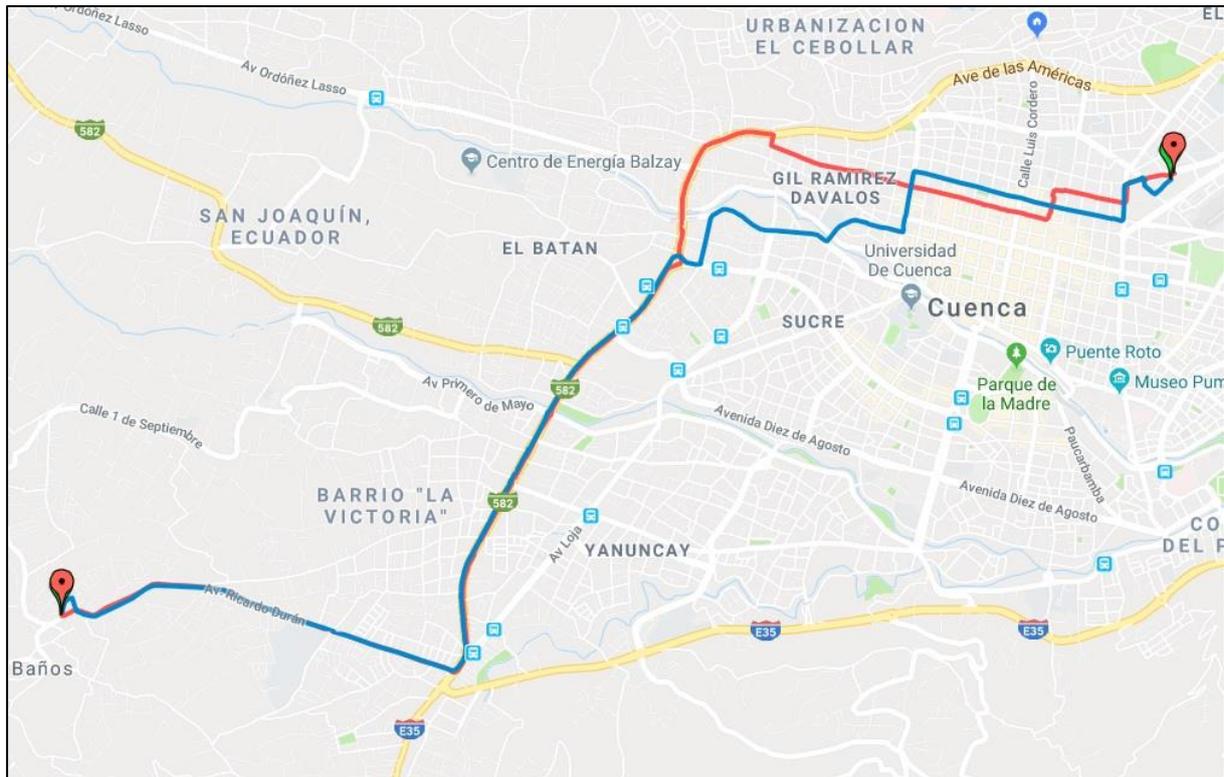
— **Ricaurte - Terminal Terrestre:** distancia: 7.15 km, duración aproximada: 22 min
Velocidad máxima: 63.93 km/h, velocidad media: 29.26 km/h.



— **Terminal Terrestre - Ricaurte:** distancia: 6.78 km, duración aproximada: 22 min
Velocidad máxima: 62.76 km/h, velocidad media: 29.68 km/h.



TRONCAL NORTE 100: TERMINAL TERRESTRE - BAÑOS

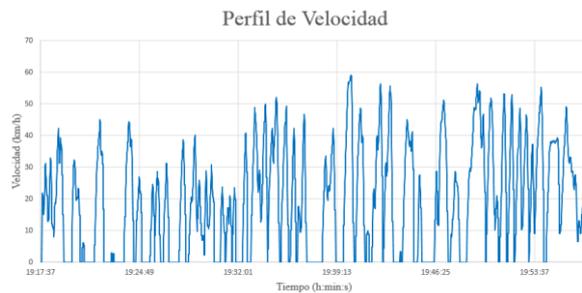


Terminal Terrestre: Estación de Transferencia del Terminal Terrestre, elevación: 2558 m s. n. m.

Baños: Iglesia de “Baños”, elevación: 2756 m s. n. m.

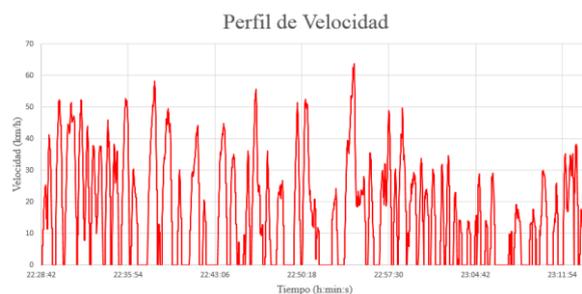
Elevación mínima: 2558 m s. n. m.

Elevación máxima: 2756 m s. n. m.



— **Terminal Terrestre - Baños:** distancia: 11.34 km, duración aproximada: 40 min

Velocidad máxima: 59.08 km/h, velocidad media: 27.11 km/h.

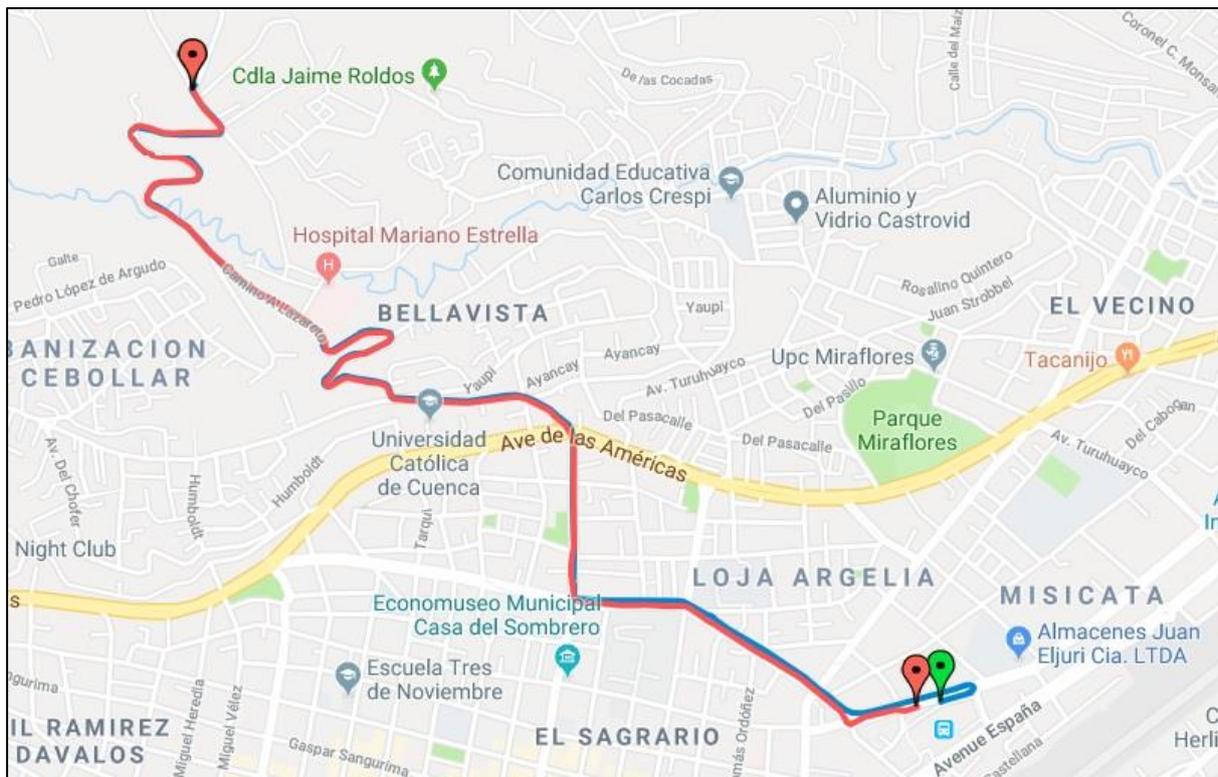


— **Baños - Terminal Terrestre:** distancia: 11.27 km, duración aproximada: 45 min

Velocidad máxima: 63.82 km/h, velocidad media: 25.34 km/h.



TRONCAL NORTE 101: YANATURO - E.T. TERMINAL TERRESTRE



Yanaturo: Sector Yanaturo, elevación: 2691 m s. n. m.

Terminal Terrestre: Estación de Transferencia del Terminal Terrestre, elevación: 2561 m s. n. m.
Elevación mínima: 2557 m s. n. m. Elevación máxima: 2691 m s. n. m.



— **Yanaturo - Terminal Terrestre:** distancia: 4.35 km, duración aproximada: 16 min
Velocidad máxima: 52.23 km/h, velocidad media: 24.56 km/h.



— **Terminal Terrestre - Yanaturo:** distancia: 4.7 km, duración aproximada: 21 min
Velocidad máxima: 47.38 km/h, velocidad media: 24.34 km/h.



ANEXO 3

TABLA DE INFORMACIÓN ADQUIRIDA SOBRE LAS LÍNEAS CONVENCIONALES Y DEL SIT ACTUALES DE CUENCA

Información sobre horarios, número de vueltas diarias, frecuencia de paso y sitio de pernocte de las unidades, obtenidas a partir de encuestas

Fuente: *Elaboración propia.*



ANEXO 3

| LÍNEA | RUTA | EMPRESA | LUNES - VIERNES | | SÁBADO | | DOMINGO | | TIEMPO DE CAMBIO DE VUELTA | FREC. DE PASO | Gal - \$ Combust. /día | # de buses | SITIO DE PERNOCTE DE AUTOBUSES DE LA EMPRESA |
|-------|---------------------------|--|-----------------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------------------|---------------|------------------------|------------|--|
| | | | Vueltas al día | Horario | Vueltas al día | Horario | Vueltas al día | Horario | | | | | |
| 1 | Sayausí - Eucaliptos | Comtranutome Comcuetu Lancomtri Uncómetro Ricaurte | 7 | 06:00 a. m. 10:00 p. m. | 5 | 06:00 a. m. 08:00 p. m. | 5 | 06:00 a. m. 08:00 p. m. | 20 - 30 minutos | 10 minutos | \$ 25 - 30 | 18 | Terminal Terrestre |
| 2 | Totoracocha - Feria Libre | Turismo Baños | 6 | 06:00 a. m. 05:30 p. m. | 5 | 06:35 a. m. 04:00 p. m. | 4 | 07:00 a. m. 02:00 p. m. | 20 minutos | 15 minutos | \$ 25 - 28 | 10 | Sede Turismo Baños (Pachángara) |
| 3 | Sayausí - Eucaliptos | Comcuetu | 6 | 06:00 a. m. 08:00 p. m. | 5 | 06:00 a. m. 06:20 p. m. | 5 | 06:00 a. m. 06:20 p. m. | 25 - 30 minutos | 10 minutos | \$ 26 | 20 | Av. Ordoñez Lasso y Agustín Sánchez |
| 5 | Totoracocha - Control Sur | Lancomtri | 8 | 06:00 a. m. 10:10 p. m. | 8 | 06:00 a. m. 10:30 p. m. | 6 | 06:00 a. m. 07:30 p. m. | 20 - 25 minutos | 8 minutos | \$ 25 - 31 | 19 | Vía Monay - Baguanchi |
| 6 | Mayancela - 9 de Octubre | Urbadiez | 11 | 05:55 a. m. 08:10 p. m. | 9 | 05:55 a. m. 05:20 p. m. | 5 | 06:00 a. m. 02:40 p. m. | 20 minutos | 15 minutos | \$ 28 - 30 | 6 | Domicilio |
| 7 | Trigales - Feria Libre | Uncómetro | 7 | 05:50 a. m. 10:15 p. m. | 6 | 06:00 a. m. 08:30 p. m. | 6 | 06:00 a. m. 08:30 p. m. | 30 minutos | 6 minutos | \$ 28 - 30 | 25 | Vía a Mayancela |
| 8 | Trigales - San Joaquín | Comcuetu | 7 | 05:50 a. m. 10:00 p. m. | 6 | 06:00 a. m. 08:00 p. m. | 5 | 06:00 a. m. 07:00 p. m. | 20 minutos | 8 minutos | \$ 25 - 29 | 19 | Entrada a Balzay - Av. Ordoñez Lasso |
| 10 | Ochoa León - Feria Libre | Uncómetro | 6 | 05:45 a. m. 09:00 p. m. | 4 | 06:00 a. m. 07:00 p. m. | 4 | 06:00 a. m. 07:00 p. m. | 25 - 30 minutos | 20 minutos | \$ 28 - 30 | 9 | Final Uncovía - Vía a Mayancela |



ANEXO 3

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------|--------------------------------------|--------------|---|----------------------------|---|----------------------------|---|----------------------------|--------------------|---------------|------------|----|--|
| 12 | Baños - Quinta Chica | Ricaurte | 7 | 06:00 a. m. 10:00 p. m. | 5 | 06:00 a. m. 08:00 p. m. | 5 | 06:00 a. m. 08:00 p. m. | 15 - 20 minutos | 5 minutos | \$ 30 | 20 | Capulispamba - Frente a Río Alto |
| 13 | Bosque de Monay - Mall del Río | Comtranutome | 4 | 05:50 a. m. 09:15 p. m. | 3 | 06:00 a. m. 06:00 p. m. | 3 | 06:00 a. m. 06:00 p. m. | 15 - 20 minutos | 14 minutos | \$ 29 - 30 | 11 | Terminal Terrestre |
| 13 - 2 | Bosque de Monay - Tejar | Comtranutome | 4 | 06:00 a. m. 09:20 p. m. | 3 | 06:00 a. m. 06:15 p. m. | 3 | 06:00 a. m. 06:15 p. m. | 20 minutos | 14 minutos | \$ 28 - 30 | 11 | Domicilio |
| 14 | El Valle - Feria Libre | Comcuetu | 7 | 06:00 a. m. 07:00 p. m. | 6 | 06:00 a. m. 06:00 p. m. | 6 | 06:00 a. m. 06:00 p. m. | 25 - 30 minutos | 6 minutos | \$ 28 - 30 | 20 | Av. Ordoñez Lasso |
| 15 | Monay - Feria Libre | Comtranutome | 6 | 06:00 a. m. 08:10 p. m. | 5 | 05:50 a. m. 06:00 p. m. | 5 | 06:00 a. m. 06:00 p. m. | 20 minutos | 10 minutos | \$ 25 - 28 | 13 | Chauillacamba - Panamericana Norte |
| 16 | San Pedro - Monay | Lancomtri | 7 | 05:55 a. m. 09:45 | 5 | 05:50 a. m. 08:00 p. m. | 5 | 05:50 a. m. 08:00 p. m. | 15 - 20 minutos | 8 minutos | \$ 26 - 32 | 18 | Emilio Sarmiento (Vía Monay - Baguanchi) |
| 17 | Feria Libre - 10 de Agosto | Urbadiez | 6 | 05:45 a. m. 08:20 p. m. | 5 | 05:45 a. m. 07:00 p. m. | 4 | 05:45 a. m. 02:45 p. m. | 10 - 15 minutos | 15 minutos | \$ 28 - 30 | 8 | Domicilio |
| 18 | Zhucay - Técnico | Urbadiez | 6 | 05:50 a. m. 09:00 p. m. | 5 | 05:50 a. m. 07:00 p. m. | 5 | 05:50 a. m. 06:45 p. m. | 20 - 25 minutos | 6 minutos | \$ 27 - 30 | 15 | Domicilio |
| 19 | Católica - San Joaquín | Comtranutome | 6 | 06:15 a. m. 07:50 p. m. | 5 | 06:00 a. m. 04:35 p. m. | 5 | 06:00 a. m. 03:20 p. m. | 10 - 15 minutos | 10 minutos | \$ 25 - 30 | 15 | Domicilio |



ANEXO 3

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---|---------------|---|----------------------------|---|----------------------------|---|----------------------------|--------------------|---------------|--------------|----|-------------------------------------|
| 20 | San Pedro - Cdla. Kennedy | Lancomtri | 6 | 06:00 a. m. 07:50 p. m. | 5 | 06:00 a. m. 06:30 p. m. | 5 | 06:00 a. m. 06:30 p. m. | 25 minutos | 10 minutos | \$ 29 - 30 | 18 | Vía Monay - Baguanchi |
| 22 | Salesianos - Gapal | Comtranutome | 7 | 05:45 a. m. 10:00 p. m. | 6 | 05:50 a. m. 08:45 p. m. | 6 | 06:00 a. m. 08:15 p. m. | 10 - 15 minutos | 5 minutos | \$ 28 - 30 | 29 | Terminal Terrestre |
| 24 | Cochapamba - Miraflores | Comcuetu | 6 | 06:00 a. m. 09:30 p. m. | 5 | 06:00 a. m. 07:15 p. m. | 5 | 06:00 a. m. 07:15 p. m. | 15 - 20 minutos | 10 minutos | \$ 27 -29 | 20 | Domicilio |
| 25 | J. Roldós - Sta. María del Vergel | Turismo Baños | 6 | 06:00 a. m. 07:35 p. m. | 5 | 06:00 a. m. 06:50 p. m. | 5 | 06:00 a. m. 05:30 p. m. | 25 - 30 minutos | 15 minutos | \$30 | 9 | Baños - Caballo Campana |
| 26 | Checa - Mercado 27 de Febrero | Uncómetro | 6 | 05:55 a. m. 08:45 p. m. | 5 | 06:00 a. m. 07:15 p. m. | 5 | 06:00 a. m. 07:15 p. m. | 10 - 15 minutos | 20 minutos | \$ 27 - 30 | 9 | Vía a Mayancela |
| 27 | Sinincay - Huizhil | Turismo Baños | 6 | 05:45 a. m. 07:50 p. m. | 5 | 05:45 a. m. 06:40 p. m. | 5 | 05:45 a. m. 06:40 p. m. | 15 - 20 minutos | 8 minutos | \$ 27 - 29 | 17 | Baños - 27 de diciembre y Faelos |
| 28 | Sidcay - Feria Libre | Comtranutome | 6 | 06:10 a. m. 09:45 p. m. | 5 | 05:55 a. m. 07:00 p. m. | 5 | 05:55 a. m. 07:00 p. m. | 15 - 20 minutos | 8 minutos | \$ 30 | 9 | Domicilio |
| 28 -2 | Chaullabamba - Feria Libre | Comtranutome | 6 | 06:00 a. m. 09:35 p. m. | 5 | 05:50 a. m. 07:00 p. m. | 5 | 05:50 a. m. 07:00 p. m. | 20 minutos | 8 minutos | \$ 29 - 31 | 9 | Terminal Terrestre |
| 50 | Monay IESS - San J. de Balzay | Ricaurte | 6 | 06:45 a. m. 07:15 p. m. | 5 | 06:00 a. m. 06:00 p. m. | 5 | 06:00 a. m. 06:00 p. m. | 20 - 25 minutos | 10 minutos | \$ 27 - \$29 | 12 | Capulispamba |



ANEXO 3

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------------------------|---|----|----------------------------|----|----------------------------|----|----------------------------|-----------------|------------|------------|----|-----------|
| 100 | Ricaurte - Baños | Comtranutome Comcuetu Lancomtri Uncómetro Ricaurte Turismo Baños Urbadiez | 7 | 05:45 a. m. 10:00 p. m. | 6 | 05:50 a. m. 09:00 p. m. | 6 | 05:50 a. m. 09:00 p. m. | 15 - 20 minutos | 5 minutos | \$ 29 - 30 | 32 | Varios |
| 101 | Terminal Terrestre - Yanaturo | Varias | 14 | 05:55 a. m. 08:00 p. m. | 12 | 06:00 a. m. 07:00 p. m. | 12 | 06:00 a. m. 07:00 p. m. | 10 - 15 minutos | 20 minutos | \$ 25 - 27 | 3 | Domicilio |

Se observa que la mayoría de líneas empiezan su recorrido entre 05:45 a. m. y 06:00 a. m., teniendo así diferentes horarios y frecuencia de paso.

Además el tiempo de espera para el cambio de vuelta de las unidades se encuentra entre 10 y 30 minutos, lo que podría ser utilizado para recargar parciales durante el día de operación de autobuses.

También, el consumo diario de combustible (diésel) está entre 25 a 32 dólares diarios, y algunas unidades de transporte que son de diferente marca (Mercedes Benz) estos utilizan entre 50 a 60 dólares de combustible cada 2 días.

El total de autobuses que se encuentran en operación durante un día es de aproximadamente 421 unidades de transporte, teniendo el resto de unidades en el sistema de transporte restante y las demás en respaldo o en mantenimiento.

El lugar de pernocte de autobuses en su mayoría son dispuestos en el domicilio de cada dueño de la unidad, ya que los patios de estacionamiento de cada empresa no dispone de suficiente espacio para colocar todos los autobuses.

