Universidad Nacional de Loja

Facultad de la energía, las industrias y los recursos naturales no renovables

Carrera de Ingeniería en Mecánica Automotriz

Estimación del consumo energético de buses urbanos en rutas preestablecidas en la ciudad de Loja

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero en Mecánica Automotriz

AUTOR:

Bryan Alexander Panchana Torres

DIRECTOR:

Ing. Jairo Darío Castillo Calderón Mg. Sc

LOJA – ECUADOR

2023

Educamos para Transformar

Certificación

Loja, 13 de enero de 2023

Ing. Jairo Darío Castillo Calderón Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación de denominado: **Estimación del consumo energético de buses urbanos en rutas preestablecidas en la ciudad de Loja,** previo a la obtención del título de **Ingeniero Mecánico Automotriz,** de la autoría del estudiante **Bryan Alexander Panchana Torres,** con **cédula de identidad** Nro. **1725036097,** una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Firmado electrónicamente por:
JAIRO DARIO
CASTILLO
CALDERON

Ing. Jairo Darío Castillo Calderón, Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Bryan Alexander Panchana Torres,** declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi trabajo de titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma: Firmado electrónicamente por: BRYAN ALEXANDER PANCHANA TORRES

Cédula de identidad: 1725036097

Fecha: 02 de enero 2023

Correo electrónico: bryan.panchana@unl.edu.ec / bpanchanatorres@gmail.com

Teléfono: 0982380230

Carta de autorización por parte del autor, para la consulta, reproducción parcial o total y publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Bryan Alexander Panchana Torres,** declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Estimación del consumo energético de buses urbanos en rutas preestablecidas en la ciudad de Loja,** como requisito para optar el título de **Ingeniero en Mecánica Automotriz,** autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los tres días del mes de febrero del dos mil veintitrés.

Firma: Firmado electrónicamente por: BRYAN ALEXANDER PANCHANA TORRES

Autor: Bryan Alexander Panchana Torres

Cédula: 1725036097

Dirección: Celica – Algarrobillo

Correo: bryan.panchana@unl.edu.ec / bpanchanatorres@gmail.com

Teléfono: 0982380230

DATOS COMPLEMEENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Jairo Darío Castillo Calderón Mg. Sc.

Dedicatoria

Dedico mi Trabajo de Titulación primeramente a mi familia por ser la estructura de mi vida

Mis padres Luis y Ligia por haberme brindado su paciencia y apoyo incondicional en cada momento, que sin su guía no sería la persona que soy hoy en día.

A mis hermanas Paola y Carolina por acompañarme en los momentos difíciles de mi vida.

A mi sobrino Mathias por ser el motor que me motiva a ser mejor cada día.

A la memoria de mi abuelita Salomé, que fue apoyo fundamental en mi carrera universitaria.

Bryan Alexander Panchana Torres

Agradecimiento

Agradezco a mis padres Luis y Ligia, por el esfuerzo dedicado para culminar mis estudios universitarios y lograr alcanzar mis sueños. A mis hermanas Paola y Carolina por alentarme en seguir adelante. A mi sobrino Mathias por ser la luz de nuestra familia. A mis abuelitos por su sabiduría y sus consejos.

A los docentes que conforman la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz, por el esfuerzo dado en cada una de sus cátedras, que me permitieron crecer cada día más, y especialmente a mi director de Trabajo de Titulación el Ing. Jairo Castillo Calderón quien fue la guía y la mente detrás de esta investigación y me permitió conseguir los resultados para sacar adelante esta investigación.

Bryan Alexander Panchana Torres

Índice de Contenidos

Portada…..... I
Certificación……II
Autoría……..III
Carta de autorización……...IV
Dedicatoria…….. V
Agradecimiento.....VI
1. Titulo..... 1
2. Resumen..... 2
2.1 Abstract 3
3. Introducción 4
4. Marco teórico 5
4.1 Contexto local del transporte público 5
4.2 Parque Automotor en la Ciudad de Loja 6
4.3 Niveles de contaminación de buses en la ciudad de Loja 6
4.5 Obligaciones del operador del vehículo de transporte..... 8
4.6 Sistema intermodal de transporte urbano (SITU) 8
4.6.1 Línea L2 (Argelia – Sauces Norte) 10
4.7 Consumo de combustible de vehículos del sistema de transporte masivo 12
4.7.1 Consumo de combustible en el sector de transporte a nivel mundial 12
4.8 Consumo energético en vehículos 13
4.8.1 Consumo energético en Ecuador 13
4.8.2 Consumo energético por transporte en Ecuador. 14
4.9 Consumo energético en la provincia de Loja..... 15
4.10 Emisiones de gases contaminantes..... 15
4.11 Ciclos de conducción 16
4.12 Prueba Coast Down..... 17
4.13 Dinámica longitudinal del automóvil 18
4.14 Fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo..... 18
4.14.1 Resistencia a la rodadura..... 19
4.14.2 Resistencia aerodinámica 20
4.14.3 Resistencia de pendiente 21
4.14.4 Resistencia por inercia 22
4.15 Par en rueda 23
4.16 Potencia en rueda..... 23
4.17 Energía en rueda 23
5 Metodología..... 25

5.1 Instrumentación y Monitorización 25
5.2 Proceso de Adquisición de datos 26
5.3 Definición de la base de datos 27
5.4 Corrección del perfil de altura 27
5.5 Parámetros involucrados en el cálculo de energía de tracción. 28
5.6 Desarrollo de la prueba Coast Down 31
5.6.1 Equipo de monitoreo. 31
5.6.2 Lugar 31
5.6.3 Desarrollo del cálculo. 34
5.6.4 Optimización 34
5.7 Resumen de las variables para el cálculo de la demanda energética. 36
5.8 Cálculo de la fuerza de tracción en rueda 36
5.9 Consumo energético positivo en rueda 37
5.9.1 Cálculo de energía positiva para cada fuerza 38
5.9.2 Obtención del ciclo de conducción típico 39
6 Resultados 41
6.1 Prueba Coast Down 41
6.2 Coeficiente de determinación de la prueba Coast Down 43
6.3 Desaceleración de la Prueba Coast Down 44
6.4 Resultado del coeficiente de resistencia aerodinámica 45
6.5 Resultado del coeficiente de resistencia a la rodadura. 46
6.6 Resultado del TDC para la línea L2 46
6.7 Resultado del TDC para la línea L8 51
6.8 Cálculo del TDC para la línea L11 55
7 Discusión 61
8 Conclusiones 63
9 Recomendaciones 64
10 Bibliografía 65
11 Anexos 68

Índice de Figuras:

Figura 1. Número de vehículos en la ciudad de **L**oja por categorías. 6
Figura 2. Puntos de mayor afluencia vehicular en la ciudad de Loja..... 7
Figura 3. Porcentaje de la demanda energética a nivel mundial..... 13
Figura 4. Variación de la demanda de energía en Ecuador por sector. 14
Figura 5. Demanda de energía en Ecuador por tipo de transporte. 14
Figura 6. Demanda de energética por sector..... 15
Figura 7. Fuerzas internas que se oponen al movimiento del vehículo..... 19
Figura 8. Distribución de las fuerzas normales y la resistencia a la rodadura entre los neumáticos y la calzada..... 20
Figura 9. Coeficientes de resistencia aerodinámica en varios tipos de perfiles de vehículos. 21
Figura 10. Fuerza de pendiente en el vehículo..... 22
Figura 11. Flujograma del proceso de adquisición de datos. 26
Figura 12. Flujograma del proceso para de almacenamiento de datos..... 27
Figura 13. Filtro de umbral de distancia del punto de seguimiento del GPS Visualizer. 27
Figura 14. Parámetros de la herramienta GPS Visualizer..... 28
Figura 15. Obtención del área del bus mediante el software Inventor..... 29
Figura 16. Nomenclatura del neumático del bus Hino AK..... 30
Figura 17. Lugar de la prueba Coast Down. 32
Figura 18. Flujograma de las condiciones ambientales de la prueba Coast Down..... 32
Figura 19. Flujograma para el proceso de la prueba Coast Down. 33
Figura 20. Flujograma del cálculo de la prueba Coast Down..... 34
Figura 21. Configuración de parámetros de la herramienta Solver en Excel..... 35
Figura 22. Flujograma para el proceso de la prueba Coast Down. 36
Figura 23. Flujograma para obtener la fuerza de tracción..... 37
Figura 24. Flujograma para obtener el consumo energético..... 38
Figura 25. Flujograma para el proceso del cálculo de energía positiva para cada fuerza. .. 39

Índice de Tablas:

Tabla 1. Total de líneas disponibles del consorcio de transporte de la ciudad de Loja. 5
Tabla 2. Puntos de mayor afluencia vehicular en la ciudad de Loja 7
Tabla 3. Cantidad promedio de vehículos en sectores con más afluencia de tráfico. 8
Tabla 4. Generalidades de la Ruta L2 Argelia – Sauces Norte. 11
Tabla 5. Generalidades de la Ruta L8 Ciudad Victoria - Carigan 11
Tabla 6. Generalidades de la Ruta L11 Tierras Coloradas – Bolonia. 12
Tabla 7. Especificaciones técnicas del bus HINO AK. 25
Tabla 8. Especificaciones de la aplicación Torque Pro. 26
Tabla 9. Número de pasajeros promedio de las líneas estudiadas. 28
Tabla 10. Masa del vehículo de cada línea. 29
Tabla 11. Variables necesarias para la prueba Coast Down. 33
Tabla 12. Variables para el cálculo del consumo energético. 36
Tabla 13. Resultado de los valores optimizados de la velocidad. 41
Tabla 14. Curvas de la velocidad lineal medida y calculada en función del tiempo. 41
Tabla 15. Valores del coeficiente de determinación de la prueba Coast Down. 43
Tabla 16. Desaceleración medida de la prueba Coast Down. 44
Tabla 17. Resultado del coeficiente de resistencia Aerodinámico. 45
Tabla 18. Resultado del coeficiente de resistencia a la rodadura. 46
Tabla 19. Ponderación de las energías de las fuerzas resultantes del trayecto de ida. 46
Tabla 20. Ponderación de las energías de las fuerzas resultantes del trayecto de vuelta. .. 47
Tabla 21. Representación gráfica de varios parámetros del TDC de la línea L2. 48
Tabla 22. Resumen de la ruta L2. 50
Tabla 23. Resultado del consumo de energías del ciclo de conducción representativo de la ruta L2. 50
Tabla 24. Energía positiva y negativa en rueda del TDC de la línea L2. 51
Tabla 25. Ponderación de las energías de las fuerzas resultantes del trayecto de ida. 51
Tabla 26. Ponderación de las energías de las fuerzas resultantes del trayecto de vuelta. .. 52
Tabla 27. Representación gráfica de varios parámetros del TDC de la línea L8. 53
Tabla 28. Resumen de la ruta L8, trayecto de ida. 54
Tabla 29. Resultado del consumo de energías del ciclo de conducción representativo de la ruta L8. 55
Tabla 30. Energía positiva y negativa en rueda del TDC de la línea L8. 55
Tabla 31. Ponderación de las energías de las fuerzas resultantes del trayecto de ida. 55
Tabla 32. Ponderación de las energías de las fuerzas resultantes del trayecto de vuelta. .. 56
Tabla 33. Representación gráfica de varios parámetros del TDC de la línea L11. 57
Tabla 34. Resumen de la ruta L11. 59

Tabla 35. Resultado del consumo de energías del ciclo de conducción representativo de la ruta L11..... 59

Tabla 36. Energía positiva y negativa en rueda del TDC de la línea L11. 60

Índice de Anexos:

Anexo 1. Parada inicial de la línea L2 “Universidad Nacional de Loja” 68
Anexo 2. Parada final de la línea L2 “Salida Sauces Norte” 68
Anexo 3. Parada inicial de la línea L8 “Despacho de Ciudad Victoria”..... 69
Anexo 4. Parada final de la línea L8 “Despacho de Carigan”..... 69
Anexo 5. Parada inicial de la línea L11 “Bolonia”..... 70
Anexo 6. Parada final de la línea L11 “Despacho Tierras Coloradas”..... 70
Anexo 7. Número de pasajeros de la Línea L2..... 71
Anexo 8. Número de pasajeros de la Línea L8..... 71
Anexo 9. Número de pasajeros de la Línea L11..... 72
Anexo 10. Hoja de prueba Coast Down..... 73
Anexo 11. Certificación de traducción del Abstract..... 74

1. Titulo

Estimación del consumo energético de buses urbanos en rutas preestablecidas en la ciudad de Loja.

2. Resumen

Se presenta los cálculos para la estimación del consumo energético en buses urbanos con más afluencia de pasajeros de la ciudad de Loja, correspondientes a las líneas L2 (Argelia - Sauces Norte), L8 (Ciudad Victoria – Carigan), L11 (Bolonia – Tierras Coloradas). La investigación inicia con la recopilación de la base de datos mediante la monitorización de las unidades o buses de la marca Hino, modelo AK, desde el inicio del recorrido hasta el final del mismo, con la aplicación para celular (Torque Pro), de la cual se obtuvo los datos de, altitud, latitud, longitud y velocidad, a una frecuencia de muestreo de 1 Hz. El monitoreo se realiza durante 25 viajes de ida y vuelta por cada ruta.

Para la obtención de los coeficientes de arrastre dinámico y el de resistencia a la rodadura, se realizó la prueba de medición de la carga de la carretera usando la técnica de descenso llamada Coast Down, y un posterior proceso de optimización usando el método de gradiente generalizado no lineal.

Una vez establecida la base de datos, se realizó el cálculo del consumo o demanda energética de tracción, en función de la dinámica longitudinal del vehículo.

Los resultados obtenidos de la prueba Coast Down se tiene un coeficiente de resistencia aerodinámico o Cd de 0.772 ± 0.00583 y un coeficiente de resistencia a la rodadura fr de 0.0907 ± 0.0233. El análisis del consumo energético para cada una de las líneas implicadas en el estudio, son determinadas por las condiciones de la trayectoria del recorrido y demás factores, obteniendo que el consumo energético para la línea L2 fue de 25.71 kWh, para la línea L8 un consumo energético de 50.36 kWh y para la línea L11 un consumo energético de 48.77 kWh.

Palabras Clave: Consumo energético, prueba Coast Down, ciclos de conducción, aplicación Torque Pro.

2.1 Abstract

Calculations are presented for the estimation of energy consumption in urban buses with the highest influx of passengers in the city of Loja, corresponding to lines L2 (Argelia - Sauces Norte), L8 (Ciudad Victoria - Carigan), L11 (Bolonia - Tierras Coloradas). The investigation begins with the compilation of the database by monitoring the units or buses of the Hino brand, model AK, from the beginning of the journey to the end of it, with the application for cell phones (Torque Pro), of which the data of, altitude, latitude, longitude and speed were obtained, at a frequency of 1 Hz. The monitoring is carried out during 25 round trips for each route.

To obtain the dynamic drag coefficients and rolling resistance; the road load measurement test was carried out using the descent technique called Coast Down and a subsequent optimization process using the generalized gradient method no linear.

Once the database was established the calculation of traction energy consumption or demand was made based on the longitudinal dynamics of the vehicle.

The results obtained from the Coast Down test show an aerodynamic drag coefficient or Cd of 0.772 ± 0.00583 and a rolling resistance coefficient fr of 0.0907 ± 0.0233. The analysis of energy consumption for each of the lines involved in the study is determined by the conditions of the route and other factors, obtaining that the energy consumption for line L2 was 25.71 kWh, for line L8 a consumption energy consumption of 50.36 kWh and line L11 an energy consumption of 48.77 kWh.

Keywords: Energy consumption, try Coast Down, driving cycles, torque application pro.

3. Introducción

La movilidad en el transporte urbano masivo a nivel mundial es uno de los medios más utilizados actualmente, por lo cual es importante comprender el nivel de impacto que tiene en el ambiente ya que la mayoría de estos vehículos poseen un motor de combustión interna, según la Agencia de Protección Ambiental (EPA) países como Estado Unidos, Brasil, India, México lideran los índices más grandes de contaminación ambiental (Cooper, 2018), así mismo el sector automotor tiene los crecimientos de energía más rápidos, representando a nivel mundial el 81% de la demanda energética.

Por otro lado, las emisiones contaminantes de gases de escape a nivel nacional en Ecuador se destaca la contaminación por metano por parte del transporte masivo a diésel teniendo así que en el año 2020 los buses tuvieron una emisión de gases de efecto invernadero de 64 toneladas al año de metano (CH_4) (Balseca et al., 2021). En la provincia de Loja la emisión de gases contaminantes por dióxido de carbono por parte de los buses urbanos fue de 45.4 toneladas al año. Así mismo en la provincia de Loja en el año 2021 el consumo de energía destinada al transporte fue de 49.2% (Mendoza et al., s/f). Ante estos antecedentes la necesidad de un estudio energético en buses urbanos de la provincia de Loja es necesaria ya que permitirá a los transportistas a mejorar su desempeño en ruta, y a posibles optimizaciones para la flota vehicular. Además que a partir de esta investigación y los resultados de la misma se puede proponer nuevos temas a fines a este campo de investigación.

4. Marco Teórico

4.1 Contexto local del transporte público

La ciudad de Loja en los últimos años ha tenido un considerable crecimiento de población junto con el desarrollo económico, lo cual conlleva a una mayor intervención de las autoridades para una mejor organización dentro de la ciudad, por ende, un servicio básico para el desarrollo de la ciudad de Loja es el sistema de transporte urbano, ya que, gracias a este posibilita a la ciudadanía a movilizarse a diferentes lugares para cumplir sus actividades.

En la ciudad de Loja no hubo una organización como tal, que garantice un buen servicio de transporte urbano que sea legalizado por el estado, ya que existían cooperativas y compañías de transportes que trabajaban de manera individual, dando como resultado una ineficiencia en el sistema de transporte urbano. Por lo cual, el 13 de septiembre del 2006 el concejo cantonal aprobó la ordenanza de la creación de un Sistema Integrado de Transporte Urbano en la ciudad de Loja (SITU), la cual se reformó el 26 de julio del 2007 y el 17 de octubre del 2008, y finalmente la ordenanza que fija las tarifas de transporte intracantonal o urbano fue aprobada el 07 de noviembre de 2014 ("ORDENANZA QUE REGULA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA INTERMODAL DE TRANSPORTE URBANO EN EL CANTON DE LOJA," 2018).

El SITU oficialmente entra en vigencia desde el 18 de noviembre del 2015, la cual se conformó por varias operadoras y cooperativas, entre las cuales tenemos 24 de Mayo, Cuxibamba, Transurbasur y Urbaexpress que se unen formando un solo consorcio, con el objetivo de implementar un sistema de caja común (Alvarado, 2015). Las líneas de transporte urbano asignadas por el consorcio de trasportistas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Total de líneas disponibles del consorcio de transporte de la ciudad de Loja.

Líneas	Rutas
L1	PITAS – EL ROSAL
L2	SAUCES – ARGELIA
L4	BORJA – ISIDRO AYORA
L5	COLINAS LOJANAS – ZAMORA HUAYCO
L7	MOTUPE – PUNZARA
L8	CIUDAD VICTORIA – CARIGAN
L10	SAUCES NORTE – JULIO ORDOÑEZ
L11	BOLONIA – TIERRAS COLORADAS
L12	SOL DE LOS ANDES – EL PARAISO

Nota. líneas disponibles del sistema intermodal de transporte urbano.

Las cuatro operadoras están subdivididas en grupos, el primer grupo está conformado por las líneas L2, L8 y L11 identificados con el color verde, los modelos de estas unidades deben tener una antigüedad de 5 años, esto se debe a que estas líneas de transporte son las más trascurridas, ya que, sus rutas son estratégicas para la movilidad en la ciudad.

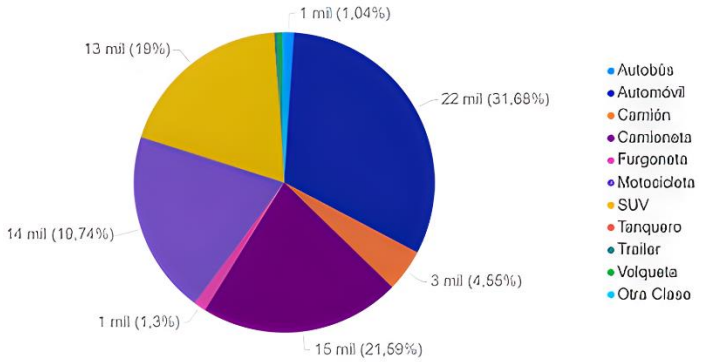
Mientras que el segundo grupo conformado por las líneas restantes e identificados de color rojo, estas unidades pueden pasar de una antigüedad de 5 años, ya que, no tiene una mayor afluencia de pasajeros en sus rutas (Alvarado, 2018).

4.2 Parque Automotor en la Ciudad de Loja

El parque automotor en la ciudad de Loja ha tenido un incremento en los últimos años ya que, según la jefatura de matriculación vehicular del municipio de Loja, para el año 2020 se constatan 70 757 vehículos matriculados, de los cuales se estima 36 000 transitan permanentemente en la ciudad, lo que genera una tasa de motorización para el cantón Loja de 135 vehículos para cada habitante, dando como resultado una tasa de crecimiento vehicular anual promedio del 6.3% (INEC, 2021). En la Figura 1 se muestra el número de vehículos por categoría, según las estadísticas de matriculación vehicular del 2020 en la ciudad de Loja.

Figura 1

Número de vehículos en la ciudad de Loja por categorías.



Nota. Tomado de "*Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC)".*

4.3 Niveles de contaminación de buses en la ciudad de Loja

En las nueve líneas de transporte público de la ciudad de Loja hay un total de 234 buses conformados por cuatro operadoras, de estos el 78.63% de los buses tienen una capacidad de 75 pasajeros, en donde diariamente se movilizan 149 739 usuarios.

En la ciudad de Loja en el año 2017, el parque automotor emitió a la atmosfera 208 920 ton CO2/año, y al día 572 385 ton CO2. De los cuales el bus urbano emite 124.4 Kg de

CO2 y 45.4 ton CO2/año, como se muestra en la Tabla 2 son los buses los que aportan los valores más significativos (Caraballo et al., 2019).

Tabla 2

Emisión de dióxido de carbono por categoría del vehículo en la ciudad de Loja en 2017.

Categoría	Kg CO2/día	Ton CO2/año
Particular (29750)	11.6	4.2
Taxis convencionales (1212)	88.0	32.1
Taxis ejecutivos (466)	88.0	32.1
Taxis eléctricos (50)	0.0	0.0
Busetas de transporte escolar (175)	12.5	4.6
Buses urbanos, rural e intercantonal (257)	124.4	45.4
Camionetas cabina sencilla (265)	16.5	6.0
Camionetas doble cabina (185)	16.5	6.0
Nuevos (1325)	11.6	4.2
Motos (1652)	4.1	1.5
Públicos (842)	19.3	7.1

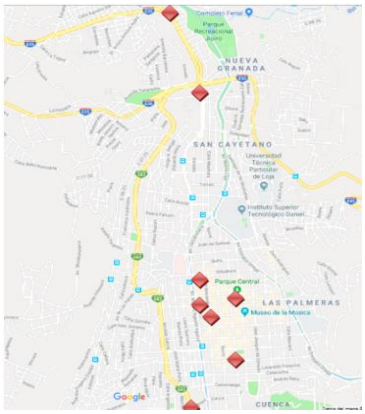
Nota. Adaptado de "*Emisión de dióxido de carbono de vehículos automotores en la ciudad de Loja, Ecuador*" (p. 19), por (Caraballo et al., 2019), Cedamaz.

4.4 Tráfico en la ciudad de Loja

Según (Caraballo et al., 2019) el mayor aforo de vehículos en Loja, realizado mediante la observación directa en horas pico, en un horario establecido de 06:45 a 7:45, el segundo de 12:00 a 13:00, y por ultimo de 17:30 a 18:30, esto con un registro de muestreo de ocho semanas, en los puntos indicados en la Figura 2.

Figura 2

Puntos de mayor afluencia vehicular en la ciudad de Loja.



Nota. Tomado de "*Emisión de dióxido de carbono de vehículos automotores en la ciudad de Loja*, *Ecuador*" (p. 16), por (Caraballo et al., 2019), Cedamaz.

En el año 2019 se realizó un total de 5 000 encuestas en el centro de la ciudad, en entradas y salidas de la ciudad de Loja, para determinar las zonas con mayor nivel de concentración de vehículos, en la Tabla 3 se muestra las calles y avenidas más transitadas de la ciudad de Loja (Jhonattan et al., 2019).

Tabla 3

Cantidad promedio de vehículos en sectores con más afluencia de tráfico.

Sector	Número de vehículos
Terminal	3 065
Av. Universitaria y Rocafuerte	1 490
Av. Cuxibamba y Guaranda	1 448
Calle Colon y Bernardo Valdivieso	603
Calle 10 de Agosto y Bernardo Valdivieso	488

Nota: Adaptado de "*Modelos de ordenación del tráfico de la ciudad de Loja*", por (Jhonattan et al., 2019), Ciencia.

Bajo este contexto, y en visto de que es desconocido, el presente trabajo de investigación busca implementar una metodología para poder estimar el consumo energético de los buses con mayor afluencia de usuarios de la ciudad de Loja. Este proyecto de investigación es una partida para futuras investigaciones enfocadas en esta dirección.

4.5 Obligaciones del operador del vehículo de transporte

Según la ordenanza de (SITU, 2018), en el artículo 47 menciona las obligaciones de los conductores de los buses de transporte urbano son detener la marcha del vehículo completamente en cada punto de parada, no poner en marcha el vehículo hasta que desciendan o asciendan la totalidad de los pasajeros y se suban las rampas y se cierren las puertas, cuidar del equipo tecnológico instalado, cuidar que el vehículo tenga todas las luces reglamentarias, no dar marcha atrás salvo que sea absolutamente indispensable, avisar cambio de dirección con los direccionales, no abandonar el vehículo salvo que sea de fuerza mayor, evitar discusiones y conversaciones con los pasajeros, no participar en el correteo con las demás unidades generando excesos de velocidad, no llevar pasajeros aglomerados en la puerta, atender de manera preferencial a (niños, mujeres embarazadas, adultos mayores, y personas con discapacidad), (SITU, 2018).

4.6 Sistema intermodal de transporte urbano (SITU)

Una de las bases fundamentales que tiene el sistema de transporte urbano dentro de la sociedad es la libre movilidad urbana, la cual se realizara de una manera confortable, segura, inclusiva y económica precautelando así la salud del usuario y la del medio ambiente.

La prioridad que tiene el sistema de transporte público masivo de personas esta dado por los operadores de las unidades de transporte, a cambio de una prestación económica para solventar los costos de operación y el mantenimiento de las unidades, por lo cual, el valor de la tarifa debe considerar varios parámetros y buscando un equilibrio de la oferta y la demanda dependiendo los niveles de servicio (Loja, 2018,p. 1).

Debido a la gran expansión de territorio de la población que ha tenido la ciudad de Loja a lo largo de los años, se ha tenido que optar con la alternativa de incrementar más rutas con el fin de mejorar y tener un servicio más ordenado de transporte público. Estas operaciones son controladas y reguladas por la municipalidad a través de la Ordenanza de Creación del SITU, cumplen ordenanzas como las tarifas fijas, implementos tecnológicos y normativas que garantice al usuario tener una movilidad segura e inclusiva.

La unidad municipal de transporte terrestre menciona que el servicio de transporte urbano en Loja ofrece 234 unidades, las cuales pertenecen a cuatro operadoras o cooperativas tales como la Cooperativa 24 de Mayo, Cooperativa Cuxibamba, Compañía Urbaexpress y Compañía Urbasur. Formando así un total de 9 líneas de transporte además de cubrir un total de 149.739 pasajeros diarios.

De acuerdo al informe técnico Nro. 019-UMTTTSV-W-J-2014, la tarifa para el servicio de transporte es de 30 centavos de dólar con una tasa interna de 17.64% y considerando que el 22% de los pasajeros tienen derecho a una tarifa diferenciada, finalmente el valor de tarifa única actual es de 30 centavos de dólar, y tarifa especial de 15 centavos de dólar (ORDENANZA QUE FIJA LAS TARIFAS DE TRANSPORTE INTERCANTONAL O URBANO EN EL CANTÓN LOJA, 2014).

Para mejorar la calidad del servicio de transporte urbano en la ciudad de Loja el municipio exige los siguientes parámetros, que se pueden encontrar en la ordenanza que fija las tarifas de transporte intercantonal o urbano en el cantón Loja.

Artículo 3.- Consorcio Único: Las cooperativas y compañías de transporte urbano que operan en el cantón Loja, deberán constituirse obligatoriamente en un solo consorcio o persona jurídica, con el objeto de garantizar la prestación continua del servicio público de transporte.

Artículo 4.- Caja Común: La persona jurídica que se constituya de conformidad con el artículo 3, operará obligatoriamente bajo el sistema de caja común. Cuya administración estará a cargo de ésta (Consorcio), y la distribución de valores bajo el control de un fideicomiso.

Artículo 5.- Unidades nuevas: Todos los vehículos que operen en la ruta troncal serán nuevos, y se renovarán de manera constante una vez concluido el plazo para que el que estén autorizados.

Artículo 6.- Paradas: En las paradas de buses de la ruta troncal se implementará un sistema de tablero electrónico que permita saber la hora de llegada de cada unidad a la que se instalará un sistema de posicionamiento global o GPS; con lo cual se garantiza la plena vigencia del Sistema Integrado de Transporte Urbano, SITU.

La unidad de transporte terrestre en colaboración con la entidad de tránsito y seguridad vial establecen un servicio de prestación para el transporte urbano, las cuales deberán constar en el campo de ruta o trayecto, por ejemplo, tener una calzada en buenas condiciones con sus señaléticas, una ruta establecida, especificación de número de buses que garanticen un servicio diurno y nocturno, paradas de ascenso y descenso de pasajeros ("ORDENANZA QUE REGULA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA INTERMODAL DE TRANSPORTE URBANO SITU EN EL CANTÓN DE LOJA," 2018).

El consorcio de transportistas de la ciudad de Loja, junto con las operadoras y el propietario de la unidad de transporte deben equipar los buses con tecnología de información y comunicación TIC´s, además de adquirir un software y hardware necesario para con el fin de mejorar el servicio y que son necesarios para el funcionamiento de varios sistemas de apoyo como el sistema de recaudo SIR, sistema de video vigilancia SIVIG, sistema de información al usuario SIU, la implementación de estas tecnologías deberá constar con un acceso informático para el monitoreo y control en tiempo real de la flota de buses (SITU, 2018).

4.6.1 Línea L2 (Argelia – Sauces Norte)

La línea L2 tiene como inicio de ruta la parada de la "Universidad Nacional de Loja", Anexo 1, y al final de su trayecto la parada "Salida Sauces Norte", Anexo 2. En la Tabla 4 se puede observar las características generales y la vista satelital de la ruta. El trayecto de la ruta L2 recorre las principales avenidas y calles de la ciudad de norte a sur.

Tabla 4

Generalidades de la Ruta L2 Argelia – Sauces Norte.

Mapa de la ruta L2 Argelia – Sauces Norte	Características	Designación
	Número de paradas	35
	Recorrido total	12.8 km
	Duración de viaje	35 min
	Horario de operación	05h45 – 21h32
	Tiempo de espera entre ruta y ruta	15 min
	Nro. De buses que cubren la ruta	12
	Nro. De viajes que cubren diariamente	8

Nota. Adaptado de Moovit Ltd, 2021.

4.6.2 Línea L8 (Ciudad Victoria – Carigan)

La línea L8 tiene como inicio de ruta la parada “Despacho de Ciudad Victoria”, Anexo 3 y al final de su trayecto la parada “Despacho de Carigan”, Anexo 4. En la Tabla 5 se puede observar las características generales y la vista satelital de la ruta. El trayecto de la ruta L8 recorre las principales avenidas y barrios a los exteriores del centro de la ciudad.

Tabla 5

Generalidades de la Ruta L8 Ciudad Victoria - Carigan

Mapa de la ruta L8 Ciudad Victoria – Carigan	Características	Designación
	Número de paradas	43
	Recorrido total	20 km
	Duración de viaje	51 min
	Horario de operación	06h09 – 19h45
	Tiempo de espera entre ruta y ruta	15 min
	Nro. De buses que cubren la ruta	8
	Nro. De viajes que cubren diariamente	5

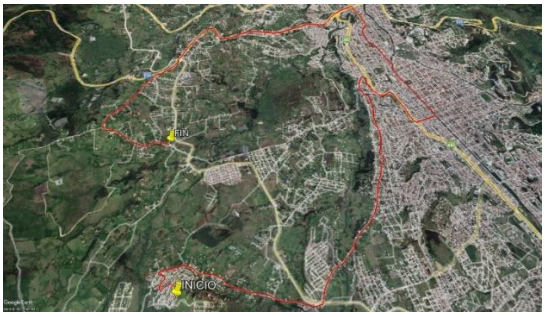
Nota. Adaptado de Moovit Ltd, 2021.

4.6.3 Línea L11 (Bolonia – Tierras Coloradas)

La línea L11 tiene como inicio de ruta la parada “Bolonia”, Anexo 5 y al final de su trayecto la parada “Despacho Tierras Coloradas”, Anexo 6. En la Tabla 6 se puede observar las características generales y la vista satelital de la ruta. El trayecto de la ruta L11 recorre las principales avenidas y barrios a los exteriores de la ciudad de Loja.

Tabla 6

Generalidades de la Ruta L11 Tierras Coloradas – Bolonia.

Mapa de la ruta L11 Tierras Coloradas - Bolonia	Características	Designación
	Número de paradas	36
	Recorrido total	18 km
	Duración de viaje	45 min
	Horario de operación	06h00 – 20h40
	Tiempo de espera entre ruta y ruta	15 min
	Nro. De buses que cubren la ruta	7
	Nro. De viajes que cubren diariamente	5

Nota. Adaptado de Moovit Ltd, 2021.

4.7 Consumo de combustible de vehículos del sistema de transporte masivo

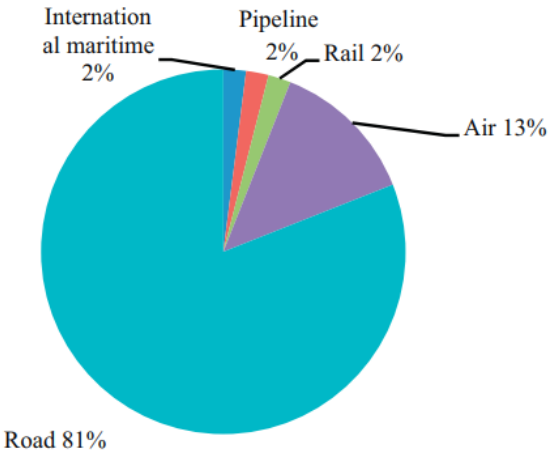
El ciclo de trabajo cerrado de un motor a diésel usa el aire con presión atmosférica mediante sistemas sobrealimentados, debido a la inyección del combustible el cual se enciende por la alta compresión de aire, debido a esto el motor diésel requiere de una mayor cantidad de aire para compensar las malas condiciones de la mezcla, dando como resultado el encendido de la mezcla muy rápidamente (Estudio et al., 2007).

4.7.1 Consumo de combustible en el sector de transporte a nivel mundial

El sector de transporte es uno de los mayores consumidores de energía a nivel mundial después del sector industrial, el transporte abarca vehículos como automóviles, microbuses, buses, motocicletas, furgonetas, destinadas por lo general para el transporte de las personas, por lo cual los vehículos de carretera dominan el consumo mundial del petróleo, el sector automotor tiene uno de los crecimientos de energía más rápidos, ya que representa el 81% de la demanda de energía (Kreuzer & Wilmsmeier, 2014).

Figura 3

Porcentaje de la demanda energética a nivel mundial.



Nota. Adaptado de "*Renewable and Sustainable Energy Reviews*" (p.4), A. Atabani, et al, Elservier.

4.8 Consumo energético en vehículos

Actualmente el consumo energético y una dependencia de los combustibles fósiles para la movilidad de las personas a través de los sistemas de transportes, abarca tanto medidas económicas para el país, así como medidas ambientales de emisiones contaminantes por parte de los vehículos de motor de combustión interna, esto genera un desafío para el desarrollo económico y ambiental.

El crecimiento de combustibles fósiles como el carbón, gas y petróleo representa un 80% del total de la matriz energética mientras que el restante de energía con un 20% provenientes de fuentes como nucleares, biomasa, hidroelectricidad, etc. (Ferrari, 2013, p. 37).

En la actualidad la movilidad de las personas representa un 20% de la energía consumida a nivel mundial además de ser la responsable en una cuarta parte de las emisiones de CO2 relacionadas directamente al consumo de energía, debido a la dependencia del petróleo por parte del sistema de transporte como consecuencia tenemos la emisión de gases contaminantes, por lo que es importante saber el detalle del consumo energético para lograr una mayor eficiencia en el sistema de transporte (Kreuzer & Wilmsmeier, 2014, p. 21).

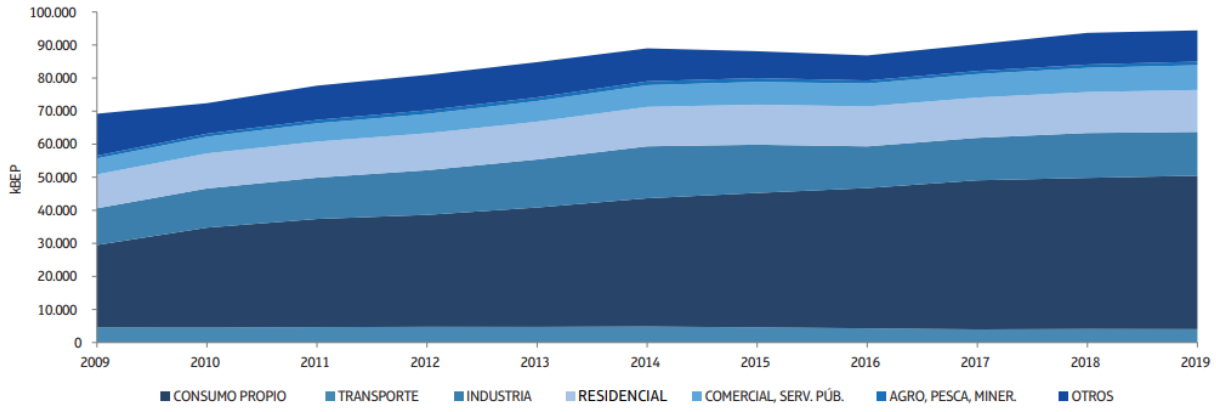
4.8.1 Consumo energético en Ecuador

La demanda energética en Ecuador se incrementó 36.2%, pasando de 69 millones BEP (valor equivalente de petróleo) en 2009 a 94 millones de BEP para el 2019, de acuerdo a la tendencia histórica, el sector de transporte es el mayor demandante de energía en los

últimos diez años; con un valor promedio de 37.9 millones de BEP, como se muestra en la Figura 4 (Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIEG), 2019).

Figura 4

Variación de la demanda de energía en Ecuador por sector.



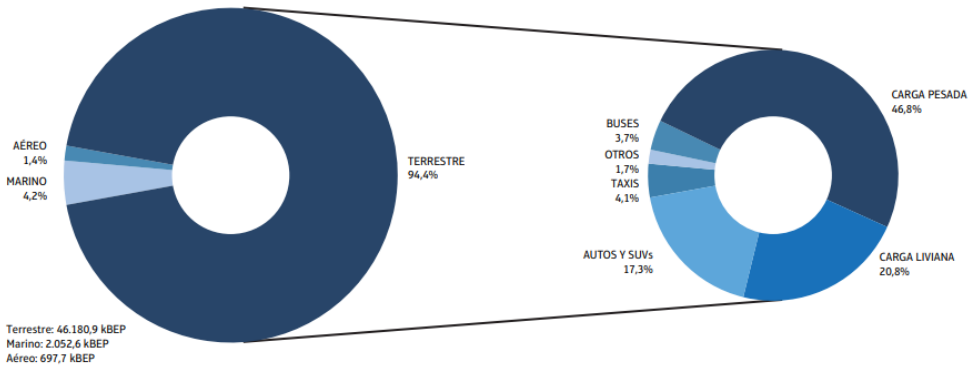
Nota. Tomado de "*Balance energético nacional 2019*" *(p. 26), por* (IIGE, 2019), Ministerio de energía y recursos naturales no renovables.

4.8.2 Consumo energético por transporte en Ecuador.

El sector del transporte terrestre tiene una demanda de 94.4% del total, siendo el segmento de mayor participación el transporte de carga pesada el 46.8%, por otro lado, el transporte marítimo consume el 4.2%, y el transporte aéreo el 1.4%. La Figura 5 se muestra el consumo energético por tipo de transporte (IIEG, 2019).

Figura 5

Demanda de energía en Ecuador por tipo de transporte.



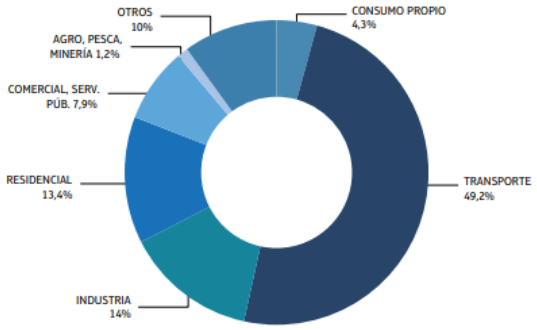
Nota. Tomado de "*Balance energético nacional 2019*" *(p. 31), por* (IIGE, 2019), Ministerio de energía y recursos naturales no renovables.

4.9 Consumo energético en la provincia de Loja

En la provincia de Loja en el año 2013 se consumió el 3% de la energía para el uso de transporte, con un total de 1.142,028 BEP; de un total de 41 millones de BEP a nivel nacional. En Loja para el año 2014 se consumieron 1.223,198 y para el 2015 se consumieron 1.178,738 BEP. En la Figura 6 se muestra el porcentaje de la demanda energética por sector (Diaz, 2017, p. 4).

Figura 6

Demanda de energética por sector.



Nota. Tomado de "*Balance energético nacional 2019*" *(p. 31), por* (IIGE, 2019), Ministerio de energía y recursos naturales no renovables.

4.10 Emisiones de gases contaminantes

Los gases contaminantes que son emitidos por los vehículos de motor de combustión interna ocasionan varios problemas de salud para las personas y efectos dañinos para el medio ambiente, entre los cuales tenemos:

Monóxido de carbono (CO)

Se genera por la combustión incompleta del combustible que contiene carbono, se caracteriza por ser un gas incoloro, inodoro, inflamable y altamente toxico.

Hidrocarburos (HC)

Este tipo de gas al igual que el monóxido de carbono aparece cuando hay un exceso de gasolina en la cámara de combustión o por falta de aire lo que se conoce como una combustión incompleta, una de las principales causas es por el taponamiento de las entradas de aire al motor o por daños en el sistema de encendido.

Óxidos de nitrógeno (NOX)

Estos gases son ocasionados por las altas temperaturas de funcionamiento de motor, que es característico de los motores diésel, en el cual se forma por el oxígeno y el nitrógeno de aire (Garcia & Villalba, 2016).

4.11 Ciclos de conducción

El ciclo de conducción es una gráfica estadística de la velocidad, considerando el tiempo y un área determinada (Belalcazar et al., 2012).

Es utilizado para evaluar el consumo de combustible y emisiones contaminantes del vehículo, sean furgonetas, camionetas, buses y motocicletas. estipulados mediante métodos ya normalizados (Peréz & Quito, 2018, p. 2).

Ciclos de conducción de buses

Las emisiones contaminantes y el consumo de combustible de los buses de transporte público, provistos de motor diésel, ha sido un problema a lo largo de los años, a pesar de las mejoras que se ha ido implementado con el tiempo. La operación de los buses es ampliamente a bajas velocidades en condiciones de “paro arranque”.

Los ciclos de conducción de buses son denominados (composite urban emissions drive cycles, CUEDC), donde, los datos son generado mediante instrumentación de vehículos Sidney, que se refiere a los patrones de velocidades típicas y manejo agresivo dentro de la ciudad (González-Oropeza, 2005).

Técnicas para el desarrollo de los ciclos de conducción.

Las variables que se consideran para la representación de la dinámica del manejo, y la obtención de un ciclo de conducción es la aceleración media (m/s^2), velocidad media (Km/h) entre otras (Belalcazar et al., 2012).

Técnica de persecución del vehículo

Consiste en el uso de un vehículo uno, denominado “caza” y un vehículo dos, denominado “objetivo”, en donde el vehículo uno trata de emular la conducción del vehículo dos, dentro de una ruta determinada. Si el vehículo dos se sale de la ruta, el vehículo uno deberá iniciar otro seguimiento.

Esta técnica no se recomienda realizarla a vehículos de transporte público como buses, taxis, etc. Por el riesgo que conlleva (Peréz & Quito, 2018, p. 20).

Técnica On - Board

Esta técnica consiste en el uso de instrumentación adecuada para la recolección y almacenamiento de información de operación, obteniendo datos reales de conducción respecto al tiempo, aceleración, velocidad, distancia, etc. (Quinchimbla Pisuña & Solís Santamaría, 2017, p. 15).

4.12 Prueba Coast Down

La norma SAE J2263 es el método que se utiliza para realizar el método de Coast Down, el cual se fundamenta en determinar el coeficiente de arrastre (Cd) y la resistencia a la rodadura (fr) y el área frontal del vehículo (Af) del vehículo, este método conocido como técnica de desaceleración libre, consiste en llevar el vehículo a una velocidad de 100 [km/h] con el motor desacoplado es decir en marcha neutral, hasta que el vehículo se detenga completamente, los datos se tomaran de un dispositivo que utilice el sistema de posicionamiento global (GPS). El cual permitirá tomar los datos de la velocidad y la distancia recorrida en el rodaje libre (Guitierréz & Valarezo, 2018).

Requisitos previos para la prueba Coast Down

Los requisitos o condiciones son fundamentales para que la prueba se realiza de una manera satisfactoria de acuerdo con la normativa SAE J2263.

Las pruebas se realizarán con una temperatura ambiente promedio de 5 °C a 35 °C, la prueba no se podrá realizar en condiciones de neblina.

No se podrá realizar la prueba cuando la velocidad del viento promedio sea mayor a 16 km/h, o cuando la velocidad máxima del viento sea más de 20 km/h, el camino de prueba no excederá de 8 km/h.

La carretera deberá estar seca, limpia, además la pendiente no deberá exceder el 5% y debe ser constante y lo más recta posible ya que de lo contrario los resultados podrán ser erróneos, la carretera puede ser de asfalto laminado o de hormigón, además tendrá que estar en buenas condiciones ya que podrá verse afectado el cálculo de la resistencia a la rodadura.

Los intervalos de velocidades deberán ser amplios teniendo en cuenta la longitud de la recta, deberá incluir velocidades de 80 km/h hasta 100 km/h.

El vehículo de prueba debe haber acumulado como mínimo unos 500 km antes de realizar la prueba, se debe tomar en cuenta el kilometraje antes de comenzar la prueba.

Los neumáticos deben haber acumulado por lo mínimo 160 km, además de tener como mínimo el 75% de la profundidad original de la banda de rodadura restante. La

profundidad de la banda de rodadura deberá ser registrada en incremento de 1/32 de pulgada antes de comenzar la prueba.

Los neumáticos se inflarán a la presión recomendada por el fabricante, dependiendo las especificaciones de la placa del neumático, tomando en cuenta la diferencia entre la temperatura ambiente y la del neumático, hay que tomar registro de la presión real de inflado, ya que, la presión del neumático aumentara 1 KPa por cada 1 °C (Using, 2004).

4.13 Dinámica longitudinal del automóvil

La dinámica del movimiento de un vehículo, y las funciones que desempeña en el control de la seguridad, estabilidad y marcha del vehículo, por lo que la dinámica longitudinal se ve involucrada en los principales requisitos que se exigen en los diferentes sistemas que gobiernan el movimiento y el control del mismo, como son la estabilidad, confort y tracción (Mezquita & Dols, 2004, p. 49).

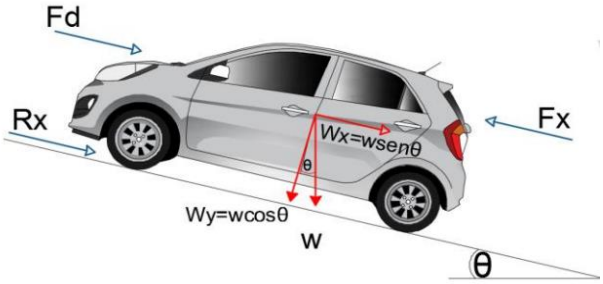
La dinámica longitudinal del vehículo está fundamentada por ecuaciones clásicas de la dinámica analítica, leyes de Newton, etc. Las fuerzas más importantes que actúan en el movimiento del vehículo son las de arrastre aerodinámico, gravitatorias, longitudinales, rodadura en las ruedas, y de resistencia (Agudelo et al., 2010).

4.14 Fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo

Según las leyes que rigen la física clásica, menciona que cualquier cuerpo que tenga un movimiento continuo y uniforme recibirá una fuerza que iguale y anule a las fuerzas que se oponen al movimiento, por lo que en un concepto ideal sin fuerzas de oposición y sin necesidad de un aporte exterior un cuerpo podría moverse con una velocidad constante. Por otra parte, la variación de velocidad de un cuerpo en movimiento lo que se conoce como aceleración, este cuerpo deberá sufrir una fuerza neta que aumente la cantidad de movimiento y la cual será positiva, por otro lado, cuando la fuerza es negativa que quiere decir que la cantidad de movimiento disminuirá, lo que se conoce como desaceleración como es el caso de la frenada de un vehículo, Estas fuerzas internas se muestran en la Figura 7 (Rafel & Zavala, 1999, p. 48).

Figura 7

Fuerzas internas que se oponen al movimiento del vehículo



Nota. Adaptado de "*Fundamentals of vehicle Dynamics*" (p.519), T. Gilliespe, Warrendale.

La fuerza de tracción depende de las propiedades de rigidez longitudinal del neumático, y de la suma de varias fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo las cuales son la resistencia a la rodadura, resistencia aerodinámica o de arrastre, resistencia de pendiente, resistencia por inercia. La fuerza de tracción que viene dada por la ecuación (1) (Tobar & Torres, 2017).

$$Fx = Rx + Fd + Rg + Ri \tag{1}$$

En donde:

Fx = Fuerza de tracción [N]

Rx = Fuerza de resistencia a la rodadura [N]

Fd = Fuerza de arrastre [N]

Rg = Fuerza resistente por pendiente [N]

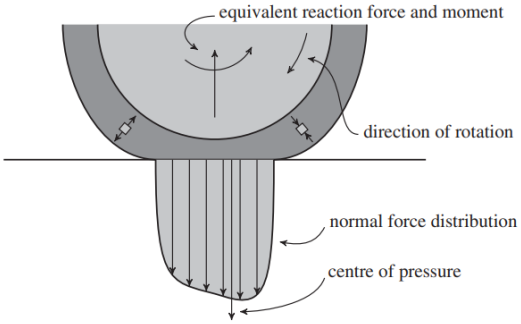
Ri = Fuerza resistente a la inercia [N]

4.14.1 Resistencia a la rodadura

La resistencia a la rodadura se da específicamente entre el neumático y el suelo o la calzada, como se muestra en la Figura 8, el giro del neumático en el suelo genera una fuerza longitudinal conocida como resistencia de rodadura, esta fuerza es opuesta a la dirección del movimiento y es proporcional a la fuerza normal sobre la huella del neumático, este parámetro de resistencia a la rodadura no es constante y además depende de varios factores como la velocidad de los neumáticos, la presión de inflado, curvatura de los ángulos y el deslizamiento lateral. También depende de unos factores externos como el desgaste de los neumáticos, temperatura, propiedades mecánicas, tamaño, carga, fuerzas de conducción y de freno y por último el estado de la calzada o carretera (Jazar, n.d. p. 63).

Figura 8

Distribución de las fuerzas normales y la resistencia a la rodadura entre los neumáticos y la calzada



Nota. Adaptado de "*Fundamentals of Vehicle Dynamics and Modelling*" (p.5), B. Minaker, Wiley.

La variable para el cálculo de la resistencia a la rodadura viene dada por la ecuación (2).

$$Rx = Fr.\ M\ .g\ .Cos\theta \tag{2}$$

En donde:

Rx = Fuerza de resistencia a la rodadura [N]

Fr = Coeficiente de rodadura [-]

M = Masa $[Kg]$

g = Gravedad $[m/s^2]$

θ = Pendiente $[Grados]$

4.14.2 Resistencia aerodinámica

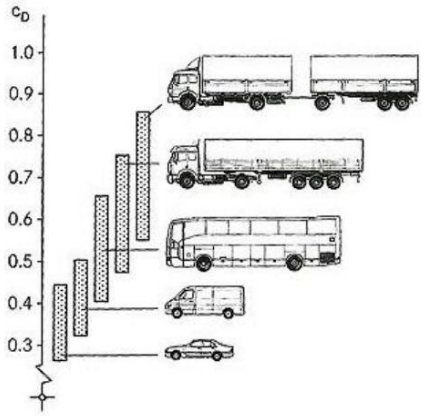
Conocida también como fuerza de arrastre ocurre cuando el vehículo se somete a fuerzas longitudinales resultado de la aceleración o del frenado con el fin de compensar las fuerzas de arrastre del viento longitudinal o de pendientes sean estas de subida o de bajada, por ende, se producirá una transferencia de carga hacia atrás o hacia adelante (Pacejka, 2012, p. 49).

El coeficiente de arrastre es el resultado de la oposición del aire hacia el vehículo, este parámetro depende de la forma y del tamaño del vehículo, además de la dirección y densidad del aire e inclusive la fuerza del viento. En la Figura 9 se puede mostrar los coeficientes de varios perfiles, donde se supone, que el aire que se acerca a la carrocería no tiene componente lateral hay que tener en cuenta que la placa plana simple tiene un

coeficiente de arrastre de 1.95, esto significa que la fuerza de arrastre es 1.95 veces mayor a la dinámica (Gillespie, 1992, p. 98).

Figura 9

Coeficientes de resistencia aerodinámica en varios tipos de perfiles de vehículos.



Nota. Adaptado de "*Análisis Aerodinámico regional mediante Técnicas de CFD un semirremolque tipo plataforma y su incidencia con el consumo de combustible*" (p.27), J. Salvador, Universidad Nacional Sek.

El coeficiente de arrastre se determina experimentalmente mediante pruebas de túnel de viento o pruebas de inercia, y está definida por la ecuación (3).

$$Fd = \frac{1}{2} Cd \,.\, \rho \,.\, A \,.\, V^2 \tag{3}$$

En donde:

Fd = Fuerza de arrastre $[N]$

Cd = Coeficiente de arrastre [-]

ρ = Densidad del aire $[Kg/m^3]$

A = Área frontal $[m^2]$

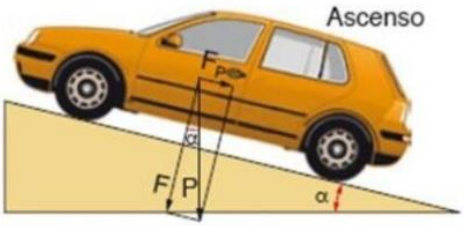
V = Velocidad $[m/s]$

4.14.3 Resistencia de pendiente

La fuerza resistente debido a la variación de la pendiente depende principalmente del perfil de la calzada y de la masa del vehículo, como se muestra en la Figura 10 el vehículo requiere de una mayor fuerza de propulsión para vencer la resistencia resultante de la pendiente, por ende, es necesario requerir de una mayor potencia por parte del motor para evitar un descenso de la velocidad y compensar la potencia para compensar la pendiente (Ramírez, 2017).

Figura 10

Fuerza de pendiente en el vehículo.



Nota. Adaptado de "*Estudio de la dinámica de tracción de un vehículo eléctrico*" (p.298), E, Salazar.

La contribución directa del esfuerzo de frenado sobre la pendiente de la carretera se dará en dos formas una positiva que quiere decir cuesta arriba y negativa que es cuesta abajo, la pendiente es la que define el trayecto de subida a lo largo de la carrera es decir la distancia vertical sobre la horizontal, la cual viene dada por la ecuación (4) (Fundamentals of Vehicle Dynamics by Thomas D. Gillespie, n.d. p. 50).

$$Rg = M \,.\, g \,.\, sen\theta \tag{4}$$

En donde:

Rg = Fuerza resistente por pendiente $[N]$

M = Masa $[Kg]$

g = Gravedad $[m/s^2]$

θ = Pendiente $[Grados]$

4.14.4 Resistencia por inercia

La resistencia por inercia se da por el movimiento de varios cuerpos en rotación que conforman el vehículo, específicamente la conformación de la línea cinemática como el motor en el cual el árbol de levas, el cigüeñal, disco de embrague y el eje de transmisión. El conjunto de estos movimientos de arrastre por inercia tiende a frenar su movimiento por rotación (Cedillo et al., 2018).

El funcionamiento propio de distintas partes del motor como la fricción entre cojinetes y engranes de transmisión y del diferencial. El efecto de resistencia por inercia es más notorio en los cambios de velocidades del vehículo, ya que se generan fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo y se lograra apreciar en aceleraciones y desaceleraciones (Fundamentals of Vehicle Dynamics by Thomas D. Gillespie, n.d. p. 49).

La resistencia por inercia viene dada por la ecuación (5)

$$Ri = M \, . \, a \tag{5}$$

En donde:

Ri = Resistencia a la inercia $[N]$

M = Masa $[Kg]$

a = Aceleración $[m/s^2]$

4.15 Par en rueda

El par en rueda es la consecuencia de la fuerza en rueda y el radio dinámico en consecuencia de la deformación y el deslizamiento del neumático, cuando se ejecuta la acción de frenado (Di Rado et al., 2013).

La ecuación del par en rueda viene dada por la ecuación (6).

$$\tau = F_x \, . \, R_d \tag{6}$$

En donde:

τ = Torque $[N * m]$

F_x = Fuerza en rueda $[N]$

R_d = Radio dinámico $[m]$

4.16 Potencia en rueda

La potencia es necesaria para vencer las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo que se desplaza longitudinalmente, y viene dada por la ecuación (7).

$$P = F_x \, . \, V \tag{7}$$

En donde:

P = Potencia $[N * m/s]$

F_x = Fuerza en rueda $[N]$

V = Velocidad $[m/s]$

4.17 Energía en rueda

La energía es el producto entre la potencia y un diferencial de tiempo, dada por la ecuación (8).

$$E = P \,.\, \Delta t \tag{8}$$

En donde:

E = Energía $[E]$

P = Potencia $[Kws]$

Δt = Diferencial de tiempo $[s]$

5. Metodología

Objeto de estudio

El consorcio de transportistas de la ciudad de Loja consta con 234 socios, con sus respectivas unidades de trabajo, de las cuales, el bus HINO AK tiene una mayor predominancia, por lo cual, la investigación se desarrollará en este vehículo. En la Tabla 7 se muestran las principales características técnicas del vehículo.

Tabla 7

Especificaciones técnicas del bus HINO AK.

Perspectiva	Especificaciones	
	Modelo/Modelo	HINO AK
	Cilindraje	7.684 cm3
	Potencia	247 Hp @ 2.500 Rpm
	Torque máximo	75.4 Kgf.m @ 1.500 Rpm
	Transmisión	Manual
	Número de marchas	6 + reversa
	Tipo de combustible	Diesel
	Tipo de inyección	Directa
	Peso bruto vehicular	14.200 kg
	Capacidad de carga	9.310 kg

Nota. Adaptado de "*grupomavesa.com.ec*", *por* (Mavesa Hino, n.d.).

Se realiza el estudio en campo, con el fin de recolectar los datos básicos para la obtención del rendimiento energético de los buses de las líneas de transportes que tiene mayor afluencia por parte de los usuarios, mismos datos que fueron proporcionados por el consorcio de transportistas urbanos de la ciudad de Loja. Ver Anexos 7, 8 y 9.

5.1 Instrumentación y Monitorización

Equipo de medición Torque Pro

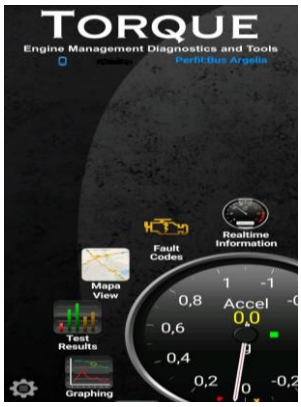
La instrumentación que se utilizó para monitorizar los buses es la aplicación para celulares Android (*Torque Pro*), esta herramienta permite obtener datos directos tales como el posicionamiento GPS, altitud, longitud, latitud y velocidad. En la Tabla 8 se muestra las características básicas de la aplicación.

La aplicación para celulares móviles *Torque Pro*, esa una herramienta que se puede usar como escáner de diagnóstico; en vehículos con adaptador OBD II, para una conexión directa con la ECU. A su vez, puede localizar y reestablecer códigos de falla DTC/CEL que ayuda a la reparación del vehículo.

La aplicación *Torque Pro*, dispone del uso del GPS, donde se puede realizar registros de seguimiento para saber la localización exacta del vehículo. La aplicación tiene compatibilidad con vehículos de marcas europeas, estadounidenses, del lejano oriente, etc. (Hawkins, 2020).

Tabla 8

Especificaciones de la aplicación Torque Pro.

Aplicación Torque Pro	Características	
	Tamaño	16M
	Versión actual	1.10.120
	Requerimineto de Android	4.1 y superior
	Empresa	Ian Hawkins
	Permisos	Localización Teléfono Archivos media Almacenamiento Conexión a internet

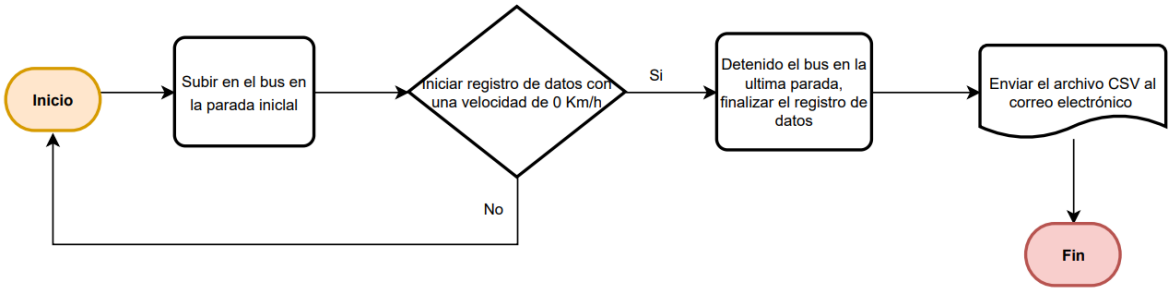
Nota. Adaptado de "*Torque Pro (OBD 2 y coche)" , por* (Hawkins, 2020), *Media Wiki*.

5.2 Proceso de Adquisición de datos

Para la adquisición de datos se registró un total de 25 rutas, tomando en cuenta que una ruta se contabiliza como una ida y vuelta de un viaje. Este proceso se realiza para todas las líneas del grupo 1. En la Figura 11 se muestra el flujograma del proceso de adquisición de datos.

Figura 11

Flujograma del proceso de adquisición de datos.



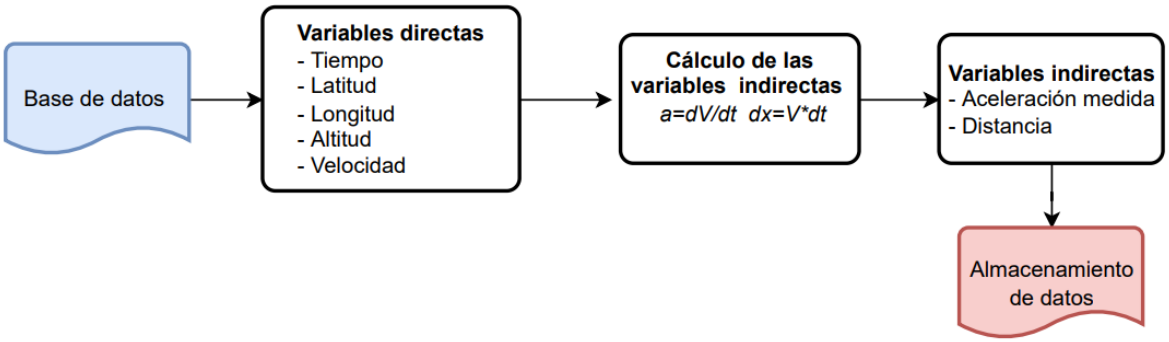
Nota. Figura realizada por el autor.

5.3 Definición de la base de datos

Dentro de las variables de interés para el cálculo del consumo energético de los buses, por parte de la aplicación de *Torque Pro,* tenemos las siguientes variables directas: el tiempo con una frecuencia de 1 Hz, posicionamiento por GPS, latitud, longitud, altitud y velocidad. Además, del cálculo de las variables indirectas como se muestra en la Figura 12.

Figura 12

Flujograma del proceso para de almacenamiento de datos.



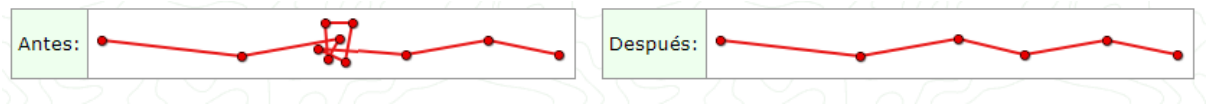
Nota. Figura realizada por el autor.

5.4 Corrección del perfil de altura

Mediante el perfil de altura podemos saber la elevación de las rutas de estudio, que permitirá llevar al cálculo del consumo energético. La corrección se realizó con la herramienta GPS Visualizer es una herramienta en línea que utiliza datos geográficos para crear mapas y perfiles de altura, donde utiliza el método denominado “umbral de distancia del punto de seguimiento” que se muestra en la Figura 13, donde examina cada punto en orden y descarta cada punto que no esté a x distancia del último punto no tomado (Adam Schneider, s/f).

Figura 13

Filtro de umbral de distancia del punto de seguimiento del GPS Visualizer.

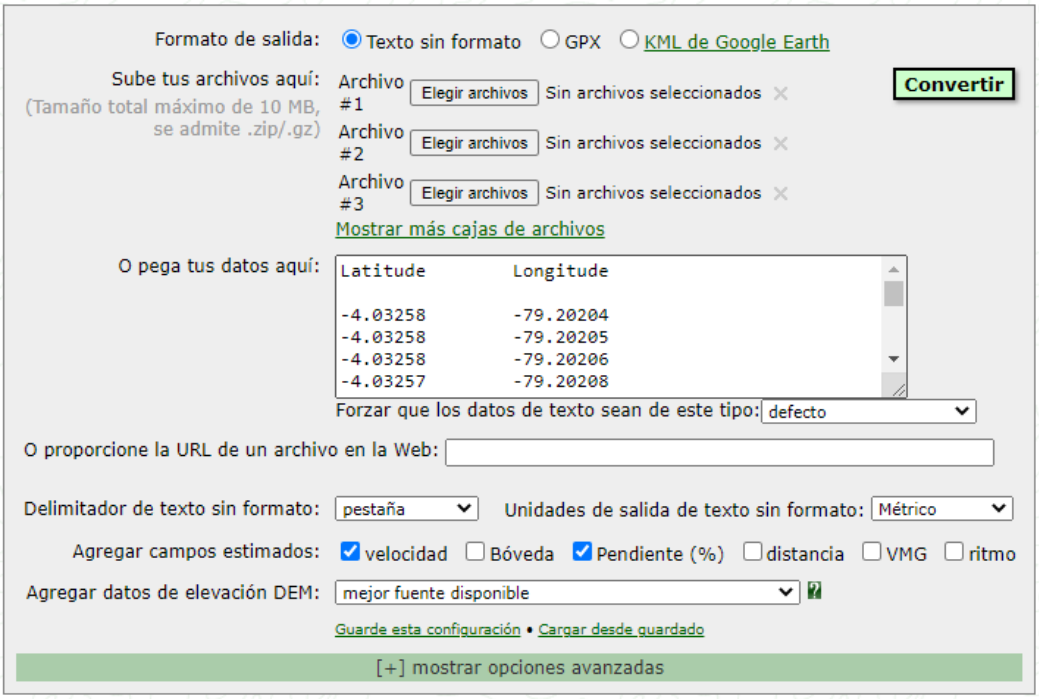


Nota. Se muestra la metodología usada por el GPS Visualizer.

En este caso, se utilizó las coordenadas de latitud y longitud del *Torque Pro,* para obtener la altitud del GPS Visualizer. En la Figura 14 se muestra las condiciones para obtener la altitud.

Figura 14

Parámetros de la herramienta GPS Visualizer.



Nota. Captura de pantalla de los parámetros del GPS Visualizer.

Con el GPS Visualizer se obtiene un archivo en formato de texto, de los cuales, arroja datos como la altitud, porcentaje de la pendiente, distancia y velocidad.

5.5 Parámetros involucrados en el cálculo de energía de tracción.

Masa del vehículo

La masa del vehículo Hino AK en vacío, de acuerdo con la ficha técnica es de 4890 kg, por lo tanto, se añade del peso de los pasajeros que fueron monitorizados por una semana por el contador de pasajeros de ciertas unidades, estos datos fueron proporcionados por el consorcio de transportistas urbanos de la ciudad de Loja. Anexo 7, 8 y 9. En la Tabla 9 se muestra el promedio total de las líneas de transporte involucradas.

Tabla 9

Número de pasajeros promedio de las líneas estudiadas.

Línea	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Promedio Total
L2	575.67	641.67	581	687	639.8	625.03
L8	752	601	625.33	535.5	543.5	611.47
L11	667.5	523.25	531	530.67	613.5	573.18

Nota. Se muestra el número de pasajeros promedio de las líneas con más afluencia en la ciudad de Loja.

La masa final que se utiliza para las operaciones, involucra el peso en vacío del vehículo, el número de vueltas de cada línea, y el peso promedio de un adulto en Ecuador que es de 70 kg según (Avila Chaurand et al., 2015). Se utilizará una masa diferente respectivamente para cada línea.

Tabla 10

Masa del vehículo de cada línea.

Línea	Operación	Masa	Unidad
L2	(625/5.5) (70) + 4 890	12 844	Kg
L8	(611/5.5) (70) + 4 890	12 666	Kg
L11	(573/5.5) (70) + 4 890	12 182	Kg

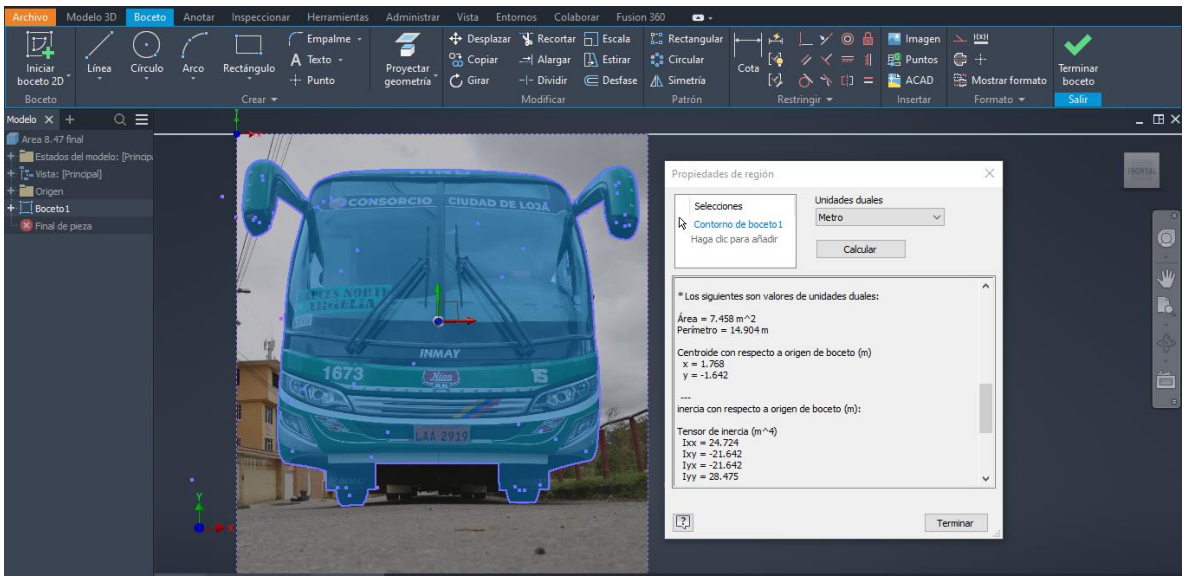
Nota. Se indica la obtención de la masa del vehículo, dependiendo el número de pasajeros.

Área frontal

El área frontal del bus Hino se la obtuvo mediante el software de diseño Inventor, a través de una fotografía tomada de la parte frontal del vehículo Hino, tomando como referencia las dimensiones del eje delantero de 2 035 mm según las especificaciones técnicas. Una vez delimitada toda la región frontal del vehículo y mediante la opción de propiedades de la región, se determina un área frontal de A = 7.46 m^2.

Figura 15

Obtención del área del bus mediante el software Inventor.



Nota. Figura realizada por el autor.

Densidad del aire

Las variables que intervienen para el cálculo de la densidad del aire es la presión atmosférica, la constante de los gases ideales y la temperatura (Huerta, 2019). En el caso de Loja la presión atmosférica es de 72485 Pa a una temperatura de 288 $°K$ (A & Por, 2015). La densidad del aire se calcula mediante la ecuación (9).

$$\rho_a = \frac{p}{R\ .\ T} = \frac{72485}{287.053\ (273+15)} = \mathbf{0.88\ Kg/m^3} \tag{9}$$

En donde:

ρ_a = Densidad del aire $[kg/m^3]$

p = Presión atmosférica $[kPa]$

R = Constante universal de gases ideas $[kPa * \frac{m^3}{kg} * °K]$

T = Temperatura del aire $[°K]$

Radio dinámico

El radio dinámico se lo determina a través del radio de rodadura estático, tomando en cuenta la designación del neumático por parte del fabricante como se observa en la Figura 16, que en este caso para el vehículo HINO AK es 295/80 R22.5

Figura 16

Nomenclatura del neumático del bus Hino AK

Nota. Fotografía del neumático del bus Hino AK.

La ecuación para el cálculo del radio estático es

$$r_{est} = 0.5\left[\left(A_{neu}\,.\,2\,.\;R_{h/a}\right) + \left(25.4\;\frac{mm}{n}\;.\,D_{rin}\right)\right] \tag{10}$$

En donde:

r_{est} = Radio estático

A_{neu} = Anchura del neumático

$R_{h/a}$ = Relación alto/ancho

D_{rin} = Diámetro del rin

Reemplazando los valores en la ecuación (11) tenemos como resultado

$$r_{est} = 0.5\left[\left(\,295\;mm\,.\,2\,.\;\;0.8\;\%\right) + \left(25.4\;\frac{mm}{n}\;.\,22.5\;in\right)\right] = \;\mathbf{521.75\;mm} \tag{11}$$

Obteniendo el resultado del radio de rodadura estático se procede a calcular el radio dinámico, cuyo valor se encuentra entre el 96 y 98 por ciento del radio estático, obteniendo como resultado el valor de la ecuación (12).

$$r_d = (r_{est} * 0.97)/1000 = \mathbf{0.51\;m} \tag{12}$$

5.6 Desarrollo de la prueba Coast Down

5.6.1 Equipo de monitoreo.

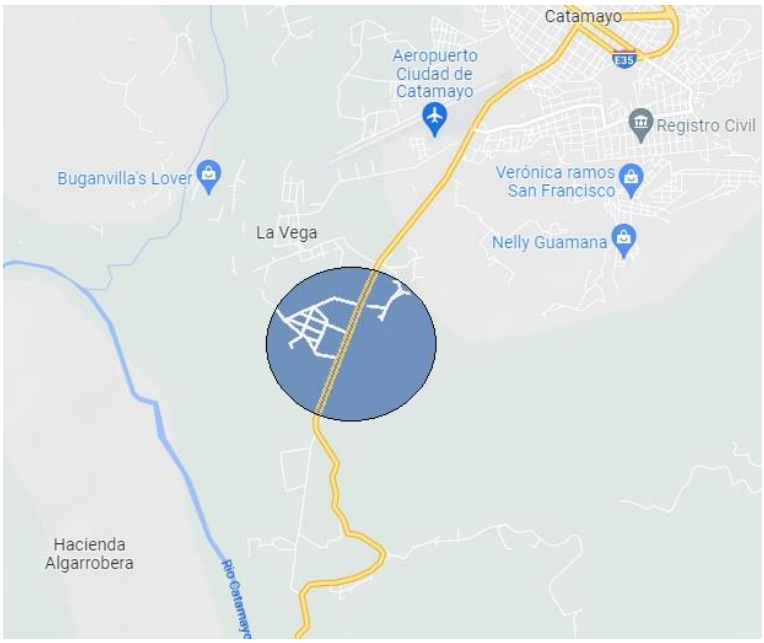
La prueba es realizada bajo la norma SAEJ2263. En primera instancia el equipo de medición que se utiliza es la aplicación *Torque Pro*, características se puede ver en la Tabla 8, con el fin de obtener las variables medibles como el tiempo, latitud, longitud, y velocidad.

5.6.2 Lugar

La prueba de descenso Coast Down se realizó en el cantón de Catamayo de la provincia de Loja en la vía Catamayo – Gonzanama con latitud -4.0088, longitud -79.37532 y latitud -4.02077, longitud -79.38008. En la Figura 17 se muestra la vía en la que se desarrolló la prueba con una distancia de 1.45 kilómetros.

Figura 17

Lugar de la prueba Coast Down.

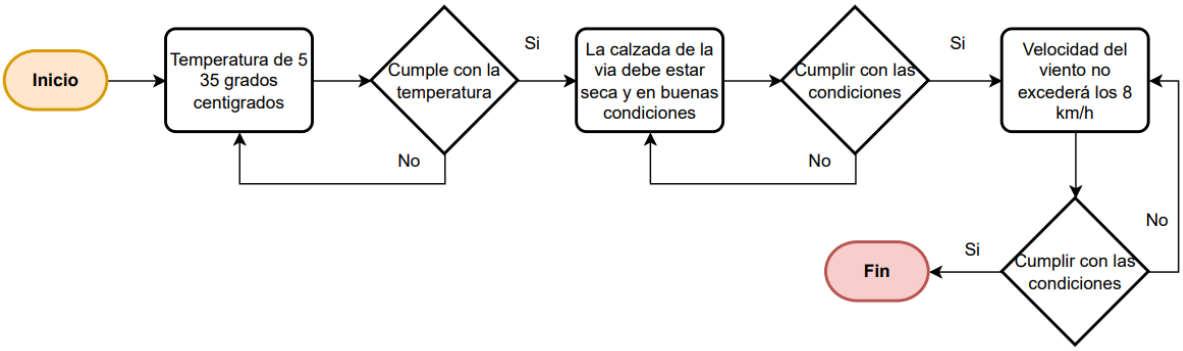


Nota. Captura de pantalla del mapa satelital del área de la prueba.

En la Figura 18 se observa el flujograma de las condiciones ambientales que se deben cumplir para llevar a cabo la prueba Coast Down. Cabe recalcar que el porcentaje de pendiente en este caso es de 3.9% valor que esta dentro de los parámetros admisibles.

Figura 18

Flujograma de las condiciones ambientales de la prueba Coast Down.

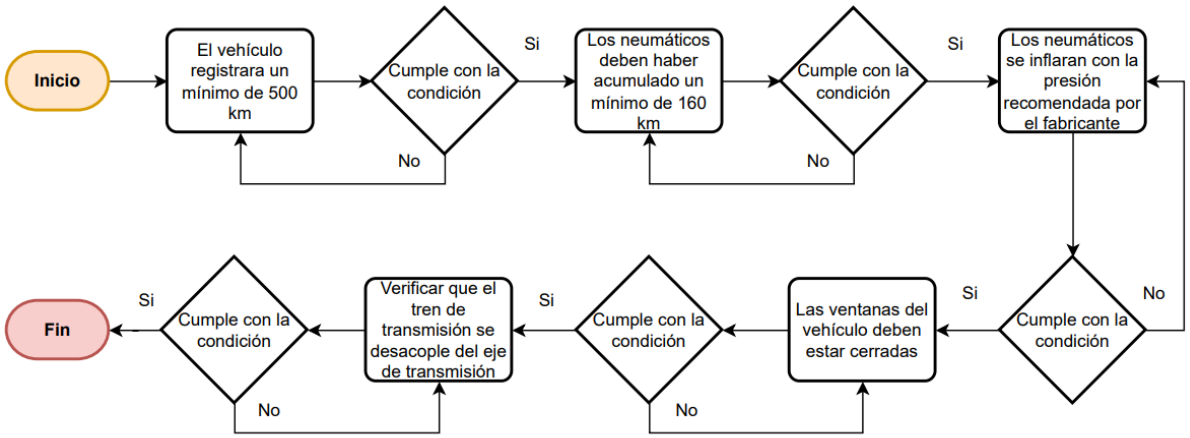


Nota. Figura realizada por el autor.

En la Figura 19 se muestra el flujograma de las condiciones que tiene que cumplir el vehículo antes de iniciar la prueba de Coast Down en ruta.

Figura 19

Flujograma para el proceso de la prueba Coast Down.



Nota. Figura realizada por el autor.

Las variables implicadas se muestran en la Tabla 11, en este caso, la masa del bus es la suma de la masa en vacío de 4 890 kg y 2 ocupantes de 70 Kg dando un total de 5 030 Kg.

Tabla 11

Variables necesarias para la prueba Coast Down.

Datos de vehiculo			
Masa	M	5 030	[Kg]
Área frontal	A	7.46	[m²]
Presión atmosférica	P	87	[kPa]
Temperatura ambiental	T	20	[°C]
Constante del aire	Ra	0.287	[Kj/kg.K]
Densidad del aire	ρa	1.034	[Kg/m³]
Coeficiente de resistencia a la rodadura	fr	0.0098	[-]
Coeficiente de arrastre	Cd	0.61	[-]
Gravedad	g	9.81	[m/s²]

Nota. Se indica los parámetros necesarios para realizar la prueba Coast Down en el cantón de Catamayo.

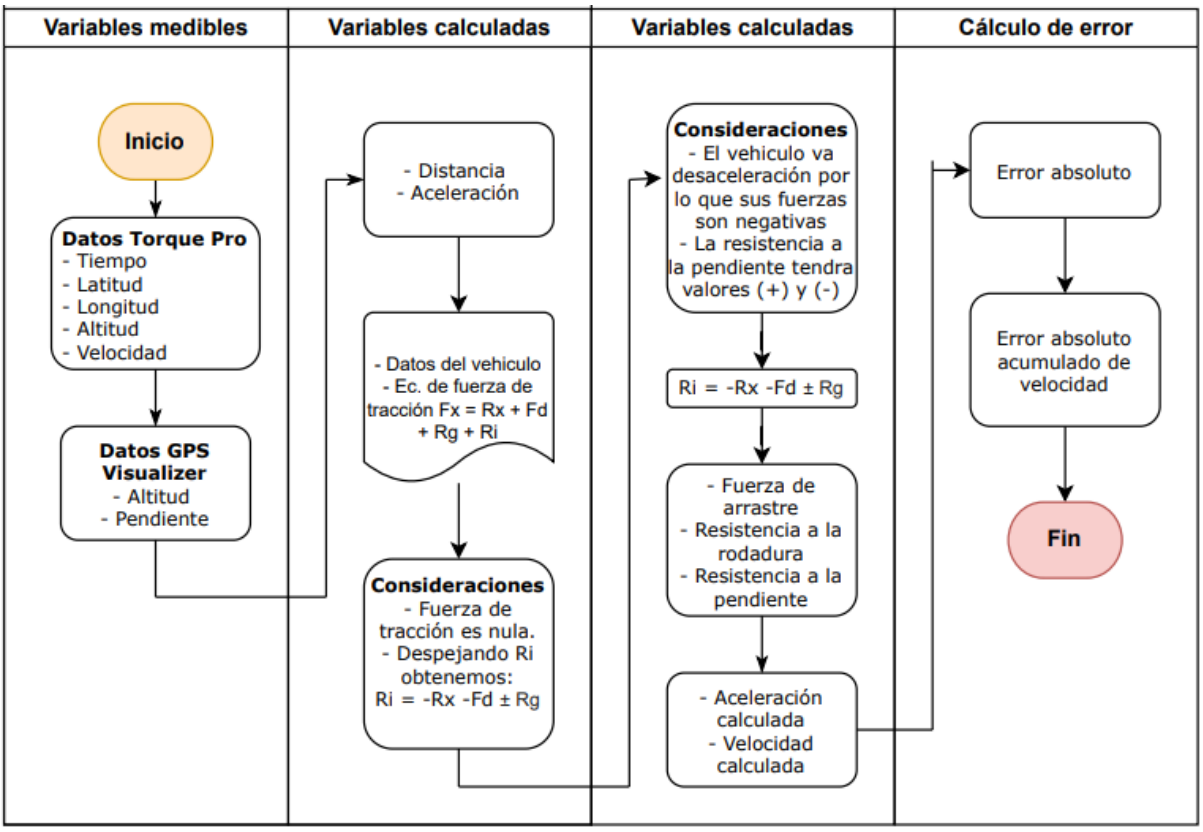
Cabe recalcar que los valores del coeficiente de resistencia a la rodadura de 0.0098 y el coeficiente de arrastre de 0.61 son tomados de (Grijalva & López Martínez, 2019, p. 9), como parte de una referencia para realizar los cálculos.

5.6.3 Desarrollo del cálculo.

Se desarrolla una base de datos en Excel con un total de 9 pruebas de Coast Down, en la Figura 20 se muestra el proceso para el cálculo, iniciando con las variables medibles, después utilizando las ecuaciones que se oponen al movimiento del vehículo y tomando en cuenta que la fuerza de tracción es nula ya que se deja de acelerar el vehículo por el desacople de la marcha, y la resistencia por pendiente tendrá valores positivos y negativos, ya que es difícil encontrar una pista que sea completamente recta en su trayecto.

Figura 20

Flujograma del cálculo de la prueba Coast Down.



Nota. Figura realizada por el autor.

Posteriormente, el cálculo del error absoluto se lo realiza entre la diferencia de la velocidad del GPS *Torque Pro* y la velocidad calculada, tomando en cuenta la magnitud del valor y no su signo. Finalmente, el error de la velocidad se la obtiene de la suma total del error absoluto.

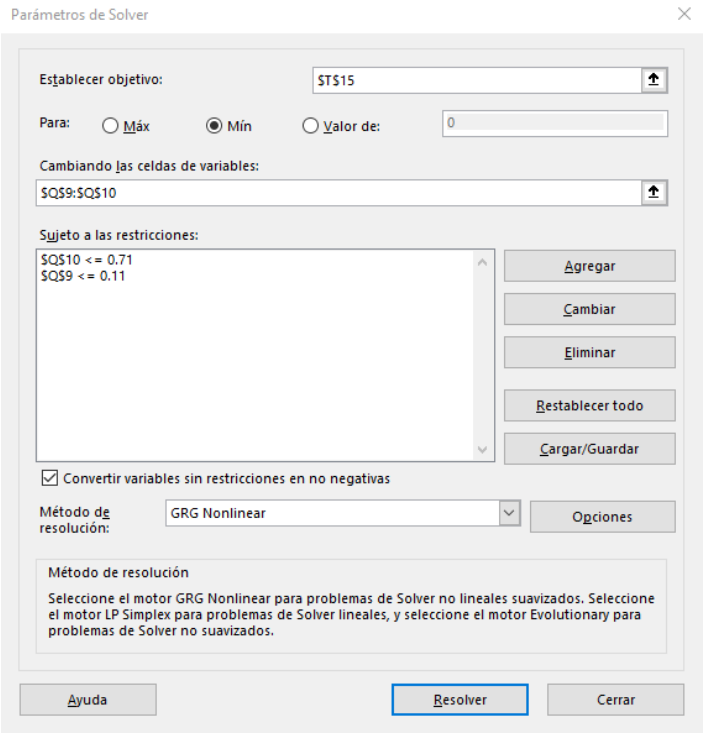
5.6.4 Optimización

El proceso de optimización del ajuste de la curva se lo realiza mediante la herramienta en Excel llamada solver, encargada de buscar el valor óptimo de una celda objetivo, en este

caso el valor total del error de la velocidad, en la Figura 21 se muestra la configuración con la herramienta de solver.

Figura 21

Configuración de parámetros de la herramienta Solver en Excel.



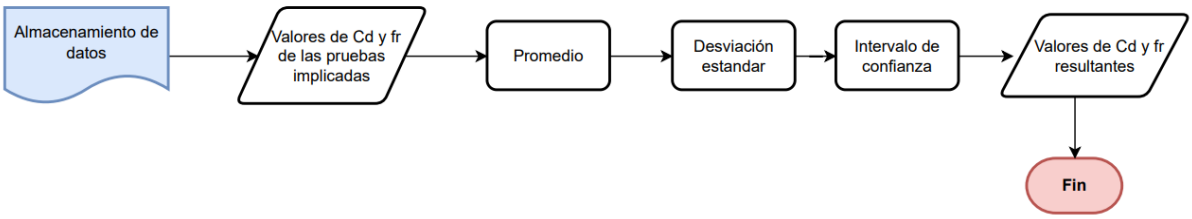
Nota. Captura de pantalla de los parámetros de la herramienta Solver.

Para el ajuste de la curva de velocidades se lo realizó mediante el proceso de resolución de gradiente reducido generalizado GRG no lineal, encargado de reducir el error entre la velocidad medida y calculada, el valores de referencia son tomados de (Grijalva & López Martínez, 2019) mediante ensayos de prueba y error, dando restricciones de f_r ≤ 0.71 y C_d ≤ 0.11.

Por último, se toman los valores del coeficiente de resistencia a la rodadura y el coeficiente de arrastre, previamente obtenidos por la optimización. Mediante condicionantes de Excel se obtiene el valor resultante. En la Figura 22 se muestra el proceso.

Figura 22

Flujograma para el proceso de la prueba Coast Down.



Nota. Figura realizada por el autor.

Cabe recalcar que para el cálculo se usó un intervalo de confianza distribución T de student del 95%, ya que maneja un número de pruebas Coast Down de nueve (Guisande, 2013, p.72).

5.7 Resumen de las variables para el cálculo de la demanda energética.

En la Tabla 12 se observa los valores de las variables implícitas para el cálculo del consumo de energía para cada una de las líneas.

Tabla 12

Variables para el cálculo del consumo energético.

Variables	L2	L8	L11	Unidad
Masa	12 844	12 666	12 182	Kg
Coeficiente de arrastre		0.79		-
Coeficiente de arrastre a la rodadura		0.008		-
Gravedad		9.81		m/s2
Area frontal		7.46		m2
Densidad del aire		0.88		Kg/m2
Denominación de neumático		295/80 R22.5		-
Radio nominal (sin carga)		521.75		m
Radio dinámico		0.50		mm

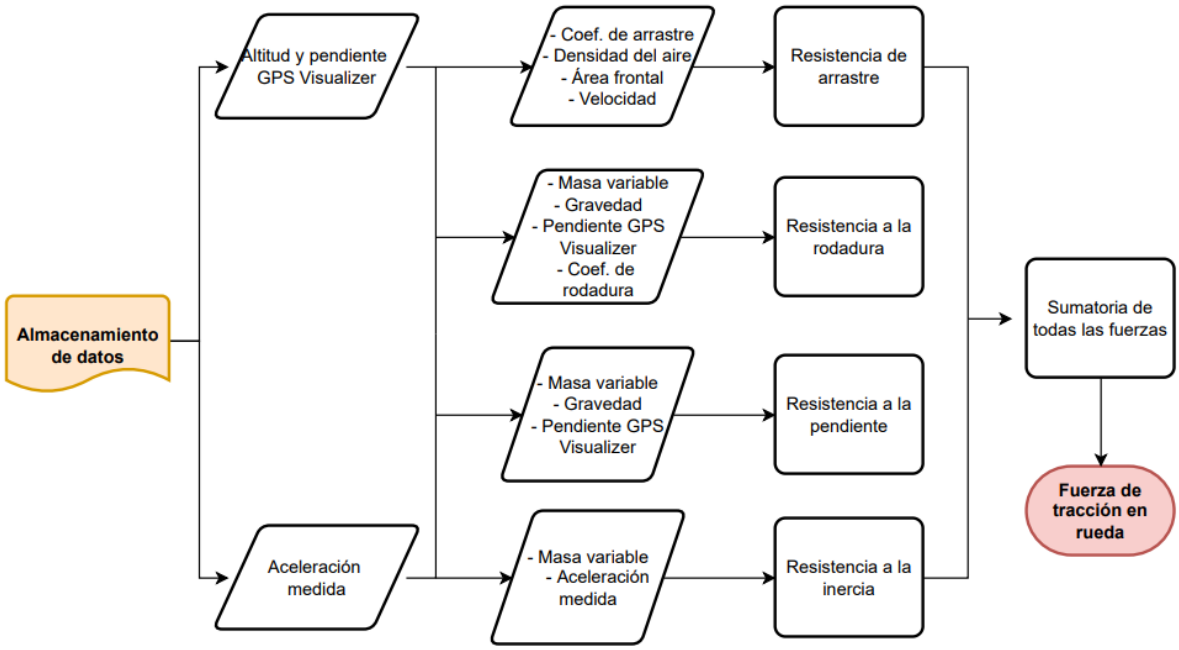
Nota. Se indica el resumen de los parámetros obtenidos para el cálculo del consumo energético.

5.8 Cálculo de la fuerza de tracción en rueda

El almacenamiento de datos en Excel una vez ya consideradas todas las variables que se van a utilizar para el cálculo del consumo energético, como las ecuaciones de la dinámica del vehículo, así como, la pendiente y la aceleración. En la Figura 23 se muestra la obtención de la fuerza de tracción que es la fuerza requerida en rueda para mover el vehículo, y se la obtiene por medio de la suma de las cuatro fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo.

Figura 23

Flujograma para obtener la fuerza de tracción.



Nota. Figura realizada por el autor.

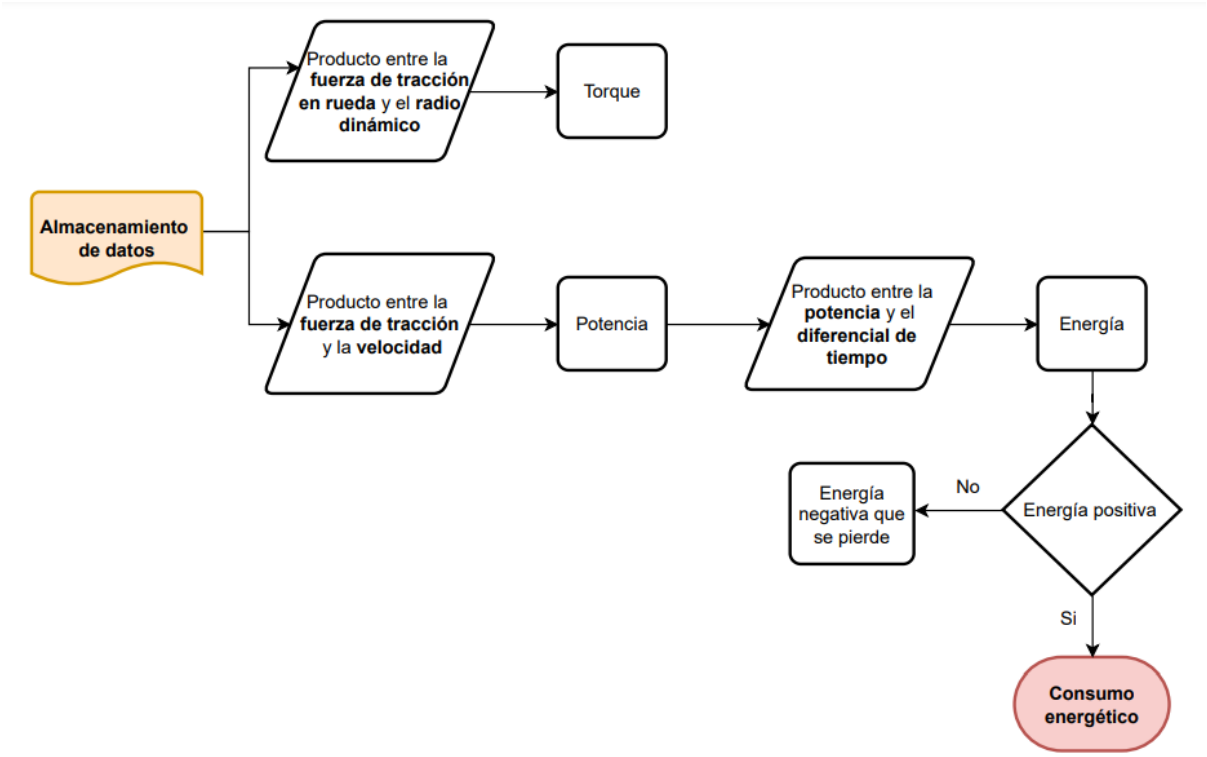
5.9 Consumo energético positivo en rueda

Con la obtención de la fuerza de tracción en rueda se calcula el torque y potencia con las variables del radio dinámico y la velocidad respectivamente, posteriormente la energía es el resultado del producto entre la potencia y un diferencial de tiempo.

En la Figura 24 se muestra proceso para la obtención de la energía resultante va constar de valores tanto positivos como negativos, tomando en cuenta que la energía que necesita el vehículo para que se desplace tiene que ser positiva, en el software de Excel mediante condicionantes se separa la energía positiva y negativa de la energía total, donde la energía positiva será el consumo energético real de una ruta de viaje del bus, por otra parte, la energía negativa en este caso se desperdicia ya que el vehículo de motor de combustión interna no consta con un sistema de regeneración.

Figura 24

Flujograma para obtener el consumo energético.



Nota. Figura realizada por el autor.

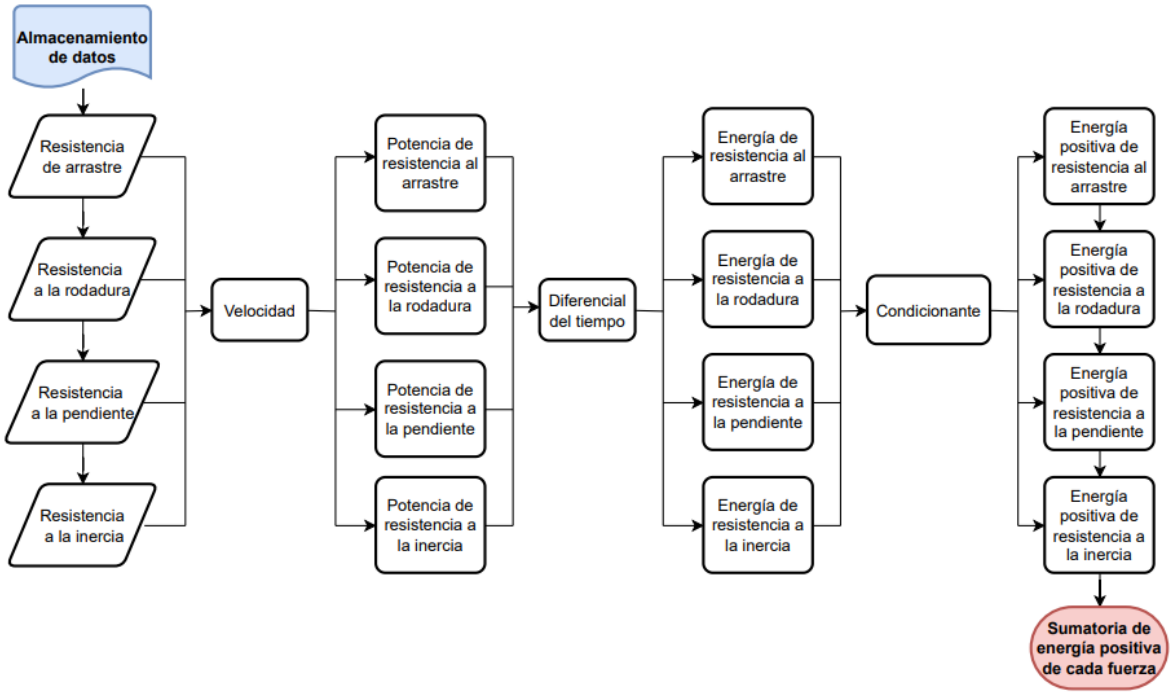
5.9.1 Cálculo de energía positiva para cada fuerza

En la Figura 25 se observa el proceso para el cálculo de energía positiva de cada fuerza se calcula previamente la potencia de cada una de las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo, para posteriormente obtener el cálculo de la energía de cada una de las fuerzas y mediante condicionantes de Excel tomar la energía positiva de cada fuerza que se opone al vehículo.

Hay que tomar en cuenta que la energía positiva de cada fuerza es calculada en función a la interacción de las fuerzas positivas y negativas, por lo cual la sumatoria de todas las energías positivas será mayor que el valor del consumo energético de cada ruta.

Figura 25

Flujograma para el proceso del cálculo de energía positiva para cada fuerza.



Nota. Figura realizada por el autor.

5.9.2 Obtención del ciclo de conducción típico

La obtención del ciclo típico de conducción (TDC) se lo realiza mediante la metodología propuesta por (Huertas & Cedillo, 2017) de mínimas diferencias ponderadas, donde intervienen tres fases: selección de ruta, muestreo de ciclos de conducción y selección del ciclo representativo. Las dos primeras fases ya se cumplieron anteriormente, la tercera fase se elige uno de entre todos los ciclos muestreados.

Este método se lo representa mediante la ecuación (13).

$$C = Arg\left\{\min_{j}\left(\sum w_i\left|P_{ij} - \bar{P}_i\right|\right)\right\} \tag{13}$$

Inicialmente se establece que P_{ij} es el valor del parámetro i obtenido para el ciclo j, se calcula la media aritmética de todos los ciclos de muestra $\bar{P}_i$. Después se compara cada parámetro característico respecto al valor medio del mismo parámetro, de todos los ciclos muestreados $\left|P_{ij} - \bar{P}_i\right|$. Posteriormente se suman todas las diferencias obtenidas para cada parámetro.

Tomando en cuenta que unos parámetros son más relevantes que otros, por lo tanto, la suma de las diferencias se pondera en función de la relevancia de cada parámetro en la obtención del consumo energético.

Para definir el TDC, se lo determina con el menor valor de suma de diferencias ponderadas.

6 Resultados

6.1 Prueba Coast Down

En la Tabla 13 se muestra los resultados del error absoluto acumulado de la velocidad medida y calculada, con optimización y sin optimización. De manea general se observa valores extremadamente superiores sin optimización, y el objetivo es que tiendan a cero cada uno de estos valores para que se realice un ajuste adecuado.

En la Tabla 14 se observan las curvas de velocidades con optimización y sin optimización, se muestra que en el proceso de optimización se reduce el error entre la velocidad medida respecto a la calculada.

Tabla 13

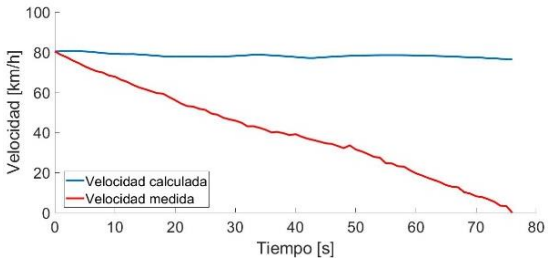
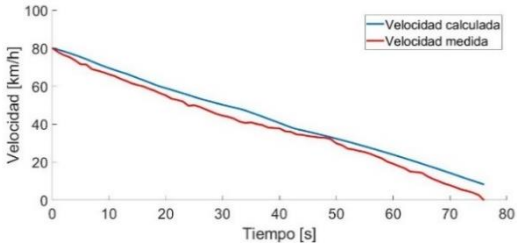
Resultado de los valores optimizados de la velocidad.

Resultados de la Optimización de Velocidad [km/h]		
Prueba	**Sin Optimización**	**Con Optimización**
1	3004.59	319.45
2	2749.70	152.79
3	2817.83	88.01
4	2857.35	174.04
5	2892.76	202.33
6	2875.63	186.51
7	2632.29	343.54
8	2886.74	301.05
9	2933.22	245.61

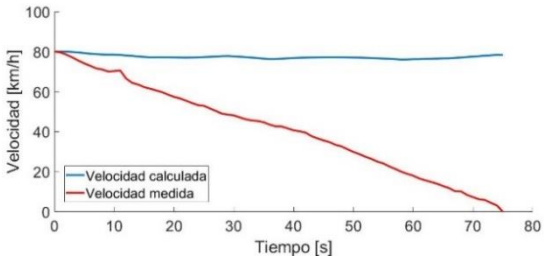
Nota. Se indica los valores de optimización de la velocidad de las 9 pruebas tomadas.

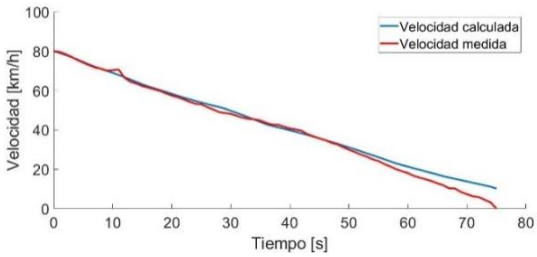
Tabla 14

Curvas de la velocidad lineal medida y calculada en función del tiempo.

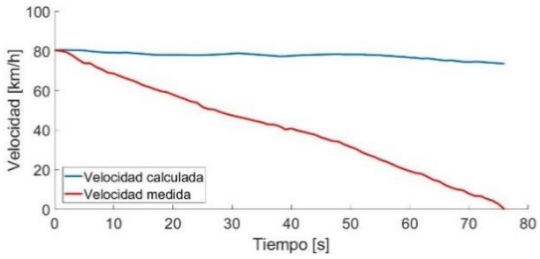
Prueba	Sin optimización	Con optimización
1		

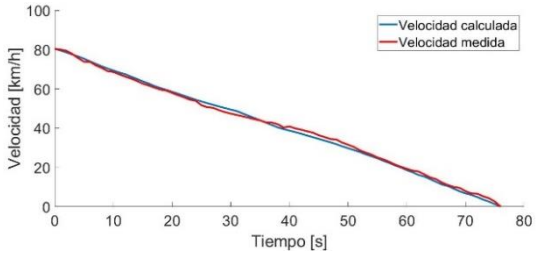
2


Velocidad [km/h]
Tiempo [s]
Velocidad calculada
Velocidad medida

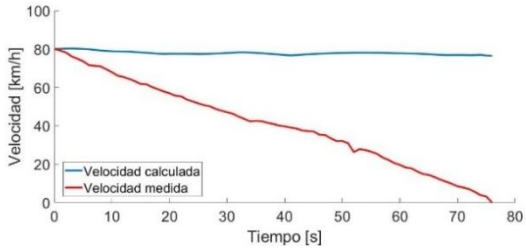

Velocidad [km/h]
Tiempo [s]
Velocidad calculada
Velocidad medida

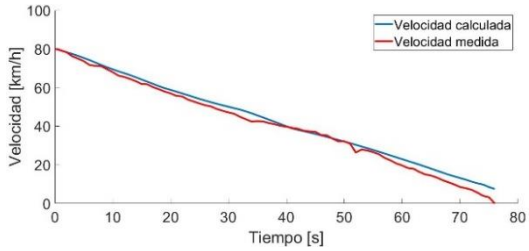
3


Velocidad [km/h]
Tiempo [s]
Velocidad calculada
Velocidad medida

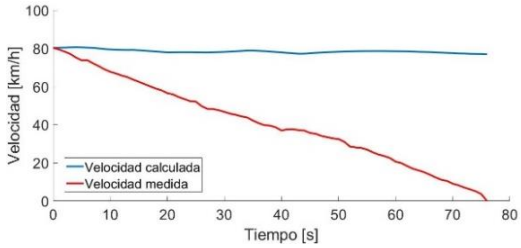

Velocidad [km/h]
Tiempo [s]
Velocidad calculada
Velocidad medida

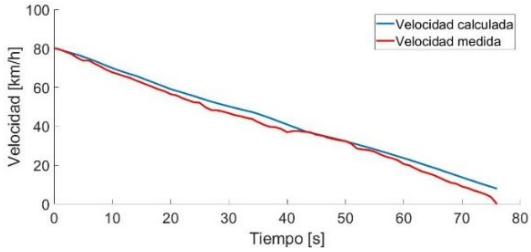
4


Velocidad [km/h]
Tiempo [s]
Velocidad calculada
Velocidad medida

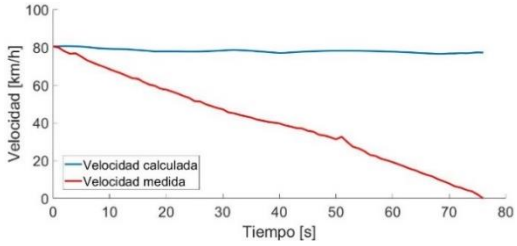

Velocidad [km/h]
Tiempo [s]
Velocidad calculada
Velocidad medida

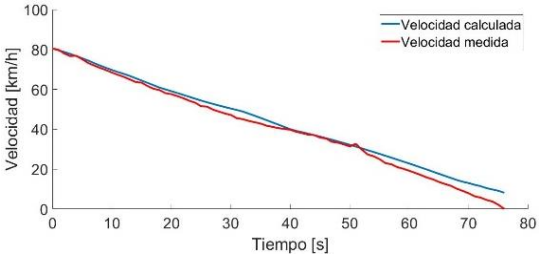
5


Velocidad [km/h]
Tiempo [s]
Velocidad calculada
Velocidad medida

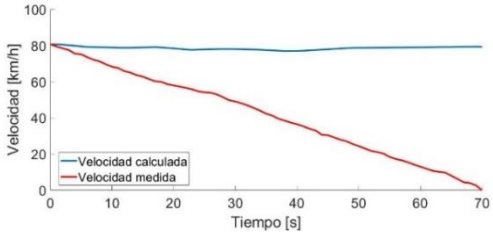

Velocidad [km/h]
Tiempo [s]
Velocidad calculada
Velocidad medida

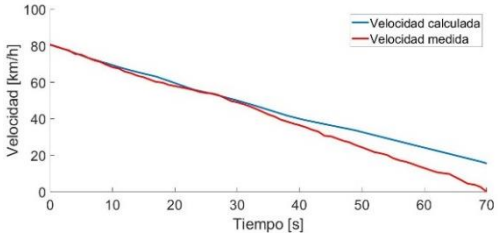
6

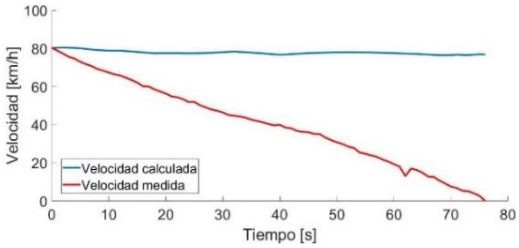
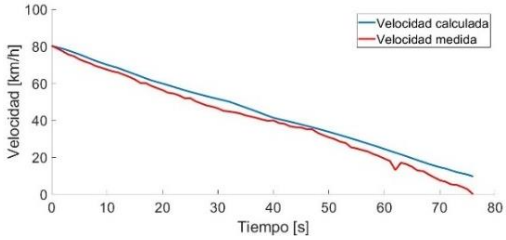
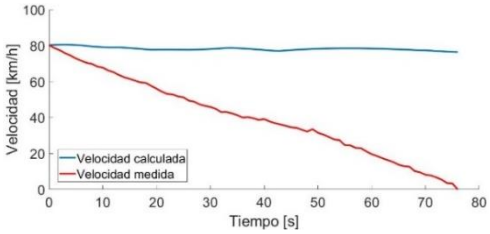
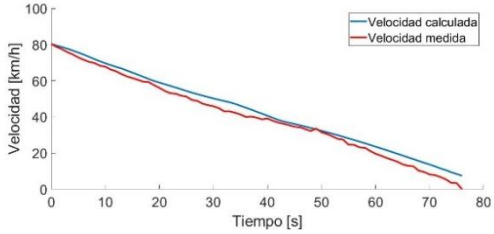

Velocidad [km/h]
Tiempo [s]
Velocidad calculada
Velocidad medida


Velocidad [km/h]
Tiempo [s]
Velocidad calculada
Velocidad medida

7


Velocidad [km/h]
Tiempo [s]
Velocidad calculada
Velocidad medida


Velocidad [km/h]
Tiempo [s]
Velocidad calculada
Velocidad medida

8		
9		

Nota. Las velocidades medidas y calculadas sin optimización se muestran separadas la una respecto a la otra, por lo contrario, las velocidades optimizadas muestran similar patrón.

6.2 Coeficiente de determinación de la prueba Coast Down

El valor de determinación o llamado R^2 es un modelo predictivo estadístico que determina la calidad del ajuste del modelo, donde R^2 toma valores entre 0 y 1. En este caso se lo estima con el valor de la velocidad calculada en función de la velocidad medida. En la Tabla 15 se presentan los valores de R^2, mismos valores que se aproximan a uno para todas las pruebas, Además, se muestra la ecuación o el modelo predictivo lineales para cada una de las pruebas para poder predecir la velocidad calculada en función de la velocidad medida.

Tabla 15

Valores del coeficiente de determinación de la prueba Coast Down.

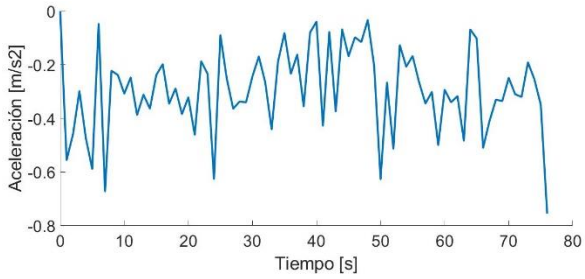
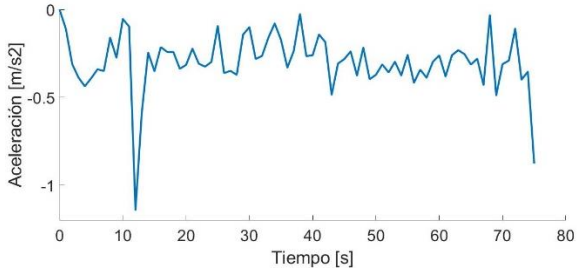
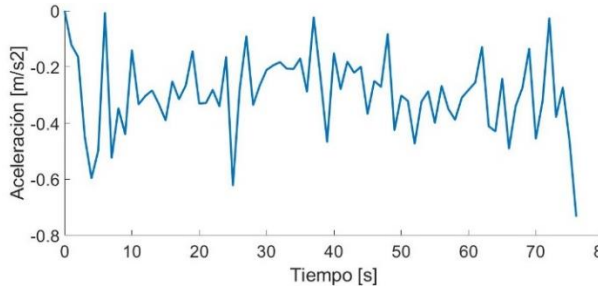
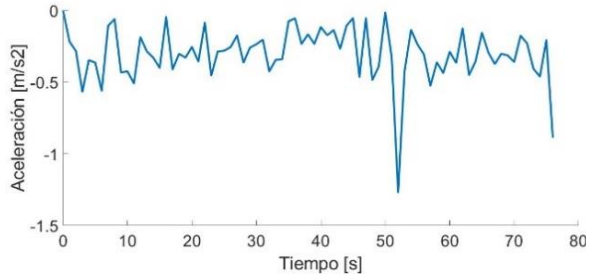
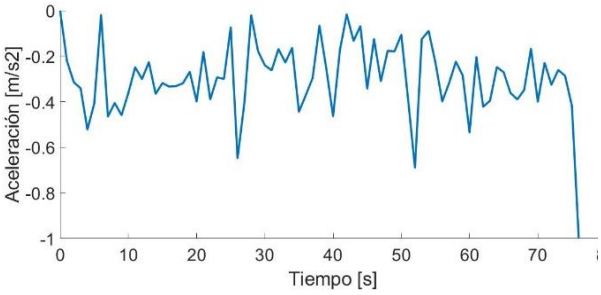
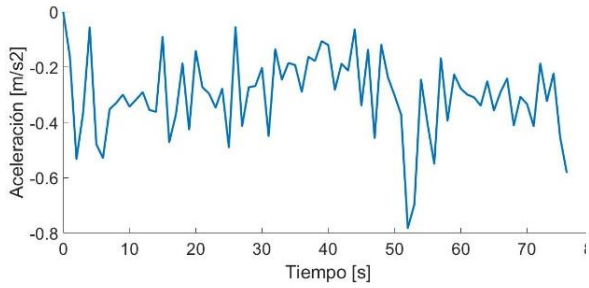
Síntesis de resultados del coeficiente de determinación de la prueba Coast Down		
Prueba	$\boldsymbol{R^2}$	**Ec. de la Velocidad calculada en función de la Velocidad medida (Ajuste lineal)**
1	0.998	$y = -0.9232x + 79.464$
2	0.997	$y = -0.9327x + 78796$
3	0.998	$y = -0.9891x + 79554$
4	0.998	$y = -0.9369x + 79.5$
5	0.998	$y = -0.9352x + 79.948$
6	0.998	$y = -0.9428x + 79.877$
7	0.997	$y = -0.9134x + 79.181$
8	0.999	$y = -0.9181x + 80.03$
9	0.998	$y = -0.9347x + 79.771$

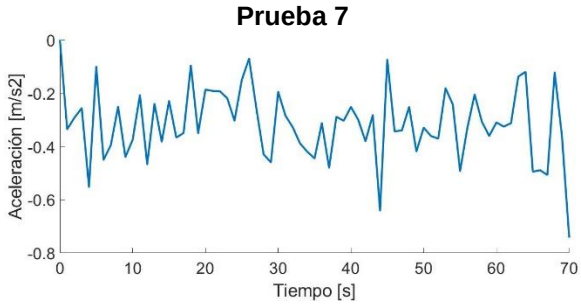
6.3 Desaceleración de la Prueba Coast Down

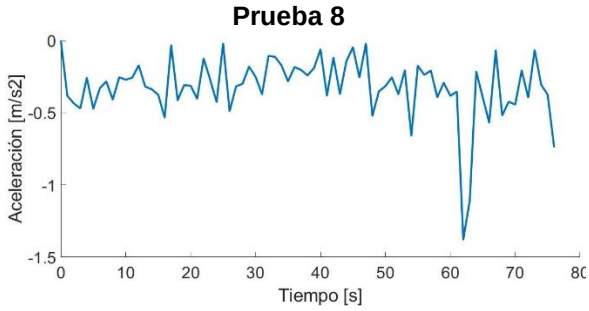
En la Tabla 16 se observa la variable medida indirecta de desaceleración que se la concibe a partir de la velocidad medida con el *Torque Pro,* donde se puede constatar valores coherentes, ya que en todas las pruebas hay valores por debajo de 0 m/s^2, por el motivo de que el vehículo no genera tracción y se está deteniendo progresivamente, en donde en el mayor de los casos alcanzan – 1.26 m/s^2.

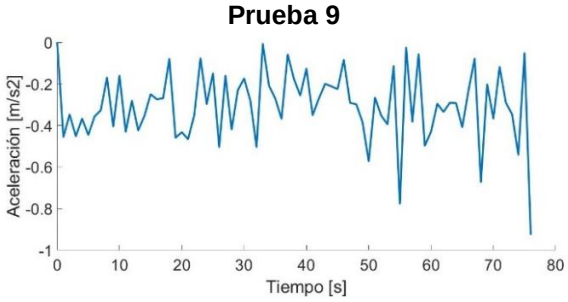
Tabla 16

Desaceleración medida de la prueba Coast Down.

Desaceleración de la prueba Coast Down	
Prueba 1 	**Prueba 2** 
Prueba 3 	**Prueba 4** 
Prueba 5 	**Prueba 6** 







6.4 Resultado del coeficiente de resistencia aerodinámica

En la Tabla 17 se muestra el valor promedio de resistencia Aerodinámica C_d de 0.772 $\pm$ 0.00583, esto como resultado de una desviación estandar de $\pm$ 0.0583 y aplicando un intervalo de confianza del 95%.

Tabla 17

Resultado del coeficiente de resistencia Aerodinámico.

Síntesis de resultados del coeficiente de Resistencia Aerodinámica				
Cd		**Promedio**	**Desviación estandar**	**Intervalo de Confianza**
Prueba 1	0.81			
Prueba 2	0.81			
Prueba 3	0.67			
Prueba 4	0.81			
Prueba 5	0.81	0.772	$\pm$ 0.0758	$\pm$ 0.0583
Prueba 6	0.81			
Prueba 7	0.81			
Prueba 8	0.61			
Prueba 9	0.81			

6.5 Resultado del coeficiente de resistencia a la rodadura.

En la Tabla 18 se muestra el valor promedio del coeficiente de resistencia a la rodadura f_r de 0.0907 $\pm$ 0.0233, esto como resultado de una desviación estandar de $\pm$ 0.0233 y aplicando un intervalo de confianza del 95%.

Tabla 18

Resultado del coeficiente de resistencia a la rodadura.

Síntesis de resultados del coeficiente de Resistencia a la rodadura				
fr		**Promedio**	**Desviación estandar**	**Intervalo de Confianza**
Prueba 1	0.099			
Prueba 2	0.099			
Prueba 3	0.010			
Prueba 4	0.099			
Prueba 5	0.099	0.0907	$\pm$ 0.0304	$\pm$ 0.0233
Prueba 6	0.099			
Prueba 7	0.099			
Prueba 8	0.099			
Prueba 9	0.099			

6.6 Resultado del TDC para la línea L2

Las diferencias mínimas ponderadas de las energías se realizaron para un número total de ciclos de cada ruta, tanto de ida como de vuelta de 25, en donde las variables que se utilizan para el cálculo son las energías de cada fuerza en porcentaje, posteriormente se pondera las fuerzas con respecto al ciclo promedio por cada fuerza y por el factor de ponderación del ciclo promedio, obteniendo la sumatoria de cada ciclo, en la Tabla 19 se muestran los valores obtenidos de la trayectoria de ida.

Tabla 19

Ponderación de las energías de las fuerzas resultantes del trayecto de ida.

Resultados de Consumo de Energias					
Número de ciclos	**% E.Fd (+)**	**% E.Rx (+)**	**% E.Rg (+)**	**% E.Ri (+)**	**SUMATORIA**
1	2.61	15.50	22.84	59.03	4.49
2	2.13	14.64	22.03	61.18	2.83
3	2.57	13.55	17.69	66.18	1.37
4	2.59	14.03	21.35	62.01	2.08
5	2.32	15.10	22.63	59.93	3.81
6	2.34	11.48	15.57	70.59	4.92
7	3.70	15.84	12.58	67.86	3.71
8	2.58	14.36	19.93	63.11	1.14
9	2.75	14.49	21.95	60.80	3.04
10	2.11	14.90	22.89	60.08	3.74
11	2.13	13.12	18.93	65.80	0.96

12	2.29	13.65	17.63	66.41	1.53
13	2.47	14.63	21.14	61.73	2.30
14	2.12	12.07	16.09	69.69	4.16
15	2.71	12.46	16.83	67.97	2.85
16	2.37	15.75	24.27	57.58	5.73
17	2.38	11.50	14.74	71.37	5.57
18	2.31	12.81	18.41	66.45	1.52
19	2.33	12.47	16.25	68.93	3.58
20	2.39	11.71	14.49	71.39	5.61
21	2.79	14.50	20.52	62.18	1.88
22	2.59	16.26	23.88	57.24	5.94
23	2.77	13.63	18.20	65.38	0.76
24	3.03	13.87	20.03	63.05	1.14
25	2.44	12.76	17.58	67.20	2.16

El TDC para el trayecto de la línea L2 de ida, viene dado por el viaje 23, con un valor de la sumatoria de 0.76, valor que representa la menor distancia respecto al ciclo promedio.

En la Tabla 20 se muestra el TDC de la línea L2 del trayecto de vuelta, viene dado por el viaje 10 con un valor de la sumatoria de 0.25, valor que representa la menor distancia respecto al ciclo promedio.

Tabla 20

Ponderación de las energías de las fuerzas resultantes del trayecto de vuelta.

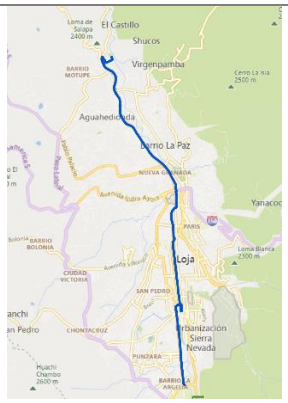
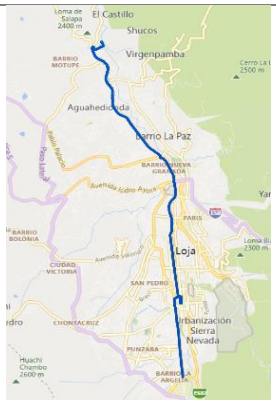
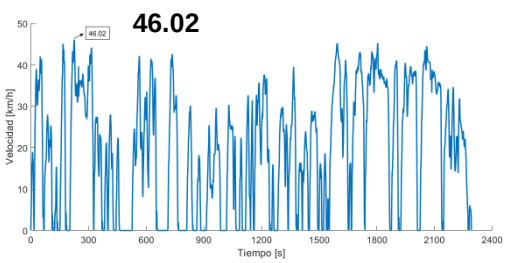
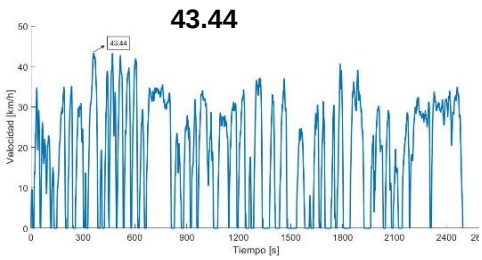
Resultado de Consumo de Energias					
Número de ciclos	**% E.Fd (+)**	**% E.RX (+)**	**% E.Rg (+)**	**% E.Ri (+)**	**SUMATORIA**
1	1.94	13.18	39.65	45.21	1.30
2	2.37	12.09	34.15	51.36	3.82
3	2.43	12.79	34.86	49.89	2.77
4	2.21	13.50	38.16	46.11	0.33
5	2.13	12.82	36.73	48.30	1.31
6	2.49	12.96	36.60	47.93	1.18
7	2.21	15.10	43.76	38.92	6.01
8	2.32	13.19	37.09	47.39	0.71
9	2.22	14.27	41.21	42.28	3.38
10	2.28	13.67	37.89	46.14	0.25
11	2.20	14.22	42.23	41.33	4.20
12	2.06	12.41	35.26	50.24	2.83
13	2.25	14.45	41.23	42.05	3.51
14	1.67	14.32	41.98	42.02	3.80
15	2.18	13.45	38.22	46.13	0.34
16	2.03	13.64	39.64	44.66	1.59
17	2.20	11.90	33.25	52.62	4.77
18	2.01	13.58	39.21	45.19	1.17
19	1.77	13.12	38.54	46.55	0.28

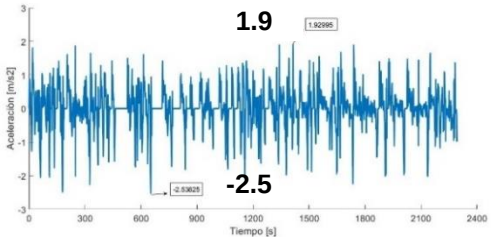
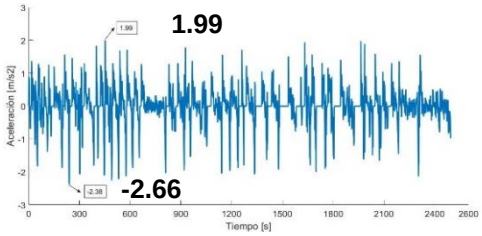
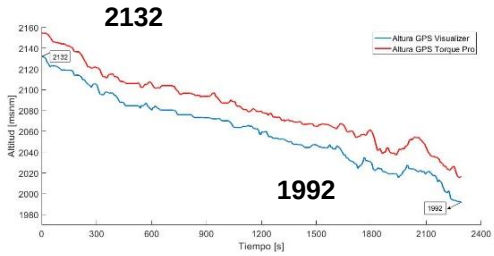
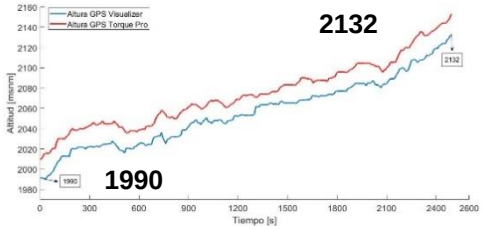
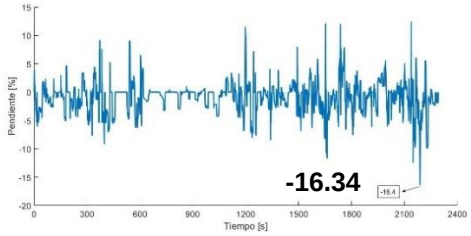
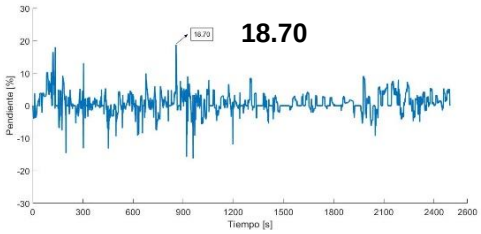
20	2.71	14.13	40.72	42.42	3.11
21	2.24	11.15	30.29	56.31	7.71
22	2.13	14.04	41.64	42.17	3.56
23	2.59	12.56	35.55	49.28	2.26
24	2.45	13.78	35.70	48.05	1.60
25	2.31	11.89	34.20	51.58	3.92

En la Tabla 21 se observa la representación gráfica del recorrido del vehículo para ambos trayectos, en cuanto al trayecto de ida se obtiene una velocidad máxima de 46.02 km/h, una aceleración máxima de 1.9 m/s^2 y aceleración negativa máxima de -2.5 m/s^2, la altitud máxima de 2 132 msnm y mínima de 1992 msnm, y valor de pendiente absoluta máxima de -16.34%. Mientras que el trayecto de vuelta se obtiene una velocidad máxima de 43.44 km/h, una aceleración máxima de 1.99 m/s^2 y una aceleración negativa máxima de -2.66 m/s^2, una altitud máxima de 2 132 msnm y mínima de 1 990 msnm, una pendiente absoluta máxima de 18.70%.

Tabla 21

Representación gráfica de varios parámetros del TDC de la línea L2.

	Trayecto de ida	**Trayecto de vuelta**
Recorrido del vehículo		
Velocidad		

Aceleración		
Altitud		
Pendiente		

Resumen del ciclo típico de conducción de la ruta L2.

En la Tabla 22 se muestra el resumen del TDC de ida del viaje 23 donde se obtiene un valor de duración de 2 292 s, una distancia de 12.51 km, una velocidad máxima de 46.02 km/h un porcentaje de detenimiento de 21.71%, una velocidad constante de 0%, una aceleración de 43.61% y una desaceleración de 34.67%.

El TDC de vuelta del viaje 10 se obtiene un valor de duración de 2 494 s, una distancia de 12.53 km, una velocidad máxima de 43.34 km/h, un porcentaje de detenimiento de 23.32%, una velocidad constante de 0%, una aceleración de 44.16% y una desaceleración de 32.50%.

Tabla 22

Resumen de la ruta L2.

Resumen del viaje Argelia – Sauces Norte			
Parámetro	**Valor de ida**	**Valor de vuelta**	**Unidad**
Duración	2 292	2 494	[s]
Distancia	12.51	12.53	[km]
Velocidad promedio	19.64	18.08	[km/h]
Velocidad máxima	46.02	43.44	[km/h]
Detenido	21.71	23.32	[%]
Velocidad constante	0	0	[%]
Aceleración	43.61	44.16	[%]
Desaceleración	34.67	32.50	[%]

Resultado del consumo de energías de la ruta L2.

En la Tabla 23 se muestra el consumo de energía en rueda, obteniendo un valor del ciclo representativo de conducción de 25.71 kWh considerando la suma del trayecto de ida como el de vuelta, respecto a la sumatoria de todas las energías positivas.

El consumo de energía por resistencia a la inercia es la que mayor consumo tiene con 13.85 kWh, seguidamente de la resistencia por pendiente con 7.70 kWh, luego por la resistencia a la rodadura con 3.51 de kWh, y por último la resistencia aerodinámica de 0.63 kWh.

Tabla 23

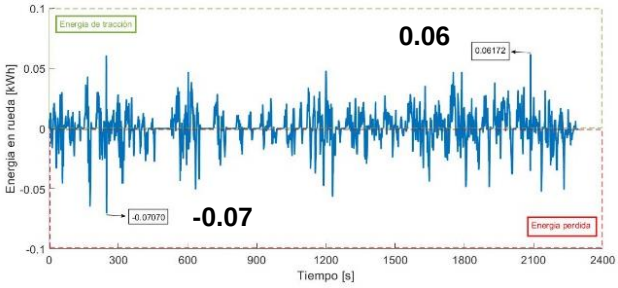
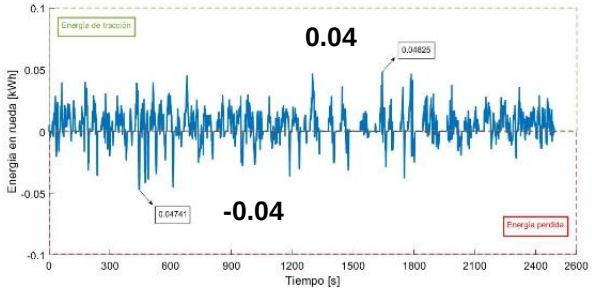
Resultado del consumo de energías del ciclo de conducción representativo de la ruta L2.

Nombre	Simbolo	Valor de ida	Valor de vuelta	Valor total	Unidad
Consumo de energía por resistencia aerodinámica (+)	E.Fd (+)	0.28	0.35	**0.63**	[kWh]
Consumo de energía por resistencia a la rodadura (+)	E.Rx (+)	1.41	2.10	**3.51**	[kWh]
Consumo de energía por resistencia por pendiente (+)	E.Rg (+)	1.88	5.82	**7.70**	[kWh]
Consumo de energía por resistencia por inercia (+)	E.Ri (+)	6.76	7.08	**13.85**	[kWh]
Consumo de energía positiva	Ex (+)	10.35	15.36	**25.71**	[kWh]

En la Tabla 24 se muestra la energía en rueda de los parámetros positivos y negativos, obteniendo un valor de energía positiva máxima de 0.06 kWh y un valor máximo negativo de -0.07 kWh para el trayecto de ida, mientras que en el trayecto de vuelta el valor de energía positiva máxima es de 0.04 kWh y un valor máximo negativo de -0.04 kWh.

Tabla 24

Energía positiva y negativa en rueda del TDC de la línea L2.

Trayecto de ida	Trayecto de vuelta
	

6.7 Resultado del TDC para la línea L8

En la Tabla 25 se muestra el TDC para el trayecto de la línea L8 de ida, viene dado por el viaje 3 con un valor de la sumatoria de 0.22, valor que representa la menor distancia respecto al ciclo promedio.

Tabla 25

Ponderación de las energías de las fuerzas resultantes del trayecto de ida.

Número de ciclos	% E.Fd (+)	% E.RX (+)	% E.Rg (+)	% E.Ri (+)	SUMATORIA
1	1.48	10.61	55.09	32.80	3.33
2	1.86	10.44	52.01	35.68	0.67
3	1.93	10.22	51.57	36.25	0.22
4	1.89	9.39	47.71	41.00	3.58
5	2.17	9.74	49.47	38.60	1.77
6	1.86	9.60	47.55	40.97	3.64
7	1.53	10.92	57.97	29.56	6.03
8	2.09	10.22	53.86	33.81	2.29
9	1.99	9.95	51.67	36.37	0.23
10	1.98	9.94	48.72	39.34	2.41
11	2.03	10.37	53.59	33.99	2.09
12	1.63	9.94	52.71	35.70	1.01
13	1.95	10.55	54.53	32.95	2.97
14	1.93	10.41	52.93	34.70	1.50
15	2.02	10.00	50.56	37.39	0.74
16	2.18	10.05	49.51	38.24	1.59
17	2.09	9.39	47.17	41.33	3.98
18	1.81	10.27	52.15	35.75	0.70
19	1.74	10.48	52.23	35.52	0.85
20	2.08	9.07	45.89	42.94	5.27
21	1.63	9.73	50.27	38.35	1.27
22	1.69	9.61	48.41	40.26	2.94
23	1.88	11.06	55.52	31.51	4.07
24	2.00	10.45	52.86	34.67	1.48

25	1.68	10.48	51.06	36.76	0.27

En la Tabla 26 se muestra el TDC para el trayecto de la línea L8 de vuelta, viene dado por el viaje 16 con un valor de la sumatoria de 0.01 kWh, valor que representa la menor distancia respecto al ciclo promedio.

Tabla 26

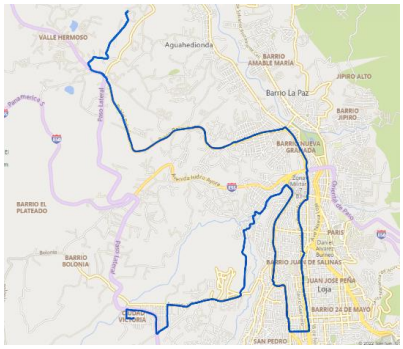
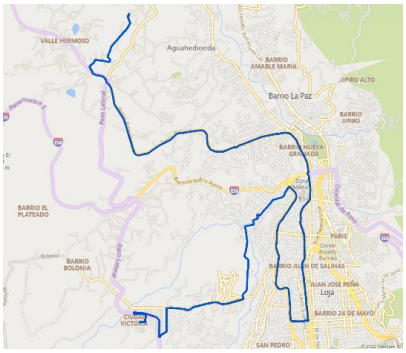
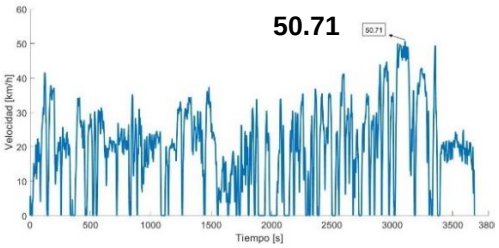
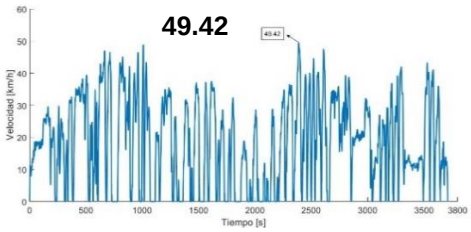
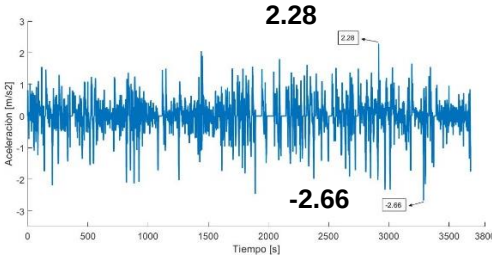
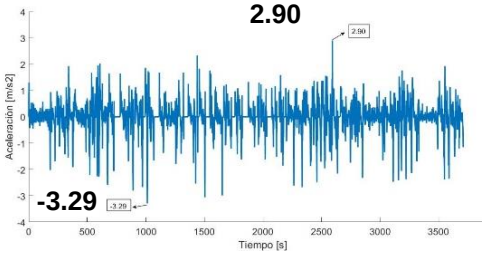
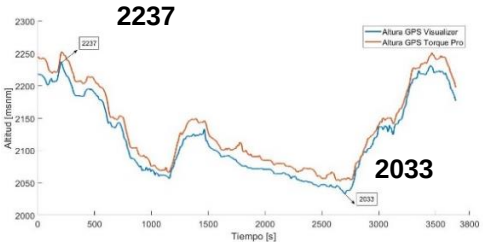
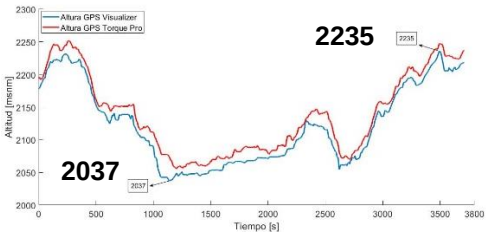
Ponderación de las energías de las fuerzas resultantes del trayecto de vuelta.

Resultado Consumo de Energias					
Número de ciclos	**% E.Fd (+)**	**% E.RX (+)**	**% E.Rg (+)**	**% E.Ri (+)**	**SUMATORIA**
1	1.31	10.14	55.16	33.38	1.69
2	1.17	10.48	57.31	31.02	3.70
3	1.43	10.50	58.18	29.87	4.57
4	1.31	10.14	55.16	33.38	1.69
5	1.34	9.47	51.09	38.08	2.20
6	1.57	9.72	52.79	35.90	0.49
7	1.46	9.75	52.48	36.29	0.80
8	1.32	10.09	56.14	32.42	2.55
9	1.49	10.07	54.40	34.03	1.05
10	1.70	10.25	56.22	31.81	2.82
11	1.64	10.20	56.14	32.01	2.70
12	1.63	10.20	56.05	32.10	2.62
13	1.50	10.36	57.19	30.93	3.66
14	1.31	10.49	58.76	29.42	5.04
15	1.67	9.86	51.08	37.38	1.92
16	1.56	9.88	53.27	35.27	0.01
17	1.90	9.84	50.47	37.77	2.39
18	1.46	9.87	55.96	32.70	2.34
19	1.42	10.25	54.73	33.57	1.40
20	1.48	9.78	51.80	36.93	1.38
21	1.50	9.74	52.00	36.74	1.21
22	1.53	8.38	41.37	48.70	11.24
23	1.79	8.72	43.90	45.57	8.75
24	1.54	10.10	53.87	34.47	0.61
25	1.55	9.29	46.74	42.41	6.06

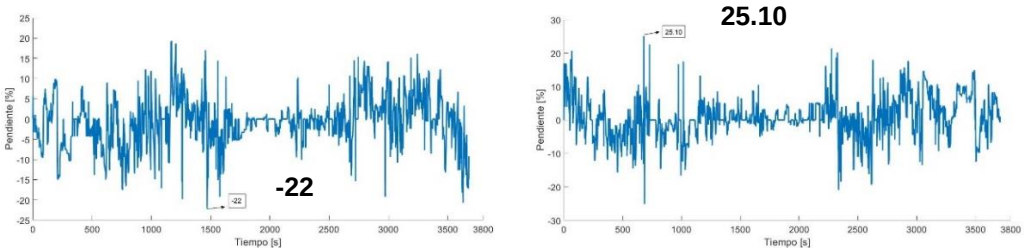
En la Tabla 27 se observa la representación gráfica del recorrido del vehículo para ambos trayectos, para el trayecto de ida de la línea L8 se obtiene una velocidad máxima de 50.71 km/h, una aceleración máxima de 2.28 m/s^2 y una aceleración negativa máxima de -2.66 m/s^2, la altitud máxima de 2 237 msnm y mínima de 2 033 msnm, y con una pendiente absoluta máxima de -22%. Mientras que el trayecto de vuelta se obtiene una velocidad máxima de 49.42 km/h, una aceleración máxima de 2.90 m/s^2 y una aceleración negativa máxima de -3.29 m/s^2, una altitud máxima de 2 235 msnm y mínima de 2 037 msnm, una pendiente absoluta máxima de 25.10%.

Tabla 27

Representación gráfica de varios parámetros del TDC de la línea L8.

	Trayecto de ida	Trayecto de vuelta
Recorrido del vehículo		
Velocidad		
Aceleración		
Altitud		

Pendiente



Resumen del ciclo típico de conducción de la ruta L8.

En la Tabla 28 se muestra el resumen del TDC de ida del viaje 3 donde se obtiene un valor de duración de 3 679 s, una distancia de 19.74 km, una velocidad máxima de 50.71 km/h un porcentaje de detenimiento de 13.77%, una velocidad constante de 0.10%, una aceleración de 46.90% y una desaceleración de 39.21%.

El TDC de vuelta del viaje 16 se obtiene un valor de duración de 3 711 s, una distancia de 19.24 km, una velocidad máxima de 49.42 km/h, un porcentaje de detenimiento de 17.91%, una velocidad constante de 0%, una aceleración de 45.90% y una desaceleración de 36.17%.

Tabla 28

Resumen de la ruta L8, trayecto de ida.

Resumen del viaje Ciudad Victoria - Carigan			
Parámetro	**Valor de ida**	**Valor de vuelta**	**Unidad**
Duración	3 679	3 711	[s]
Distancia	19.74	19.24	[km]
Velocidad promedio	19.31	18.66	[km/h]
Velocidad máxima	50.71	49.42	[km/h]
Detenido	13.77	17.91	[%]
Velocidad constante	0.10	0	[%]
Aceleración	46.90	45.90	[%]
Desaceleración	39.21	36.17	[%]

Resultado del consumo de energías de la línea L8.

En la Tabla 29 se muestra el consumo de energía en rueda, obteniendo un valor del ciclo representativo de conducción de 50.36 kWh considerando la suma del trayecto de ida como el de vuelta, respecto a la sumatoria de todas las energías positivas.

El consumo de energía por resistencia por pendiente es la que mayor consumo tiene con 26.41 kWh, seguidamente la resistencia por inercia con 18 kWh, luego por la resistencia a la rodadura con 4.76 de kWh, y por último la resistencia aerodinámica de 0.88 kWh.

Tabla 29

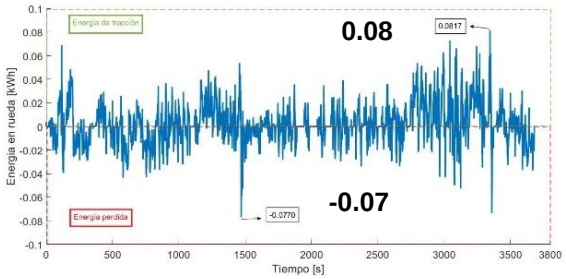
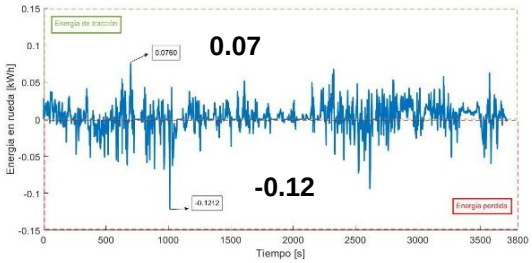
Resultado del consumo de energías del ciclo de conducción representativo de la ruta L8.

Nombre	Simbolo	Valor de ida	Valor de vuelta	Valor total	Unidad
Consumo de energía por resistencia aerodinámica (+)	E.Fd (+)	0.48	0.40	**0.88**	[kWh]
Consumo de energía por resistencia a la rodadura (+)	E.Rx (+)	2.53	2.53	**4.76**	[kWh]
Consumo de energía por resistencia por pendiente (+)	E.Rg (+)	12.76	13.65	**26.41**	[kWh]
Consumo de energía por resistencia por inercia (+)	E.Ri (+)	8.97	9.03	**18**	[kWh]
Consumo de energía positiva	Ex (+)	24.74	25.62	**50.36**	[kWh]

En la Tabla 30 se muestra la energía en rueda de los parámetros positivos y negativos, obteniendo un valor de energía positiva máxima de 0.08 kWh y un valor máximo negativo de -0.07 kWh para el trayecto de ida, mientras que en el trayecto de vuelta el valor de energía positiva máxima es de 0.07 kWh y un valor máximo negativo de -0.12 kWh.

Tabla 30

Energía positiva y negativa en rueda del TDC de la línea L8.

Trayecto de ida	Trayecto de vuelta
	

6.8 Cálculo del TDC para la línea L11

En la Tabla 31 se muestra el TDC para el trayecto de la línea L11 de ida, viene dado por el viaje 13 con un valor de la sumatoria de 0.22, valor que representa la menor distancia respecto al ciclo promedio.

Tabla 31

Ponderación de las energías de las fuerzas resultantes del trayecto de ida.

Resultado Consumo de Energias					
Número de ciclos	**% E.Fd (+)**	**% E.RX (+)**	**% E.Rg (+)**	**% E.Ri (+)**	**SUMATORIA**
1	1.33	8.77	59.71	30.17	0.78
2	1.12	8.77	61.01	29.08	1.89

3	1.35	8.94	61.99	27.70	2.91
4	1.38	8.35	56.64	33.61	2.13
5	1.13	8.39	58.36	32.09	0.64
6	1.36	8.69	58.33	31.59	0.47
7	1.23	8.18	55.27	35.30	3.47
8	1.33	8.83	59.81	30.00	0.90
9	1.38	8.36	57.42	32.83	1.42
10	1.18	8.84	60.33	29.63	1.32
11	1.36	8.25	57.28	33.09	1.60
12	1.38	8.88	60.72	29.00	1.75
13	1.45	8.97	58.68	30.88	0.22
14	1.42	8.60	58.30	31.65	0.52
15	1.14	8.69	58.27	31.88	0.60
16	1.34	8.96	62.20	27.47	3.10
17	1.37	8.57	58.29	31.75	0.56
18	1.40	9.03	60.84	28.71	1.92
19	1.15	9.08	62.12	27.63	3.02
20	1.06	9.34	64.81	24.77	5.52
21	1.26	8.60	57.56	32.57	1.24
22	1.35	8.19	54.39	36.04	4.22
23	1.21	8.67	57.73	32.37	1.07
24	1.37	9.03	57.33	32.25	1.30
25	1.28	8.09	54.84	35.77	3.88

En la Tabla 32 se muestra el TDC para el trayecto de la línea L11 de vuelta, viene dado por el viaje 2 con un valor de la sumatoria de 0.274833038, valor que representa la menor distancia respecto al ciclo promedio.

Tabla 32

Ponderación de las energías de las fuerzas resultantes del trayecto de vuelta.

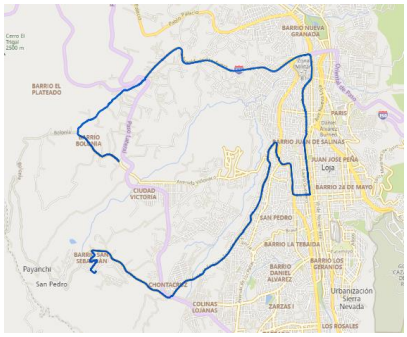
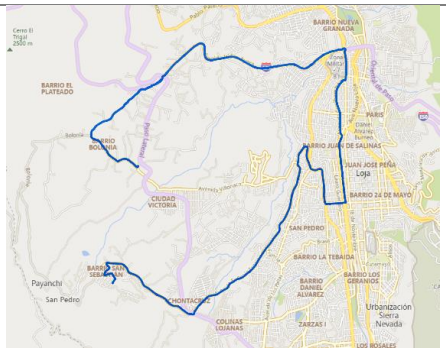
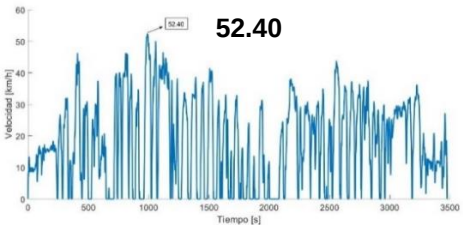
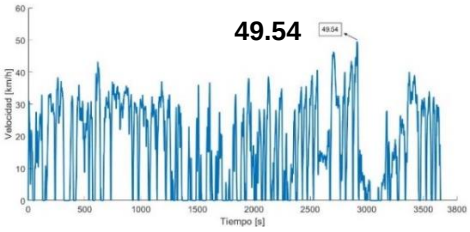
Resultado de Consumo de Energias					
Número de ciclos	**% E.Fd (+)**	**% E.RX (+)**	**% E.Rg (+)**	**% E.Ri (+)**	**SUMATORIA**
1	1.49	9.28	54.49	34.71	3.05
2	1.65	9.04	51.45	37.84	0.27
3	1.49	8.85	51.84	37.80	0.47
4	1.44	9.28	55.26	34.01	3.71
5	1.81	8.03	46.64	43.51	4.45
6	1.90	9.24	53.17	35.67	2.00
7	1.73	9.28	54.85	34.12	3.46
8	1.69	8.77	50.06	39.46	1.08
9	1.56	8.70	49.17	40.55	1.96
10	1.36	8.46	49.10	41.06	2.21
11	1.46	8.05	44.84	45.63	6.18
12	1.37	9.18	55.07	34.36	3.48
13	1.60	8.49	49.29	40.59	1.93
14	1.63	9.21	52.31	36.83	1.11
15	1.43	7.96	44.71	45.88	6.35
16	1.61	8.85	50.10	39.42	1.04
17	1.59	8.75	50.97	38.67	0.31
18	1.74	8.69	47.62	41.93	3.29
19	1.55	9.17	54.94	34.32	3.42

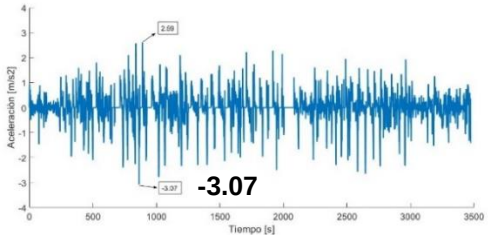
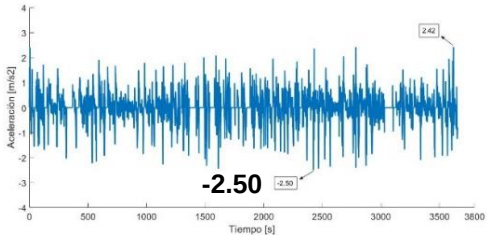
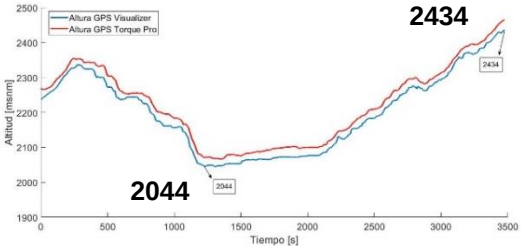
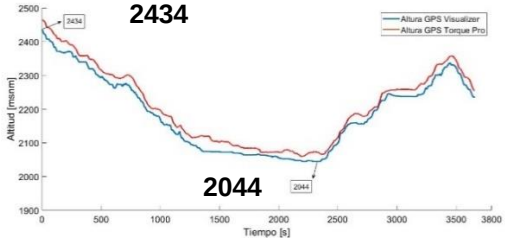
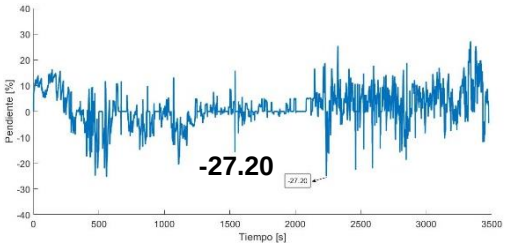
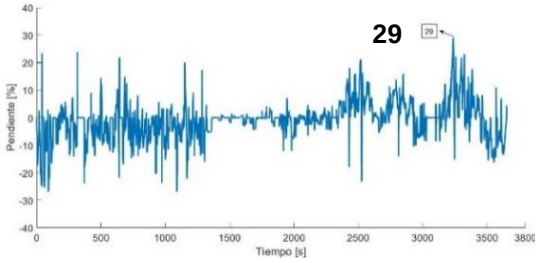
20	1.52	8.99	53.48	35.99	2.02
21	1.43	9.20	53.76	35.59	2.33
22	1.31	8.87	50.71	39.09	0.60
23	1.50	9.59	57.07	31.82	5.50
24	1.37	8.86	50.86	38.88	0.44
25	1.74	8.70	50.19	39.35	0.97

En la Tabla 33 se observa la representación gráfica del recorrido del vehículo para ambos trayectos, para el trayecto de ida de la línea L11 se obtiene una velocidad máxima de 52.40 km/h, una aceleración máxima de 2.59 m/s^2 y una aceleración negativa máxima de -3.07 m/s^2, la altitud máxima de 2 434 msnm y mínima de 2 044 msnm, y con una pendiente absoluta máxima de -27.20%. Mientras que el trayecto de vuelta se obtiene una velocidad máxima de 49.54 km/h, una aceleración máxima de 2.42 m/s^2 y una aceleración negativa máxima de -2.50 m/s^2, una altitud máxima de 2 434 msnm y mínima de 2 044 msnm, una pendiente absoluta máxima de 29%.

Tabla 33

Representación gráfica de varios parámetros del TDC de la línea L11.

	Trayecto de ida	**Trayecto de vuelta**
Recorrido del vehículo		
Velocidad		
Aceleración	**2.59**	**2.42**

		
Altitud		
Pendiente		

Resumen del ciclo típico de conducción de la ruta L11.

En la Tabla 34 se muestra el resumen del TDC de ida del viaje 13 donde se obtiene un valor de duración de 3 476 s, una distancia de 17.26 km, una velocidad máxima de 52.40 km/h un porcentaje de detenimiento de 19.93%, una velocidad constante de 0.02%, una aceleración de 44.80% y una desaceleración de 35.23%.

El TDC de vuelta del viaje 2 se obtiene un valor de duración de 3 654 s, una distancia de 17.34 km, una velocidad máxima de 49.54 km/h, un porcentaje de detenimiento de 21.96%, una velocidad constante de 0.08% una aceleración de 42.73% y una desaceleración de 35.21%.

Tabla 34

Resumen de la ruta L11.

Resumen del viaje Bolonia – Tierras Coloradas			
Parámetro	**Valor de ida**	**Valor de vuelta**	**Unidad**
Duración	3 476	3 654	[s]
Distancia	17.26	17.34	[km]
Velocidad promedio	17.87	17.09	[km/h]
Velocidad máxima	52.40	49.54	[km/h]
Detenido	19.93	21.96	[%]
Velocidad constante	0.02	0.08	[%]
Aceleración	44.80	42.73	[%]
Desaceleración	35.23	35.21	[%]

Resultado del consumo de energías de la línea L11.

En la Tabla 35 se muestra el consumo de energía en rueda, obteniendo un valor del ciclo representativo de conducción de 48.77 kWh considerando la suma del trayecto de ida como el de vuelta, respecto a la sumatoria de todas las energías positivas.

El consumo de energía por resistencia por pendiente es la que mayor consumo tiene con 27.09 kWh, seguidamente la resistencia por inercia con 16.52 kWh, luego por la resistencia a la rodadura con 4.39 de kWh, y por último la resistencia aerodinámica de 0.74 kWh.

Tabla 35

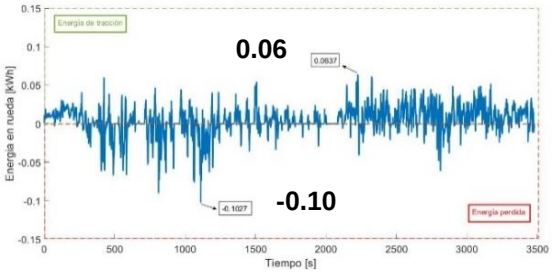
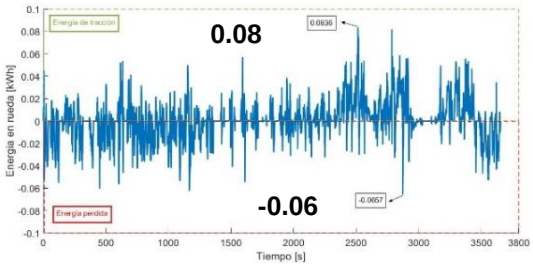
Resultado del consumo de energías del ciclo de conducción representativo de la ruta L11.

Nombre	Simbolo	Valor de ida	Valor de vuelta	Valor total	Unidad
Consumo de energía por resistencia aerodinámica (+)	E.Fd (+)	0.40	0.34	**0.74**	[kWh]
Consumo de energía por resistencia a la rodadura (+)	E.Rx (+)	2.48	1.91	**4.39**	[kWh]
Consumo de energía por resistencia por pendiente (+)	E.Rg (+)	16.22	10.87	**27.09**	[kWh]
Consumo de energía por resistencia por inercia (+)	E.Ri (+)	8.53	7.99	**16.52**	[kWh]
Consumo de energía positiva	Ex (+)	27.64	21.13	**48.77**	[kWh]

En la Tabla 36 se muestra la energía en rueda de los parámetros positivos y negativos, obteniendo un valor de energía positiva máxima de 0.06 kWh y un valor máximo negativo de -0.10 kWh para el trayecto de ida, mientras que en el trayecto de vuelta el valor de energía positiva máxima es de 0.08 kWh y un valor máximo negativo de -0.06 kWh.

Tabla 36

Energía positiva y negativa en rueda del TDC de la línea L11.

Trayecto de ida	Trayecto de vuelta
	

7 Discusión

En la línea L8 fue la que se obtuvo el mayor consumo energético con un valor de 50.36 kWh, seguidamente por la línea L11 con un valor de 48.77 kWh y por último la línea L2 con un valor de 25.71 kWh por otro lado, esto se puede justificar por las características de las diferentes rutas, ya que por un lado la línea L8 consta de 48 número de paradas siento esta la línea con mayor número de ellas, además de ser la línea con mayor recorrido de 20 km en total, es la que mayor número de paradas posee con 48, y tomando en cuenta que en la línea L8 el mayor consumo de energía fue por resistencia a la pendiente con 26.41 kWh esto debido a que se presentan pendientes considerables en lo largo de su trayecto.

La línea L11 a pesar de ser la segunda con mayor consumo energético presento un valor mayor de consumo energético por resistencia a la pendiente con 27.09 kWh debido a que esta línea presenta mayores ascensos en barrios occidentales por donde el bus cumple su recorrido.

Por otro lado, la línea L2 es la que menor consumo energético presenta en comparación con las dos líneas restantes, obteniendo que el mayor consumo de energía fue por resistencia a la inercia con un valor de 13.85 kWh, seguidamente del consumo de energía por resistencia a la pendiente de 7.70 kWh, esto es debido a las características del trayecto, ya que presenta un número total de paradas de 35 y también el menor recorrido con 12.8 km en total, hay que añadir que el trayecto no consta de pendientes pronunciadas corroborando el valor del consumo de energía por pendiente es menor que el resto de las líneas involucradas en el estudio.

Por consiguiente, se asume que debido a las características de la ruta L11 el consumo energético es mayor debido a las características de la ruta como la distancia recorrida y las pendientes de ciertos sectores donde son mayores, mientras que en la línea L2 en el trayecto de ida el recorrido es más corto, la distancia de recorrido es menor y no existen pendientes que sean muy pronunciadas.

Debido a los resultados de la investigación es considerable pensar que para futuros estudios donde se involucren planes de movilidad alternativas por ejemplo buses eléctricos es de destacar que la línea L2 es una de las mejores opciones porque se obtiene menor consumo energético en comparación a las líneas L8 y L11, además de que la línea L2 atraviesa por sitios estratégicos de la ciudad de Loja.

Dentro del aparto de los resultados obtenidos de la prueba Coast Down que se detallan en la tabla 16 y tabla 17, se discuten los resultados del coeficiente de resistencia Aerodinámica C_d con un valor de 0.772 $\pm$ 0.0758 y el coeficiente de resistencia a la rodadura

f_r con un valor de 0.0907 $\pm$ 0.0233, mismos datos que fueron obtenidos a través del método de optimización de resolución de gradiente reducido generalizado GRG no lineal, y tomando la distribución (t de Student) debido al número pequeño de muestras (< 30). Por lo que existe un 95% de probabilidad que al replicar la prueba Coast Down con el mismo vehículo y siguiendo el mismo protocolo planteado, se obtendrá resultados similares dentro del rango estipulado, el resultado obtenido es coherente y cercano a los valores tomados de investigaciones similares al mismo tipo de vehículo, con un coeficiente de resistencia aerodinámica de 0.61 y un coeficiente de resistencia a la rodadura de 0.0098, valores tomados de (Grijalva & López Martínez, 2019, p. 9) Por consiguiente, el proceso llevado a cabo en la investigación es acertado, ya que los resultados presentados muestran un error pequeño entre el proceso de optimización respecto a lo medido.

8 Conclusiones

- Los resultados obtenidos de la prueba Coast Down bajo la normativa SAE J2263, se obtiene un coeficiente de resistencia aerodinámico C_d de 0.772 $\pm$ 0.00583 y un coeficiente de resistencia a la rodadura f_r de 0.0907 $\pm$ 0.0233.
- El consumo energético de la línea L2 es de 25.71 kWh el cuanto al mayor consumo de energía es por resistencia a la inercia con 13.85 kWh ocupando el 53.87% de la energía total.
- En la línea L8 se obtuvo un consumo de energía de 50.36 kWh donde el mayor consumo de energía fue por resistencia a la pendiente con 26.41 kWh y ocupando el 52.44% del total de consumo de energía.
- En la línea L11 se obtuvo un consumo de energía de 48.77 kWh donde el mayor consumo de energía fue por resistencia a la pendiente con 27.09 kWh y ocupando el 55.55% del total de consumo de energía.
- El ciclo típico de conducción para la línea L2 en el trayecto de ida está representado por el viaje 23 donde se destaca una duración de 2 292 s, una distancia de 12.51 km, una velocidad promedio de 19.64 km/h y una velocidad máxima de 46.02 [km/h]. mientras que en el trayecto de vuelta el TDC viene dado por el viaje 10 donde se destaca una duración de 2 494 s, una distancia de 12.53 km, una velocidad promedio de 18.08 km/h y una velocidad máxima de 43.44 km/h.
- El TDC de la línea L8 en el trayecto de ida está representada por el viaje 3 donde se destaca una duración de 3 679 s, una distancia de 19.74 km, una velocidad promedio de 19.31 km/h y una velocidad máxima de 50.71 km/h. por otro lado el trayecto de vuelta el TDC está representado por el viaje 16 donde destaca una duración de 3 711 s, una distancia de 19.24 km, una velocidad promedio de 18.66 km/h y una velocidad máxima de 49.42 km/h.
- El TDC de la línea L11 en el trayecto de ida está representado por el viaje 13 donde se destaca una duración de 3 476 s, con una distancia de 17.26 km, una velocidad promedio de 17.87 km/h y una velocidad máxima de 52.40 km/h. mientras que el TDC del trayecto de vuelta está representado por el viaje 2 con una duración de 3 654 s, una distancia de 17.34 km, una velocidad promedio de 17.09 km/h y una velocidad máxima de 49.54 km/h.

9 Recomendaciones

- Tener un conocimiento básico de la dinámica longitudinal del automóvil, con el objetivo de saber cuáles son las variables implicadas para el cálculo,
- Tener el equipo de monitoreo adecuado parar obtener las variables con más exactitud es recomendable que el equipo maneje una frecuencia de 1 Hz para una mejor toma de datos, es recomendable tomar ciertas variables de la computadora del vehículo con el fin de obtener una mejor calidad de datos.
- Se aconseja que la toma de datos se la realice dentro del vehiculo ya que métodos como la técnica de persecución previamente realizada arrojo datos muy erróneos dentro de la trayectoria del vehiculo.
- Para realizar la prueba de Coast Down se la deberá efectuar mediante las respectivas normativas de ejecución y los prerrequisitos que se deben cumplir para realizar la prueba con éxito.
- Se recomienda manejar una base de datos que sea clara y tenga un proceso definido, para facilitar su comprensión.

10 Bibliografía

A, F. O. S., & Por, R. (2015). *ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y PLAN PLAN DE CONTINGENCIAS PARA EL EN LOS AUTOTANQUES DE LA EMPRESA ORO*.

Agudelo, J., Moreno, R., & Pérez, J. F. (2010). *Desempeño dinámico y energético de un autobús operando con gas natural vehicular*. 72–80.

Alvarado, R. (2015). *SITU fue inaugurado por las fiestas de Loja | Municipio de Loja*.

Alvarado, R. (2018). *Incorporación tecnológica en la transportación urbana | Municipio de Loja*.

Avila Chaurand, R., Prado Leon, L. R., & Gonzalez Muñoz, E. L. (2015). Dimensiones antropométricas de población latinoamericana. In *ResearchGate* (Issue May 2015).

Balseca, O., Moreno, T., Chimbo, D., & Paucar, V. (2021). Análisis de reducción de gases contaminantes atmosféricos mediante la optimización de la red de transporte público de autobuses. *Pol. Con.*, *6*(5), 371–393.

Belalcazar, L. C., Acevedo, H., Ossess, M., & Rojas, N. (2012). *Construcción de los ciclos de conducción de Bogotá para la estimación de factores de emisión vehiculares y consumos de cobustible*. 96–101.

Caraballo, M. A., Rojas, M., Álvarez, O., & Vivanco, S. (2019). *Emisión de dióxido de carbono de vehículos automotores en la ciudad de Loja , Ecuador*. *08*(February), 15–21.

Cedillo, R., Guamán, X., Encarnación, K., & Hidalgo, J. (2018). *Fuerzas que se Oponen al Movimiento de un Vehículo*. 1–4.

Cooper, E. (2018). Emisiones de escape de autobuses de transporte público. *Creative Commons*, 1–31.

Di Rado, G., Presta, D., & Devincenzi, G. (2013). Análisis de las fuerzas que actúan en la interface neumático – carretera. Modelos de simulación de aceleración. *Mecánica Computacional*, *XXXII*, 2333–2362.

Mendoza, G. L., de Energía, M., Minas, Y., & Grunauer, X. V. (s/f). Balance Energético Nacional 2021. www.recursosyenergia.gob.ec

Estudio, D. E., Desarrollado, M., Para, R., Did, U. S. O., & Pacheco, C. (2007). *Motores*.

Ferrari, L. (2013). Energias fosiles: diagnostico, perspectivas e implicaciones economicas. *Revista Mexicana de Fisica*, *59*(2), 36–43.

Garcia, N., & Villalba, J. (2016). Estudio del efecto de la conducción eficiente sobre el

consumo y las emisiones Articulo (Vol. 147).

Gillespie, T. (1992). *Fundamentals of vehicle dynamics*.

González-Oropeza, R. (2005). Los ciclos de manejo, una herramienta útil si es dinámica para evaluar el consumo de combustible y las emisiones contaminantes del auto transporte. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, *6*(3), 147–162.

Grijalva, E. R., & López Martínez, J. M. (2019). Analysis of the reduction of CO 2 emissions in urban environments by replacing conventional city buses by electric bus fleets: Spain case study. *Energies*, *12*(3).

Guisande, C. (2013). *Tratamiento de Datos*.

Guitierréz, L., & Valarezo, T. (2018). Determinacion del consumo de combustible de vehiculos en base a los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET, en dinamometro de chasis. *Facultad de Ciencia y Tecnología*, *Ingenieria*, 15.

Hawkins, I. (2020). *Torque Pro (OBD 2 & Car) - Apps on Google Play*.

Huerta, L. A. (2019). *Gases ideales y gases reales Apellidos, nombre*. 5.

Huertas, J. I., & Cedillo, J. D. D. C. K. (2017). A new methodology to determine typical driving cycles for the design of vehicles power trains. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*.

Adam Schneider. (s/f). GPS Visualizer. 2019.

INEC. (2021).

Instituto de Investigación Geológico y Energético. (2019). *Balance Energético Nacional 2019*.

Jazar, R. N. (n.d.). *Vehicle Dynamics Theory and Application*.

Jhonattan, L., Torres, A., & Loja, P. De. (2019). *Traffic Management Models of the City of Loja*. *21*, 31–43.

Kreuzer, F. M., & Wilmsmeier, G. (2014). Eficiencia energética y movilidad en América latina y el Caribe. *Documentos de Proyectos CEPAL*, 305.

Mavesa Hino. (n.d.). *Marcas - Pesados - Hino - Grupo Mavesa*. Retrieved September 18, 2021.

Mezquita, J., & Dols, J. (2004). *TRATADO SOBRE AUTOMÓVILES. TOMO I Y II - José Font Mezquita, Juan F. Dols Ruiz*.

ORDENANZA QUE FIJA LAS TARIFAS DE TRANSPORTE INTERCANTONAL O URBANO EN EL CANTÓN LOJA. (2014). 1–7.

Ordenanza que regula la operación del sistema intermodal de trasporte urbano SITU en el cantón de Loja. (2018). In *Regula la operación del sistema intermodal de transporte urbano SITU en el cantón Loja.*

Pacejka, H. B. (2012). Tire Characteristics and Vehicle Handling and Stability. In *Tire and Vehicle Dynamics*.

Peréz, P. S., & Quito, C. O. (2018). *Determinación de los ciclos de conducción de un vehículo categoría M1 para la ciudad de Cuenca*. 132.

Quinchimbla Pisuña, F. E., & Solís Santamaría, J. M. (2017). Desarrollo De Ciclos De Conducción En Ciudad, Carretera Y Combinado Para Evaluar El Rendimiento Real Del Combustible De Un Vehículo Con Motor De Ciclo Otto En El Distrito Metropolitano De Quito. *Escuela Politécnica Nacional*, 163.

Rafel, M., & Zavala, A. (1999). *Selección del tren motriz de vehículos pesados (carga y pasajeros) destinados al servicio publico federal*. *128*, 101.

Ramírez, J. (2017). *Estudio de la dinámica de tracción de un vehículo eléctrico*. 33.

Tobar, C. P., & Torres, L. E. (2017). *Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET, en dinamometro de chasis. Caos de estudio: vehículos Toyota Hilux 2016 4x2 CD 2.7 y Hyundai Getz 2011 1.4 BS*. *11*, 5–12.

Using, D. S. (2004). *Implementation of SAE Standard J1263 Road Load Measurement and Dynamometer Simulation Using Coast Down Techniques*. 1–19.

11 Anexos

Anexo 1. *Parada inicial de la línea L2 "Universidad Nacional de Loja"*

Anexo 2. *Parada final de la línea L2 "Salida Sauces Norte"*

Anexo 3. *Parada inicial de la línea L8 "Despacho de Ciudad Victoria"*

Anexo 4. *Parada final de la línea L8 "Despacho de Carigan"*

Anexo 5. *Parada inicial de la línea L11 “Bolonia”*

Anexo 6. *Parada final de la línea L11 “Despacho Tierras Coloradas”*

Anexo 7. *Número de pasajeros de la Línea L2*

Dia	Fecha	Línea	Horario de inicio	Horario fin	Número de pasajeros Val Tn	Número de pasajeros Val Tm	Total de pasajeros
Lunes	21/3/2022	Línea 2	06:55:00	21:12:00	471	34	525
Lunes	21/3/2022	Línea 2	06:39:00	20:22:00	557	137	694
Lunes	21/3/2022	Línea 2	06:39:00	19:06:00	399	109	508
Martes	22/3/2022	Línea 2	06:16:00	21:27:00	549	135	684
Martes	22/3/2022	Línea 2	06:32:00	21:00:00	520	124	644
Martes	22/3/2022	Línea 2	06:39:00	20:22:00	497	100	597
Miércoles	23/3/2022	Línea 2	06:36:00	19:01:00	467	110	577
Miércoles	23/3/2022	Línea 2	06:39:00	20:22:00	475	110	585
Jueves	24/3/2022	Línea 2	06:05:00	21:06:00	562	125	687
Viernes	25/3/2022	Línea 2	06:17:00	19:20:00	464	165	629
Viernes	25/3/2022	Línea 2	06:20:00	20:05:00	614	125	739
Viernes	25/3/2022	Línea 2	06:05:00	21:06:00	506	113	619
Viernes	25/3/2022	Línea 2	06:48:00	20:54:00	423	102	525
Viernes	25/3/2022	Línea 2	06:36:00	19:01:00	534	153	687

Anexo 8. *Número de pasajeros de la Línea L8*

Dia	Fecha	Línea	Horario de inicio	Horario fin	Número de pasajeros Val Tn	Número de pasajeros Val Tm	Total de pasajeros
Lunes	21/3/2022	Línea 8	06:29:00	19:58:00	597	261	858
Lunes	21/3/2022	Línea 8	06:27:00	20:05:00	526	181	707
Lunes	21/3/2022	Línea 8	06:44:00	20:35:00	579	173	752
Lunes	21/3/2022	Línea 8	06:47:00	20:19:00	532	159	691
Lunes	21/3/2022	Línea 8	06:22:00	19:52:00	512	181	693
Martes	22/3/2022	Línea 8	05:50:00	19:30:00	422	105	527
Martes	22/3/2022	Línea 8	06:15:00	20:01:00	515	237	752
Martes	22/3/2022	Línea 8	07:00:00	19:37:00	414	110	524
Miércoles	23/3/2022	Línea 8	06:15:00	20:01:00	427	239	666
Miércoles	23/3/2022	Línea 8	05:57:00	18:12:00	416	130	546
Miércoles	23/3/2022	Línea 8	06:10:00	19:54:00	464	200	664
Jueves	24/3/2022	Línea 8	06:09:00	20:05:00	349	135	484
Jueves	24/3/2022	Línea 8	06:00:00	19:42:00	437	150	587
Viernes	25/3/2022	Línea 8	06:35:00	20:40:00	442	145	587
Viernes	25/3/2022	Línea 8	06:01:00	19:51:00	3881	119	500

Anexo 9. *Número de pasajeros de la Línea L11*

Dia	Fecha	Línea	Horario de inicio	Horario fin	Número de pasajeros Val Tn	Número de pasajeros Val Tm	Total de pasajeros
Lunes	21/3/2022	Línea 11	06:52:00	20:42:00	492	167	659
Lunes	21/3/2022	Línea 11	06:19:00	20:12:00	505	171	676
Martes	22/3/2022	Línea 11	06:11:00	20:59:00	512	165	677
Martes	22/3/2022	Línea 11	06:20:00	09:53:00	137	35	172
Martes	22/3/2022	Línea 11	06:01:00	18:38:00	482	178	660
Martes	22/3/2022	Línea 11	06:28:00	20:20:00	436	148	584
Miércoles	23/3/2022	Línea 11	06:35:00	20:41:00	411	174	585
Miércoles	23/3/2022	Línea 11	06:36:00	20:34:00	333	122	455
Miércoles	23/3/2022	Línea 11	06:01:00	18:38:00	379	174	553
Jueves	24/3/2022	Línea 11	05:56:00	19:48:00	352	125	477
Jueves	24/3/2022	Línea 11	06:26:00	20:22:00	459	163	622
Jueves	24/3/2022	Línea 11	06:53:00	21:02:00	390	103	493
Viernes	25/3/2022	Línea 11	06:28:00	20:20:00	466	149	615
Viernes	25/3/2022	Línea 11	06:31:00	19:18:00	431	181	612

Anexo 10. *Hoja de prueba Coast Down*

N. ° de proyecto: 01	**Fecha de prueba:** 26/06/2020
N. ° de proyecto raíz: 01	
Conductor de prueba: Juan David Barrera Cordero	
Persona a cargo: Bryan Alexander Panchana Torres	
PESOS DEL VEHÍCULO	
Capacidad del eje delantero: 6.500 kg	**Capacidad del eje posterior:** 9.200 kg
Peso vacío: 4.890 kg	**Capacidad de carga:** 9.310 kg
ESTIMACIÓN DEL ÁREA FRONTAL DEL VEHICULO	
A = 7.46 m^2	
Temperatura del área de preparación: 16 °C	**Ciclo de calentamiento completado:** Si
PRESIÓN DE INFLADO DE LOS NEUMATICOS	
Frente izquierdo: 100 psi	**Frente derecho:** 100 psi
Trasera izquierda: 100 psi	**Trasera derecha:** 100 psi

Ubicación de la pista de prueba: Cantón Catamayo	**Grado de pista:** 4.3 %
Temperatura ambiente (inicial): 16 °C	**Temperatura ambiente (final):** 18 °C
Velocidad del viento (inicial): 10 km/h	**Velocidad del viento (final):** 14 km/h
Dirección del viento (inicial): Hacia el Este	**Dirección del viento (final):** Hacia el Este
Presión barométrica (inicial): 29.94 inHg	**Presión barométrica (final):** 29.94 inHg

Kilometraje (inicial): 126.111 km	**Kilometraje (final):** 126.307 km		**Distancia de la pista:** 2 km
Ventanas del vehículo cerradas	**(Si): x**	**(No):**	
Expediente 1	**Fecha:** 26/06/2020		**Tiempo de prueba:** 1:29 (min)
Comentarios:			
Expediente 2	**Fecha:** 26/06/2020		**Tiempo de prueba:** 1:17 (min)
Comentarios:			
Expediente 3	**Fecha:** 26/06/2020		**Tiempo de prueba:** 1:17 (min)
Comentarios:			
Expediente 4	**Fecha:** 26/06/2020		**Tiempo de prueba:** 1:20 (min)
Comentarios:			
Expediente 5	**Fecha:** 26/06/2020		**Tiempo de prueba:** 1:17 (min)
Comentarios:			
Expediente 6	**Fecha:** 26/06/2020		**Tiempo de prueba:** 1:18 (min)
Comentarios:			
Expediente 7	**Fecha:** 26/06/2020		**Tiempo de prueba:** 1:15 (min)
Comentarios:			
Expediente 8	**Fecha:** 26/06/2020		**Tiempo de prueba:** 1:24 (min)
Comentarios:			
Expediente 9	**Fecha:** 26/06/2020		**Tiempo de prueba:** 1:23 (min)
Comentarios:			

Anexo 11. *Certificación de traducción del Resumen*

Certificado

Yo, **Nathali del Cisne Cuenca Collaguazo,** con cédula de Identidad **1105775330,** como **Licenciada en Ciencias de la Educación Mención Idioma Ingles,** certifico que este documento de resumen del trabajo de titulación "*ESTIMACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE BUSES URBANOS EN RUTAS PREESTABLECIDAS EN LA CIUDAD DE LOJA*" de autoría del Sr. Bryan Alexander Panchana Torres con CI: 1725036097, es una versión correcta de traducción literal del español al inglés. También, se certifica la fidelidad de la traducción mas no se asume responsabilidad por la autenticidad o el contenido del documento en la lengua de origen.

Viernes, 16 de diciembre del 2022

Lic. Nathali Cuenca, Mgs.

NRO. De registro SENESCYT de Titulación: 1008-2018-1987008

CEL. 0991032122