



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE UN AUTOBÚS ELÉCTRICO
MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DEL
REQUERIMIENTO DE ENERGÍA PARA IMPULSAR MOVILIDAD
SOSTENIBLE EN UNA RUTA DESTINADA AL
SERVICIO DE TRANSPORTE URBANO EN LA CIUDAD DE
RIOBAMBA.

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR:

JOFFRE BRYAN CHÁVEZ ZAMBRANO

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE UN AUTOBÚS ELÉCTRICO
MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DEL
REQUERIMIENTO DE ENERGÍA PARA IMPULSAR MOVILIDAD
SOSTENIBLE EN UNA RUTA DESTINADA AL
SERVICIO DE TRANSPORTE URBANO EN LA CIUDAD DE
RIOBAMBA.

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR: JOFFRE BRYAN CHÁVEZ ZAMBRANO

DIRECTOR: ING. PAÚL ALEJANDRO MONTÚFAR PAZ

Riobamba – Ecuador

2024

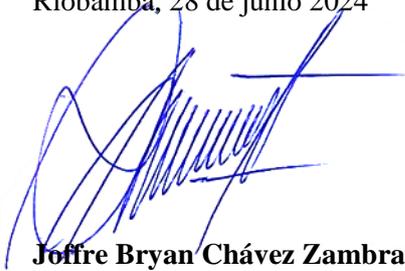
© 2024, **Joffre Bryan Chávez Zambrano**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Joffre Bryan Chávez Zambrano, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 28 de junio 2024



Joffre Bryan Chávez Zambrano

1718267139

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE UN AUTOBÚS ELÉCTRICO MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DEL REQUERIMIENTO DE ENERGÍA PARA IMPULSAR MOVILIDAD SOSTENIBLE EN UNA RUTA DESTINADA AL SERVICIO DE TRANSPORTE URBANO EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA**, realizado por el señor: **JOFFRE BRYAN CHÁVEZ ZAMBRANO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Carlos José Santillán Mariño PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-07-03
Ing. Paúl Alejandro Montúfar Paz DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-07-03
Ing. Ángel José Quevedo Ríos ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-07-03

AGRADECIMIENTO

Quisiera iniciar estos agradecimientos extendiendo mi más sincera gratitud hacia mi familia, cuyo apoyo es incondicional. En particular, agradezco a mi esposa, cuya paciencia, comprensión y amor inquebrantable han sido mi refugio y fuente de inspiración en los momentos más desafiantes, su presencia constante y motivación han sido esenciales para alcanzar este logro. Además, no puedo dejar de agradecerme a mí por la dedicación, el esfuerzo y la perseverancia que he puesto en este proyecto. Ha sido un viaje de autoconocimiento y crecimiento personal en el que he aprendido no solo sobre el tema de mi tesis, sino también sobre mi capacidad para enfrentar y superar obstáculos. Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, de una u otra forma, han contribuido a mi formación académica y personal. Este logro es también suyo, y espero que los conocimientos adquiridos y compartidos a través de esta tesis puedan servir como una pequeña muestra de mi gratitud hacia todos ustedes. Este logro es el resultado de nuestro esfuerzo compartido.

Joffre

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.2. Limitaciones.....	4
1.3. Delimitaciones.....	5
1.4. Problema General de Investigación.....	5
1.5. Problemas específicos de investigación.....	5
1.6. Objetivos.....	6
1.6.1. <i>Objetivo general</i>	6
1.6.2. <i>Objetivos específicos</i>	6
1.7. Justificación.....	6
1.7.1. <i>Justificación teórica</i>	7
1.7.2. <i>Justificación metodológica</i>	8
1.7.3. <i>Justificación práctica</i>	9
1.8. Hipótesis.....	9
1.8.1. <i>Hipótesis de la investigación</i>	9
1.8.2. <i>Hipótesis nula</i>	9

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Antecedentes de la investigación.....	10
2.2. Referencias teóricas.....	12
2.2.1. <i>Movilidad sostenible</i>	12
2.2.1.1. <i>Ecuador y la electromovilidad</i>	13

2.2.2. Transporte público	13
2.2.2.1. <i>Análisis del transporte público en Ecuador</i>	14
2.2.2.2. <i>Planificación del transporte público</i>	15
2.2.2.3. <i>Análisis de medio de transporte urbano en Riobamba</i>	16
2.2.2.4. <i>Medio de transporte eléctrico</i>	21
2.2.2.5. <i>Prestaciones y requerimiento operativos de un vehículo eléctrico</i>	26
2.2.2.6. <i>Fabricantes y armadoras de autobuses eléctricos</i>	29
2.2.3. Impacto energético, ambiental y social del transporte público.	31
2.2.3.1. <i>Emisiones contaminantes en el sector del transporte público de Chimborazo-Riobamba</i>	37
2.2.3.2. <i>Consumo de energía del sector de transporte público</i>	41
2.2.3.3. <i>Generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del sector del transporte</i>	43
2.2.3.4. <i>Generación de GEI (gases de efecto invernadero) del sector de transporte</i>	45
2.2.4. Parámetros para la determinación de la demanda de energía	45
2.2.4.1. <i>Dinámica del vehículo</i>	46
2.2.5. Ciclos de conducción	53
2.2.5.1. <i>Tipos de ciclos de conducción</i>	53
2.2.6. Métodos y técnicas para la obtención de ciclos de conducción	56
2.2.6.1. <i>Técnica del On-Board</i>	57
2.2.6.2. <i>Técnica de persecución del automóvil</i>	57
2.2.6.3. <i>Método directo</i>	58
2.2.6.4. <i>Método indirecto</i>	58

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO	59
3.1. Enfoque de investigación	60
3.1.1. <i>Métodos de investigación</i>	60
3.1.2. <i>Técnicas de recolección de datos</i>	61
3.1.3. <i>Instrumentos de recolección de datos</i>	61
3.1.4. <i>Metodología de recolección de datos</i>	62
3.2. Instrumentación de vehículo	62
3.3. Selección de ruta	63
3.3.1. <i>Tamaño de la muestra</i>	63
3.3.2. <i>Análisis e interpretación de encuestas</i>	64
3.3.3. <i>Datos técnicos para selección de ruta</i>	66

3.4.	Recolección de datos	69
3.5.	Obtención de la demanda energética.....	71
3.5.1.	<i>Parámetros de rutas preestablecidas</i>	<i>71</i>
3.5.1.1.	<i>Detalle de perfil y pendiente de las rutas.....</i>	<i>71</i>
3.5.1.2.	<i>Masa del autobús M.....</i>	<i>77</i>
3.5.1.3.	<i>Radio del neumático rd</i>	<i>78</i>
3.5.1.4.	<i>Área frontal del autobús Af.....</i>	<i>78</i>
3.5.1.5.	<i>Coefficiente de arrastre o aerodinámico Cd.....</i>	<i>80</i>
3.5.1.6.	<i>Coefficiente de resistencia a la rodadura fr</i>	<i>81</i>
3.5.1.7.	<i>Parámetros del Autobús establecidos</i>	<i>83</i>
3.5.2.	<i>Postratamiento de datos</i>	<i>84</i>
3.5.2.1.	<i>Recolección de Datos.....</i>	<i>84</i>
3.5.2.2.	<i>Revisión de datos.....</i>	<i>85</i>
3.5.2.3.	<i>Identificar los errores</i>	<i>85</i>
3.5.2.4.	<i>Corregir errores</i>	<i>85</i>
3.5.2.5.	<i>Validar datos corregidos</i>	<i>89</i>
3.5.2.6.	<i>Documentar los procedimientos de corrección.....</i>	<i>90</i>
3.5.3.	<i>Determinación de acumulación de energía.....</i>	<i>90</i>
3.6.	Análisis estadístico de representatividad.....	93
3.6.1.	<i>Análisis de método ponderado para los ciclos representativos.....</i>	<i>93</i>
3.6.1.1.	<i>Selección de ciclos representativos.....</i>	<i>93</i>
3.6.2.	<i>Ciclos de conducción</i>	<i>96</i>
3.6.2.1.	<i>Línea 5.....</i>	<i>96</i>
3.6.2.2.	<i>Línea 7.....</i>	<i>97</i>
3.6.2.3.	<i>Línea 14.....</i>	<i>98</i>
3.6.2.4.	<i>Línea 16.....</i>	<i>99</i>
3.6.3.	<i>Valores estimados en rueda de los ciclos representativos</i>	<i>100</i>

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	103
4.1.	Modelo de autobús.....	103
4.2.	Modelo matemático de consumo de energía del autobús eléctrico	103
4.2.1.	<i>Modelo de tren motriz del autobús eléctrico BYD K9 G.....</i>	<i>105</i>
4.2.1.1.	<i>Módulo de ciclo de conducción.....</i>	<i>106</i>
4.2.1.2.	<i>Módulo de flujo inverso dinámico.....</i>	<i>106</i>

4.2.1.3.	<i>Módulo de freno regenerativo</i>	107
4.2.2.	<i>Desarrollo del modelo del autobús BYD K9 G</i>	108
4.2.2.1.	<i>Transmisión</i>	109
4.2.2.2.	<i>Motor eléctrico</i>	109
4.2.2.3.	<i>Potencia de inversor</i>	110
4.2.2.4.	<i>Batería</i>	112
4.3.	Modelo en Matlab-Simulink del autobús Hino AK 500 con dimensionamiento del tren motriz eléctrico BYD K9 G.	117

CAPÍTULO V

5.	MARCO PROPOSITIVO	118
5.1.	Introducción	118
5.2.	Trabajos Relacionados	119
5.3.	Resultados del análisis dinámico Hino Ak 500 y dimensionamiento del tren motriz BYD K9 G	120
5.3.1.	<i>Análisis del Autobús</i>	120
5.3.2.	<i>Análisis de Torque</i>	121
5.3.3.	<i>Análisis de Potencia</i>	123
5.3.4.	<i>Análisis de Energía</i>	125
5.3.4.1.	<i>Rendimiento [km/kWh] BYD K9 G</i>	126
5.3.4.2.	<i>Autonomía restante [km] BYD K9 G</i>	126
5.3.4.3.	<i>Energía requerida por kilómetro o rendimiento [kWh/km]</i>	126
5.3.4.4.	<i>Ciclos posibles con un SOC inicial de 80 [%]</i>	126
5.3.4.5.	<i>Porcentaje de energía de regeneración [%]</i>	126
5.3.5.	<i>Análisis de SOC</i>	127
5.3.6.	<i>Análisis de Regeneración de Energía</i>	129
5.3.7.	<i>Análisis de Sistemas Auxiliares y Eficiencia de Regeneración</i>	129
5.4.	Viabilidad técnica	130
5.4.1.	<i>Rendimiento y consumo de energía en ruta</i>	130
5.4.2.	<i>Prestaciones correctas de funcionamiento</i>	130
5.5.	Viabilidad económica	131
5.6.	Viabilidad ambiental	132
5.7.	Viabilidad social	133
5.8.	Evaluación de la hipótesis	133

CAPÍTULO VI

6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	134
6.1.	CONCLUSIONES	134
6.2.	RECOMENDACIONES.....	136

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Parque Automotor del cantón Riobamba desde el año 2008 hasta el año 2015....	12
Tabla 2-2:	Proyección del crecimiento del Parque Automotor del cantón Riobamba desde el año 2018 hasta el año 2027.	12
Tabla 2-3:	Comparación entre subsistemas de autobús convencional y eléctrico.....	25
Tabla 2-4:	Características del proveedor SKYWELL, del modelo NJL6129BEV.	30
Tabla 2-5:	Características del proveedor BYD, del modelo K9G-S y el modelo K9G-I.	30
Tabla 2-6:	Características del proveedor Golden Dragon & BUSCO, del modelo XML6125CLE.	31
Tabla 2-7:	Características del proveedor Zhongtong Bus Holding LCK6122EVG5	31
Tabla 2-8:	Generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del sector de transporte.	38
Tabla 2-9:	Inventario de emisiones anuales del cantón Riobamba	40
Tabla 2-10:	Consumo de energía estimados en kilos/Barriles de petróleo del sector de transporte (kBEP).....	41
Tabla 2-11:	Consumo de energía en unidades físicas del sector de transporte.	42
Tabla 2-12:	Consumo de energía en las diferentes provincias pertenecientes a las regiones de la Sierra, Costa, Oriente e Insular.....	43
Tabla 2-13:	Generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del sector de transporte.	45
Tabla 2-14:	Comparación de técnica On-Board y persecución de vehículos.....	57
Tabla 3-1:	Número de unidades en las 16 líneas de transporte público urbano de Riobamba	67
Tabla 3-2:	Número de unidades en las 16 líneas de transporte público urbano de Riobamba.	68
Tabla 3-3:	Rutas establecidas para ser analizadas	69
Tabla 3-4:	Equipos para medir los parámetros de: velocidad, altitud y consumo de combustible	70
Tabla 3-5:	Rentabilidad del sistema de transporte urbano, de acuerdo con las rutas establecidas.	71
Tabla 3-6:	Descripción de las características de la Ruta 5: Corona Real - Bellavista	72
Tabla 3-7:	Descripción de las características de la Ruta 7: Inmaculada – El Rosal	73
Tabla 3-8:	Descripción de las características de la Ruta 14: Libertad – 24 de Mayo.....	74
Tabla 3-9:	Descripción de las características de la Ruta 16: Calpi – La Paz	75
Tabla 3-10:	Resultados del cálculo del Peso del autobús.	77
Tabla 3-11:	Radio dinámico.....	78
Tabla 3-12:	Cálculo de A_f	79

Tabla 3-13: Área frontal de los autobuses	79
Tabla 3-14: Cálculo del Área Frontal	80
Tabla 3-15: Cálculo de ρ	80
Tabla 3-16: Coeficientes para cada tipo de superficie.	82
Tabla 3-17: Cálculo de la resistencia a la rodadura (fr)	83
Tabla 3-18: Parámetros del Autobús de combustión interna	83
Tabla 3-19: Porcentajes de energía consumida en la Línea 5	94
Tabla 3-20: Porcentajes de energía consumida en la Línea 7	94
Tabla 3-21: Porcentajes de energía consumida en la Línea 14	95
Tabla 3-22: Porcentajes de energía consumida en la Línea 16	95
Tabla 3-23: Demanda de energía por viaje en rueda.	101
Tabla 3-24: Demanda de energía por diaria en rueda.	102
Tabla 4-1: Especificaciones técnicas del modelo de autobús BYD K9 G.	108
Tabla 5-1: Especificaciones técnicas del modelo de autobús BYD K9 G.	121
Tabla 5-2: Análisis de torque	121
Tabla 5-3: Análisis de potencia	125
Tabla 5-4: Análisis de energía.....	126
Tabla 5-5: Análisis de estado de carga (SOC).....	127
Tabla 5-6: Regeneración de energía	129
Tabla 5-7: Viabilidad económica de los buses a diésel en el mercado ecuatoriano	131
Tabla 5-8: Viabilidad económica de los buses 100% eléctricos en el mercado ecuatoriano	132

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Cantidad de Buses eléctricos que estarán en circulación en 2019.....	13
Ilustración 2-2:	Etapas del proceso de planificación del transporte público	15
Ilustración 2-3:	Modificación al proceso de planificación de transporte público ante una electrificación.	16
Ilustración 2-4:	Clasificación de los vehículos de acuerdo con la Normativa Ecuatoriana Técnica	19
Ilustración 2-5:	Mapa de rutas y frecuencias de transporte público urbano	20
Ilustración 2-6:	Clasificación de los buses eléctricos.....	22
Ilustración 2-7:	Elementos del sistema de propulsión reemplazables en la reconversión de unidades de tren motriz convencional a eléctrico.....	25
Ilustración 2-8:	Variación de la intensidad energética desde el año 2011 hasta el 2021	32
Ilustración 2-9:	Indicadores de sostenibilidad tomados en el año 2000, 2011 y 2021.....	33
Ilustración 2-10:	Oferta de energía secundaria en 2021	34
Ilustración 2-11:	Consumo de energía por sectores en 2021.....	34
Ilustración 2-12:	Consumo de energía por tipo de transporte en 2021	35
Ilustración 2-13:	Consumo de gasolina por tipo de vehículo en 2021.....	35
Ilustración 2-14:	Consumo de diésel por tipo de vehículo en 2021	36
Ilustración 2-15:	Evolución de las emisiones de GEI por actividad (kton CO ₂ eq.).....	36
Ilustración 2-16:	Evolución de las emisiones de GEI por fuente (kton CO ₂ eq.)	37
Ilustración 2-17:	Vehículos matriculados por año a nivel nacional	38
Ilustración 2-18:	Emisión de contaminantes del cantón Riobamba durante el año 2010	39
Ilustración 2-19:	Diagrama de fuerzas sobre el autobús	46
Ilustración 2-20:	Ciclo estacionario NEDC	54
Ilustración 2-21:	Esquema de conducción EPA, FTP75	54
Ilustración 2-22:	Programa de conducción urbano de la EPA de.....	55
Ilustración 2-23:	Comparación del promedio del mundo real y los resultados	56
Ilustración 3-1:	Análisis de datos: Ciclo representativo.....	59
Ilustración 3-2:	Dispositivo VBOX Sport GPS	62
Ilustración 3-3:	Resultados de la pregunta 1: ¿Qué líneas de transporte puede considerar usted con una pendiente prolongada, según su experiencia como conductor?.....	64
Ilustración 3-4:	Resultados de la pregunta 2: ¿Qué ruta consume más combustible en su día de trabajo?	64
Ilustración 3-5:	Resultados de la pregunta 3: ¿Qué ruta estima que tiene mayor recorrido en el día de trabajo?	65

Ilustración 3-6:	Resultados de la pregunta 4: ¿Cuánto dinero gasta diariamente en combustible?	65
Ilustración 3-7:	Resultados de la pregunta 5: ¿Cuál es la marca y modelo de la unidad de transporte masivo que conduce?	66
Ilustración 3-8:	Recolección de datos con el dispositivo VBOX	70
Ilustración 3-9:	Perfil de altitud y pendiente de la Línea 5	72
Ilustración 3-10:	Perfil de altitud y pendiente de la Línea 7	73
Ilustración 3-11:	Perfil de altitud y pendiente de la Línea 14	74
Ilustración 3-12:	Perfil de altitud y pendiente de la Línea 16	75
Ilustración 3-13:	Pendiente de la carretera utilizando el método GPS	77
Ilustración 3-14:	Diagrama de área frontal del autobús	78
Ilustración 3-15:	Coefficiente de arrastre de varios cuerpos	81
Ilustración 3-16:	Coefficiente F_o y F_s con respecto a la presión de inflación en PSI	82
Ilustración 3-17:	Instrumentación de GPS	84
Ilustración 3-18:	Visualización de trayecto y ciclo de conducción en el software VBox Test Suit	85
Ilustración 3-19:	Hoja de datos obtenidos del VBox GPS	86
Ilustración 3-20:	Selección de datos por frecuencia de un segundo, fórmula de residuo	86
Ilustración 3-21:	Inserción y conversión de columnas en CANADENSYS	87
Ilustración 3-22:	Datos obtenidos con una frecuencia de un segundo, latitud y longitud en formato decimal	87
Ilustración 3-23:	Datos obtenidos con una frecuencia de un segundo, latitud y longitud en formato decimal	88
Ilustración 3-24:	Datos obtenidos con una frecuencia de un segundo, latitud y longitud en formato decimal	88
Ilustración 3-25:	Suavizado de pendiente	89
Ilustración 3-26:	Suavizado de pendiente	90
Ilustración 3-27:	Hoja de cálculos formulados en Excel para determinar la energía demandada en la Línea 16	92
Ilustración 3-28:	Ciclo de conducción Línea 5	96
Ilustración 3-29:	Perfil de Altitud Línea 5	96
Ilustración 3-30:	Ciclo de conducción Línea 7	97
Ilustración 3-31:	Perfil de Altitud Línea 7	97
Ilustración 3-32:	Ciclo de conducción Línea 14	98
Ilustración 3-33:	Perfil de Altitud Línea 14	98
Ilustración 3-34:	Ciclo de conducción Línea 16	99

Ilustración 3-35:	Perfil de Altitud Línea 16	99
Ilustración 4-1:	Elementos sustituidos por el tren motriz eléctrico	105
Ilustración 4-2:	Parámetros técnicos de flujo inverso	106
Ilustración 4-3:	Parámetros técnicos de flujo inverso	107
Ilustración 4-4:	Ejemplo de esquema metodológico del sistema de regeneración de energía	107
Ilustración 4-5:	Submodelo de sistema de tren motriz	110
Ilustración 4-6:	Ejemplo de metodología para la potencia en el submodelo de inversor...111	
Ilustración 4-7:	Subsistema de tren motriz eléctrico, eficiencias de componentes que generan la potencia de salida de batería y finalmente el consumo de corriente.....	112
Ilustración 4-8:	Ejemplo de metodología para del submodelo de batería con sus entradas y salidas.....	112
Ilustración 4-9:	Señal de consumo de corriente de la batería	113
Ilustración 4-10:	Submodelo de batería BYD K9 G en Simulink	115
Ilustración 4-11:	Configuración de bloque de parámetros de batería BYD K9 G.....	115
Ilustración 4-12:	Submodelo y visualización de gráficas de consumo de corriente, acumulación de energía y SOC de batería.	116
Ilustración 4-13:	Visualización del modelo de simulación de consumo de energía y dimensionamiento del tren motriz del autobús BYD K9 G en Matlab. ...	117
Ilustración 5-1:	Tablas comparativas de consumo de energía, evaluando los modelos Hino Ak 500 y BYD K9 G.....	120
Ilustración 5-2:	Torque en rueda, visualización de pico máximo de torque 14467 [Nm]..	122
Ilustración 5-3:	Viabilidad de torque del autobús Hino Ak 500 y BYD K9 G.....	122
Ilustración 5-4:	Potencia demandada en rueda, visualización de pico máximo 230.1 [kW].	123
Ilustración 5-5:	Potencia del tren eléctrico 244.7 [kW]	123
Ilustración 5-6:	Potencia de salida de la batería 227.5 [kW].....	124
Ilustración 5-7:	Ilustración del esquema de potencia del tren motriz BYD K9 G.	124
Ilustración 5-8:	Acumulación de energía en la Línea 5.....	125
Ilustración 5-9:	BYD K9 G, SOC con freno regenerativo, consumo de energía, corriente y voltaje.....	127
Ilustración 5-10:	Simulación de SOC, voltaje y corriente del tren motriz dimensionado BYD K9 G sin freno regenerativo.	128
Ilustración 5-11:	Esquema de subsistemas del modelo para calcular SOC.	128

ÍNDICE DE ANEXOS

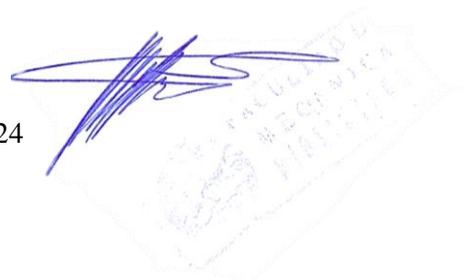
- ANEXO A:** RENTABILIDAD DE LÍNEAS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE EN RIOBAMBA
- ANEXO B:** ESPECIFICACIONES TÉCNICAS HINO AK 500
- ANEXO C:** DISEÑO CAD PARA CALCULAR EL ARREA FRONTAL DEL AUTOBÚS HINO AK 500

RESUMEN

En respuesta a los desafíos ambientales y de movilidad enfrentados por Riobamba, debido al aumento demográfico y sus efectos en el tráfico, la contaminación y el consumo de combustibles fósiles, este estudio se centra en evaluar la introducción de buses eléctricos en el sistema de transporte público de la ciudad. Con el marco legal proporcionado por la Ley de Eficiencia Energética de Ecuador, que estipula la electrificación de todas las nuevas unidades de transporte a partir de 2025, la investigación emprendió un análisis comparativo de la demanda energética entre buses eléctricos y diésel. Mediante la aplicación de una metodología On-Board para la recolección de datos en tiempo real a lo largo de rutas urbanas seleccionadas por su alta demanda energética, se llevó a cabo un exhaustivo análisis estadístico. Este proceso permitió identificar el ciclo de conducción más representativo y evaluar la eficiencia del tren motriz de los buses eléctricos en condiciones operativas reales. Los hallazgos indicaron que la línea 5 presentaba la mayor demanda energética, lo que facilitó un estudio detallado sobre la eficiencia y viabilidad de los buses eléctricos, particularmente el modelo BYD K9 G. Se determinó que estos vehículos satisfacen las necesidades energéticas de forma eficiente, superando a los buses diésel en términos de consumo energético y contribuyendo a la reducción de emisiones. Sin embargo, la investigación también señaló la necesidad de desarrollar infraestructura de carga adecuada y establecer normativas que garanticen la seguridad y fiabilidad del transporte. En conclusión, la adopción de buses eléctricos en Riobamba podría significar un avance significativo hacia la sostenibilidad urbana, mejorando la calidad del aire y la calidad de vida de sus habitantes, al tiempo que se alinea con las políticas nacionales de eficiencia energética y reducción de la huella de carbono.

Palabras clave: <RIOBAMBA(CANTÓN)> <BUSES ELÉCTRICOS> <SOSTENIBILIDAD URBANA> <ANÁLISIS COMPARATIVO> <LEY DE EFICIENCIA ENERGÉTICA> <DEMANDA ENERGÉTICA> <METODOLOGÍA ON-BOARD> <REDUCCIÓN DE EMISIONES>.

1106-DBRAI-UPT-2024



SUMMARY

In response to the environmental and mobility challenges faced by Riobamba due to population growth and its effects on traffic, pollution and fossil fuel consumption. This study focuses on evaluating the introduction of electric buses in the city's public transport system. With the legal framework provided by Ecuador's Energy Efficiency Law, which stipulates the electrification of all new transport units as of 2025. The research undertook a comparative analysis of energy demand between electric and diesel buses. Through the application of an On-Board methodology for real-time data collection along urban routes selected for their high energy demand, an exhaustive statistical analysis was carried out. This process made it possible to identify the most representative driving cycle and evaluate the efficiency of the electric bus powertrain under real operating conditions. The findings indicated that line 5 had the highest energy demand, which facilitated a detailed study on the efficiency and feasibility of electric buses, particularly the BYD K9 G model. These vehicles were found to meet energy needs efficiently, outperforming diesel buses in terms of energy consumption and contributing to emissions reduction. However, the research also pointed out the need to develop adequate charging infrastructure and establish regulations to ensure transport safety and reliability. In conclusion, the adoption of electric buses in Riobamba could mean a significant advance towards urban sustainability, improving air quality and the quality of life of its inhabitants, while aligning with national policies on energy efficiency and carbon footprint reduction.

Keywords: <RIOBAMBA(CANTON)> <ELECTRIC BUSES> <URBAN SUSTAINABILITY> <COMPARATIVE ANALYSIS> <ENERGY EFFICIENCY LAW> <ENERGY DEMAND> <ON-BOARD METHODOLOGY> <EMISSIONS REDUCTION>.



Lic. Sandra Paulina Porras Pumalema Mgs

C.I. 0603357062

INTRODUCCIÓN

Siendo el campo de investigación la ciudad ecuatoriana de Riobamba, la cual que se encuentra en la región Sierra a una altitud de 2750 m.s.n.m., es la capital y el cantón más poblado de la provincia de Chimborazo, se encuentra constituido por 16 parroquias en total, cubriendo una superficie de 59.05 [Km²] divididas en 5 urbanas: Lizarzaburu, Maldonado, Velasco, Veloz, Yaruquies y 11 parroquias rurales: San Juan, Licto, Calpi, Quimiag, Cacha, Flores, Punín, Cubijés, San Luis, Pungalá y Licán. El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón tiene la jurisdicción y el espacio de gestionar el sistema de transporte en todas las parroquias, para esta entidad es importante señalar los beneficios y recursos que se pueden ahorrar con la finalidad de impulsar esta propuesta con respecto a la movilidad sostenible (El Riobambeño, 2023).

Alrededor del mundo 11 países de Latinoamérica identificaron al sector del transporte como clave para lograr sus objetivos climáticos. Ecuador en su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDCs), definió la meta de la reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI) al 9 [%] a 2025 en la producción de energía, industria, agricultura y residuos, de esta manera se presenta una oportunidad para descarbonizar el sector automotor con la electromovilidad, mitigar las emisiones contaminantes y aumentar la eficiencia del sector de transporte (Cuenca Lozano, 2022).

Según (Hinicio, 2021) Guayaquil es una de las ciudades líderes en materia de electromovilidad, porque es la primera con 20 buses eléctricos, los cuales llegaron en 2019 a cargo de la compañía de transporte urbano Saucinc S.A.; asimismo, a finales del 2020 la empresa trajo 50 taxis eléctricos y en el año 2021 se estimó que trajeron 100 unidades más. No obstante, la empresa ejecutó proyectos piloto, con la finalidad de probar los taxis y buses eléctricos. En el año 2017, la ciudad de Loja contó con 51 taxis eléctricos; mientras que, en Cuenca, Quito y Galápagos llegaron buses eléctricos, lo que dio a lugar leyes y disposiciones que beneficiaran la adquisición y operación de vehículos de cero y bajas emisiones. Por ejemplo, se cuenta con el Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035, el que incorpora vehículos eléctricos como una medida clave para aumentar la eficiencia energética en Ecuador; además, está la Ley Orgánica de Eficiencia Energética, la cual indica que hasta el año 2025, todos los vehículos que se incorporen al transporte público deberán ser vehículos eléctricos; además, los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) deberán fomentar el uso de la movilidad eléctrica.

Cabe recalcar que, afianzar la inserción de los buses eléctricos en el transporte público es de relevancia para la movilidad sostenible dentro de una ciudad; para lograrlo, se debe implementar políticas que promuevan la aceptación y no entorpezcan los proyectos del uso energías limpias;

además, se debe obtener una mejora de las condiciones ambientales para los ciudadanos. Este trabajo de investigación considera la construcción de ciclos de conducción a partir de recorridos ejecutados en una ruta urbana preestablecida. Los ciclos de conducción determinan la representación de la velocidad de un vehículo con respecto al tiempo, se evalúa tanto el consumo, emisiones y demanda energética bajo condiciones normales de conducción especialmente de vehículos del sistema de transporte público.

La estructura y como se presenta realizada esta investigación es la siguiente:

CAPÍTULO I: Diagnóstico del problema

Este capítulo muestra la problemática dentro de la investigación del transporte público masivo urbano en la ciudad de Riobamba, diagnóstico del problema que está conformado por el planteamiento, limitaciones y delimitaciones, problema en general de la investigación y específicos (pregunta), objetivos generales y específicos, justificación teórica, metodológica y práctica e hipótesis de la investigación y nula.

CAPÍTULO II: Marco de referencia

En este capítulo se desdobra todos los antecedentes e indagaciones que tengan aproximación en el tema, al igual que la estructura teórica en donde se contrasta puntos muy significativos para establecer la viabilidad técnica considerando las tipologías y características de un bus eléctrico formas de operación, determinando su hipótesis y variables. Sin olvidar los principales conceptos que conlleva esta investigación.

CAPÍTULO III: Metodología

Para este estudio, se seleccionaron métodos específicos con el objetivo de obtener resultados relevantes. Esto implicó la recolección de información crucial mediante el uso de diversas técnicas e instrumentos diseñados para facilitar la acumulación de datos esenciales. Estos datos recogidos formarán la base para un análisis e interpretación detallados, centrados en los temas clave para el avance del capítulo III. Se llevó a cabo un proceso meticuloso para asegurar un diagnóstico preciso, basado en la información recabada a través de observaciones directas en las rutas de transporte público urbano y estaciones de descanso, complementado con datos e información derivados de la investigación bibliográfica.

CAPÍTULO IV: Marco de análisis e interpretación de resultados

Se llevó a cabo la modelación mediante algoritmos y fórmulas matemáticas para el dimensionamiento adecuado del tren motriz en la ruta que presenta la mayor demanda energética. Esto implica una detallada identificación de las características y particularidades de los componentes que integran el tren motriz. Asimismo, se reconocen los modelos desarrollados a partir de los principios establecidos en el capítulo III, se analizaron las especificaciones técnicas del autobús BYD K9 G y, mediante simulaciones en Matlab-Simulink, se visualizaron las dinámicas operativas. A través de este enfoque, se facilita la visualización de gráficas que representan las señales conductuales del autobús dentro de un ambiente de simulación. Este último se fundamenta en datos reales de ciclos de conducción operativos, permitiendo una aproximación precisa al comportamiento del bus eléctrico en condiciones reales de funcionamiento, y proporcionando una herramienta valiosa para la optimización del diseño y la evaluación del rendimiento del tren motriz en escenarios urbanos complejos.

CAPÍTULO V: Marco propositivo

Se integró análisis a partir de los hallazgos previos de los resultados de las rutas de transporte público con mayor consumo de combustible y selección del autobús eléctrico BYD K9 G para mejorar la eficiencia energética en Riobamba. Utilizando un enfoque experimental y simulaciones en Matlab, se determinó que el BYD K9 G puede satisfacer las demandas de potencia y torque de la ruta más exigente, la Línea 5. La viabilidad se respalda en mostrar una mejora significativa en el consumo energético y la autonomía, destacando la posibilidad y beneficios de implementar autobuses eléctricos en el sistema de transporte público de Riobamba. La regeneración de energía y la gestión del estado de carga (SOC) fueron claves para optimizar la eficiencia del autobús eléctrico.

CAPÍTULO VI: Resultados y conclusiones

Este capítulo introduce una evaluación crítica de la viabilidad técnica, operativa y económica de adoptar buses eléctricos en Riobamba, subrayando la importancia de establecer especificaciones técnicas exhaustivas y políticas de apoyo para una implementación exitosa, también se aborda la necesidad imperativa de evaluar la integración de buses eléctricos en Riobamba, frente a las crecientes preocupaciones ambientales y de movilidad a través de la observación directa y la investigación bibliográfica, permitiendo una comparación detallada con sistemas de transporte en otras ciudades.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En la actual sección se describe el planteamiento del problema, las limitaciones, delimitaciones, los objetivos trazados y la justificación del presente trabajo de investigación.

1.1. Planteamiento del problema

En los últimos años, el aumento demográfico en torno a las principales ciudades del mundo influye directamente en el campo automotor y como es de esperar, en la ciudad de Riobamba las dificultades como el tráfico vehicular, la contaminación ambiental y consumo de combustibles fósiles se ve en un aumento desmedido, estas complicaciones se notan en sectores donde hay mayor concentración de personas, consecuencia de las actividades que efectúan en su día a día.

“El ministro de Transporte y Obras Públicas, Aurelio Hidalgo dijo que, con apoyo externo se hará un plan de movilidad sostenible para el Ecuador, dado que, el sector 3 transporte representa el 21[%] de las emisiones totales de gases de efecto invernadero; motivo por lo cual la iniciativa está acorde con la Ley de Eficiencia Energética de marzo que establece. A partir del 2025 todas las unidades de transporte que entren en funcionamiento al servicio de transporte urbano e interparroquial, solo deberán ser de motor eléctrico” (EL UNIVERSO, 2023).

Se debe agregar que, con las condiciones ambientales deteriorándose, un servicio de transporte público urbano deficiente, el descontrolado consumo de recursos no renovables y el desconocimiento de las aplicaciones de energía sostenible conlleva a la incapacidad para poder tener un ambiente moderno con parámetros económicos y sociales equilibrados en constante conservación del medio ambiente. La Ley Orgánica de Eficiencia Energética colocada por la Asamblea el 14 de marzo del 2019, reconoce que los ecuatorianos tienen derecho a vivir en un entorno social que preserve los ecosistemas del Ecuador.

1.2. Limitaciones

Una limitación de este estudio conlleva desafíos inherentes, especialmente debido a la variabilidad geográfica de las rutas urbanas y la extensa cobertura requerida por el vehículo al transitar por la ciudad. La obtención de datos puede enfrentarse a la aparición de valores atípicos o incomprensibles, lo que se traduce en una demanda elevada de recursos durante la fase de

estudio. Factores críticos como la topografía de la región, condiciones de tráfico, variaciones climáticas, cobertura de señal, así como la adaptabilidad y eficacia operativa de los instrumentos y los vehículos de transporte urbano, juegan un papel fundamental en la calidad y precisión de los datos recabados para analizar los ciclos de conducción.

1.3. Delimitaciones

Este proyecto, datos y estrategias creadas para alcanzar su finalidad no se destinarán a otras ciudades del país sin el correspondiente estudio, se dará a conocer solo la demanda energética de la unidad de transporte para completar la ruta seleccionada más no su autonomía tomando en cuenta el abastecimiento o capacidad de energía que pueda suministrar una red de carga eléctrica, sin embargo, la ejecución y aplicación del proyecto se llevará a cabo únicamente si es utilizada por potenciales financistas relacionados con la naturaleza de la investigación y que tengan expectativas por aportar al desarrollo sostenible de la ciudad.

1.4. Problema General de Investigación

¿Es viable introducir autobuses eléctricos en el sistema de transporte público urbano de Riobamba para promover la movilidad sostenible en la ciudad?

1.5. Problemas específicos de investigación

- ¿Cuáles son los pasos necesarios para adaptar el sistema de autobuses urbanos a la tecnología motriz eléctrica?
- ¿Cómo identificar los requisitos específicos del sistema de transporte urbano para la implementación de autobuses eléctricos en Riobamba?
- ¿Cuál es el enfoque más efectivo para desarrollar un estudio que facilite la transición hacia autobuses eléctricos, incluyendo la recolección de datos y la creación de patrones de conducción?
- ¿Qué herramientas y técnicas son útiles para modelar y simular las rutas de autobuses eléctricos y estimar la demanda energética de manera precisa en Riobamba?

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Realizar un análisis comparativo en base a datos obtenidos por medio de la instrumentación y experimentación necesaria para determinar la viabilidad y la inserción de buses eléctricos en el sistema de transporte urbano de la ciudad de Riobamba, mediante la determinación de la demanda de energía para estimar una alternativa de movilidad sostenible y parámetros utilizados por flotas de servicio urbano.

1.6.2. Objetivos específicos

- Analizar los parámetros técnicos de los componentes del sistema motriz eléctrico de autobuses urbanos, mediante la indagación en diferentes fuentes bibliográficas.
- Analizar los parámetros operacionales de sistemas de transporte urbano de la ciudad de Riobamba, para comprarlos y establecer los requerimientos para la inserción de buses eléctricos, mediante la instrumentación de dispositivos OBD II.
- Recolectar datos con la técnica On Board, para obtener ciclos de conducción en tiempo real que permitan estimar parámetros del trayecto del autobús.
- Simular el consumo de energía mediante un software durante el trayecto de autobús para comparar con los resultados experimentales.

1.7. Justificación

La preocupación creciente por el impacto ambiental del sector automotriz, intensificada por el incremento poblacional, subraya la necesidad de buscar soluciones para minimizar la contaminación atmosférica. Este estudio, centrado en la ciudad de Riobamba, propone analizar la viabilidad de introducir autobuses eléctricos en el transporte público como una medida para disminuir la utilización de combustibles fósiles y las emisiones contaminantes, contribuyendo así a la lucha contra el cambio climático.

La importancia de esta investigación se acentúa por la falta de estudios anteriores, una planificación deficiente en movilidad sostenible y un limitado interés público y recursos tecnológicos en la zona. Estas limitaciones obstaculizan el avance hacia opciones energéticas más limpias, resaltando la urgencia de desarrollar soluciones innovadoras que promuevan el uso de tecnología de transporte eléctrico. Este esfuerzo no solo busca apoyar la descarbonización y

conservación ambiental sino también elevar la calidad de vida en Riobamba, alineándose con metas globales de sostenibilidad.

La metodología de la investigación incluye una evaluación teórica y técnica de la implementación de autobuses eléctricos, estimando la demanda energética a través de datos de ciclos de conducción en rutas urbanas. Se utilizará instrumentación avanzada para obtener información precisa en operaciones normales y realizar comparaciones entre modelos de autobuses eléctricos disponibles, basándose en análisis de fuentes diversas.

Además de aspectos técnicos, el estudio considerará factores sociales, económicos y tecnológicos relevantes para la implementación efectiva de este sistema de transporte en Riobamba. Este enfoque integrado generará recomendaciones para redefinir políticas de movilidad urbana sostenible, marcando un avance significativo hacia la sostenibilidad. La tesis representa un compromiso con la innovación y responsabilidad social, buscando adaptar prácticas internacionales exitosas para el mejoramiento ambiental y social de Riobamba.

1.7.1. Justificación teórica

Esta tesis reside en la necesidad imperante de aplicar y expandir los conocimientos y competencias adquiridos en la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz hacia la resolución de desafíos contemporáneos en el sector del transporte público. La investigación se enfocará en evaluar la incorporación de autobuses eléctricos en Riobamba, con el objetivo de fomentar la movilidad sostenible, eficiencia energética y contribuir al bienestar social. Esta iniciativa se basará en la integración de aplicaciones esenciales como la propulsión eléctrica, el análisis de eficiencia, tecnologías alternativas y la gestión ambiental. Dichos elementos serán cruciales para elaborar un estudio riguroso que sustente la viabilidad de implementar opciones de movilidad más limpias y eficientes. Este enfoque no solo refleja la aplicación práctica de la educación recibida, sino que también subraya el compromiso con la innovación y la responsabilidad social en el ámbito de la ingeniería. En la creación de la Constitución de la República del Ecuador. Asamblea Nacional del Ecuador (1887), se establece:

Art. 23: Las personas tienen derecho a acceder y participar del espacio público como ámbito de deliberación, intercambio cultural, cohesión social y desarrollo de la identidad en la complejidad. El derecho a difundir en el espacio público los adecuados términos culturales se ejercerá sin más restricciones que las que instituya la ley, con detención a los principios constitucionales.

Art. 66 numeral 13: Reconoce y garantiza a las personas el derecho a transitar desenvueltamente por el territorio nacional, elegir su residencia, así como entrar y salir libremente del país, cuyo adiestramiento se sistematizará de conformidad con la ley.

Art. 394: El estado, garantizará la libertad de transporte terrestre, dentro del territorio nacional, sin prerrogativas de ninguna naturaleza. La 22 promoción del transporte público masivo y la protección de una política de tarifas específicas de transporte serán prioritarias (pp. 11-14).

Asimismo, en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Estado Ecuatoriano 2015-2030, en el artículo 55 sobre competencias de los GADs municipales se “establece las competencias exclusivas como: planificar, junto con otras instituciones del sector público, el progreso cantonal y formular los convenientes planes de ordenamiento territorial, con el propósito de regular el uso y trabajo del suelo urbano; desplegar el control sobre el uso del suelo en el cantón; planear, edificar y conservar la vialidad urbana; y planificar, regular y controlar el tránsito y el transporte público dentro de su circunscripción cantonal” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2019, p. 6).

1.7.2. Justificación metodológica

La justificación de esta investigación se fundamenta en la imperiosa necesidad de generar resultados precisos y confiables sobre la viabilidad de incorporar autobuses eléctricos en el sistema de transporte público. Este estudio se centra en analizar minuciosamente factores críticos como las dinámicas urbanas de movilidad, el impacto ambiental del uso de combustibles fósiles, y la interacción con el espacio público. Resulta esencial asegurar que la población comprenda y acepte las tecnologías de desarrollo sostenible, lo que subraya la importancia de abordar la problemática ambiental y social para impulsar el respaldo a iniciativas ecológicas.

Avanzar hacia la sostenibilidad urbana exige una administración eficaz de políticas que incentiven prácticas responsables y la adopción de tecnologías limpias. La investigación propone un abordaje integral, que no solo contempla evaluaciones técnicas, sino que también incluye estrategias diseñadas para fomentar la conciencia y la participación ciudadana en el cambio hacia opciones de transporte sustentables. Por lo tanto, el estudio adopta una perspectiva holística que entrelaza el análisis técnico con acciones de concientización, buscando superar los desafíos de la sostenibilidad y promover el desarrollo de ciudades más limpias y vivibles. Esta justificación se alinea con el compromiso de contribuir a la mejora del entorno urbano y la calidad de vida de la comunidad, marcando un paso significativo hacia el logro de ciudades sostenibles y menos contaminadas.

1.7.3. Justificación práctica

Este estudio tiene como objetivo principal evaluar la afinidad hacia las tecnologías ecológicas emergentes en la gestión del transporte y la movilidad urbana. Su realización proporcionará datos cruciales para que las empresas proveedoras de servicios de transporte evalúen la viabilidad de transitar hacia un sistema de transporte masivo urbano más sostenible. De esta forma, el proyecto no solo ofrece una base de conocimientos valiosa para aquellos interesados en desarrollar iniciativas que promuevan ciudades sostenibles, sino que también satisface necesidades específicas en el ámbito de la planificación y ejecución de estos proyectos, posibilitando la creación de nuevas empresas con modelos de negocio enfocados en la mejora de la calidad de vida de la población y la preservación del medio ambiente mediante la adopción de vehículos eléctricos, siendo una razón hacia la renovación del sector automotor y juega un papel crucial alineándose con los esfuerzos globales para alcanzar la sostenibilidad ambiental y mejorar el bienestar de los habitantes.

1.8. Hipótesis

1.8.1. Hipótesis de la investigación

El análisis técnico cuantitativo y experimental de la demanda de energía de un modelo de autobús eléctrico para promover movilidad sostenible en una ruta urbana en la ciudad de Riobamba demostrará su viabilidad, confirmando su selección y operatividad eficiente.

1.8.2. Hipótesis nula

El análisis técnico cuantitativo y experimental de la demanda de energía de un modelo de autobús eléctrico para promover movilidad en una ruta urbana en la ciudad de Riobamba no demuestra su viabilidad, confirmando su selección y operatividad eficiente.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Es indispensable dar el reconocimiento a investigaciones ya antes realizadas, el respaldo de estos proyectos de investigación es de suma importancia para poder tener una guía del problema que se pretende dar solución y que a su vez proporcionará material para poder complementar el proyecto de investigación a desarrollarse.

En el proyecto de investigación elaborado por (Cueva Ruiz, 2019) “Análisis de factibilidad de implementación de buses 100 [%] eléctricos (EBuses) para impulsar la movilidad sostenible en el sistema de transporte urbano del Distrito Metropolitano de Quito”, el investigador dio a conocer un comparativo de costos de adquisición y operación entre un vehículo convencional y un vehículo 100% eléctrico, además se analizó el impacto social de este tipo de transporte para movilidad urbana. Esta investigación formuló entrevistas a directivos y encargados del sistema de transporte urbano en el Distrito Metropolitano de Quito, quienes dieron a conocer el veredicto del representante de ventas de la concesionaria BYD que ofrece el servicio de ventas de autos eléctricos. En conclusión, se indica una disminución de la contaminación ambiental siempre y cuando haya la inserción de buses eléctricos en la ciudad de Quito; de igual manera, se debe disminuir el consumo de combustibles fósiles y el ahorro del diésel subsidiado.

(Duque Escobar, 2007) argumenta que:

- La globalización de las economías hace del transporte una herramienta imprescindible y la presión de la demanda se traduce en un aumento del número de desplazamientos.
- El transporte no se demanda como actividad final, sino como medio para satisfacer otra necesidad.
- Por ser una actividad costosa, “prima facie” parecería que el transporte debería ser evitado o reducido en todo lo posible, sin embargo, existe una relación entre las inversiones en infraestructura de transporte y el desarrollo regional, que señalan que este constituye una actividad importante en continuo proceso de expansión y modernización.
- Dos fuerzas que contribuyen al proceso de urbanización global: la pobreza rural como fuerza que expulsa y las mayores oportunidades de la ciudad como fuerza que atrae.
- El crecimiento de la congestión ha incrementado los niveles de contaminación ambiental y los accidentes, en especial en las grandes ciudades.

Según (Torres Sarmiento, 2015) su investigación “Estudio de viabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en la ciudad de Cuenca” tiene como objetivo la propuesta de varias medidas o estrategias para la inserción de un vehículo eléctrico en la ciudad de Cuenca con el propósito de promover la mejora tecnológica de este tipo de vehículos. En la investigación analizó la viabilidad con referencia al mercado, aplicando encuestas como técnica de investigación analíticas cuantitativas y cualitativas, las cuales se dirigieron a los propietarios de transporte liviano de Cuenca, generando aceptación por la propuesta de la inserción de vehículos eléctricos como medio de transporte público. De igual manera, el investigador realizó un análisis FODA, en la matriz se pudo destacar las fortalezas y debilidades que posee este tipo de movilidad y, a partir de esto plantear estrategias que ayudarían a la problemática para establecer la viabilidad técnica y financiera del proyecto. En conclusión, el proyecto es admisible a pesar de su gran inversión inicial que puede ser elevada, gracias al costo y características de mantenimiento que requiere un vehículo eléctrico.

Según Hinicio (2021), a nivel nacional existen varios incentivos tributarios y económicos en rigor para la adquisición de vehículos eléctricos, tales como la exención de impuestos y aranceles, acuerdos comerciales y tarifas eléctricas preferenciales para la carga de vehículos. A nivel local también se han implementado regulaciones en el marco de la electromovilidad. Por ejemplo, la ‘Ordenanza de estímulo a la transportación eléctrica’ de Guayaquil designa incentivos económicos para la adquisición de unidades eléctricas: 15.000 dólares para buses y 4.000 dólares para taxis eléctricos. Además, Ecuador cuenta con varias fortalezas en materia de electromovilidad. Entre ellas, una matriz de generación eléctrica limpia, un parque automotor en crecimiento, programas de financiamiento y un interés significativo del gobierno en promover la movilidad eléctrica.

Otro antecedente es el creciente demográfico que se ha llevado a cabo en las últimas décadas en la ciudad de Riobamba en base a los censos realizado en los años 1990, 2001, 2010 (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010), La demanda de transporte público y el parque automotor están en aumento, lo cual se puede estimar para los próximos años mediante la recopilación histórica de datos de matriculación vehicular desde 2008 hasta 2015.(Llamuca Auquilla, Uvidia Inca y Viñán Villagrán, 2022). La Tabla 2-1, muestra los resultados del trabajo realizado durante ese tiempo; mientras que, la Tabla 2-2 muestra la proyección utilizando un método de regresión lineal con la información del sitio web del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), a clasificación tipológica de vehículos en livianos, pesados y motocicletas ayuda a satisfacer la demanda actual. Existe una relación directa entre el crecimiento del sector automotor, la contaminación y el aumento demográfico, subrayando la necesidad de estrategias sostenibles.

Tabla 2-1: Parque Automotor del cantón Riobamba desde el año 2008 hasta el año 2015.

AÑO	TIPO DE VEHÍCULO			TOTAL
	LIVIANOS	PESADOS	MOTOCICLETA	
2008	15676	1835	732	18243
2009	16920	1827	758	19506
2010	22809	2623	1553	26985
2011	25422	2862	2676	30691
2012	26913	2690	2461	32064
2013	28980	2793	3059	34832
2014	31092	2965	3594	37651
2015	39752	3815	4143	47710

Fuente: Llamuca Auquilla, et al., 2022.

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Tabla 2-2: Proyección del crecimiento del Parque Automotor del cantón Riobamba desde el año 2018 hasta el año 2027.

AÑO	TIPO DE VEHÍCULO			TOTAL
	LIVIANOS	PESADOS	MOTOCICLETA	
2018	46018	4215	5650	55883
2019	49106	4452	6154	59712
2020	52194	4689	6659	63541
2021	55282	4925	7163	67370
2022	58370	5162	7667	71109
2023	61458	5399	8172	75028
2024	64546	5635	8676	78858
2025	67634	5872	9180	82687
2026	70722	6109	9685	86516
2027	73810	6346	10189	90345

Fuente: Llamuca Auquilla, et al., 2022.

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. Movilidad sostenible

La movilidad sostenible hace referencia a las alternativas que ayuden a satisfacer las necesidades de desplazamiento y mitigar los efectos del consumismo humano y explotación de recursos no renovables a la vez que el sector de transporte privilegia a la población con este servicio, la movilidad sostenible es la práctica de diferentes métodos que ayuden a las personas a trasladarse

en cualquier medio de transporte con responsabilidad, menos congestión vial con criterio ecológico para proteger y contaminar menos el medio ambiente (Geoinnova, 2018).

2.2.1.1. Ecuador y la electromovilidad

La movilidad eléctrica en los sectores del transporte urbano genera un crecimiento del mercado y la implementación de proyectos de movilidad sostenible, por lo que hay que utilizar esquemas de financiamiento para promover propuestas y elaboraciones de mejores planes aplicables a la realidad del Ecuador, basándose en experiencias y prácticas internacionales de aprovechamiento y uso de recursos tecnológicos. En el Art 14 de la Ley Orgánica de Eficiencia Energética 2019, se determina que los vehículos deben ser totalmente eléctricos a partir del 2025 los GAD tienen planes de chatarrización, el PLANEE promueve la sustitución paulatina de combustibles y fuentes de energía de gran impacto ambiental por otros combustibles y fuentes de energía bajas en carbono o de cero emisiones, incluidas las fuentes de energía renovables, tratándose de energía no se trata de producir más, sino de consumir mejor (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2019). En la Ilustración 2-1 se observa la cantidad de buses eléctricos.

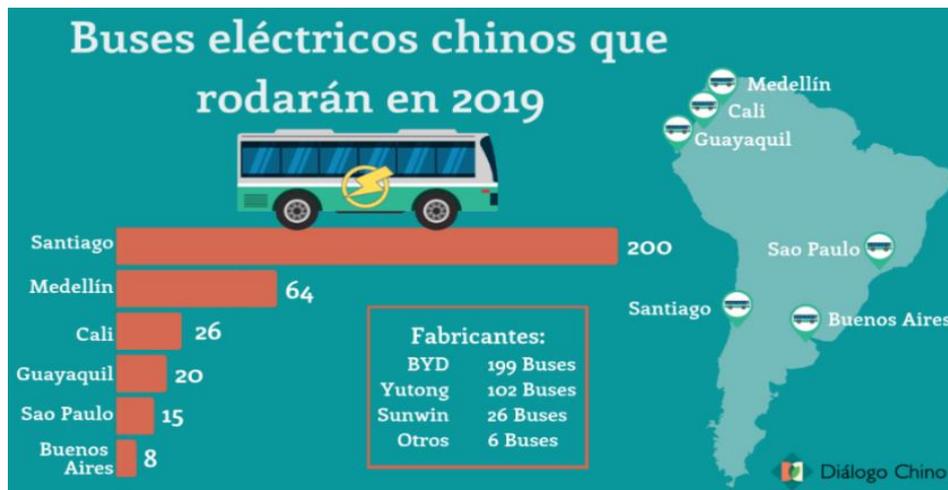


Ilustración 2-1: Cantidad de Buses eléctricos que estarán en circulación en 2019

Fuente: Bermúdez Liévano, 2019

2.2.2. Transporte público

El transporte público es un servicio local que se brinda a la población en general; su objetivo es contar con los medios necesarios para poder movilizarlos de un lado a otro operando de forma legal, en rutas fijas y horarios establecidos (Imbaquingo Castillo y Olmedo Martínez, 2019).

Los componentes del sector del transporte público son: el tipo de vehículo ya sea unidad o flota, la infraestructura que está integrada de elementos necesarios para que funcione el transporte público, entre estos están las vías o rutas, paradas, abastecimientos energéticos, talleres, terminales, entre otros (Albán, 2022).

2.2.2.1. Análisis del transporte público en Ecuador

La industria del transporte incorpora el 42 [%] del gasto total de energía del país. Los principales combustibles solicitados son: diésel 45 [%], gasolina 41 [%] y fuel oíl 7 [%]. Hay muy poca electricidad siendo utilizada como una fuente energética (Ministerio de Energía y Minas, 2022).

De acuerdo con la (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013), el objetivo 7, que se encuentra en los Lineamientos Estratégicos del Plan Nacional del Buen Vivir, el Estado reducirá sucesivamente el uso de combustibles fósiles en el transporte y substituirá los vehículos tradicionales, promoviendo la movilidad sostenible, desde 2008 se quiere aumentar la compra de autos híbridos y autos eléctricos con incentivos fiscales, en diciembre de 2014 había 4.055 coches híbridos y 35 coches eléctricos.

De esta manera en el año 2008, el gobierno nacional implementó el Programa de Renovación de Flota (RENOVA) para reemplazar el transporte público y comercial. En el 2014 se desguzaron 16.123 unidades y se añadieron 19.614 unidades. Por otra parte, desde el 2010 se ha puesto en camino el proyecto de fabricación de biocombustibles Ecopaís, con la formulación de gasolina suplementaria con 5 [%] de etanol anhidro, que fortalece el sector agroindustrial y ayuda a dominar las importaciones de combustible de alto octanaje y las emisiones de gases de efecto invernadero (Duque Escobar, 2007).

Según Delgado y Dávalos Boris (2016), Ecopaís representa el 9 [%] del consumo de gasolina del país. En cuanto a la calidad del combustible, desde el 2011, Petroecuador ha reducido el contenido de azufre del combustible diésel de 7.000 ppm a menos de 500 ppm, lo que admite la importación de vehículos con superiores prestaciones. Cabe indicar que el proyecto del metro de Quito se encuentra en práctica, la construcción de la segunda fase del proyecto, el túnel y estación intermedia inició el 19 de enero de 2016, por otra parte, Guayaquil desarrolló de mejor manera su sistema de Metrovía, de igual manera, se está edificando el tranvía de Cuatro Ríos de Cuenca en la ciudad de Cuenca.

2.2.2.2. Planificación del transporte público

El transporte público y el proceso de planificación puede tener cuatro etapas, como se observa en la Ilustración 2-2:

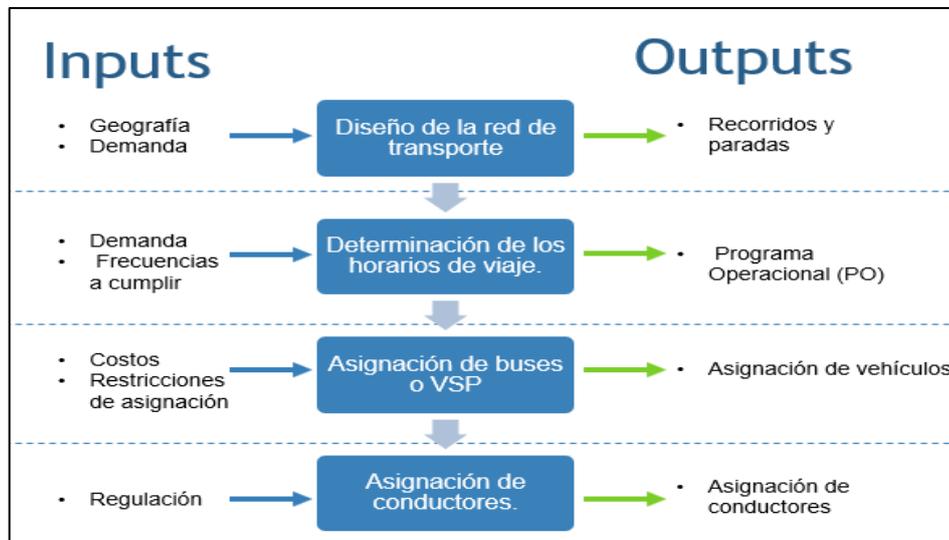


Ilustración 2-2: Etapas del proceso de planificación del transporte público

Fuente: Braga Muñoz, A., 2020

Para continuar, se describen brevemente en que consiste cada uno de los procesos:

- **Transporte público y su diseño de red de servicios:** En este ciclo se da la programación de las rutas, la ubicación y la frecuencia mínima que deben seguir los propietarios de las cooperativas o flotas de autobús. Esta fase la determina la autoridad reguladora, aunque los licenciatarios pueden ofrecer nuevos servicios o combinarlos con una mediación de partes (Braga Muñoz, 2020).
- **Planificación de horarios de viaje y frecuencias:** En esta etapa se configuran los horarios con su frecuencia, los vehículos que funcionan en dichos horarios son los que abastecerán del servicio programado, como resultado se obtiene un itinerario el cual se publica como un programa operacional por cada cooperativa o flota en la dirección de transporte público metropolitano de la ciudad.
- **Vehiculé Scheduling (VSP) o Concesión de Buses:** En este proceso se trata de cumplir la planificación operativa anterior mediante la asignación de las unidades de transporte. La manera de solventar esta etapa vinculada con la anterior es reducción de los costos fijos y variables de cada compañía (Braga Muñoz, 2020).

- **Asignación de conductores:** Este último proceso define la cantidad de autobuses y sus itinerarios y es preciso determinar un chofer calificado a los buses. Constantemente se insiste por respetar jornadas y cláusulas de contratos (Braga Muñoz, 2020).

(Braga Muñoz, 2020) menciona en su trabajo de investigación las etapas que podrían ser modificadas levemente en su bosquejo. Para comenzar, a la hora de planificar la red de servicio hay que tener en cuenta la flota de autobuses eléctricos existente, y el resultado serían también posibles paradas de recarga. Luego, para la determinación de horarios de viaje sería necesario tener en cuenta el tiempo de carga que requiere la flota, y como resultado se establecerían ya definitivo las paradas de carga. En tercer lugar, la retribución de buses precisaría considerar detalles de la flota de buses, lo que añadiría limitaciones adicionales al proceso, por ejemplo, a la carga de pasajero, equipaje, etc. Posteriormente, se resalta que la etapa de retribución de conductores no se reformará.

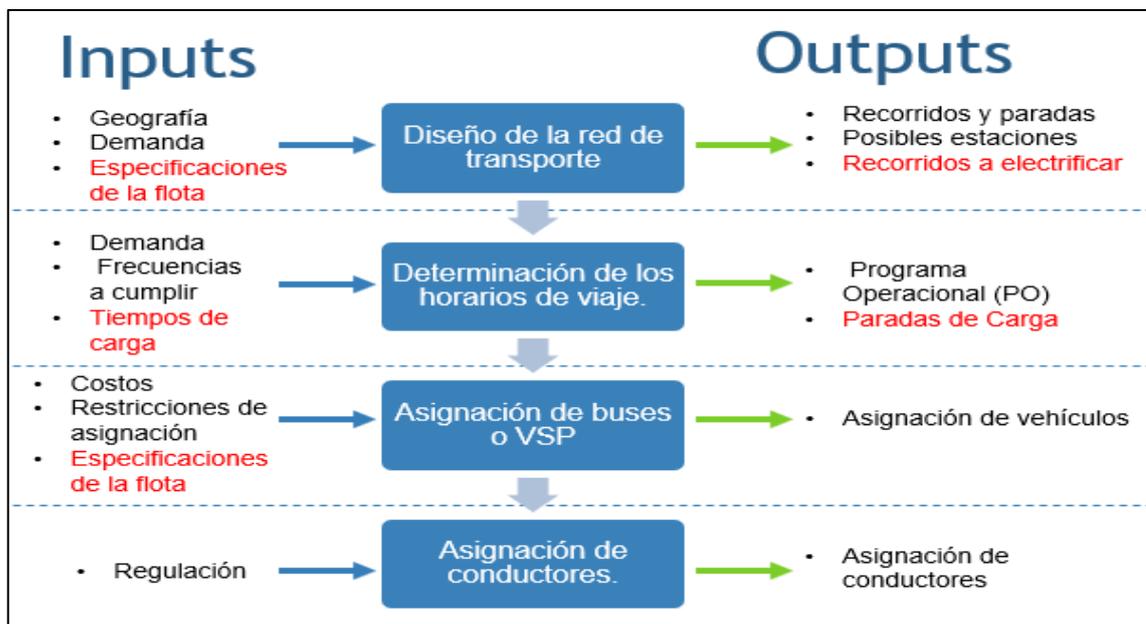


Ilustración 2-3: Modificación al proceso de planificación de transporte público ante una electrificación.

Fuente: Braga Muñoz, A., 2020

2.2.2.3. Análisis de medio de transporte urbano en Riobamba

Los medios de transporte motrices funcionan con un MCI de preferencia a diésel, un motor a diésel tiene una relación de compresión mayor que el de gasolina, también es eficiente al generar un menor consumo de combustible, mayor cobertura de kilómetros por litro de combustible y torque, por las características del combustible utilizado posee una compresión elevada y mayor

fuerza en otras palabras, son conocidos por utilizar motores robustos para transporte y trabajos pesados (Fabela, Hernández y Cruz, 2023).

“El reparto modal motorizado en la ciudad de Riobamba se lo realiza en mayor cantidad en forma privada 80.00 [%] y el no motorizado a pie 97.00 [%], debido a las actividades diarias como es el trabajo, educación, comercio, entre otros y las condiciones de relieve de la ciudad” (Cobo Villagómez, 2022).

La Cooperativa Puruhá fue la primera cooperativa de transporte urbano en prestar el servicio a la población Riobambeña, después se incorporó la Cooperativa Liribamba y luego de algunos años la Cooperativa El Sagrario, las rutas específicas fueron asignadas para cada una de ellas, pero años después estas cooperativas inician el rotativo de las rutas existentes, aquí nace el conocido tres-dos-uno saliendo con gran ventaja la cooperativa Puruhá la cual se repetía tres veces a diferencia de las restantes cooperativas en la misma ruta, Liribamba con dos veces y el Sagrario con una. Con el desarrollo poblacional de la ciudad se añaden compañías de buses urbanos, estas son: Bustrap, Unitraseep, Ecoturisa, Urbesp, en ese orden, todas con rutas específicas (Rodríguez, 2016).

Se debe agregar que, las líneas de transporte urbano cumplen con un sistema cíclico, las unidades ejecutan entre 6 y 8 ciclos, la media de los ciclos de las 16 líneas es 6.78 ciclos diarios con 186 unidades para brindar la cobertura necesaria a la población, también se puede desprender en la rentabilidad de las líneas, siendo la línea 4 (Licán-Bellavista) la más rentable ya que tiene más demanda de pasajeros y un tiempo de recorrido considerable por ciclo, la frecuencia de lanzamiento es de 2 min, línea 1 (Santa Ana-Bellavista), la línea 2 (24 de Mayo-Bellavista) y la línea 11 (Terminal Inter-Mayorista) cuentan con parámetros de funcionamiento similares por los 8 ciclos que realizan con mayor incidencia (Rodríguez, 2016).

Mientras que, la línea 6 (Miraflores-Bellavista), 8 (Yaruquies-Las Abras), 15 (Licán-ESPOCH-UNACH) y 16 (Calpi-La Paz) realizan 7 ciclos y esta última tiene el mayor ángulo de pendiente y distancia de recorrido diario, las rutas restante son la línea 3 (Santa Anita-Camal-Mayorista), 5 (Corona Real-Bellavista), 7 (Inmaculada-El Rosal), 9 (La Lolita Mercado Mayorista), 10 (Pinos-San Antonio), 12 (San Gerardo-Batan), 13 (Sixto Duran-San Miguel De Tapi) y la 14 (San Luis-San Miguel De Tapi) que es la que mayor tiempo de recorrido tiene por día (Rodríguez, 2016).

Por otra parte, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Las líneas urbanas hacen un recorrido consumado por cada ciclo de 18 km a 25 [km] en general (Rodríguez, 2016).
- El autobús realiza paradas desprogramadas, donde el pasajero lo requiera para subir o bajar.
- La mayoría de los recorridos se efectúan con normalidad a excepción de cierre, arreglos de vías o accidentes.
- Al llegar el autobús al final del circuito el conductor tiene aproximadamente 10 a 15 minutos para cubrir sus necesidades.
- La velocidad promedio es de 14 [km/h] hasta 25 [km/h] de forma frecuente. Salvo casos particulares.
- La cooperativa efectúa multas por atrasos en los puntos designados.
- La línea 10 y 9 tiene no tienen rentabilidad.
- Los fines de semana las líneas con aproximaciones a ferias y mercados como la línea 16, tiene mayor afluencia de personas y aumento de carga extra (animales, alimentos, etc.).
- La adquisición de contadores, dispositivos que sirven para testear la cantidad de pasajeros y la ubicación del autobús no satisface las expectativas.

Normativa y características del transporte público

Según Instituto Ecuatoriano de Normalización (2010), el bus urbano debe cumplir con las siguientes medidas externas, el total del largo debe ser mínimo de 10.300 [mm] y máximo 12.900 [mm] y de un ancho total de carrocería que debe cubrir la trocha posterior del chasis con un mínimo de 2.500 [mm] y un máximo de 2.600 [mm], además, debe tener un peso total a carga máxima superior a 5 toneladas, pero inferior a o igual a 6,2 toneladas y con un total de pasajero igual o mayor a 60.

Tipos de transporte público motorizado

Al existir los transportes de tipo motorizado y los no motorizados, según el (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016) en la Normativa Ecuatoriana Técnica existe el de tipo M para aquellos transportes motorizados diseñados de cuatro ruedas o más para transportar pasajeros y una subcategoría M3 cuyo peso bruto vehicular sea superior a 5 toneladas y con más de 8 lugares más el asiento del chofer de esta manera los motorizados son clasificados. En la Ilustración 2-4 se observa una clasificación más detallada de los vehículos. La desventaja de estos vehículos es su deficiencia en cuanto a la demanda que existe en rutas donde hay muchos pasajeros y su capacidad de transportarlos es nula (Albán, 2022). Si se considera el sistema de transporte urbano de Riobamba

y sus 186 unidades, se observa que el autobús de uso preferencial y masivo es el que corresponde al HINO AK serie 500.

CÓDIGO	TIPO	ESQUEMA	DESCRIPCIÓN
MCB	MICROBÚS		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.2.
MNB	MINIBÚS		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.2.
BUS	BUS		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.2, 3.1.2.2, 3.1.2.3 y 3.1.2.4.
BDP	BUS DE DOS PISOS, PISO Y MEDIO		Vehículo destinado al transporte de pasajeros de dos plantas con espacios internos para la circulación de Clase III. Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.2 y 3.1.2.4.
ART	ARTICULADO		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.2.5.
BART	BIARTICULADO		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.2.5.
TRO	TROLEBÚS		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.2.6.
BCO	BUS TIPO COSTA		Vehículo destinado al transporte de mercancía y pasajeros a partir de un chasis cabina adaptado artesanalmente. Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.2.7.

Ilustración 2-4: Clasificación de los vehículos de acuerdo con la Normativa Ecuatoriana Técnica

Fuente: Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016

Situación actual del Servicio de Transporte Urbano en la Ciudad de Riobamba

En la actualidad operan varias líneas de buses en la ciudad de Riobamba, por lo que, se da a conocer el horario de atención, frecuencia y la información de las líneas de buses urbanos; por otro lado, están los complementos representativos para estructuración vial de la ciudad y que facilitan el desarrollo estructural vial secundaria y terciaria que sirven de acceso a urbanizaciones. Argumentando que, la red vial urbana se compone por 31.931 [km] de vías Expresas, 154.653 [km] de vías Arteriales, 57.805 [km] de vías Colectoras y 386.431 [km] de vías Locales todas conformando la estructura vial del área urbana, de las cuales 95 [%] de las vías se encuentran en estado regular (GAD Riobamba, 2020).

- El Centro Histórico, y su tramo conformado por una red vial la cual se utiliza desde la fundación de la ciudad, se encuentra definido por las calles José Joaquín de Olmedo y José de Orozco (GAD Riobamba, 2020).
- Dos tramos circulatorios que franquean la ciudad, comunicando la sección norte y sur con el centro, además de los accesos y salidas de la ciudad.
- En distancias cortas vías colectoras que cruzan la ciudad de este a oeste.

En Riobamba, tres cooperativas y cuatro asociaciones de transporte urbano operan bajo las normativas de la Gestión de Movilidad, Tránsito y Transporte. Establecen una tarifa de \$0.30 para adultos y \$0.15 para menores, personas de la tercera edad y discapacitados. Se proporciona un mapa esquematizado, en la Ilustración 2-5, que muestra la distribución de los circuitos de cada línea de transporte público en la ciudad. (Oviedo Moncayo, 2017).

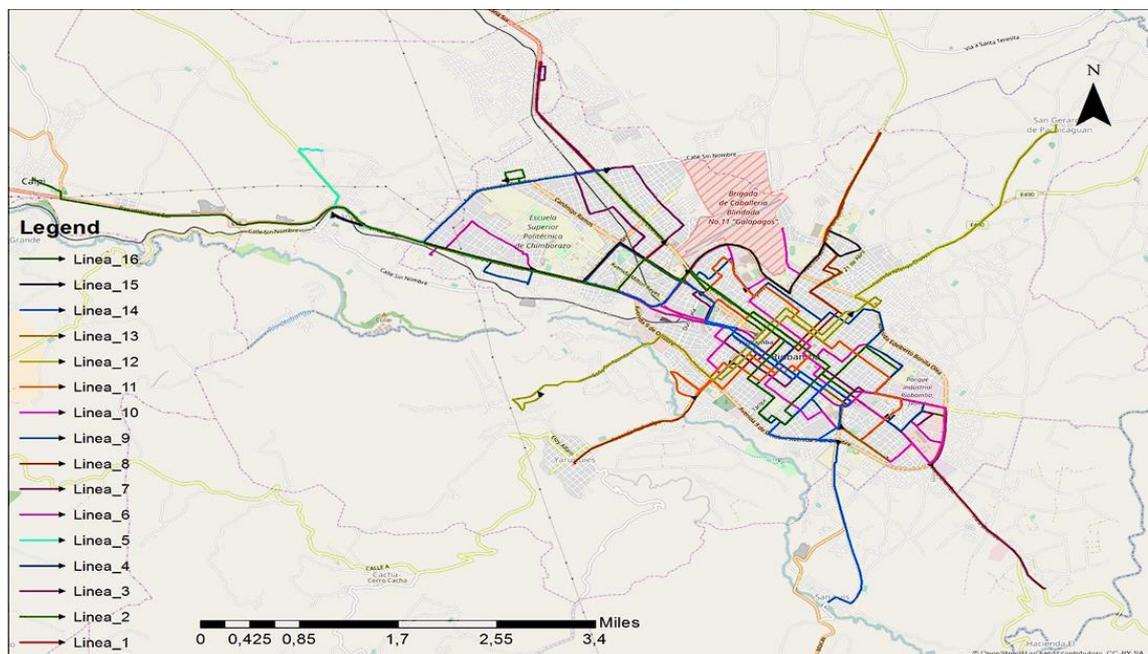


Ilustración 2-5: Mapa de rutas y frecuencias de transporte público urbano

Fuente: Oviedo Moncayo M., 2017

2.2.2.4. Medio de transporte eléctrico

Los autobuses eléctricos, que utilizan electricidad en lugar de combustibles fósiles, están ganando terreno globalmente como parte de los esfuerzos por fomentar una movilidad más sostenible. Estos vehículos funcionan mediante un motor eléctrico y se alimentan de energía almacenada en baterías, ofreciendo la posibilidad de operar de manera autónoma y regenerativa, lo que incrementa su eficiencia y autonomía. Comparativamente, su eficiencia energética puede alcanzar el 90 [%], significativamente superior al 25 [%] de los motores a gasolina y al 60 [%] del diésel, destacando su contribución a una movilidad más limpia y eficiente. (Imbaquingo Castillo y Olmedo Martínez, 2019).

Partes de buses eléctricos

Está compuesto principalmente por:

- **Motor:** puede ser uno o varios motores dependiendo del diseño; además, estos son generadores de energía. Se usan motores AC o CC (Imbaquingo Castillo y Olmedo Martínez, 2019).
- **Cargador:** obtiene electricidad AC desde la red y la transforma en CC, para de este modo poder cargar la batería principal.
- **Baterías:** entre los componentes de las baterías, están las de iones de litio, estas son más utilizadas por su eficiencia de almacenamiento y vida útil, la energía proveniente del cargador en CC se acumula en la batería, esta fuente alimenta todo el vehículo eléctrico.
- **Transformadores:** convierten la AC que es suministrada por la red en CC, la misma que es almacenada en las baterías.
- **Inversores:** se encargan de transformar la CC en AC.
- **Controladores:** gestionan el correcto funcionamiento la eficiencia y seguridad para regular la energía que recarga los diferentes componentes o recibe el motor del vehículo eléctrico.

Naturaleza de los autobuses eléctricos

El autobús eléctrico por su mayor costo con relación a los buses de combustión interna tiene el propósito de investigar y producir tecnologías alrededor del mundo para reducir los precios de adquisición y optimizar la eficiencia de estos, en los últimos años se han combinado varias tecnologías intentado superar de forma positiva las aflicciones del sector automotor, equipando vehículos con componentes que tengan mayor eficiencia, seguridad y desempeño en carretera,

también optando por reducir el impacto visual de la infraestructura eléctrica de carga en las ciudades (Carchi Tenesaca y Peñafiel Garay, 2019).

Un autobús eléctrico que tiene un acumulador de energía propulsado por un motor eléctrico que utiliza un tren de potencia para desplazarse, para clasificarlos hay varios caracteres a tener en cuenta, algunos dependen de su nivel hibridación o si es totalmente eléctrico, si su acumulador es recargable, enchufable o son cargados por otro tipo de módulo generador para el prototipo del vehículo (Albán, 2022). Los autobuses eléctricos se clasifican de la siguiente manera:

Autobuses eléctricos sin recarga

Son conocidos como trolebús y su sistema no necesita ser cargado es muy similar a un tranvía, la corriente se lleva a través de la catenaria de dos cables por donde toma energía de la red por medio de dos astas. Su principal diferencia con el tranvía es que circula sin rieles y que tiene dos cables de contacto de antena (Carchi Tenesaca y Peñafiel Garay, 2019).

Autobuses eléctricos con recarga

Para funcionar su sistema se abastece con energía eléctrica que se almacena en baterías recargables, con autonomía suficiente para un recorrido, sin necesidad de recargas durante el mismo trayecto. Sus principales peculiaridades a parte del coste de adquisición y de mantenimiento es el periodo de tiempo de autonomía de la batería y el tiempo de recarga. En la Ilustración 2-6 se observa una clasificación más detallada de los buses eléctricos (Carchi Tenesaca y Peñafiel Garay, 2019).

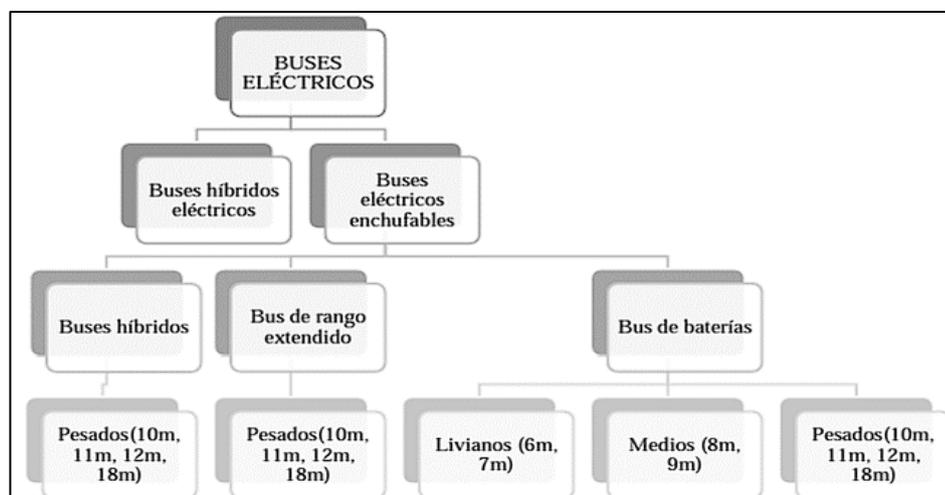


Ilustración 2-6: Clasificación de los buses eléctricos

Fuente: Carchi Tenesaca E. y Peñafiel Garay D., 2019

Autobuses híbridos

Este tipo de vehículo combina dos sistemas de propulsión distintos para su funcionamiento, el cual consiste en un motor eléctrico y un motor de combustión interna. El motor eléctrico es alimentado por baterías recargables y es capaz de propulsar el autobús de manera completamente eléctrica durante ciertos períodos de tiempo o en situaciones específicas. Por otro lado, el motor de combustión interna, generalmente de menor tamaño, funciona con gasolina o diésel. El autobús eléctrico se desarrolla a partir de la necesidad de aprovechar las ventajas de ambos sistemas de propulsión. El motor eléctrico puede ser altamente eficiente en condiciones urbanas de tráfico congestionado o durante detenciones frecuentes, porque no emite contaminantes y ofrece una aceleración suave; el motor de combustión interna, por su parte, puede entrar en funcionamiento cuando se necesite mayor potencia o cuando las baterías eléctricas se agoten, proporcionando flexibilidad y autonomía adicional al vehículo. En conjunto, los autobuses eléctricos híbridos buscan reducir las emisiones contaminantes (Carchi Tenesaca y Peñafiel Garay, 2019). Adicionalmente, se clasifican en híbridos en serie y en paralelo:

- **Autobuses híbridos en paralelo:** tienen elementos mecánicos que acoplan el motor de combustión interna con el motor eléctrico, lo que permite la transmisión del movimiento desde los mecanismos hacia el tren motriz y luego a las ruedas (Carchi Tenesaca y Peñafiel Garay, 2019).
- **Autobuses híbridos en serie:** tienen una conexión continua desde el motor de combustión, al generador y el motor eléctricos (Carchi Tenesaca y Peñafiel Garay, 2019).

Características, ventajas y desventajas de los buses eléctricos

A continuación, se describen las características de los buses eléctricos:

- **Propulsión eléctrica:** cuentan con un sistema de propulsión basado en motores eléctricos, lo que reduce las emisiones de gases de escape y mejora la eficiencia energética en comparación con los motores de combustión interna (Carchi Tenesaca y Peñafiel Garay, 2019).
- **Menor ruido:** los autobuses generan menos ruido en comparación con los motores de combustión interna, reduciendo la contaminación auditiva.
- **Regeneración de energía:** al frenar o desacelerar, los autobuses eléctricos pueden recuperar parte de la energía cinética y convertirla en energía eléctrica, la cual se almacena en las baterías.

- **Contribución a la sostenibilidad:** la adopción de este tipo de autobús forma parte de los esfuerzos para una movilidad más sostenible y de la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

Las ventajas que aportan este tipo de unidades de transporte son:

- Al carecer de MCI, los sistemas de pretratamiento del vehículo para los GEI no existen, por lo que no existe emisiones y contaminación acústica (Carchi Tenesaca y Peñafiel Garay, 2019).
- El tipo de energía que utiliza es más económico que el combustible convencional.
- Los usuarios cuentan con un mejor ambiente y confort, por otra parte, estas unidades no pueden superar el límite máximo de pasajeros por cuestión de rendimiento energético y autonomía.

Las desventajas de estas unidades de transporte son:

- La accesibilidad y conocimiento para la tecnología que tienen los autobuses eléctricos, limitado mantenimiento preventivo que puede generar averías complejas (Carchi Tenesaca y Peñafiel Garay, 2019).
- Los costos de adquisición con relación a los autobuses de combustión interna son muy elevados.
- Menor autonomía por tanto no se consideran estas unidades de transporte para viajes en rutas mayores a las especificadas por el fabricante.
- El tiempo de abastecimiento para la recargar la batería puede tardar horas.

Variantes de modelos con referencia producción de unidades

En la producción de buses existen empresas que pueden ejecutar la manufactura de la unidad desde el inicio hasta su entrega como producto final, ha esto se denomina “autobús integral”. Los turismos integrados se manejan generalmente para el transporte por carretera en el extranjero, ya que su compacta estructura está diseñada para transitar largas distancias en carreteras, lo que garantiza la seguridad y la comodidad de los pasajeros, no se garantiza su uso intensivo en terrenos irregulares ya que puede averiar la estructura (De los Santos, 2022).

Un modelo distinto de negocio permite concentrarse solo en la producción del chasis, llamado "bus-on-chasis", dejando la producción de la carrocería a otra empresa, o viceversa. Las empresas que fabrican autobuses integrados y autobuses de chasis incluyen Mercedes-Benz, Volvo, Scania,

MAN, Hino y Dyna. Por otro lado, las empresas dedicadas a la construcción y montaje de superestructuras ofrecen soluciones precisas al mercado para las necesidades determinadas de los clientes, así como opciones de adquisición más económicas. Estas entidades entregan el producto final al cliente y añaden otros elementos básicos como asientos, elementos de cabina y habitáculo, pintura y rotulación, etc. Entre las empresas que utilizan un nuevo modelo de producción basado en la fábrica, se pueden identificar tres enfoques para la producción de autobuses eléctricos. Se pueden mencionar tres variantes del modelo en función del nivel de integración de la fabricación para comprender mejor las variantes que las empresas pueden utilizar al decidir qué elementos fabricar internamente y qué elementos integrar o ensamblar (De los Santos, 2022).

Reconversión de unidades

La actualización de equipos proporciona a los clientes ahorros en términos de combustible y mantenimiento. Uno de los mayores cambios en el proceso de conversión de convencional a eléctrico es la eliminación de los elementos que intervienen en la combustión, los que son: la transmisión, el motor, tanque de combustible y el sistema de post procesamiento; estos son reemplazados por motores de tracción eléctrica y elementos relacionados con la batería y a la carga; mientras que los aspectos estructurales y estéticos se pueden o no cambiar. En la Ilustración 2-7 se observa los elementos que cambian en un autobús eléctrico; mientras que, en la Tabla 2-3 se compara los subsistemas de un autobús convencional y eléctrico (De los Santos, 2022).



Ilustración 2-7: Elementos del sistema de propulsión reemplazables en la reconversión de unidades de tren motriz convencional a eléctrico

Fuente: De los Santos, 2022.

Tabla 2-3: Comparación entre subsistemas de autobús convencional y eléctrico

Subsistema	Características de autobús de tren motorizado convencional	Características de autobús de tren motorizado eléctrico	Nivel de cambio
Propulsión y carga	Motor de combustión, transmisión, tranque de gasolina y sistema post tratamiento	Motor eléctrico, módulos de baterías, conexiones para carga rápida y enchufe de carga	Alto
Componentes eléctricos	Sistemas de bajo voltaje	Sistemas de alto voltaje	Alto
Dirección y control	Hidráulica	Eléctrica	Alto
Frenos, ejes, suspensión y diferencial	Estándar	Frenos regenerativos y suspensión adaptada a nuevo peso por baterías	Alto
Chasis	Estándar	Se ajusta para acomodar el set de baterías que será instalado	Bajo
Interiores	Estándar	Estándar	No cambia
Estructura y carrocería	Estándar	Estándar	Bajo
Tablero de instrumentos	Estándar: análogo y/o digital	Añade cambios menores relacionados a la carga de energía	Bajo

Fuente: De los Santos, 2022

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

2.2.2.5. Prestaciones y requerimiento operativos de un vehículo eléctrico

En este punto, se figuran las ventajas requeridas para que el vehículo ejecute la función para la que será utilizado, siendo los criterios primordiales la velocidad máxima, la aceleración y el desnivel o pendiente máxima que puede vencer el vehículo. Para los buses urbanos estudiados, los indicadores mínimos significativos se basan en los límites de velocidad permitidos por la Agencia Nacional de Transporte de manera que el vehículo puede acelerar de 0 a 50 [km] por hora en condiciones de carretera sin pendiente en 20 segundos, la pendiente máxima que se puede superar a una velocidad de 10 [km/h] es del 15 [%] (Pauca Cujilema 2019).

De igual forma, los prototipos de motores de combustión interna están colaborando en la transición de modelos de motores eléctricos que ahora disponen de cargadores, baterías o una fuente de energía renovable, en la actualidad la movilidad sustentable en conjunto con la innovación energética está aumentando el ritmo para que los Buses de Tránsito Rápido (BTR) se incorporen al sistema de transporte urbano (Jiménez, 2020). Los siguientes elementos componen parte de los requerimiento y estructuración para el transporte de autobuses eléctricos:

- **Mantenimiento:** se necesita de personal capacitado con las habilidades para el mantenimiento de las unidades, tanto en sistemas del autobús como en los sistemas de cargas para poder alargar o mantener la vida útil pronosticada por el fabricante (Jiménez, 2020).
- **Autobús eléctrico:** es un bus claramente eléctrico que se alimenta de baterías de forma continua, tiene espacios consignados para pasajeros en libre circulación para la cual este

destinada (Jiménez 2020). Este consta de componentes que funcionan bajo requerimientos propios de este tipo de transporte y que poseen características propias:

- a) **Motor eléctrico:** Deben ser de acuerdo con la potencia requerida del perfil de operación de la ruta, mínima 230 [kW] a 2850 [msnm] (Salcedo et al., 2018).
- b) **Convertidor:** Será dimensionado de acuerdo con el requerimiento y nivel de tecnología de la unidad para garantizar la alimentación permanente de los componentes motrices en base de la demanda de potencia mínima requerida (Salcedo et al., 2018).
- c) **Baterías:** estas deberán ser capaces de cumplir con las condiciones de los perfiles de rutas propuestas, la autonomía y la potencia deben ser correctamente dimensionadas, personal capacitado debe hacer pruebas y verificar que el banco de baterías sea nuevo, que permita generar la potencia y autonomía mínima requerida 230 [kW] – 200 [Km] a 100 [%] de batería y a con el peso bruto vehicular, el tiempo de carga no deberá superar 3 [h], el proveedor indicará la vida útil de la batería y ciclos de carga/descarga, el cual no deberá ser menor a 10 años, durante la circulación normal del bus, un porcentaje de la batería deberá cargarse por medio del freno regenerativo, mayor o igual al 20 [%], garantizando la recarga del banco de baterías. Las baterías deberán tener certificados presentados por el ofertante, las baterías deben ser libre de compuestos de plomo, cumplir con la Norma IEC62660-2, UNECE R100 y SAE J2288, además, contar con certificación de Normas de seguridad UL 1642, UL 2580 o sus semejantes (Salcedo et al., 2018).
- d) **Freno regenerativo:** Debe existir la regeneración de energía eléctrica por medio de frenado de los motores eléctricos para recargar el banco de baterías (Salcedo et al., 2018).
- e) **Protecciones eléctricas:** El aislamiento y la protección es importante como parte de la seguridad del vehículo y sus pasajeros, el bus deberá tener un control electrónico de aislamiento que evaluará constante el diferencial de potencial entre el chasis y la calzada, también detectará inconveniente o desconexiones al detectarse aislamientos eléctricos. Para las pruebas de alta tensión deberá contar con una caja de fácil acceso para hacer más seguro los tanteos de funcionamiento o mantenimientos (Salcedo et al., 2018).
- f) **Frenos, suspensión y dirección:** Los sistemas frenos que van instalados en muchas unidades son de cuatro tipos, están los frenos de servicio, parada, emergencia y estacionamiento, los frenos delanteros y posteriores serán de disco, las cañerías que mantiene el flujo de aire y o liquido deben estar normalizadas según la norma DIN74324 o semejante, la presión del sistema de frenado debe estar a una mínima de 414 [kPa] y máxima 780 [kPa] manométrica y deben ser capaces de detener el

vehículo en una pendiente máxima de 22 [%]. La suspensión puede estar controlada electrónicamente autorregulada por fuelles neumáticos y gestionada por un módulo que permita el diagnóstico y mantenimiento eficazmente, los ejes deben tener capacidad de carga máxima desde 27500 a 31000 [kg]. La dirección deberá ser de tipo hidráulica con sistema electrónico o servoasistido, el volante regulable para confort del conductor y los depósitos de líquido hidráulico de ser el caso deben ser de fácil acceso para su mantenimiento (Salcedo et al., 2018).

- g) Neumáticos:** deberán ser de preferencia radiales y con un labrado adecuado para la rodadura del terreno, de una medida 295/80/22.5 que tenga la capacidad de soportar el peso del vehículo no mayor a PBV del fabricante (Salcedo et al., 2018).
- h) Carrocería:** Puede ser autoportante o bastidor más carrocería, el bastidor debe ser galvanizado para proteger su estructura, debe tener la capacidad de transportar 10 toneladas, además del peso muerto debido a la carrocería, piezas motrices, etc. Sin opción a ser modificado y que soporte 12600 [kg] más carga muerta (Salcedo et al., 2018).
- i) Sistema de aire comprimido:** será un requisito importante para el accionamiento de elementos neumáticos como los frenos, puertas para acceso de las personas y otros fines, el sistema deberá estar instalado estratégicamente para evitar acumulación de polvo, humedad y que sea de fácil acceso para mantenimientos, el suministro continuo de la presión de 10 bares y un caudal de 420 [lt/min] a 2850 [m.s.n.m] deben ser garantizados por el compresor el cual debe cumplir con la norma técnica NTE INEN 2205 actual, además tener un nivel de ruido de máximo 70 dB (Salcedo et al., 2018).
- j) Red a bordo y control electrónico:** Tendrá un diseño que sirva para equipos auxiliares del sistema eléctrico y red de 24 [Vdc] que sirva para elementos como el compresor, ventiladores y diferentes actuadores. Una salida adicional de 12 [Vdc] ubicada en el habitáculo del conductor con una intensidad de 15 [A] y otra de 110 [Vac] con una potencia min de 1000 watos El control electrónico deberá monitorear el desempeño de los componentes como: el consumo de energía, operatividad del banco de baterías, estado de los sensores y datos reales que se dan en la conducción, de esta manera podrá facilitar visualizar las condiciones del vehículo para sus mantenimientos (Salcedo et al., 2018).

De igual forma, debe tener un sistema de red a bordo que permita la recepción y la transmisión de información para el control de diferentes módulos y sistemas del bus por medio de protocolo de comunicación CAN internet basado en fibra óptica que sea eficiente contra interferencias electromagnéticas (Salcedo et al., 2018).

- **Conductores:** Se requiere personal capacitado para conducir la unidad para lograr una utilización eficiente y óptimo aprovechamiento de energía con respecto a las condiciones físicas en el caso del uso de aire acondicionado, frenado y aceleraciones (Salcedo et al., 2018).
- **Energía e infraestructura:** Para garantizar la operación continua de las unidades, la entidad contratista deberá incluir en su oferta los planes de carga y estaciones de carga para el abastecimiento y diseño de instalaciones de las estaciones de carga de las baterías según las necesidades acordes al perfil de la ruta, también se deberá incluir en el plan de carga los costos de operación, acometida eléctrica de media tensión para las estaciones de carga de 6000 [V] o 22800 [V], obra civil de infraestructura incluida en la oferta económica, instalaciones de equipos de carga que deben cumplir con la Norma IEC62196 y equipo electrónico que debe cumplir con los estándares de compatibilidad electromagnética internacionales (Salcedo et al., 2018).
- **Costo de adquisición:** El análisis se debe realizar para determinar los costos de inversión en los autobuses eléctricos, donde los más importantes son los costos operaciones, costos de capital, valor presente neto, valor residual de inversiones y valor de activos, de esta manera se llegará a un mejor entendimiento sobre proyectos de contratación o compra de los elementos que conciertan el sistema de autobuses eléctricos (Jiménez, 2020).

2.2.2.6. *Fabricantes y armadoras de autobuses eléctricos*

La entidad que oferte la propuesta y adquisición de unidades debe certificar que son buses nuevos de fábrica sin uso y que la carrocería sea la idónea respetando las normas técnicas de regulación y de circulación del año que transcurre. Toda la estructura y componentes del chasis que forman parte de la seguridad activa-pasiva además del confort del autobús que serán reguladas por normas técnicas para garantizar su óptimo e ideal funcionamiento.

Los fabricantes buscan promover la tecnología de buses eléctricos para descarbonizar el transporte. En Ecuador, empresas extranjeras proponen unidades funcionales y de cero emisiones. En Quito, una prueba de dos meses evaluó demanda energética, conducción, autonomía, transporte de pasajeros y abastecimiento de baterías. Las marcas destacadas se presentan en las tablas 2-4, 2-5, 2-6 y 2-7.

Tabla 2-4: Características del proveedor SKYWELL, del modelo NJL6129BEV.

SKYWELL	
Proveedor	SKYWELL
Modelo	NJL6129BEV
Capacidad de pasajeros	37 sentados, 49 de pie
Autonomía (Km)	250
Velocidad Máxima (Km/h)	80
Potencia (kW)	245
Tiempo de Carga (h)	2,5
Capacidad de baterías (kWh)	322
Torque máx. (Nm)	3.323
Pendiente máx. por vencer (%)	20



Fuente: Zumba Álvarez, 2017

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Tabla 2-5: Características del proveedor BYD, del modelo K9G-S y el modelo K9G-I.

BYD	
Proveedor	BYD
Modelo	K9G-S
	K9G-I
Capacidad de pasajeros	K9G-S = 32 sentados, 49 de pie
	K9G-I = 32 sentados, 44 de pie
Autonomía (Km)	251
Velocidad Máxima (Km/h)	100,5
Potencia (kW)	300
Tiempo de Carga (h)	2-3
Capacidad de baterías (kWh)	324
Torque máx. (Nm)	1.100
Pendiente máx. por vencer (%)	17



Fuente: Zumba Álvarez, 2017

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Tabla 2-6: Características del proveedor Golden Dragon & BUSCO, del modelo XML6125CLE.

Golden Dragon & BUSCO	
Proveedor	Golden Dragon & Busco
Modelo	XML6125CLE
Capacidad de pasajeros	23 sentados, 28 de pie
Autonomía (Km)	300
Velocidad Máxima (Km/h)	70
Potencia (kW)	150/1000
Tiempo de Carga (h)	4,5
Capacidad de baterías (kWh)	311
Torque máx. (Nm)	2.500
Pendiente máx. por vencer (%)	-



Fuente: Zumba Álvarez, 2017

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Tabla 2-7: Características del proveedor Zhongtong Bus Holding LCK6122EVG5

Zhongtong Bus Holding	
Proveedor	Zhongtong Bus Holding
Modelo	LCK6122EVG5
Capacidad de pasajeros	38 sentados, 39 de pie
Autonomía (Km)	240
Velocidad Máxima (Km/h)	69
Potencia (kW)	135/196
Tiempo de Carga (h)	230
Capacidad de baterías (kWh)	324,4
Torque máx. (Nm)	1.520/2.800
Pendiente máx. por vencer (%)	-



Fuente: Zumba Álvarez, 2017

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

2.2.3. Impacto energético, ambiental y social del transporte público.

Con un sector demográfico y el económico en aumento, la demanda energética crece de manera sostenida, siendo los más exigentes los sectores eléctricos y de hidrocarburos. Entre los planes y desafíos que son impuestos y presentados en el BEN donde destacan los relacionados al transporte, son:

- La recuperación en la obtención de energía secundaria, que contiene derivados de petróleo y electricidad, la cual regresó al valor sujeto en el año 2019 (Ministerio de Energía y Minas, 2022).
- Volver a los niveles de consumo energético de años previos a la pandemia, lo que figuró un recobro del 11 [%] con relación al consumo de 2020 (Ministerio de Energía y Minas, 2022).

- La predisposición del sector transporte como el mayor consumidor de energía del país, aproximadamente la mitad del total que se consume, algunos de relevancia son el hogar y la industria (Ministerio de Energía y Minas, 2022).
- En el año 2021, el 18,5 [%] de la oferta energética en el país fue formada por fuentes de carácter renovable, reiterando de manera primordial la hidroenergía. Al considerar la generación eléctrica en el sistema nacional, la colaboración de estas fuentes supera el 90 [%]. (Ministerio de Energía y Minas, 2022).

El requerimiento energético está vinculado con la variación anual de la demanda energética del país y con la variación anual del PIB, con el fin de facilitar el grado de estabilidad del sector energético con relación a las variaciones en los ambientes económicos del país. La eficacia energética total del año 2021 mostró un aumento del 6,8 [%] en comparación al 2020 y entre 2020 y 2021 las intensidades energéticas aumentaron 3,1 [%] de la industria y 7,1 [%] del transporte mientras que decreció 9,3 [%] la de los hogares a los valores antepuestos a la pandemia de COVID-19, esto se observa en la Ilustración 2-8 (Ministerio de Energía y Minas, 2022).

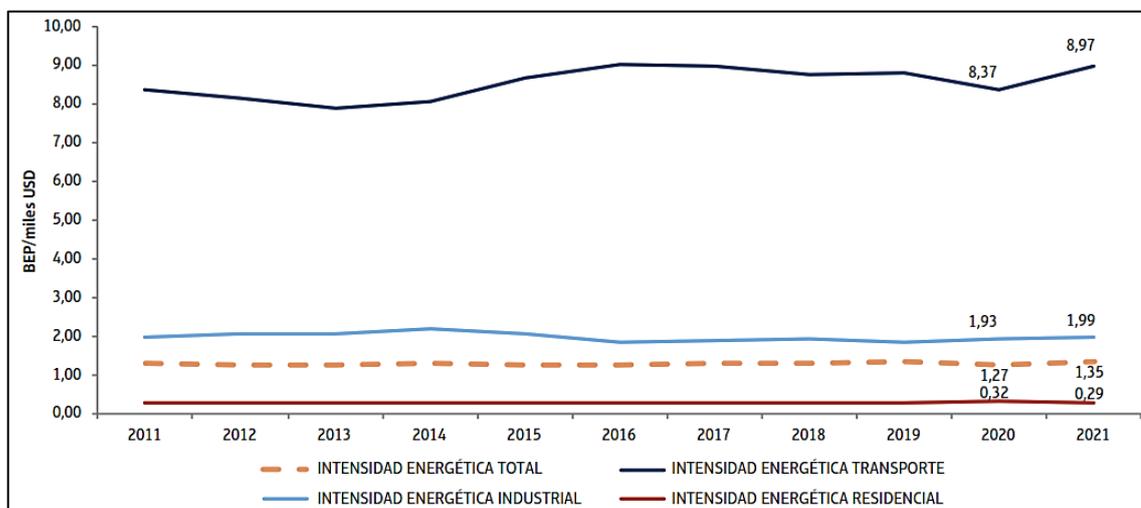


Ilustración 2-8: Variación de la intensidad energética desde el año 2011 hasta el 2021

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2022

Los indicadores de la sostenibilidad energética permiten medir el impacto de este sector sobre del país. En la Ilustración 2-9 se observan los indicadores que fueron tomados durante los años 2000, 2011 y 2021 en el proyecto de “Energía y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe” (Ministerio de Energía y Minas, 2022).

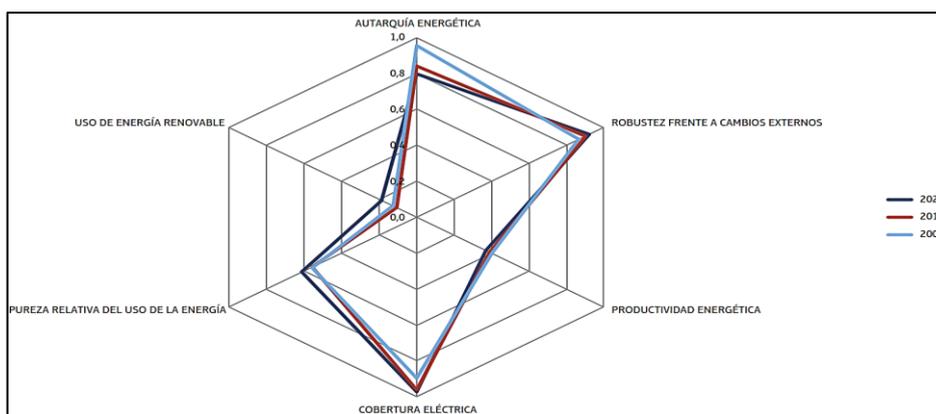


Ilustración 2-9: Indicadores de sostenibilidad tomados en el año 2000, 2011 y 2021

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2022

- **Autarquía energética:** este indicador muestra el peso de las importaciones sobre la base energética del país, entre el 2011 y 2021 tuvo una reducción del 5,4 [%] lo que indica que el abastecimiento de la demanda en las importaciones del país aumentó, el porcentaje de incremento en ese periodo fue del 35,3 [%] y que estaban constituidas principalmente de GLP, diésel y gasolina (Ministerio de Energía y Minas, 2022).
- **La robustez:** permite valorar la dependencia económica del país ante la autarquía energética, en el 2011 y 2021 periodo en el que aumentó un 2,1 [%] concluye que el país se ha vuelto menos dependiente de las exportaciones energéticas.
- **La cobertura energética:** esta pasó del 96 [%] a un 97,3 [%] en el año 2021, el uso de energía relacionada con emisiones de CO₂ del país y el consumo energético final aumento un 10 [%] en el periodo 2011 a 2021, indicando un aumento, pero menor en proporción al consumo energético final.

En la Ilustración 2-10 se observa que, en el año 2021, el sector con la mayor participación en la oferta de energía secundaria pertenece a fuel oil con 29,2 [%], seguido por la electricidad con 26 [%] y el diésel oil con 16,4 [%] del total (Ministerio de Energía y Minas, 2022).

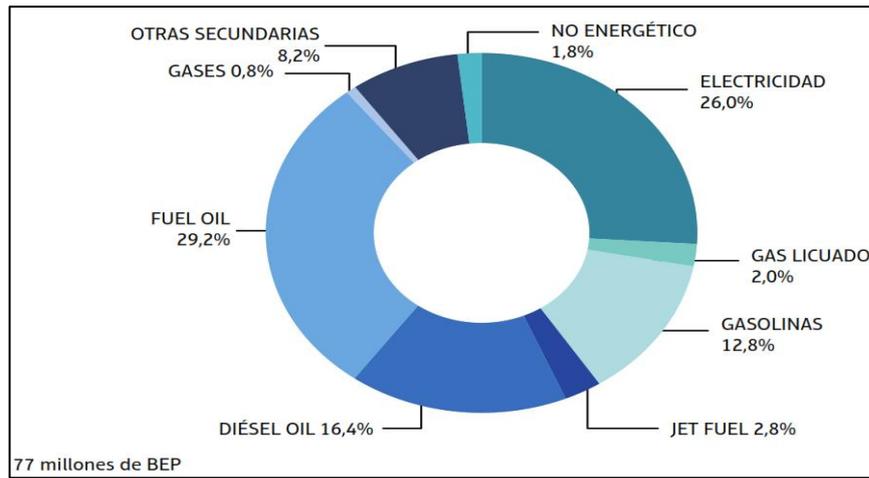


Ilustración 2-10: Oferta de energía secundaria en 2021

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2022

A continuación, se muestra en la Ilustración 2-11 los sectores de mayor demanda con relación al transporte su consumo energético, el consumo del diésel es de un 83 [%], gasolina 82,4 [%], GLP 1 [%] y electricidad 0,1 [%] (Ministerio de Energía y Minas, 2022).

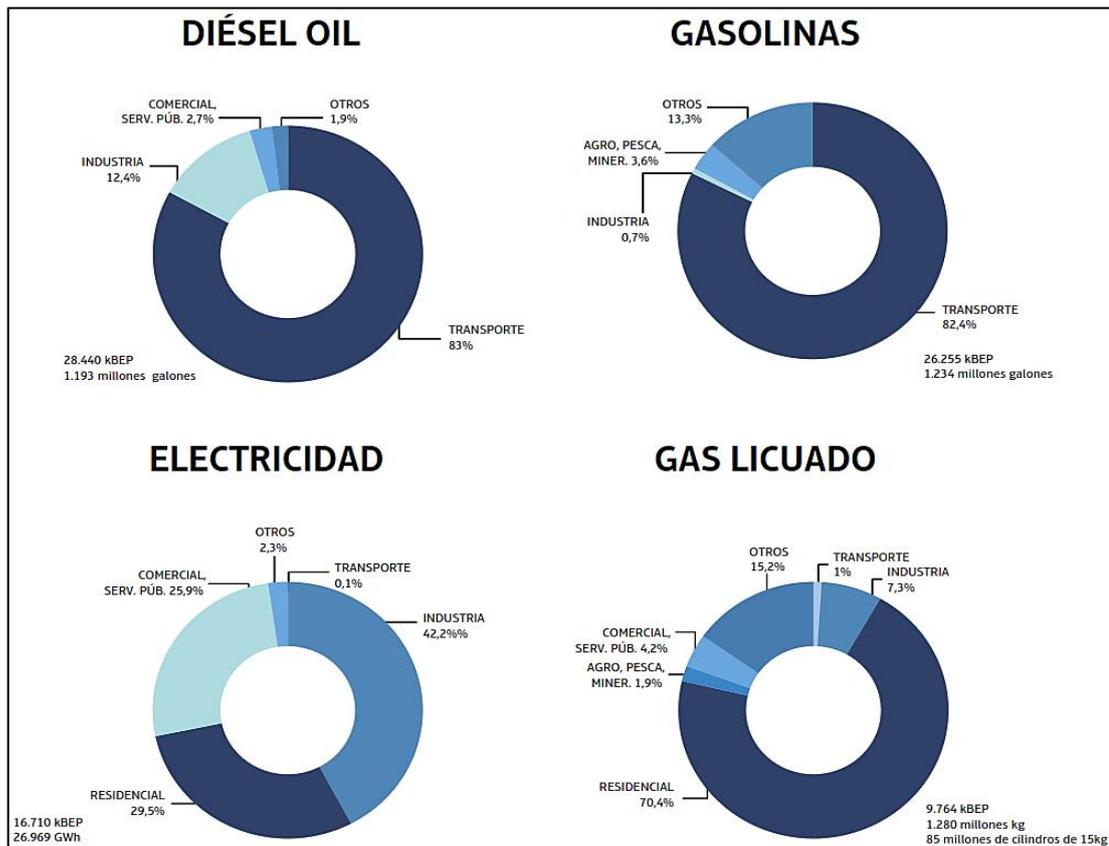


Ilustración 2-11: Consumo de energía por sectores en 2021

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2022

En la Ilustración 2-12 se muestra que, al disociar el consumo energético de transporte por tipo de vehículo en el año 2021, el transporte terrestre mostró una demanda semejante al 94 [%] del total, siendo la fracción de mayor intervención el transporte de carga pesada con 47 [%]. Por otra parte, el transporte marítimo consumió 4 [%] y el restante 1 [%] correspondió al consumo del transporte aéreo (Ministerio de Energía y Minas, 2022).

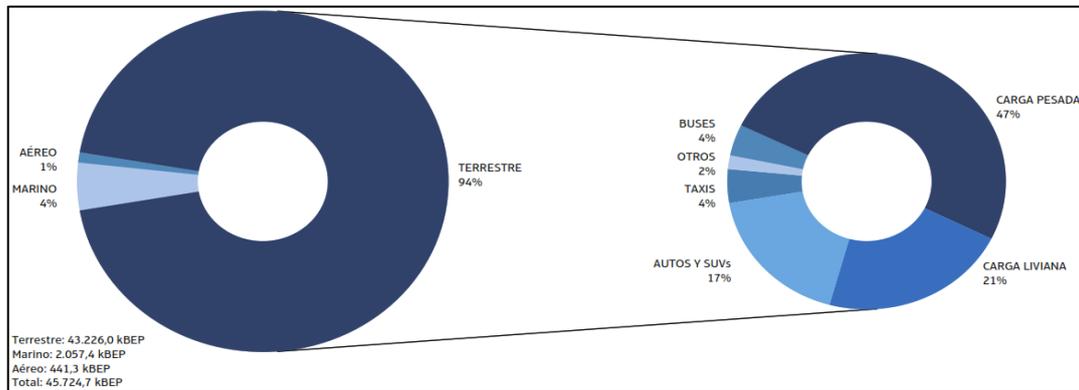


Ilustración 2-12: Consumo de energía por tipo de transporte en 2021

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2022

La Ilustración 2-13 muestra que, en lo relativo al consumo de gasolinas por tipo de vehículo, se observa que los vehículos de pasajeros individual fueron los de mayor demanda en el consumo de combustible, con 47 [%] del total, mientras que, en la Ilustración 2-14 muestra que, para el caso del diésel, los mayores demandantes fueron los vehículos de carga pesada, con una intervención del 74 [%]. (Ministerio de Energía y Minas, 2022)

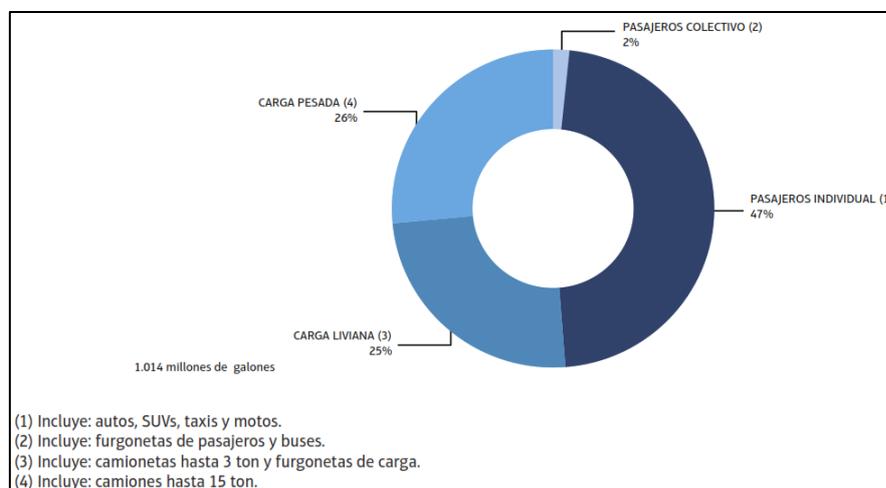


Ilustración 2-13: Consumo de gasolina por tipo de vehículo en 2021

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2022

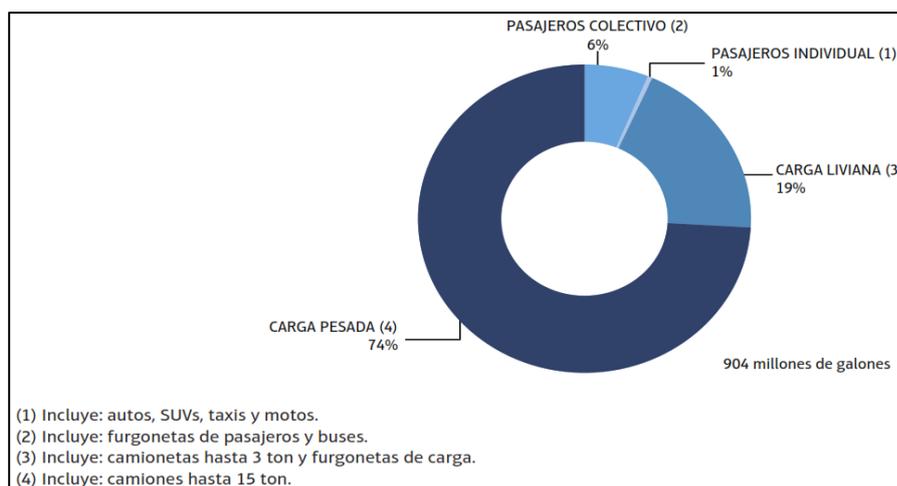


Ilustración 2-14: Consumo de diésel por tipo de vehículo en 2021

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2022

En la Ilustración 2-15 se observa que, el consumo energético de mayor demanda es en el transporte; por tanto, los GEI durante el periodo de 2011 a 2021 aumentaron de 36.300 [kton] CO₂ eq. a un valor de 37.993 [kton] CO₂ eq., lo que representa un 4,7 [%].

Asimismo, en el periodo de 2020 y 2021 se incrementó un 9,9 [%]. El sector del transporte es el principal demandante de energía de combustibles fósiles y el que más produce emisiones, dando un 50,7 [%] del total de GEI del año 2021 (Ministerio de Energía y Minas, 2022).

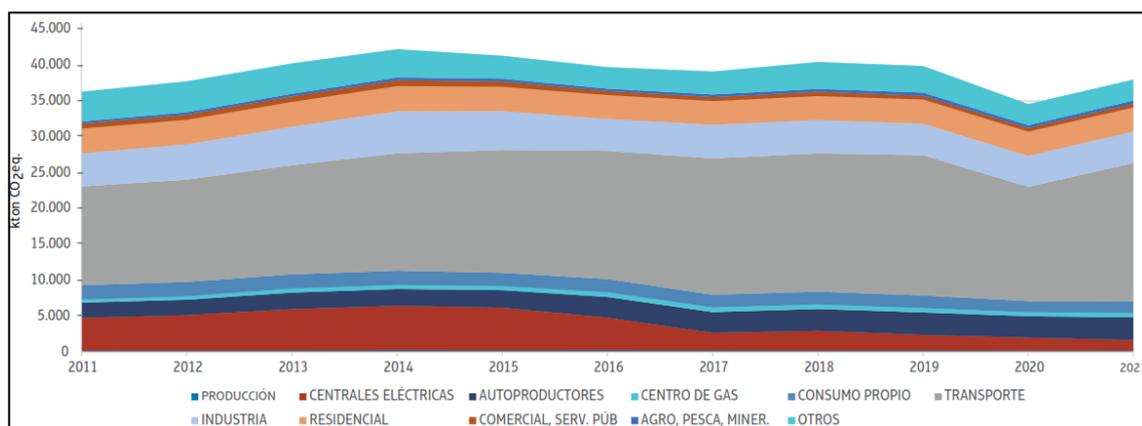


Ilustración 2-15: Evolución de las emisiones de GEI por actividad (kton CO₂ eq.)

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2022

En la Ilustración 2-16 se observa que la mayor fuente de emisiones es el diésel con 36,6 [%], las gasolinas con 28,4 [%] y GLP con 9,6 [%], logrando una participación de 74,6 [%] del resultado general emitido durante el año, esto ocurre debido a que los combustibles mencionados son los de mayor demanda para sector transporte y residencial, principales emisores de GEI (Ministerio de Energía y Minas, 2022).

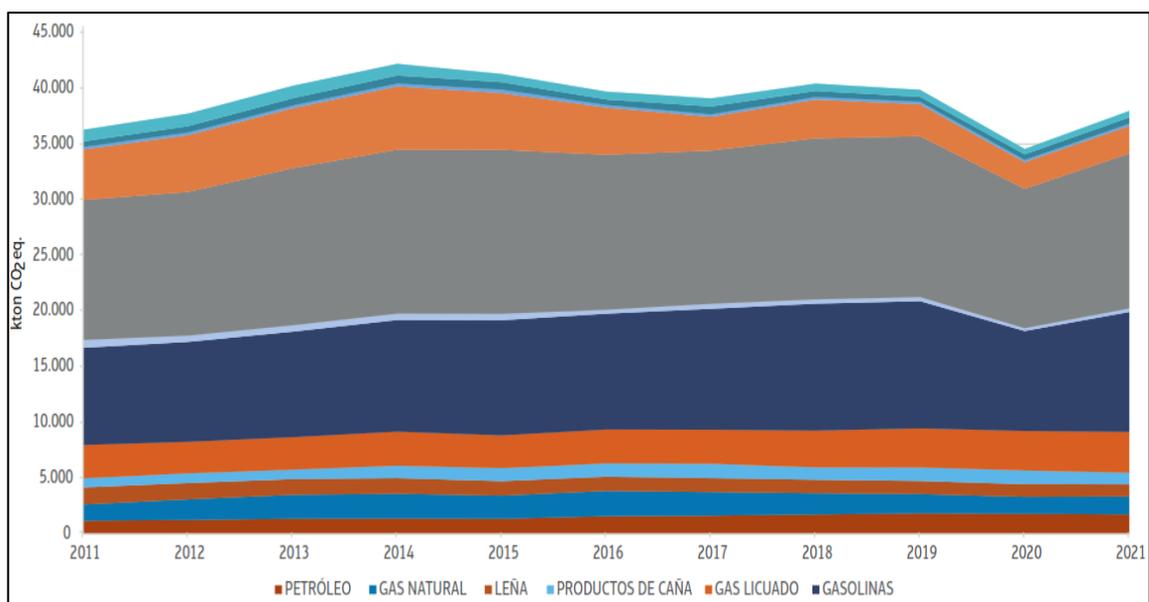


Ilustración 2-16: Evolución de las emisiones de GEI por fuente (kton CO₂ eq.)

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2022

2.2.3.1. Emisiones contaminantes en el sector del transporte público de Chimborazo-Riobamba

En el de trabajo de (Calva Montoya y Flores Díaz, 2020) señalan que, el MCI genera una combustión incompleta, la cual provoca gases efecto de esta, al final se obtiene una reacción compuesta por gases tóxicos como los hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO), ozono (O₃) y óxido de azufre (SO); asimismo generan gases inofensivos como agua (H₂O), oxígeno (O₂), nitrógeno (N₂), dióxido de carbono (CO₂) a niveles de 2000 ppm.

En la Tabla 2-8 se observa la generación GEI durante el año 2020 y el 2021, de forma detallada; mientras que, en la Ilustración 2-17 se observa que, en los años 2012 a 2021, en los años 2012 a 2021, el parque automotor se incrementó en 977.695 vehículos, inclusive logró el número de 2.535.853, el cual representa un aumento de 7,4 [%] respecto al año 2020, tomando como resultado de 143 vehículos por cada 1000 habitantes, en el cual, la provincia de Chimborazo registra 71,6 [%] dando 77.993 vehículos matriculados.

Según (Ministerio de Energía y Minas 2022) en el censo realizado en el balance de energía nacional, las emisiones de gases de efecto invernadero [kton] CO₂ eq. en solo en el sector de transporte tiene una cifra total de 15.926 [kton] CO₂ eq. para el año 2020 y 19.257 [kton] CO₂ eq. para el año 2021 (INEC, 2021).

Tabla 2-8: Generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del sector de transporte.

ACTIVIDAD	2020				2021			
	CO ₂	N ₂ O	CH ₂	Total	CO ₂	N ₂ O	CH ₂	Total
PRODUCCIÓN	155	-	30	185	154	-	30	183
CENTRALES ELÉCTRICAS	1.831	4	2	1.837	1.501	3	2	1.505
AUTOPRODUCTORES	2.967	8	5	2.979	3.142	8	5	3.155
CENTRO DE GAS	564	-	-	565	617	-	-	1.653
CONSUMO PROPIO	1.542	3	2	1.546	1.648	3	2	19.257
TRANSPORTE	15.768	56	103	15.926	19.057	68	132	4.375
INDUSTRIA	4.297	18	13	4.328	4.347	17	12	4.375
RESIDENCIAL	3.293	9	67	3.369	3.296	8	64	3.368
COMERCIAL, SERVICIO PÚBLICO	506	-	2	507	516	-	2	518
AGRO, PESCA, MINERÍA	395	1	1	397	444	1	2	447
OTROS	2.925	6	9	2.939	2.901	5	8	2.914
NO ENERGÉTICO	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL DE EMISIONES	34.241	103	234	34.578	37.623	113	257	37.993

Fuente: Gutiérrez Quero E., 2021

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

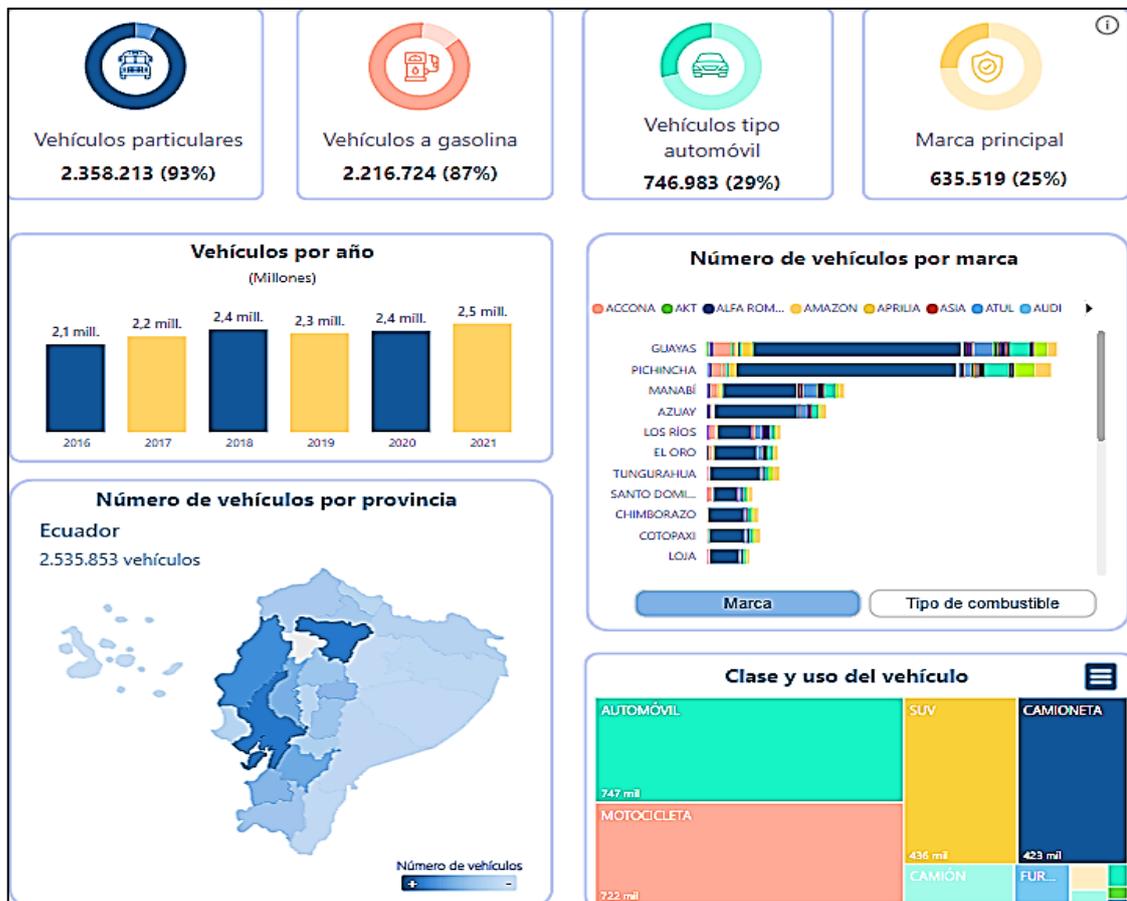


Ilustración 2-17: Vehículos matriculados por año a nivel nacional

Fuente: INEC, 2021

En el trabajo de investigación “El inventario de gases de efecto invernadero del sector transporte de la Provincia de Chimborazo” (Gutiérrez Quero, 2021) concluye que, los GEI mayormente emitidos son: el dióxido de carbono con 709505,13 t/año, seguido del óxido nitroso con 398,21 t/año, el dióxido de azufre con 248,68 t/año y el metano con 199,83 t/año; asimismo, asegura que los vehículos a gasolina son responsables del CO₂ 54,23 [%], SO₂ 56,23 [%] y CH₄ 91,65 [%]; mientras que, los vehículos a diésel son la causa de las emisiones de N₂O 80,55 [%].

En 2010, el Ministerio del Ambiente determinó que la calidad del aire en Riobamba era mejor debido a una menor demanda en el transporte público y un parque automotor menos denso. Actualmente, la comparación muestra un empeoramiento significativo, identificando el tráfico vehicular como el principal causante de las emisiones contaminantes en la ciudad. La Ilustración 2-18 muestra la emisión de contaminantes primarios en el cantón Riobamba durante el año 2010 (Ministerio del Ambiente, 2014).

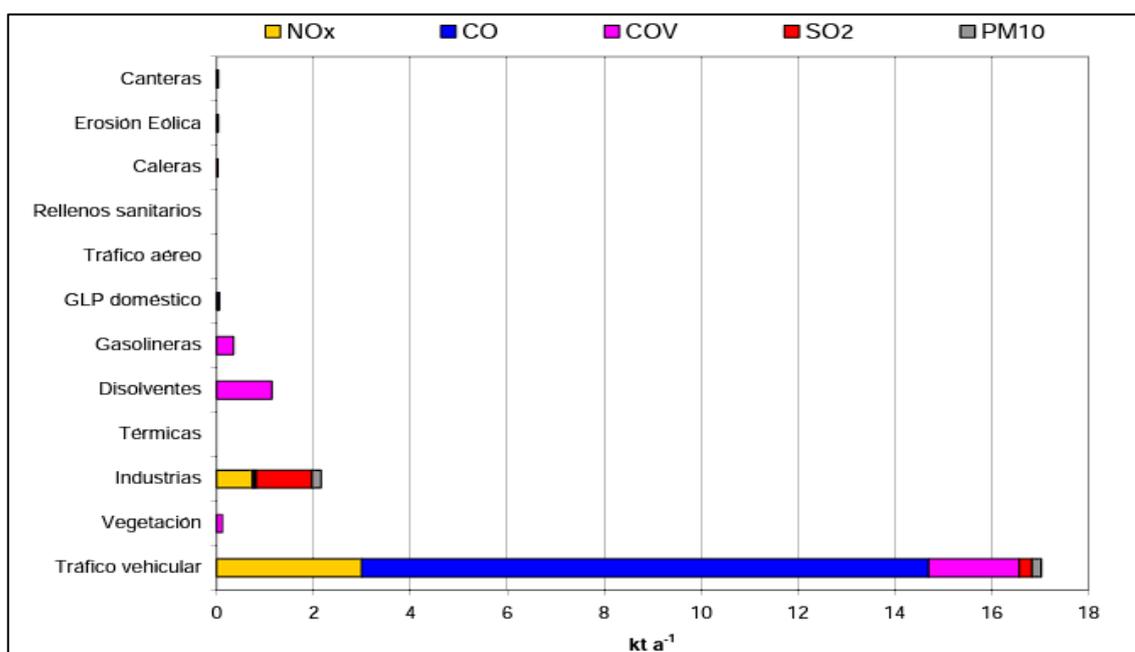


Ilustración 2-18: Emisión de contaminantes del cantón Riobamba durante el año 2010

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2014

Por otro lado, se tuvo como referencia el trabajo de titulación “Análisis de concentración de emisiones gaseosas vehiculares mediante el modelo IVE en el cantón Riobamba” donde se indicó que, mediante el cálculo de emisiones gaseosas en rutas de primer, segundo orden y urbano se logró obtener un inventario de emisiones anuales en la ciudad de Riobamba en el año 2023, como se muestra en la Tabla 2-9 (Castro Franco y Proaño Castellano, 2023).

Tabla 2-9: Inventario de emisiones anuales del cantón Riobamba

EMISIONES CANTÓN RIOBAMBA (TON/AÑO)								
Categoría	CO	VOC	VOCs	NOx	Sox	PM	CO ₂	CH ₄
Bus	16.760,09	84,78	0	1.007,23	8,72	733,92	61.401,97	0
Camión	729,23	118,35	0	2.376,93	11,09	2.610,50	79.563,49	0
Camioneta	13.690,40	1.421,02	334,14	1.159,25	9,33	305,05	54.985,01	244,37
Jeep/SUV	16.993,19	1.651,22	479,11	1.404,23	8,40	141,01	49.147,53	316,19
Sedan	39.184,75	3.057,09	996,74	2.250,89	13,86	17,19	67.597,42	611,42
Taxi	25.398,82	2115,47	693,75	1.571,39	9,18	12,27	48.083,09	423,09
TOTAL	112.756,47	8.447,93	2.503,74	9.769,62	60,58	3.819,93	360.778,50	1.595,08

Fuente: Castro Franco y Proaño Castellano, 2023

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

2.2.3.2. Consumo de energía del sector de transporte público

En la Tabla 2-10 se observa el consumo estimado de energía en kilos/Barriles de Petróleo del sector de transporte (kBEP); mientras que, en la Tabla 2-11 se observa el consumo estimado de energía en kilos en el sector de transporte en unidades físicas; ambos implementados por el PNEE, lo que, a su vez indica los resultados de un balance energético nacional desde el año 2011 hasta 2021 (Gutiérrez Quero 2021).

Tabla 2-10: Consumo de energía estimados en kilos/Barriles de petróleo del sector de transporte (kBEP).

Tipos de Energía	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Var. 2021/2020	Var. promedio anual 2011/2021
ELECTRICIDAD	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	1,5	0,9
GAS LICUADO	75	82	73	86	55	50	52	44	50	54	95	75,4	2,4
GASOLINAS	14.91	15.65	16.44	17.27	18.88	19.67	20.52	20.85	21.19	16.6	21.61	30,2	3,8
JET FUEL	1.502	1.08	1.161	1.182	1.182	701	629	659	663	300	407	35,8	-12,2
DIÉSEL OIL	16.16	16.96	18.37	20.19	20.47	21.93	23.82	24.09	24.45	20.76	23.61	13,7	3,9
FUEL OIL	63	75	58	53	65	63	69	64	64	32	-	-	-
TOTAL	32.72	33.85	36.11	38.78	40.66	42.43	45.1	45.71	46.42	37.74	45.73	21,1	3,4

Fuente: Gutiérrez Quero E., 2021

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Tabla 2-11: Consumo de energía en unidades físicas del sector de transporte.

Tipo de Energía	Unidad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Var. 2021/2020	Var. promedio anual 2011/2021
ELECTRICIDAD	GWh	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	11	1,5	0,9
GAS LICUADO	Miles kg	9.795	10.715	9.59	11.264	7.162	6.618	6.757	5.732	6.502	7.104	12.46	75,4	2,4
GASOLINAS	Miles gal	701	735.75	773.01	811.83	887.66	924.87	964.68	980.36	996.05	780.2	1.015.774	30,2	3,8
JET FUEL	Miles gal	65.818	47.335	50.894	51.794	51.826	30.712	27.567	28.898	29.054	13.144	17.851	35,8	-12,2
DIÉSEL OIL	Miles gal	677.77	711.22	770.28	846.53	858.62	919.69	998.99	1'010.035	1'025.494	870.41	990.076	13,7	3,9
FUEL OIL	Miles gal	2.587	3.044	2.375	2.175	2.65	2.588	2.793	2.599	2.591	1.314	-	-	-

Fuente: Gutiérrez Quero E., 2021

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

2.2.3.3. Generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del sector del transporte

En la Tabla 2-12 se muestra el consumo de los suministros de energía por región a nivel nacional; es decir, en la región Sierra, Costa, Oriente e Insular. Como se observa, el consumo en la provincia de Chimborazo por kBEP es considerablemente medio en comparación a otras provincias de la Sierra, mientras que, en comparación a las provincias de la costa es relativamente bajo. Finalmente, si se compara con las provincias de la región oriental e insular, el consumo es alto.

Tabla 2-12: Consumo de energía en las diferentes provincias pertenecientes a las regiones de la Sierra, Costa, Oriente e Insular.

PROVINCIAS	GAS NATURAL	GASOLINAS	DIÉSEL	FUEL OIL	JET FUEL	RESIDUO	NO ENERGÉTICO	TOTAL	ESTRUCTURA %
Región Sierra	270	12.242	11.798	519	1.492	494	528	27.341	0,39
Azuay	199,69	1.396	1.318	166	1	2	68	3.151	0,04
Bolívar	-	242	238	-	-	-	7	487	0,01
Cañar	-	375	558	31	-	-	7	487	0,01
Carchi	-	241	275	-	-	-	6	521	0,01
Chimborazo	37,13	735	850	-	-	5	35	1.663	0,02
Cotopaxi	-	749	875	85	-	3	27	1.739	0,02
Imbabura	-	676	839	-	-	354	2	1.346	0,02
Loja	-	611	712	-	-	-	22	1.346	0,02
Pichincha	32,94	5.347	4.208	218	1.490	121	247	11.664	0,17
Sto.Dgo. Satchilas	-	768	1.030	2	-	-	45	1.865	0,03
Tungurahua	-	1.102	893	17	-	-	42	2.054	0,03
Región Costa	2.628	13.955	15.200	3.316	273	312	790	36.474	0,52
El Oro	2.612,51	1.347	1.713	33	6	-	56	5.768	0,08
Esmeraldas	-	1.055	577	11	-	252	20	1.915	0,03
Guayas	15,23	7.432	7.834	2.430	254	52	535	18.552	0,26

Los Ríos	-	1.026	1.342	44	12	7	50	2.482	0,09
Manabí	-	2.409	2.991	636	-	-	4	1.595	0,02
Santa Elena	-	636	743	162	-	-	4	1.595	0,02
Región Oriental	-	1203	4.666	-	40	177	67	6.154	0,09
Morona Santiago	-	213	342	-	-	-	3	558	0,01
Napo	-	146	259	-	-	-	2	407	0,01
Orellana	-	229	2.201	-	1	164	9	2.604	0,04
Pastaza	-	168	208	-	38	-	18	432	0,01
Sucumbíos	-	321	1.028	-	1	13	30	1.393	0,02
Zamora Chinchipe	-	126	628	-	-	-	6	759	0,01
Región Insular	-	62	229	-	-	-	-	291	0,04
Galápagos	-	62	229	-	-	-	-	291	0,04
Total		27.662	31.893	3.836	1.805	983	1.386	70.261	1,00

Fuente: Gutiérrez Quero E., 2021

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

2.2.3.4. Generación de GEI (gases de efecto invernadero) del sector de transporte

En la Tabla 2-13 se visualiza la generación de gases de efecto invernadero a causa del transporte, durante el año 2020 y 2021.

Tabla 2-13: Generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del sector de transporte.

ACTIVIDAD	2020				2021			
	CO ₂	N ₂ O	CH ₂	Total	CO ₂	N ₂ O	CH ₂	Total
PRODUCCIÓN	155	-	30	185	154	-	30	183
CENTRALES ELÉCTRICAS	1.831	4	2	1.837	1.501	3	2	1.505
AUTOPRODUCTORES	2.967	8	5	2.979	3.142	8	5	3.155
CENTRO DE GAS	564	-	-	565	617	-	-	1.653
CONSUMO PROPIO	1.542	3	2	1.546	1.648	3	2	19.257
TRANSPORTE	15.768	56	103	15.926	19.057	68	132	4.375
INDUSTRIA	4.297	18	13	4.328	4.347	17	12	4.375
RESIDENCIAL	3.293	9	67	3.369	3.296	8	64	3.368
COMERCIAL, SERVICIO PÚBLICO	506	-	2	507	516	-	2	518
AGRO, PESCA, MINERÍA	395	1	1	397	444	1	2	447
OTROS	2.925	6	9	2.939	2.901	5	8	2.914
NO ENERGÉTICO	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL DE EMISIONES	34.241	103	234	34.578	37.623	113	257	37.993

Fuente: Gutiérrez Quero E., 2021

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

2.2.4. Parámetros para la determinación de la demanda de energía

Para la construcción de vehículos eléctricos es importante considerar la potencia requerida para trabajar en función de sus características como la velocidad, aceleración y por lo menos los requerimientos de circulación en una ciudad (Albán, 2022). Estos se mencionan a continuación:

- **Energía específica:** Es la cantidad de energía eléctrica que se almacena por cada [kg] de batería (Albán, 2022).
- **Densidad de energía:** Cantidad de energía eléctrica almacenada por volumen en metros cúbicos (Albán, 2022).
- **Potencia específica:** Cantidad de potencia por [kg]. Rapidez con la que se puede extraer la energía de la batería (Albán, 2022).

2.2.4.1. Dinámica del vehículo

El estudio energético se fundamenta en las ecuaciones que determinan la dinámica del vehículo, las cuales se basan en la segunda ley de Newton, se realiza un análisis estático del vehículo con un diagrama de cuerpo libre donde se representa las fuerzas que actúan en el autobús en este caso, estas fuerzas se las conoce como las resistencias que el vehículo debe ser capaz de vencer para moverse. Es preciso delimitar los parámetros que actúan para dar solución a las ecuaciones, algunas variables propias del vehículo, de operación, tren motriz y ambientales, son agrupadas y consideradas importantes para el estudio dinámico del vehículo (Guiñansaca Chinchilima, 2020). En la Ilustración 2-19 se visualiza el diagrama de fuerzas que actúan sobre un autobús.

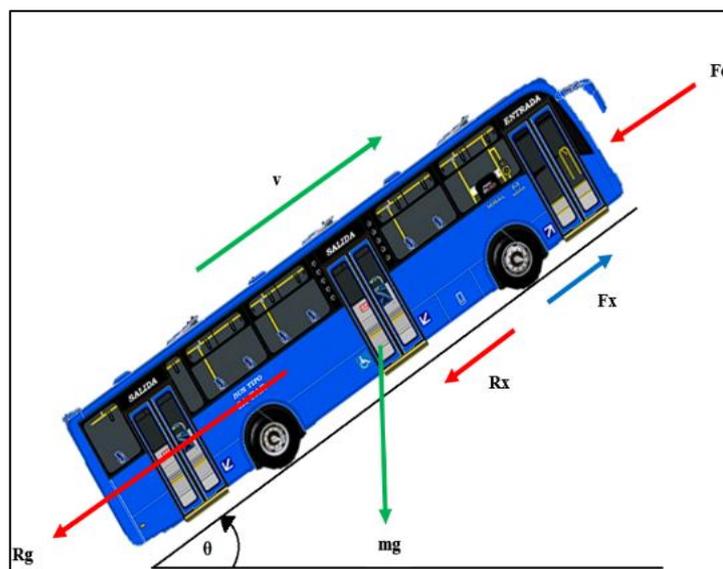


Ilustración 2-19: Diagrama de fuerzas sobre el autobús

Fuente: Guiñansaca Chinchilima, 2020

Los parámetros del vehículo

Los parámetros del vehículo se describen a continuación:

- **Área frontal [A]:** Es determinada por la proyección geométrica y medidas elementales del automóvil sobre su eje longitudinal incluyendo neumáticos y excluyendo espejos y deflectores de viento a un plano vertical al eje longitudinal del automóvil (NTE INEN 2205, 2010).
- **Masa [m]:** Según (Guiñansaca Chinchilima, 2020), la demanda energética concibe tres escenarios, con el bus a plena, media carga y vacío sin ocupantes, siendo la masa el factor más importante.

Según (NTE INEN 2205, 2010), para la masa de cada pasajero se debe considerar un promedio de 70 [kg].

- **Radio dinámico [Rd]:** Es el radio real de la rueda que se halla deformado por la masa y el movimiento de este hasta llega a ser el 97 [%] del radio nominal (Guiñansaca Chinchilima, 2020).
- **Coefficiente de arrastre [cd]:** Es la resistencia que ofrece un cuerpo a un medio fluido como líquidos o el aire (Guiñansaca Chinchilima, 2020).
- **Coefficiente de resistencia a la rodadura [fr]:** El coeficiente de resistencia a la rodadura es la fuerza opuesta al movimiento, la histéresis o pérdida de energía del neumático al entrar en contacto con la calzada, contribuyendo a frenar o desacelerar al automóvil en su avance (Quevedo Ríos et al., 2022).

Los parámetros ambientales

Los parámetros ambientales que deben ser considerados en un vehículo, se describen a continuación:

- **Densidad del aire [ρ]:** Es proporcional a la presión atmosférica y la temperatura ambiental que dependen de la altitud de la ciudad con respecto al nivel del mar. Se debe aplicar la ecuación ideal de los gases para determinar el valor de la densidad conociendo los valores de la presión y temperatura del lugar (Guiñansaca Chinchilima, 2020).
- **Gravedad [g]:** Es la aceleración de un cuerpo en caída libre y su valor es 9,81 [m/s²], y se utiliza para determinar el peso de cualquier cuerpo (Guiñansaca Chinchilima 2020).

Parámetros de operación

Las medidas de operación del vehículo son determinados por ciclo de conducción ya que la masa y la altitud con respecto a la pendiente de la ruta influyen en la velocidad, aceleración y otras fuerzas para determinar la demanda energética (Zumba Álvarez, 2017). Estos parámetros son generados por el dispositivo, el cual se usará para realizar el levantamiento de datos por medio de técnicas que sirvan para analizar los siguientes ítems:

- Velocidad [km/h].
- Pendiente [%-rad]
- Tiempo [s]
- Aceleración [m/s²]

Parámetros de tren motriz

Los parámetros de tren motriz se subdividen en:

- **Parámetros del motor.** - Son la potencia [P], torque [T], velocidad angular del motor [ωe] y eficiencia [ηe] (Guiñansaca Chinchilima, 2020).
- **Los parámetros de la transmisión.** - El número de marchas y la relación de transmisión para cada, la velocidad máxima y la eficiencia de la transmisión. Según (Albán, 2022), en estudios realizados para su investigación la caja de velocidad consta de una eficiencia de $\eta=95$ [%]-98 [%], el diferencial de $\eta=98$ [%] – 99 [%] y las articulaciones $\eta=97$ [%] - 99 [%], por lo tanto, para conocer la potencia total final útil se estima un 90 [%] a 96 [%] de eficiencia.

Parámetros de la batería

Posteriormente, los parámetros de la batería que son la capacidad de la batería [kWh], la potencia de carga [kW], eficiencia de la batería [η_{batt}] y la autonomía [km] (Guiñansaca Chinchilima, 2020).

Fuerza de rueda

La sumatoria de estas fuerzas que se oponen al avance del vehículo, son conocidas como fuerzas de arrastre en rueda, estas fuerzas ayudan a estimar el consumo energético independientemente del combustible que utilice (Vélez y Vera, 2016). La fórmula para el cálculo de la fuerza de rueda se observa en la Ec. (1).

$$F_x = F_d + R_g + R_x + R_i \quad \text{Ec. (1)}$$

En donde:

- **F_x** = Fuerza de rueda [N].
- **F_d** = Fuerza de arrastre [N].
- **R_g** = Resistencia a la pendiente [N].
- **R_x** = Resistencia a la rodadura [N].
- **R_i** = Resistencia debido a la inercia [N].

Fuerza de arrastre o aerodinámica

Actualmente, es una de las fuerzas que más se estudia, es muy importante para calcular la fuerza que actúa sobre la rueda de un vehículo. Su conexión con el diseño de vehículos ha llevado a los diseñadores a desarrollar diseños que pueden reducir el efecto de este arrastre en el automóvil. Cuando actúan las fuerzas aerodinámicas en un vehículo influyen directamente en la estabilidad y maniobrabilidad de este, consecuentemente, toda respuesta aerodinámica perturba el gasto de energético, ruido, vibración y conflictos de manejo (Gillespie, 1992). En la Ec. (2), se observa cómo se calcula la fuerza de arrastre.

$$F_d = \frac{1}{2} C_d * \rho a * A_f * V^2 \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

- **F_d** = Fuerza de arrastre [N].
- **C_d** = Coeficiente de arrastre [-].
- **ρ_a** = densidad del aire [kg/m³].
- **A_f** = Área frontal [m²].
- **V** = Velocidad lineal [m/s].

Resistencia a la pendiente

Esta fuerza impide que el vehículo progrese cuando se desplaza cuesta arriba. Pero si el automóvil va cuesta abajo, preferirá conducir que resistir. Esta resistencia depende del peso del vehículo y el ángulo de inclinación de la superficie en la que transite el vehículo, a mayor inclinación más resistencia enfrentará el vehículo para avanzar y deberá ser compensada con mayor potencia del motor (Vélez y Vera, 2016). A continuación, la fórmula que expresa dicho cálculo se observa en la Ec. (3).

$$R_g = m * g * \text{sen}(\theta) \quad \text{Ec. (3)}$$

En donde:

- **R_g**= Resistencia a la pendiente [N].
- **m**= Masa del automóvil [kg].
- **g**= Gravedad [m/s²].
- **θ**= Pendiente[rad].

Resistencia a la rodadura

La fuerza que se opone al movimiento cuando se desliza sobre la superficie un objeto. Fundamentalmente esta resistencia depende de la desproporción del plano de contacto con el objeto y es opuesta a la trayectoria del movimiento y proporcional a la fuerza normal ejercida en el vestigio del neumático. A baja velocidad en superficies duras la resistencia de rodadura es la máxima de todas las fuerzas, únicamente a una velocidad de 80 a 95 [km/h] la resistencia a la rodadura se iguala a la fuerza de arrastre, mayor a la velocidad mencionada, la resistencia a la rodadura es menor a la de arrastre, existen varios factores que influyen, siendo también el coeficiente a la rodadura bastante determinante (Gillespie, 1992). A continuación, se expresa la fórmula incluyendo el efecto de la inclinación del plano con respecto al peso en la Ec. (4):

$$R_x = f * m * g * \cos(\theta) \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

- **R_x** = Resistencia a rodadura [N].
- **f_r** = coeficiente de resistencia a la rodadura [adimensional].
- **m** = masa [kg].
- **g** = gravedad [m/s²].
- **θ** = pendiente [rad].

Resistencia debido a la inercia

La segunda ley de Newton establece que la fuerza que actúa en un objeto es proporcional a su aceleración e inversamente proporcional a su masa, es natural que aparezca la inercia cuando el peso de un cuerpo con una aceleración se desplaza, debido a la velocidad (Vélez y Vera, 2016). En la Ec. (5) está expresada la fórmula para calcular la resistencia de inercia.

$$R_i = m * a \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

- **R_i** = Resistencia de inercia [N].
- **m** = masa [kg].
- **a** = aceleración [m/s²].

Potencia en rueda

La potencia ayuda a el desplazamiento longitudinal y a vencer las resistencias que se oponen al movimiento del vehículo (Peñaloza y Llivicura, 2021). Esta fórmula está expresada en la Ec. (6).

$$Pr = Fx * V \quad \text{Ec. (6)}$$

En donde:

- **Fx** = Fuerza de rueda [N].
- **V** = velocidad [m/s].

Torque en rueda

El torque en rueda es la fuerza tangencial que produce la rueda al desplazarse sobre una superficie (Peñaloza y Llivicura, 2021). Cabe mencionar que la fórmula está expresada en la Ec. (7).

$$Tr = Fx \cdot rd \quad \text{Ec. (7)}$$

- **Tr** = Torque en rueda [Nm].
- **Fx** = Fuerza de rueda [N].
- **rd** = radio dinámico de la rueda [m].

Energía demandada en la rueda

La energía que demanda la rueda es equivalente a la variación de energía en un tiempo requerido (Peñaloza y Llivicura, 2021). La fórmula está expresada en la Ec. (8).

$$Pr = \frac{dE}{dt} \quad \text{Ec. (8)}$$

En donde:

- **Pr** = Potencia en rueda [kW].
- **dE** = Diferencial de energía [J/s].
- **dt** = Diferencial de tiempo [s].

Potencia Requerida

La potencia requerida es el cálculo de la potencia de la rueda con respecto a la eficiencia del tren motriz (Peñaloza y Llivicura, 2021). En la Ec. (9) se observa la relación de ambos factores:

$$Prm = \frac{Pr}{\eta t} \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde:

- **Prm** = Potencia requerida en el motor [kW].
- **Pr** = Potencia de la rueda [kW].
- **ηt** = Eficiencia del tren motriz [-].

Energía de resistencia aerodinámica.

La energía de resistencia aerodinámica se refiere a la energía adicional que un objeto en movimiento, como un vehículo, necesita para superar la resistencia del aire que se opone a su avance. Esta resistencia aerodinámica aumenta a medida que la velocidad del objeto aumenta, lo que requiere más energía para vencerla y mantener el movimiento (Gillespie, 1992). La Ec. (10) muestra como calcularla:

$$Eef = Fw * v * \Delta t \quad \text{Ec. (10)}$$

Energía de resistencia rodadura.

La energía de resistencia de rodadura hace referencia a la energía adicional necesaria para superar la fricción entre las ruedas de un vehículo y la superficie de la carretera en movimiento. Esta resistencia aumenta con la carga del vehículo y la calidad de la superficie de la carretera, lo que exige más energía para mantener la velocidad y el movimiento del vehículo (Gillespie, 1992). La Ec. (11) muestra como calcularla:

$$Eg = Fg * v * \Delta t \quad \text{Ec. (11)}$$

Energía de resistencia a la pendiente

La energía de resistencia a la pendiente es la energía adicional requerida para vencer la gravedad al mover un objeto, como un vehículo, en una pendiente ascendente. Esta energía se debe a la necesidad de superar la fuerza de la gravedad que tira del objeto hacia abajo en contra de su movimiento hacia arriba en la pendiente (Gillespie, 1992). La Ec. (12) muestra como calcularla:

$$E_i = m * a * v * \Delta t \quad \text{Ec. (12)}$$

Energía Total

La Energía Total es la suma combinada de todas las formas de energía que se requieren para mover un objeto, como un vehículo, desde un punto a otro, la cual incluye la energía necesaria para superar la resistencia aerodinámica, la resistencia de rodadura, la resistencia a la pendiente y otros factores que afectan el movimiento del objeto (Gillespie, 1992). La Ec. (13) muestra como calcularla:

$$E_T = E_{ef} + E_t + E_g + E_i \quad \text{Ec. (13)}$$

2.2.5. Ciclos de conducción

El (CDC) o ciclo de conducción puede ser representado por medio de una gráfica de velocidad versus tiempo con intervalos de un segundo; esta ilustra la manera típica de manejo de un automóvil que se registra de forma instantánea en una zona o ruta determinada, el perfil topográfico de la carretera es descrito o dado por el perfil de la altitud (Guiñansaca Chinchilima, 2020).

2.2.5.1. Tipos de ciclos de conducción

Los tipos de ciclo de conducción se clasifican en:

Los ciclos de conducción de estado estable o estacionarios

Estos ciclos de conducción poseen períodos amplios, tramos a velocidades y aceleraciones constantes, son utilizados en laboratorios con dinamómetros o rampas bajo condiciones determinadas un ejemplo de este ciclo de conducción es el ciclo ECE 15 o el ciclo NEDC (Dávalos Figueroa, 2017). En la Ilustración 2-20 se observa el ciclo estacionario NEDC.

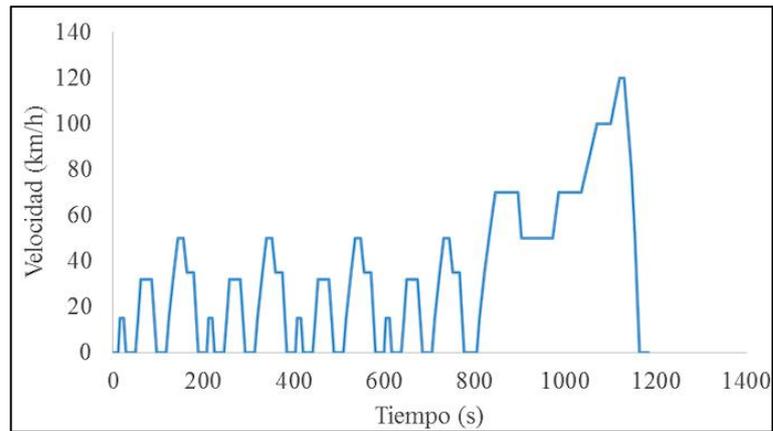


Ilustración 2-20: Ciclo estacionario NEDC

Fuente: Dávalos Figueroa D., 2017

Los ciclos de conducción transitorios

Los ciclos de conducción transitorios hacen referencia a varios cambios en el perfil de velocidad, es decir la serie de tiempo obtenida de las mediciones de la velocidad del vehículo a medida que el vehículo se mueve de un lugar a otro proyecta cambios de velocidad constantes característicos de la conducción semejantes a la real, uno de los ciclos de conducción típicos de este tipo es el ciclo FTP 75 (Espimbera, 2018). En la Ilustración 2-21 se observa ciclo FTP 75.

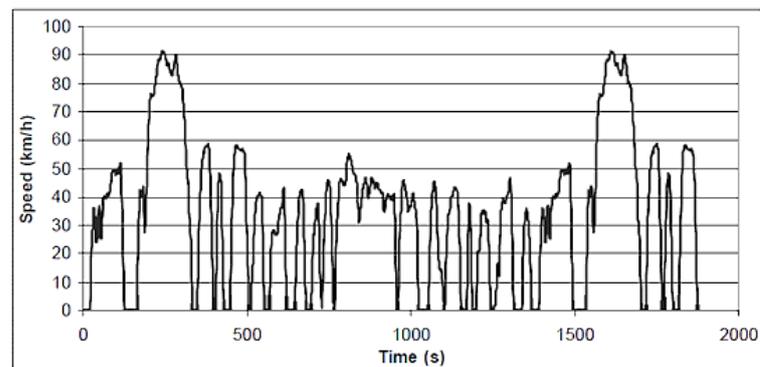


Ilustración 2-21: Esquema de conducción EPA, FTP75

Fuente: Espimbera Morales D., 2018

Como se mencionó anteriormente existen muchas aplicaciones de los ciclos de conducción por lo que existe diferentes criterios al tratar de clasificarlos de manera general, sin embargo, se puede clasificar a los ciclos de conducción en base a su propósito de estudio. En primera instancia se tiene dos grupos principales:

- **Ciclos de conducción para determinar el desempeño energético:** los vehículos, donde el parámetro más importante es el consumo específico de combustible y la cantidad de

emisiones contaminantes entre ellos los ciclos de conducción de homologación (Espimbera Morales, 2018).

- **Ciclos de conducción para homologación:** se utiliza para homologar los vehículos que circulan en una zona, se utilizan en distintos países que intentan mediante pruebas de laboratorio emular la conducta del conductor al manejar en un tramo urbano o rural, los más utilizados son los ciclos de homologación de conducción como el NEDC, el cual consta de cuatro ciclos, dos distribuidos para un ciclo urbano ECE-15 repetido UDC y un ciclo extraurbano EUDC, el otro ciclo más utilizado es el FTP-75 con dos variantes y cuatro fases. En la Ilustración 2-22 se visualiza el ciclo FTP-75 del programa de conducción. (Espimbera Morales, 2018) A continuación, se describen las fases:

- Fase transitoria de arranque en frío 0 - 505 [s] (temperatura ambiente 20 - 30 °C).
- Fase estabilizada, 506-1372 [s].
- Remojo en caliente mínimo 540 [s], máximo 660 [s].
- Fase transitoria de arranque en caliente, 0-505 [s].

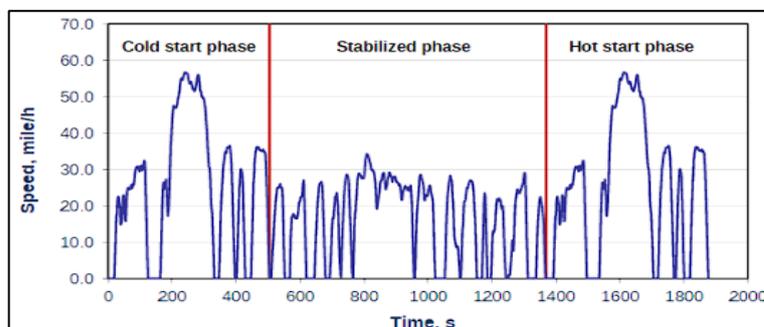


Ilustración 2-22: Programa de conducción urbano de la EPA de EE. UU. (FTP-75)

Fuente: Espimbera Morales D., 2018

- **Ciclos de conducción para representar condiciones operativas reales:** es un ciclo fijo de conducción para los vehículos considerados para el estudio, es importante su uso en la carretera, la conducta al conducir, la influencia en el consumo y las emisiones no deben pasar desapercibidas por su influencia en el impacto ambiental. Las pruebas realizadas han demostrado que la contaminación es mayor en una prueba de ruta en condiciones operativas reales que durante una certificación en un laboratorio (Espimbera Morales, 2018). Entre los parámetros a tomar en cuenta para realizar este ciclo de conducción son:
 - Velocidad y aceleraciones máximas, promedios y mínimas.
 - Número promedio de paradas

- Ralentí [%]
- Aceleración y desaceleración [%]
- Positive Kinetic energy KPE
- Distribución velocidad/aceleración
- Potencia específica del motor

En pruebas con vehículos nuevos, laboratorios independientes midieron consumos un 12 [%] superior a lo ofrecido por el fabricante. Y en pruebas autónomas distintas a NEDC, obtuvieron valores 16 en el rango de 19-28 [%] superior al fabricante. Un informe comparó los consumos y emisiones declarados de los automóviles alemanes, que representan el 50 [%] de las ventas en este mercado (Espimbera Morales, 2018). En la Ilustración 2-23 se pueden observar los resultados:

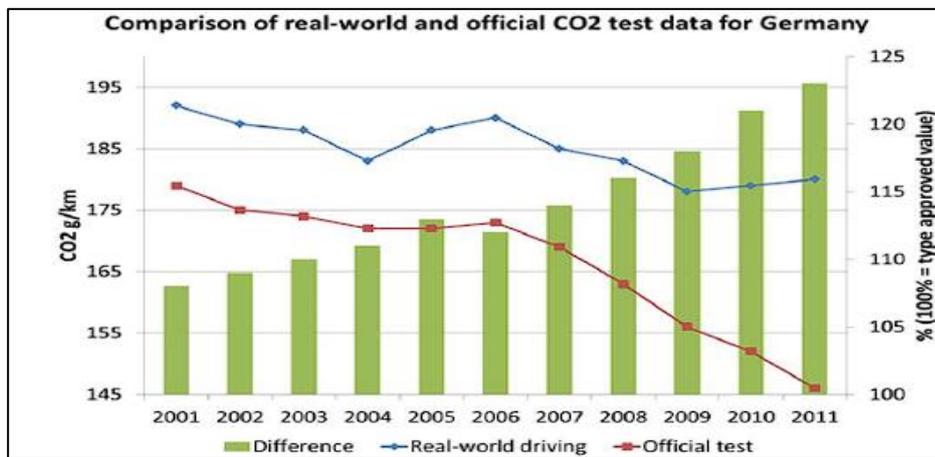


Ilustración 2-23: Comparación del promedio del mundo real y los resultados de las pruebas oficiales para Alemania.

Fuente: Espimbera Morales D., 2018

Se determina que los ciclos de homologación no describen un patrón real de conducción, un ciclo de conducción llega a ser representativo cuando muestra las condiciones de manejo comunes o principales de una población (Espimbera Morales, 2018).

2.2.6. Métodos y técnicas para la obtención de ciclos de conducción

Según (Pérez Llanos y Quito Sinchi, 2018), para la recolección y análisis de datos sobre los parámetros que representan los ciclos, indica que existe el método directo y el indirecto, además, se mencionan técnicas como el On-Board y persecución del automóvil.

2.2.6.1. Técnica del On-Board

Consiste en realizar diversos viajes en rutas preestablecidas con flujo característico vehicular para recopilar datos influenciados por la conducta de manejo en condiciones reales a través de instrumentación adecuada que permita testear y almacenar la información recogida (Pérez Llanos y Quito Sinchi, 2018).

2.2.6.2. Técnica de persecución del automóvil

Esta técnica utiliza registros de velocidad-tiempo, estos datos se obtienen con la instrumentación para completar el protocolo del vehículo “caza” ya recoger datos es un telémetro laser que se enlaza con el vehículo “objetivo” recopilando muestras al instante como la aceleración y la velocidad (Pérez Llanos y Quito Sinchi, 2018). En la Tabla 2-14 se compara y se describe con detalle ambas técnicas, las ventajas y las limitaciones.

Tabla 2-14: Comparación de técnica On-Board y persecución de vehículos.

TÉCNICA	VENTAJAS	LIMITACIONES
On-Board	Recolección directa de datos de conducción.	Elevado costo de instrumentación (Equipo de daos por cada vehículo.
	Desarrollo de perfiles de conducción representativo.	Estudio de las características de conducción de un solo conductor.
	Adecuado para países donde el comportamiento de conducción es irregular y agresivo.	Requiere de una muestra grande para asegurar la representatividad de la base de datos.
	Este método se puede mantener económicamente si se seleccionan las rutas representativas utilizando una base de datos de tráfico posible.	Demanda de mucho tiempo para el levantamiento de datos.
Persecución de vehículo	Estudio de las características de conducción de diferentes conductores en un solo recorrido.	Violación de límites de velocidad.
	Bajo costo de instrumentación.	Percepción por parte del conductor del vehículo objetivo.
	Recopilación de patrones de conducción de algunos vehículos en un solo recorrido.	Recolección indirecta de datos y con margen de error alto.
	Representatividad de la muestra.	Los equipos láser pierden su efectividad al pasar baches, pendientes y curvas.
	Se emplea un solo vehículo para levantar datos de conducción.	Diferencias de comportamiento de conducción entre el vehículo caza y el vehículo estudiado. El vehículo caza puede perder con facilidad al vehículo de estudio cuando su comportamiento de conducción es agresivo.

Fuente: Duque Escobar, G., 2012, p.4

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

2.2.6.3. Método directo

Se trata de seleccionar una ruta de tráfico real que sea representativa bajo distintas condiciones de tránsito, efectuar varios recorridos dentro la del trayecto establecido y obtener las gráficas formadas de cada recorrido, luego se selecciona la gráfica de la ruta con mayor representación mediante un análisis estadístico de datos (Dávalos Figueroa, 2017).

2.2.6.4. Método indirecto

Es el procesamiento directo de los datos recolectados en los viajes realizados para la construcción del ciclo de conducción en la ruta deseada que se realiza por medio de ajustes de velocidades, tiempos y factores fijados de emisiones basados en modelos internacionales (Dávalos Figueroa, 2017).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

Para alcanzar los objetivos planteados, resultó esencial la selección y seguimiento de distintos ciclos de conducción, los cuales se basaron en trayectos específicos dentro de una ruta preestablecida. El inicio de este proceso se marcó por la definición del método de investigación a emplear, la elección de la ruta específica y la determinación del tipo de flota que se analizaría. Se procedió a equipar el vehículo con la instrumentación adecuada, lo que permitió la recopilación y el análisis detallado de los datos necesarios para determinar el ciclo de conducción que sería representativo del estudio. Uno de los retos más significativos fue establecer una metodología efectiva para la recolección de datos en tiempo real, implicando la necesidad de implementar técnicas estadísticas avanzadas para el manejo correcto de la información obtenida. Esta información debía ser introducida en software especializado que contribuyera a la organización y análisis cuantitativo de los datos recopilados. Un ejemplo ilustrativo de dicho proceso se presentó en la ilustración 3-1 donde se especifica el proceso empleado para el análisis en cuestión.

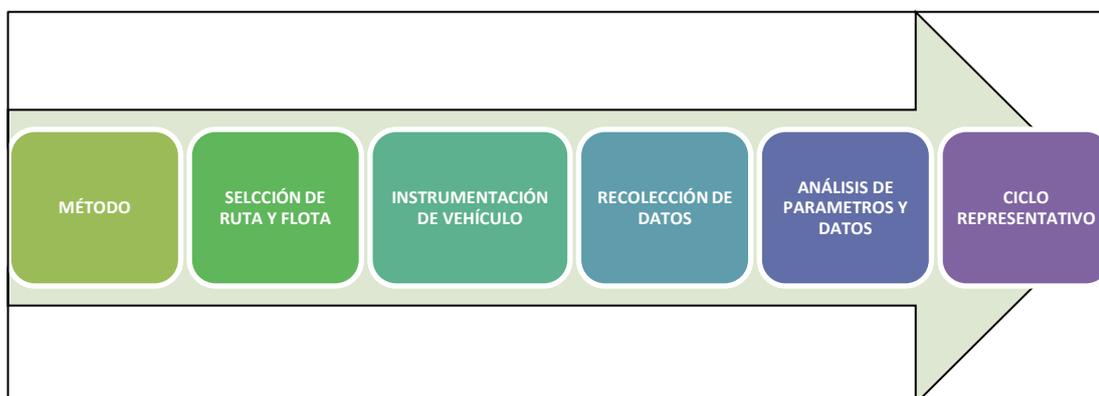


Ilustración 3-1: Análisis de datos: Ciclo representativo

Realizado por: Espimbera Morales D., 2018

Se utilizó un método directo, empleando la técnica On-Board, ayudó a representar las condiciones reales de tráfico y manejo a través de la inspección e instrumentación realizada por el investigador. Los viajes aportaron datos proporcionados por el equipo VBOX Sport GPS. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis estadístico de ponderaciones para identificar el ciclo de conducción más representativo. Todo este proceso se realizó bajo condiciones controladas, considerando dos tipos de variables: dependientes (velocidad y tiempo) e independientes (número de vehículos, ruta y ciclos). (Dávalos Figueroa, 2017).

3.1. Enfoque de investigación

La investigación realizada fue cuantitativa, empleando métodos para cuantificar las variables relevantes en la operación del sistema de transporte. Se llevaron a cabo análisis técnicos para recolectar datos sobre los parámetros que influyen en la definición de los ciclos de conducción. Se trató de una investigación de campo, a través de la cual se efectuaron actividades de recolección de datos mediante instrumentos en diversas rutas de la ciudad de Riobamba. La interacción directa y la observación de datos por medio de estos instrumentos resultaron cruciales para una adecuada cobertura de los eventos.

Asimismo, se determinó que la investigación tuvo un carácter documental y bibliográfico, ya que la revisión de diversas fuentes bibliográficas permitió adquirir conocimiento teórico y definir los conceptos esenciales para entender el tema. Este proceso incluyó la consulta de investigaciones previas en investigaciones de autores relevantes, que ofrecieron una base conceptual sobre la dinámica del vehículo, permitiendo interpretar su comportamiento en un entorno real.

3.1.1. Métodos de investigación

Para la investigación se empleó los métodos deductivo y analítico, descritos de la siguiente manera:

El razonamiento deductivo se identificó como una característica clave del enfoque cuantitativo y se aplicó en la elaboración del marco teórico para desarrollar estrategias basadas en un razonamiento que va de lo particular a lo general. Se examinó el ciclo de conducción típico de los autobuses de transporte público y, a partir del análisis del consumo energético, se obtuvieron comparaciones con el desempeño de los autobuses eléctricos, evaluando la viabilidad de incorporar este tipo de vehículos en Riobamba.

Por otro lado, el método analítico permitió detallar los requisitos para determinar la importancia de los datos recabados, las variables del estudio y la síntesis de los objetivos, fundamentándose principalmente en la selección de ciclos de conducción representativos desarrollados en Ecuador y en los criterios necesarios para la adopción de autobuses eléctricos en el sistema de transporte público a partir de la demanda de energía

3.1.2. Técnicas de recolección de datos

En la investigación se empleó técnicas de exploración documental, observación directa y On-Board, detalladas a continuación:

Exploración Documental: Se realizó un análisis exhaustivo de documentos, revisando literatura relevante, estudios previos y fuentes bibliográficas para obtener un marco teórico sólido y comprender mejor el contexto y los conceptos clave relacionados con el estudio.

Observación Directa: Esta técnica implicó la recopilación de datos de primera mano mediante la observación meticulosa de los fenómenos relacionados con el transporte público, permitiendo un acercamiento real y detallado a las dinámicas operativas de los autobuses en servicio.

On-Board: Se empleó instrumentación especializada instalada en los vehículos para recopilar datos operativos directamente a lo largo de los recorridos, lo que simplificó la recolección de información precisa sobre el consumo energético y otros parámetros cruciales bajo condiciones reales de conducción, garantizando precisión y fiabilidad gracias a sus características distintivas, a continuación, sus principales características:

- Los datos se consiguen directo del vehículo
- Alta precisión / Alta confiabilidad
- Solicita una muestra amplia para asegurar la representatividad
- Requiere de un periodo de tiempo mayor para el levantamiento de datos

3.1.3. Instrumentos de recolección de datos

Para la recopilación de datos, se emplearon los siguientes instrumentos:

Fuentes Bibliográficas: Se recabó información y datos de estudios, informes, libros, revistas y sitios web, que contribuyeron de manera significativa al análisis de diversos aspectos de los parámetros de rendimiento y el impacto de las actividades de tráfico.

Esta recopilación también facilitó la mejora de conceptos y la elaboración de recomendaciones para los parámetros del estudio

VBOX Sport GPS: Este dispositivo de registro de datos, portátil y ligero, se utilizó en diferentes vehículos y ambientes para medir el rendimiento, incluyendo tiempo, velocidad, trayectorias y otros parámetros relevantes del vehículo en tiempo real. (Álava, 2022) En la Ilustración 3-2 se muestra el dispositivo VBOX Sport GPS.



Ilustración 3-2: Dispositivo VBOX Sport GPS

Fuente: Espimbera Morales D., 2018

3.1.4. Metodología de recolección de datos

Levantamiento de muestras en las rutas de la ciudad: Se efectuó la recolección de datos en las rutas urbanas tanto en días ordinarios como en aquellos de inusual concurrencia de personas, en momentos de máxima actividad y cuando los buses alcanzaban límites altos de capacidad de viajeros. Se priorizaron además aquellas rutas que presentaban un alto consumo energético, atribuido a las condiciones de las carreteras como la pendiente y la densidad del tráfico.

3.2. Instrumentación de vehículo

Como se indicó previamente, el modelo de autobús que destaca por su representatividad en el sistema de transporte urbano de Riobamba es el HINO AK de la serie 500. Este vehículo se caracteriza por su motor turboalimentado con inyección directa de Diesel, compuesto por 6 cilindros, configuración OHC y equipado con un intercooler, además de contar con neumáticos de tamaño 11/ R 22.5/16 o su semejante 295/80/22.5, presión de neumáticos de 110 [PSI] y una cilindrada de 7.684 [cm³], más características son detalladas en el catálogo del vehículo (Grupo Mavesa, 2016). (Ver Anexo B).

3.3. Selección de ruta

3.3.1. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra permitió tener el conocimiento del número significativo de elementos que se necesitaron para determinar un parámetro con un grado de confianza entre las variables y la cantidad total de elementos, así se estimó la media de las variables participantes, se consideraron como $[N]$, 186 es el total de conductores o unidades en servicio, $[k]$ es una constante que depende de la confianza y la probabilidad de que los resultados sean asertivos, $[e]$ es la diferencia entre las respuestas, $[p]$ es una parte de la población que posee características específicas y $[q]$ es la porción de elementos que no poseen una característica específica. (Rodríguez Pérez, 2016) A continuación se observa el cálculo de la muestra utilizando la Ec. (14).

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{e^2 * (N - 1) + k^2 * p * q} \quad \text{Ec. (14)}$$
$$n = \frac{186 * 1,96^2 * 0,2 * 0,8}{0,07^2 * (186 - 1) + 1,96^2 * 0,2 * 0,8}$$
$$n = \frac{194432}{2587}$$

$n = 75$ encuestas a conductores.

Donde:

- n = tamaño de la muestra buscada
- N = tamaño de población universo
- K = parámetro estadístico de nivel de confianza
- e = erro de estimación máximo aceptado
- p = probabilidad de que ocurra el evento
- q = (1-p) probabilidad de que no ocurra

Las encuestas realizadas a los conductores del transporte público durante el levantamiento de datos y que se realizaron como una entrevista personal, arrojaron resultados que colaboraron para la selección de las rutas considerando los parámetros como la pendiente, distancia del circuito y un estimado del consumo de combustible diario.

3.3.2. Análisis e interpretación de encuestas

Se efectuó las preguntas a los conductores de las unidades, las 75 encuestas realizadas manifiestan la opinión de los choferes de diferentes rutas y cooperativas. A continuación, se muestran los resultados y la interpretación de las encuestas.

1. ¿Qué ruta de transporte masivo público urbano puede considerar usted con una pendiente prolongada, según su experiencia?



Ilustración 3-3: Resultados de la pregunta 1: ¿Qué líneas de transporte puede considerar usted con una pendiente prolongada, según su experiencia como conductor?

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Interpretación: se llegó a obtener como resultado que la línea 5 involucra un tramo de mayor inclinación, las otras rutas siguen siendo significativas, la línea 16 en segundo lugar, la 7 y la 14 le apremian.

2. ¿Qué ruta consume más combustible en su día de trabajo?

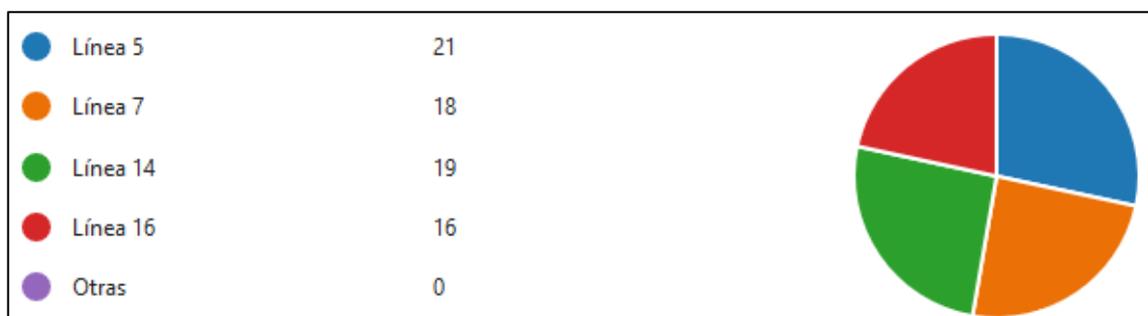


Ilustración 3-4: Resultados de la pregunta 2: ¿Qué ruta consume más combustible en su día de trabajo?

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Interpretación: la mayoría de conductores estiman el consumo por medio de la recarga de combustible al final del día de trabajo, no es un dato que ayude para determinar el consumo exacto

de combustible, pero ayuda a precisar la selección de las rutas, se prevé en las rutas una media de 33\$ en gastos de combustible, estos datos son respaldados y comparados con antecedentes obtenidos por medio de la participación de la entidad del control administrativo de la empresa del sector del transporte público urbano. Se considera que el Ecuador el galón de Diésel cuesta 1,75\$ actualmente, con un consumo diario de 33\$, se estima que el gasto es de 18,85 galones. Por lo tanto, se evidencia que la ruta 5 lidera el consumo, las otras líneas se mantienen cerca.

3. ¿Qué ruta estima que tiene mayor recorrido en el día de trabajo?



Ilustración 3-5: Resultados de la pregunta 3: ¿Qué ruta estima que tiene mayor recorrido en el día de trabajo?

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Interpretación: para estrechar de mejor manera la distancia, se debe recurrir a fuentes y técnicas más confiable y de mayor precisión, sin embargo, existieron conductores que, según su experiencia argumentaron sus respuestas influidas por el tacómetro del vehículo, colocando a la línea 5 primero, la 14 en segundo, la 16 y la 7 por debajo de estas consecutivamente.

4. ¿Cuántos dinero gasta diariamente en combustible?

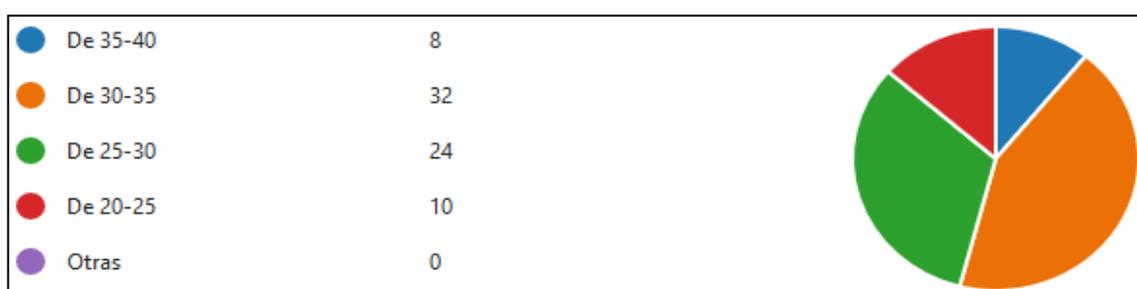


Ilustración 3-6: Resultados de la pregunta 4: ¿Cuánto dinero gasta diariamente en combustible?

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Interpretación: en la pregunta número 2 de la encuesta se mencionó el consumo en galones; esta pregunta se relaciona con el gasto diario de combustible ayudando a establecer valores para considerar el consumo en cada ruta.

5. ¿Cuál es la marca y modelo de la unidad de transporte masivo que conduce?

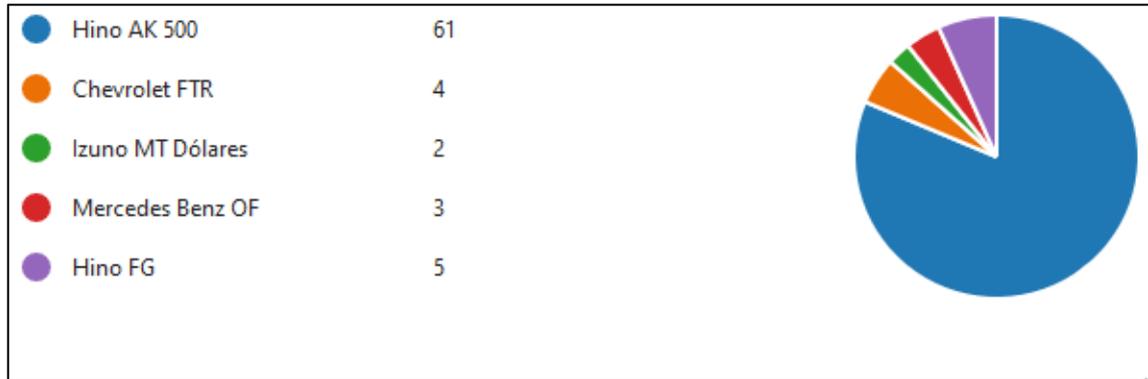


Ilustración 3-7: Resultados de la pregunta 5: ¿Cuál es la marca y modelo de la unidad de transporte masivo que conduce?

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Interpretación: se tiene una mayor influencia en la utilización del modelo Hino AK 500, integrando aproximadamente 84,72 [%] de la flota de transporte urbano de Riobamba.

3.3.3. Datos técnicos para selección de ruta.

(Albán, 2022) detalló en su proyecto, mediante el uso de tablas descriptivas, las cifras que inciden en la selección de las rutas, incluyendo el número de unidades por operadora de transporte público, la frecuencia de servicios proporcionados por cada cooperativa, la distancia recorrida, el número de períodos diarios y la cantidad de pasajeros en cada línea de transporte. Adicionalmente, se buscó el apoyo de la entidad encargada de la supervisión y control administrativo de la rentabilidad de las 186 unidades en las 16 líneas de servicio de transporte público de la ciudad.

El Sr. Cristian Mosquera aportó información, (Ver Anexo A), que expone el número de unidades en servicio, el consumo de combustible, entre otros detalles, incluyendo los tiempos de recorrido, los cuales son cruciales para el análisis de las rutas previamente seleccionadas. La Tabla 3-1 muestra el número de unidades asignadas y adquiridas por cada cooperativa hasta agosto del año 2023.

Tabla 3-1: Número de unidades en las 16 líneas de transporte público urbano de Riobamba

No	Línea	No De Buses
1	Santa Ana – Bellavista	13
2	24 de Mayo – Bellavista	13
3	Santa Anita – Camal – Mayorista	10
4	Licán – Bellavista	9
5	Corona Real – Bellavista	11
6	Miraflores – Bellavista	9
7	Inmaculada – El Rosal	14
8	Yaruquíes – Las Abras	14
9	La Lolita – Mercado Mayorista	9
10	Pinos – San Antonio	8
11	Terminal Intercantonal – Mayorista	12
12	San Gerardo – Batán	9
13	Sixto Durán – San Miguel de Tapi	17
14	San Luis – San Miguel de Tapi	18
15	Lican – ESPOCH – UNACH	10
16	Capi – La Paz	10
Total Unidades		186

Fuente: Cristian Mosquera, 2023

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

La hoja de rentabilidad facilitó la comparación del tamaño de la muestra necesaria para encuestar a los conductores y elección del modelo de autobús más empleado en el transporte público de Riobamba. Permitió además conocer el consumo diario de combustible y los kilómetros recorridos diariamente en las rutas. A continuación, se presenta los parámetros considerados más relevantes para la selección de rutas que se eligieron a partir de investigaciones realizadas por autores que proporcionaron información para casos de estudios similares. Estas cifras serán analizadas más adelante para determinar su precisión, abordando los parámetros a discutir:

- Distancia recorrida
- Número de ciclos diarios
- Demanda de pasajeros por cada línea de transporte
- Tiempo estimado de recorrido
- Pendiente máxima de la ruta

En la Tabla 3-2 se puede observar los datos de las 16 líneas de transporte de Riobamba.

Tabla 3-2: Número de unidades en las 16 líneas de transporte público urbano de Riobamba.

No.	Línea	No. de ciclos al día	Distancia del circuito (k/m)	Tiempo recorrido (h-m-s)	Velocidad (km/h)	Distancia diaria de recorrido (km)	Pasajeros por ciclo	Demanda de pasajeros diariamente	Ángulo Max de pendiente
1	Santa Ana – Bellavista	8	22.6	1:23:00	16.34	180.8	110	10560	6.1
2	24 de mayo – Bellavista	8	20.4	1:23:00	14.75	163.2	164	15712	9.5
3	Santa Anita – Camal – Mayorista	6	25	1:32:00	16.30	150	103	9888	9.1
4	Licán – Bellavista	8	22.1	1:29:00	14.90	176.8	238	15232	7.7
5	Corona Real – Bellavista	6	31.6	1:45:00	18.06	189.6	163	10453	8.1
6	Miraflores – Bellavista	7	23	1:31:00	15.16	161	220	14080	9.3
7	Inmaculada – El Rosal	6	33.1	1:55:00	17.27	198.6	132	14784	10.2
8	Yaruquíes – Las Abras	7	19.5	1:32:00	12.72	136.5	161	18069	8.7
9	La Lolita – Mercado Mayorista	6	27.2	1:45:00	15.54	163.2	188	15067	9.2
10	Pinos – San Antonio	6	26.5	1:36:00	16.56	159	73	5840	6.5
11	Terminal Inter – Mayorista	8	18.5	1:20:00	13.88	148	45	3600	9.8
12	San Gerardo – Batán	6	21.9	1:30:00	14.60	131.4	152	14560	7.7
13	Sixto Durán – San Miguel de Tapi	6.5	245	1:46:00	13.87	159.25	137	15307	7.2
14	San Luis – San Miguel de Tapi	6	31.2	2:01:00	15.47	187.2	136	15195	10.4
15	Licán – ESPOCH – UNACH	7	20.5	1:26:00	14.30	143.5	81	9035	8.5
16	Calpi – La Paz	7	22.3	1:30:00	14.30	156.1	160	15360	11.7
Promedios diarios de trabajo		6.8	24.4	1:35:15	15.29	165.25	141.44	12671.38	8.73

Fuente: Cristian Mosquera, 2023, adaptado de Alban, 2022, Rodríguez Perez, 2016

Realizo por: Joffre Chávez, 2024

En el trabajo de (Palaguachi et al., 2020) se mencionó que, en el Plan de Movilidad del Cantón Riobamba, la demanda del servicio de transporte público es de 126.664 pasajeros diariamente en 16 líneas de servicio con un promedio de 716 pasajeros por unidad. Todas las cooperativas que conforman el sistema de transporte urbano de Riobamba trabajan en las 16 líneas en turnos rotativos, mismos que son programados en líneas de alta y de baja demanda de pasajeros, para que ninguno salga perjudicado el Consejo Provincial de Tránsito de Chimborazo optó por unificar el trabajo y reparte las rutas sin que haya ningún beneficiado. Se consideró también que el flujo vehicular en la ciudad de Riobamba tiene un horario de baja afluencia de pasajeros en torno a las 10 hasta las 11 [h] y desde las 14 hasta las 17 [h], concibiendo por otro lado el pico alto de circulación en periodos de 6:30 [h] a 8:30 [h] de la mañana, de 12 a 13:30 [h] y por la noche desde las 18 hasta las 19 [h] (Peñaloza y Llivicura, 2021). En la Tabla 3-3 se muestran las rutas establecidas y seleccionadas a partir de las encuestas realizadas y parámetros considerados con anterioridad.

Tabla 3-3: Rutas establecidas para ser analizadas

Línea	Nombre
5	Corona Real-Bellavista
7	Inmaculada-El Rosal
14	San Luis- San Miguel de Tapi
16	Calpi-La Paz

Fuente: Peñaloza y Llivicura, 2021

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

3.4. Recolección de datos

La tecnología usada en las actividades de recolección permitió medir variables como la velocidad [km/h], el tiempo [s], la distancia recorrida [km] y altitud [m]. Para ello se empleó un GPS de precisión. (Espimbera Morales, 2018). A continuación, se analizan las ventajas y desventajas en cuanto a los equipos de medición que se pudieron utilizar para recolectar datos en esta investigación, esclareciendo que el GPS tiene un propósito experimental que no requiere de instrumentación adicional, se debe colocar el dispositivo en un lugar estratégico del habitáculo del conductor, como se observa en la Ilustración 3-8, debe posicionarse de forma paralela a la carretera y fijar para evitar vibraciones producidas por las irregularidades del suelo y maniobras erráticas en la conducción o efectuar el uso de la antena magnética del dispositivo GPS.

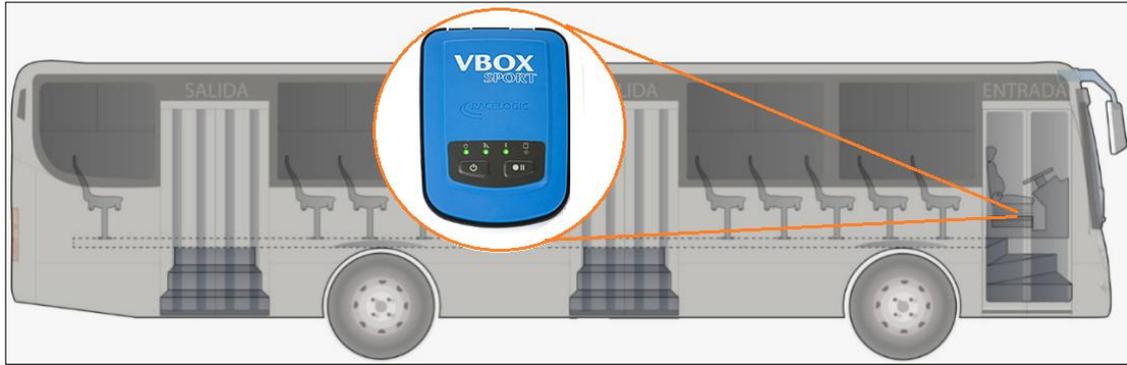


Ilustración 3-8: Recolección de datos con el dispositivo VBOX

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Basándose en la información de las rutas que se habían seleccionado previamente, el vehículo debía ser capaz de manejar una conducción estándar, aunque esta podría variar en diferentes secciones del circuito debido a diversos fenómenos, lo que implica que el vehículo podría transitar por rutas y enfrentarse a situaciones no anticipadas. El objetivo era recopilar datos que reflejaran los escenarios de conducción más exigentes posibles. El conjunto de datos recolectados de cada línea seleccionada se denominó muestra, y al concluir, se obtuvieron 4 muestras, correspondientes a cada 15 viajes efectuados en cada línea. Para la recolección de datos se prefirió emplear el dispositivo VBox Sport GPS. En la Tabla 3-4 se presentan los instrumentos potenciales para medir varios parámetros por medio de la técnica On-Board.

Tabla 3-4: Equipos para medir los parámetros de: velocidad, altitud y consumo de combustible

Parámetro	Equipo	Ventajas	Desventajas
Velocidad	Quinta rueda	Exactitud en mediciones	Alto costo
	GPS	Mediciones instantáneas, Disponibilidad, no requiere instrumentación adicional	Pérdida de señal, Mayor resolución = Mayor costo
	OBD	Precisión en mediciones	Altos costos
Altitud	GPS	Mediciones instantáneas, Disponibilidad, no requiere instrumentación adicional	Pérdida de señal, Mayor resolución = Mayor costo
Consumo de combustible	OBD	Consumo instantáneo	Costos mayores
	Tanque aforado	Bajos costos. Alta precisión	

Fuente: Peñaloza y Llivicura, 2021

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Es importante destacar que la capacidad para recoger datos reales del funcionamiento del motor estuvo restringida, ya que no se autorizó la conexión de dispositivos OBDII para registrar datos

PID's y monitorear el consumo de combustible en tiempo real. Los conductores expresaron preocupación de que conectar estos dispositivos podría interferir con la configuración del sistema de los equipos utilizados para el conteo de pasajeros, los puntos de control y el sistema de rastreo satelital GPS, entre otras funciones críticas que se monitorean en tiempo real desde la central de la cooperativa de transporte urbano. Estos datos recabados son fundamentales para la operación diaria, el control de la rentabilidad y el seguimiento de la afluencia de pasajeros, entre otros aspectos.

La labor del conductor consistió en ejecutar maniobras para adherirse a los horarios de arribo en diferentes ubicaciones, lo que a veces implicó aceleraciones no previstas y superar los límites de velocidad establecidos. Se recolectaron datos mediante GPS en cada recorrido de 8 horas de la mañana a 20 horas de la noche, abarcando un promedio de 16-18 horas diarias. Este intervalo de tiempo contempló variaciones como días festivos con modificaciones en las rutas, tiempos de partida y llegada, estado del tráfico, pausas para comer, requerimientos del conductor y tiempos asignados para la recarga de combustible, estos últimos tendiendo a ser más comunes al final del día. Estas variables influenciaron para el costo estimado y el consumo medio de combustible diario, esta información fue comparada y respaldada con las encuestas realizadas. Como se ilustra en la Tabla 3-19, se especifican los datos relacionados con la rentabilidad del sistema de transporte urbano.

Tabla 3-5: Rentabilidad del sistema de transporte urbano, de acuerdo con las rutas establecidas.

	Línea	Gastos Diésel	Galones (gatos de diésel /1,75\$ precio del gl)
5	Corona Real-Bellavista	40 \$	22,9 gl
7	Inmaculada-El Rosal	37 \$	21,1 gl
14	San Luis -San Miguel De Tapi	40 \$	22,9 gl
16	Calpi - La Paz	35 \$	20 gl

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

3.5. Obtención de la demanda energética

3.5.1. Parámetros de rutas preestablecidas

3.5.1.1. Detalle de perfil y pendiente de las rutas

El estudio analizó la pendiente de las rutas utilizando datos del VBox GPS y su correlación con trayectos mapeados en Google Earth. Los datos de altitud estuvieron sujetos a cambios. Aunque

los estudios anteriores proporcionaron datos para compararlos, se afirmó que las diferencias son esperadas debido a errores, por lo tanto, no se consideran relevantes. En el software VBox Test Suit se pudieron visualizar los recorridos trazados por el autobús y las gráficas de sus perfiles de altitud.

– **Ruta 5 (CORONA REAL – BELLAVISTA)**

En la Tabla 3-6.

Tabla 3-6: Descripción de las características de la Ruta 5: Corona Real - Bellavista

Parámetros de la Ruta 5 Corona Real – Bellavista		
Distancia	32,58	[km]
Tiempo	5760,00	[s]
	1:36:00	[h-m-s]
Velocidad promedio	6,16	[m/s]
	22,16	[km/h]
Pendiente Max	8	[%]
Altitud Max	3150	[msnm]
Horario	6:20 a 20:30	[horas]
Frecuencia de trabajo	10	[min]

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

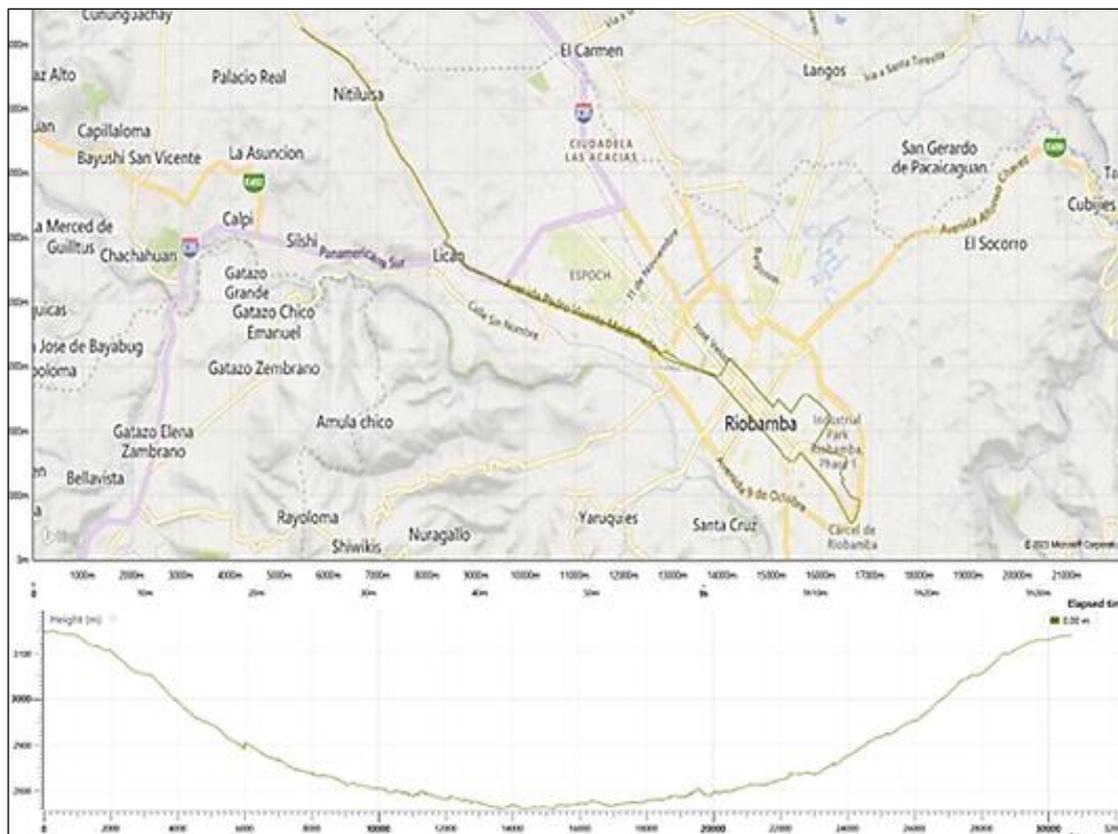


Ilustración 3-9: Perfil de altitud y pendiente de la Línea 5

Fuente: VBox Test Suit, 2023

– Ruta 7 (INMACULADA – EL ROSAL)

En la Tabla 3-7.

Tabla 3-7: Descripción de las características de la Ruta 7: Inmaculada – El Rosal

Parámetros de la Ruta 7 Inmaculada – El Rosal		
Distancia	31,73	[km]
Tiempo	5820,00	[s]
	1:54:36	[h-m-s]
Velocidad promedio	6,05	[m/s]
	21,78	[km/h]
Pendiente Max	9,6	[%]
Altitud Max	2934	[msnm]
Horario	6:20 a 19:00	[horas]
Frecuencia de trabajo	10	[min]

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

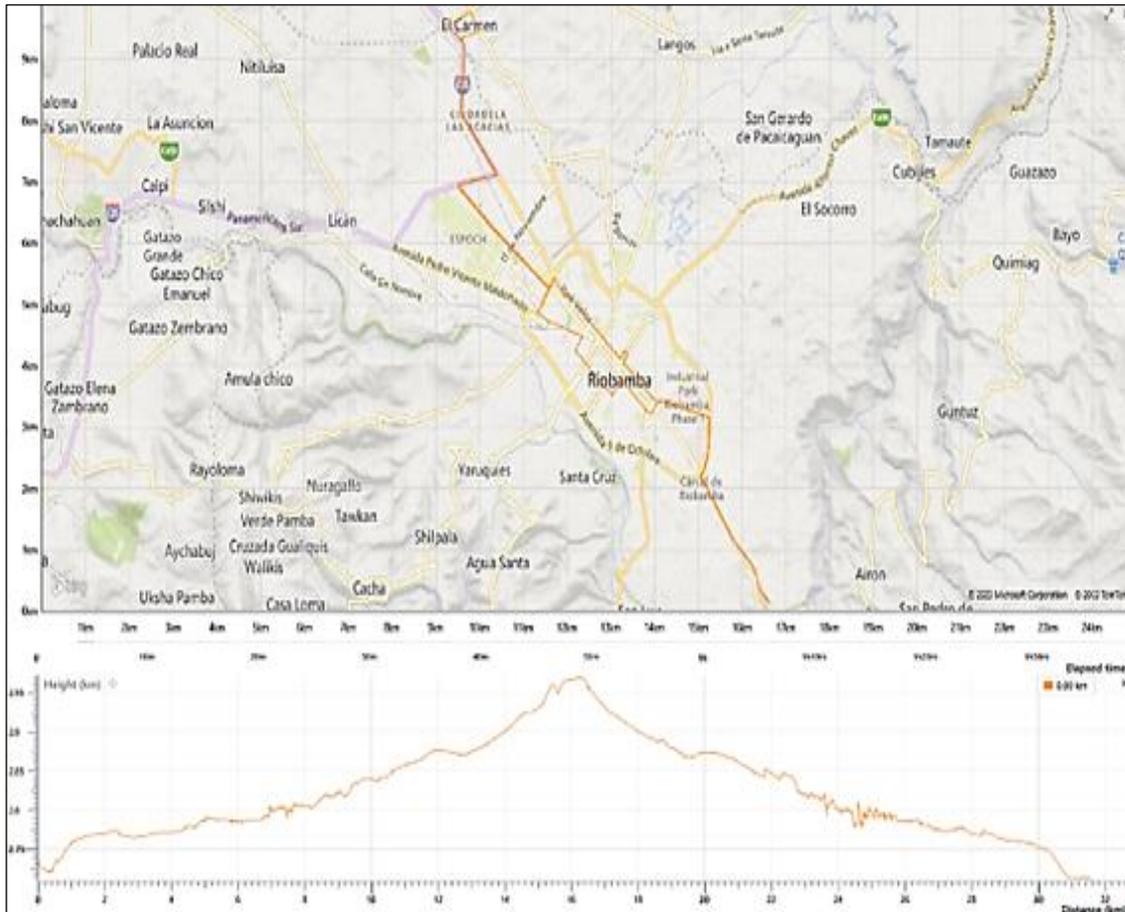


Ilustración 3-10: Perfil de altitud y pendiente de la Línea 7

Fuente: VBox Test Suit, 2023

– **Ruta 14 (LIBERTAD – 24 DE MAYO)**

En la Tabla 3-8 se ilustran datos de la línea 14.

Tabla 3-8: Descripción de las características de la Ruta 14: Libertad – 24 de Mayo

Parámetros de la Ruta 14 Libertad – 24 de Mayo		
Distancia	33,12	[km]
Tiempo	7231	[s]
	2:00:31	[h-m-s]
Velocidad promedio	5,78	[m/s]
	20,82	[km/h]
Pendiente Max	9,6	[%]
Altitud Max	2934	[msnm]
Horario	6:20 a 19:00	[horas]
Frecuencia de trabajo	10	[min]

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

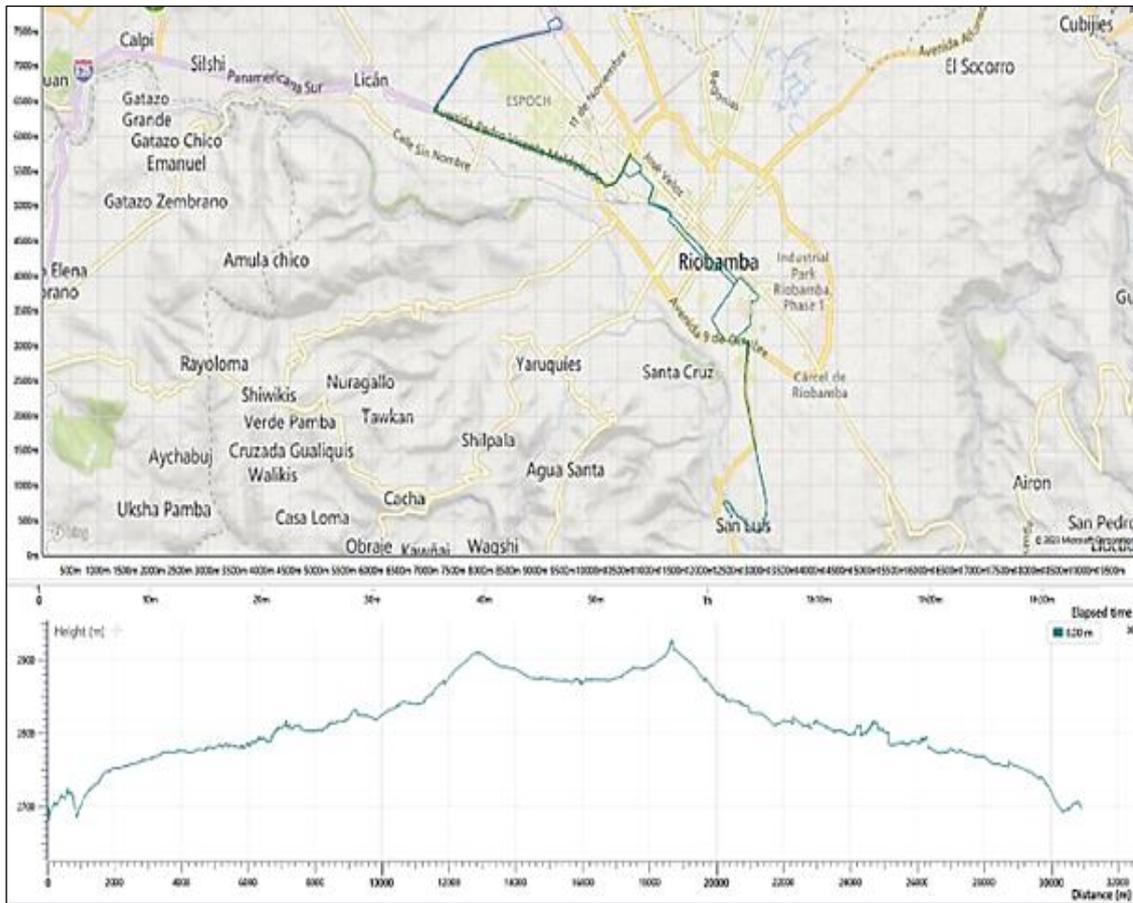


Ilustración 3-11: Perfil de altitud y pendiente de la Línea 14

Fuente: VBox Test Suit, 2023

– **Ruta 16 (CALPI – LA PAZ)**

En la Tabla 3-9 se ilustran datos de la línea 16.

Tabla 3-9: Descripción de las características de la Ruta 16: Calpi – La Paz

Parámetros de la Ruta 16 Calpi – La Paz		
Distancia	28,13	[km]
Tiempo	0,05725694	[s]
	1:22:27	[h-m-s]
Velocidad promedio	6,37	[m/s]
	23,54	[km/h]
Pendiente Max	11,7	[%]
Altitud Max	3143	[msnm]
Horario	6:20 a 19:00	[horas]
Frecuencia de trabajo	10	[min]

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2023

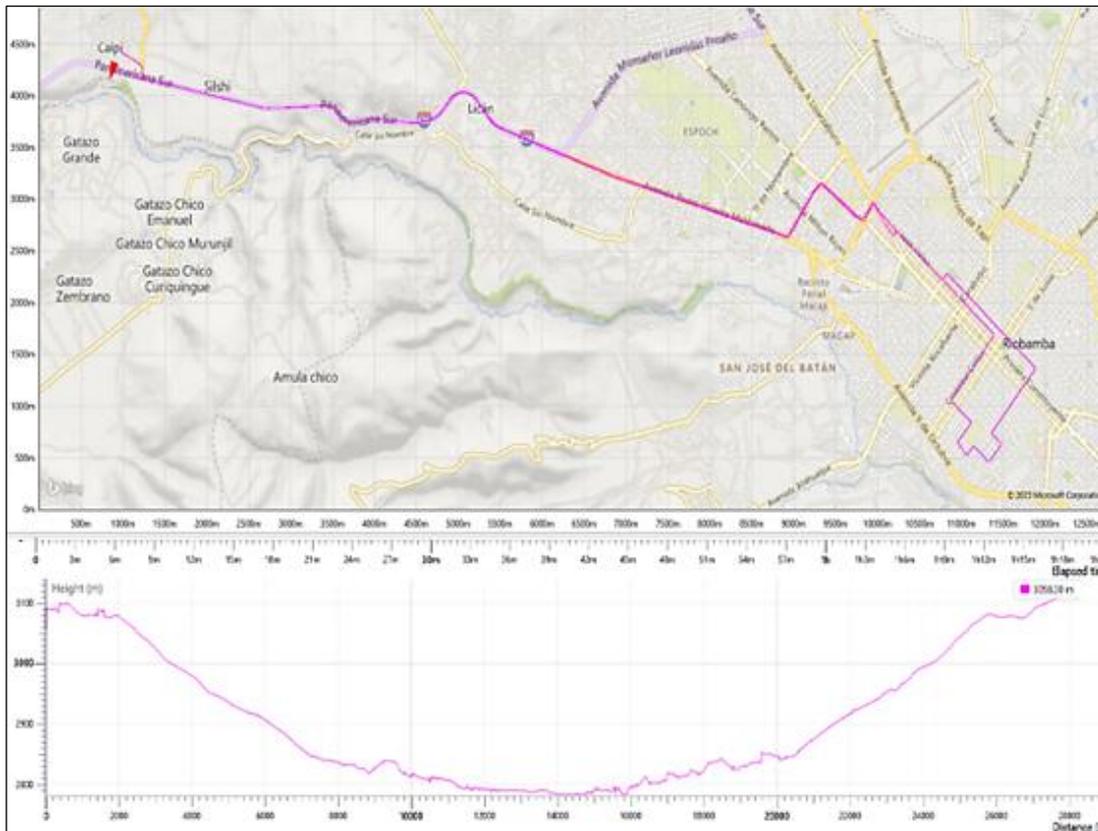


Ilustración 3-12: Perfil de altitud y pendiente de la Línea 16

Fuente: VBox Test Suit, 2023

El análisis realizado indicó que la Línea 14 posee el circuito con la distancia 33 [km] y tiempo mayor de recorrido (2 horas 33 minutos), la Línea 16 posee la mayor velocidad promedio 6.37

[m/s] y la pendiente máxima 11.7 [%], por otro lado, la Línea 5 posee la mayor altitud máxima 3150 [msnm].

3.5.1.1.1. Cálculo de pendiente

Los datos conseguidos de altitud y distancia por medio del VBox GPS, se calculó la distancia utilizando la Ec. (15), con esta variable se obtiene la gradiente en cada tasa de cambio con respecto al tiempo.

$$dx_i = V_{i-2} + 3V_{i-1} + 3V_{i+1} + V_{i+2} \left(\frac{t_i - t_{i-1}}{8} \right) \quad \text{Ec. (15)}$$

Para cálculos posteriores se utilizó el mismo gradiente, pero en radianes (Peñaloza y Llivicura, 2021). La Ec. (16) expresa la pendiente en porcentaje y luego como transformarla a radianes.

$$\theta = \text{Aseno} \left(\frac{\text{Alt}}{d} \right)$$

- θ = Ángulo [°]
- **Alt** = Altitud [msnm]
- **d** = distancia [m]

$$\alpha = 100 * \tan^{-1}(\alpha_{rad}) \quad \text{Ec. (16)}$$

La pendiente de la carretera se determinó tomando el arco tangente de la velocidad vertical sobre la medida de velocidad horizontal. En la Ilustración 3-13 se observa la pendiente de la carretera utilizando el método GPS, a su vez, la Ec. (17) se muestra cómo se calcula:

$$\theta_{GPS} = \tan^{-1} \left(\frac{V_Z}{V_{XY}} \right) \quad \text{Ec. (17)}$$

$$\theta_{GPS} = \tan^{-1} \left(\frac{V_Z}{\sqrt{V_X^2 + V_Y^2}} \right)$$

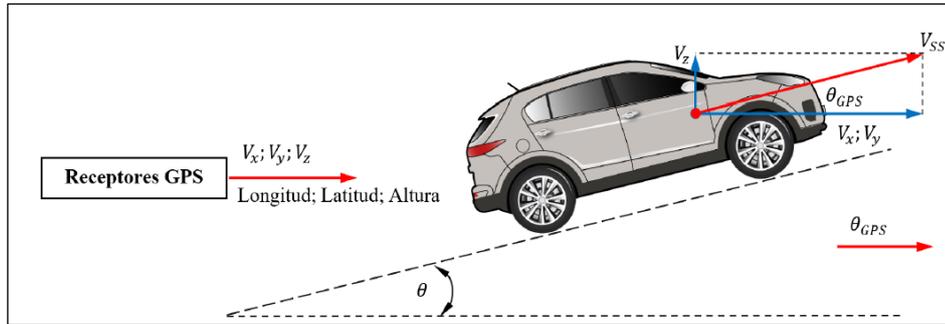


Ilustración 3-13: Pendiente de la carretera utilizando el método GPS

Fuente: Peñaloza y Llivicura, 2021

3.5.1.2. Masa del autobús [M]

El modelo de autobús seleccionado tiene un peso bruto de 14200 [kg], el PBV es el límite máximo de peso que soporta el chasis, incluye la carrocería, capacidad total de pasajeros, otros fluidos (aceite, refrigerante, etc.), repuestos (herramientas, llantas de emergencia) y el peso del combustible al 90 [%]. El (NTE INEN 2205, 2010) estableció 70 [kg] como una media para el peso de un pasajero, otro dato que nos da la ficha del fabricante es la capacidad de carga, la cual es 9310 [kg], este dato hace referencia al peso del vehículo sin pasajeros ni conductor. Al tener en cuenta que esta unidad tiene un límite de 40 pasajeros sentados y estimando 30 personas de pie, se tiene una masa del vehículo sin ocupantes de 9300 [kg] más un total de 70 ocupantes incluido el conductor, en la Tabla 3-10 se observa los resultados del peso de un autobús.

$$P = m * g \tag{Ec. (18)}$$

Tabla 3-10: Resultados del cálculo del Peso del autobús.

Masa del Autobús (M)		
Peso Bruto	14.200	[kg]
Tara	4.900	[kg]
Peso Neto	9.300	[kg]
Cap. Personas (unidad)	70	[-]
Ocupantes	70	[-]

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización (2010a)

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Se consideró las máximas exigencias a las que el autobús pueda estar sometido, utilizar el PBV permite obtener una estimación superior del consumo energético, teniendo en cuenta las demandas máximas que el vehículo enfrentó durante su operación.

3.5.1.3. Radio del neumático [r_d]

Para hallar el radio dinámico del neumático se utilizaron los datos que se encuentra en la ficha técnica, la medida es 11 R22.5" 16PR, es un neumático radial, también puede ser desplazado por su análogo el 295/80R/22.5. Para calcular su radio dinámico se debe utilizar la fórmula de la Ec. (19).

$$r_d = \left(\frac{Dr * 25.4 + 2 \left(\frac{H}{100} \right) * S}{2} \right) * 0.001 \quad \text{Ec. (19)}$$

Donde, S es el ancho del neumático [mm], H la altura en [%] y Dr el diámetro del rin [in] (Peñaloza y Llivicura, 2021). En la Tabla 3-25 se puede observar los valores del radio dinámico.

Tabla 3-11: Radio dinámico

Radio dinámico (Rd)		
Ancho	295	[mm]
Rin	22,5	[in]
Altura	80	[%]
Rd	0,52	[m]

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

3.5.1.4. Área frontal del autobús [A_f]

Es la superficie frontal del autobús que se proyecta normalmente en la dirección del flujo. En el trabajo de (Quevedo Ríos et al., 2022) describió que de la ficha técnica se puede obtener datos como como la superficie frontal del autobús, si no proporcionan esos datos, existen dos métodos para aproximarnos al valor típico, se observa en la Ilustración 3-14.

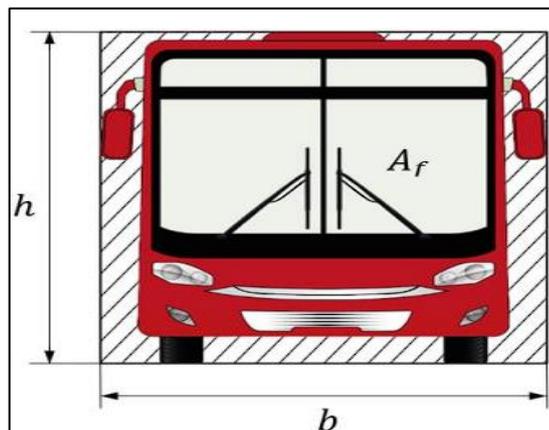


Ilustración 3-14: Diagrama de área frontal del autobús

Fuente: Guillcatanda y Zambrano, 2019

Donde, [h] es la altura, [b] es el ancho teniendo en cuenta el área de los espejos retrovisores y [f] es un coeficiente con valor 0.8. Asumiendo como referencia los datos de parte de la industria metal mecánica Patricio Cepeda Carrocerías, la altura no debe ser mayor a 3.8 [m²] y el ancho 2.520 [m²], aplicando estos límites a la Ec. (20) se obtiene un valor de $A_f = 7.7 [m^2]$. A su vez en la Tabla 3-12 el cálculo de A_f .

$$A_f = f * b * h \quad \text{Ec. (20)}$$

Tabla 3-12: Cálculo de A_f .

Área frontal (A_f)					
Alto		Ancho		Coefficiente	Área
3800	[mm]	2520	[mm]	0,85	7660800 [mm ²]

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización (2010a)

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

En el trabajo de (Peñaloza y Llivicura, 2021) existió estudios y aproximaciones efectuados por los autores en buses de diferentes marcas y obtuvieron las áreas frontales que se muestran a continuación en la Tabla 3-13.

Tabla 3-13: Área frontal de los autobuses

Chasis	Carrocería	Base [m]	Altura [m]	Área Frontal [m ²]
International	Miral	2,60	2,91	7,57
Volkswagen	NeoBus	2,55	2,72	6,94
Hino	Varma	2,56	2,92	7,44
Agrale	Varma	2,58	2,87	7,40
Mercedes Benz	Picosa	2,60	2,79	7,25
Chevrolet	Miral	2,57	2,94	7,55

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización (2010a)

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Las áreas frontales tienen una media de 7.4 [m²]. El otro procedimiento se denomina método gráfico y se lo realizó mediante un software CAD, en este caso se utilizó SolidWorks, para el siguiente paso se utilizará una imagen y un diseño de la carrocería Hino AK se realiza una medición real de la altura del autobús y se divide para la altura del dibujo del autobús en el software $\frac{\text{Medida real}}{\text{Medida dibujo}} = Esc$, de esta manera se consigue una escala, luego se utiliza el software para medir y obtener el área a partir una proyección del área frontal del autobús, después se divide el área del dibujo para la escala elevada al cuadrado $\frac{\text{Área dibujo}}{Esc^2}$. En la Tabla 3-14 se observa el cálculo del área frontal. (Ver Anexo C).

Tabla 3-14: Cálculo del Área Frontal

Área Frontal (Af)		
Área frontal medida	8110581,8	[mm ²]
Medida de altura dibujo	3260	[mm ²]
Medida de altura real	3190	[mm ²]
Escala	1,0	[-]
Área real calculada	7766.014,11	[mm ²]
Af	7,77	[m ²]

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Se contrasta los datos con otra investigación, (Guanuche et al., 2021), la cual permite aclarar que, un modelo de camión Hino Ak 500 tiene un área frontal 7,743 [m²] la cual se aproxima a los valores ya indicados anteriormente, para el análisis se utilizó el valor calculado $A_f = 7,7 [m^2]$.

3.5.1.5. Coeficiente de arrastre o aerodinámico [C_d]

Se describe como la resistencia que tiene un cuerpo al desplazarse un fluido a su alrededor, su ecuación incluye datos necesarios como el área frontal [A_f], la densidad del aire [ρ], temperatura [T], presión atmosférica [P], incluso pueden llegar a considerarse la humedad y la velocidad del viento de ser necesaria. Para condiciones propias prevalece la siguiente ecuación en el sistema métrico en $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$: En la Tabla 3-29 se observa el cálculo de la densidad.

$$\rho = 1.225 \left(\frac{P \text{ (kPa)}}{101.325} \right) \left(\frac{288.16}{273.16 + T(^{\circ}C)} \right) \quad \text{Ec. (21)}$$

Tabla 3-15: Cálculo de ρ .

Densidad				
Presión	0,704	Atm	71,33	[Kpa]
Temperatura	22,7	°C	295,85	[°K]
V. Viento	19,3	Km/h	5,36	[m/s]
Densidad	0,84	Kg/m ³	0,052	[Lb/ft ³]

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

En la ciudad de Riobamba, según (Salvador, 2018) existe una presión atmosférica de 0,704 [atm], se consideró una temperatura 22,7 [°C], la velocidad del viento no fue considerada.

El C_d varía dependiendo la carrocería del vehículo, teniendo en cuenta que una placa plana tendrá un $C_d=1,95$, esto significa que la presión dinámica es 1.95 veces mayor, se deberá considerar aspectos de la carrocería, como se muestra en la Ilustración 3-15.

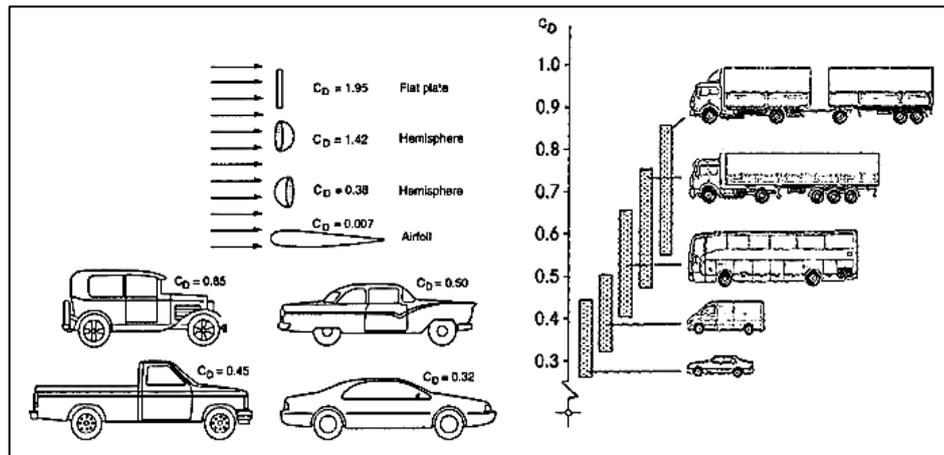


Ilustración 3-15: Coeficiente de arrastre de varios cuerpos

Fuente: Gillespie T.,1992

Según (Quevedo Ríos et al., 2022) el C_d del modelo de autobús Hino AK de $C_d = 0,8$, es un número adimensional que se puede hallar en diferentes catálogos o fichas técnicas del fabricante de la mayoría de los vehículos. La fórmula lo define es la Ec. (21) (Gillespie, 1992). Se utilizó un C_d comprendido entre 0.8 y 0.6, que es lo habitual para un autobús, así se consideró un $C_d = 0,7$.

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \rho V^2 A_f} \quad \text{Ec. (22)}$$

3.5.1.6. Coeficiente de resistencia a la rodadura [f_r]

Es la resistencia producida por la deformación de los neumáticos en su desplazamiento por una superficie, a baja velocidad es la principal fuerza que se opone al movimiento, la F_a se iguala a la f_r a una velocidad de 80,5 [km/h] a 96,5 [km/h], considerando el vehículo en un solo conjunto, la resistencia total se obtiene sumando la f_r de sus ruedas delanteras y traseras, aunque no haya gran influencia en la transferencia dinámica de pesos en los ejes, por esta razón el cálculo de la f_r se realiza de manera estática siendo muy preciso para la mayoría de casos que no influya estar sujetos a fuerzas laterales. El f_r es un número adimensional que resulta difícil tener condiciones establecidas para la medición de los efectos que producen las variables como la carretera, el material del neumático, la temperatura, etc. Por esta razón y para aplicaciones particulares en

algunas bibliografías se estimaron como una constante para diferentes casos (Gillespie, 1992). A continuación, en la Tabla 3-16 se describen los coeficientes para cada superficie:

Tabla 3-16: Coeficientes para cada tipo de superficie.

Tipo	Característica	Valor
Turismo	Asfalto	0,015
	Dureza media	0,08
	Arena	0,3
Camiones	Asfalto	0,012
	Dureza media	0,06
	Arena	0,25
Tractores	Asfalto	0,02
	Dureza media	0,04
	Arena	0,2

Fuente: Guillcatanda P. y Zambrano M., 2019

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Otra forma de cómo se evalúo este parámetro, fue considerando la presión de inflado de los neumáticos, la Ilustración 3-16 muestra los coeficientes que ayudan a determinar F_o y F_s con respecto a la presión de inflado en PSI (Gillespie, 1992).

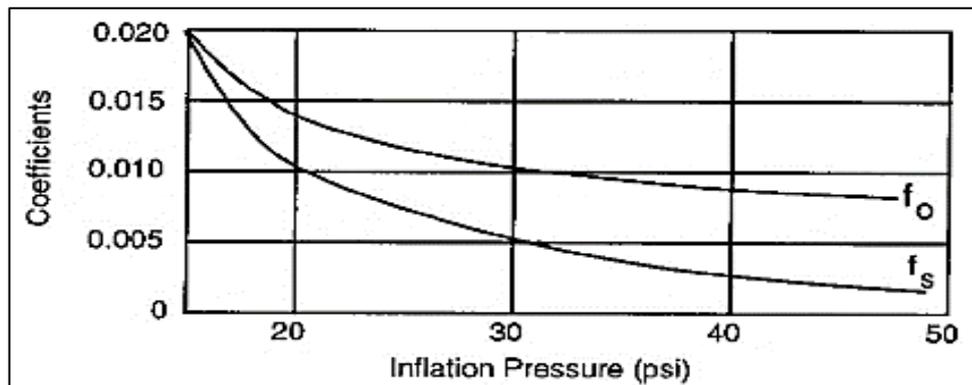


Ilustración 3-16: Coeficiente F_o y F_s con respecto a la presión de inflación en PSI

Fuente: Gillespie T., 1992

Se desarrolló por parte del Instituto Stuttgart la siguiente ecuación que determina el f_r a partir de la Ilustración 3-35. A continuación, La Ec. (22) (Gillespie, 1992)

$$f_r = \left(f_o + \left(3,24 * f_s \left(\frac{V}{100} \right)^{2,5} \right) \right) \quad \text{Ec. (22)}$$

Donde: V es la velocidad en Mph, F_o es el coeficiente básico y F_s es el coeficiente por efecto de la velocidad, ambos adimensionales, cuando el neumático llega a una presión de inflado nula de 0,020 y conforme aumenta la presión el valor disminuye. Con una presión de 110 [PSI] como determina el catálogo del fabricante para el autobús instrumentado, en la Tabla 3-31 se observa el cálculo de la resistencia a la rodadura f_r .

Tabla 3-17: Cálculo de la resistencia a la rodadura (f_r)

Coeficiente de resistencia a la rodadura f_r		
fo	0,009	[-]
fs	0,003	[-]
V	0,39155	[Mph]
fr	0,009	[-]

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

3.5.1.7. Parámetros del Autobús establecidos

Se muestran valores calculados de los parámetros que se requirieron para hacer el análisis dinámico del autobús, como se observa en la Tabla 3-32.

Tabla 3-18: Parámetros del Autobús de combustión interna

Hino AK serie 500			
Masa (M)	14200	[kg]	Datos obtenidos del catálogo
Coeficiente de arrastre (Cd)	0,7	[-]	Datos obtenidos del catálogo
Coeficiente de rodadura (fr)	0,009	[-]	Calculado
Área frontal (Af)	7,7	[m ²]	Calculado
Gravedad (g)	9,81	[m/s ²]	Ley de Newton
Densidad del aire (ρ)	0,843	[kg/m ³]	Calculado
Radio dinámico (rd)	0,52	[m]	Calculado

Fuente: Grupo Mavesa, 2016; Quevedo Ríos et al., 2022

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

En el marco de la investigación presente, se implementaron hojas de cálculo de Excel para la integración de ecuaciones relativas a la estimación de la demanda energética, optimizando así el proceso analítico y minimizando la probabilidad de errores computacionales. Los datos fundamentales para este análisis provienen de sistemas de posicionamiento global (GPS), los cuales ofrecen una precisión de hasta 0.1 [km/h] con una confianza del 95 [%] dentro de un margen de error establecido. Esta precisión es crucial para la proyección aproximada del desempeño vehicular en sus rutas designadas. Adicionalmente, se adoptaron metodologías gráficas para la visualización de datos, facilitando la comparación con resultados generados por

el software VBox Test Suit. La investigación también contempló el cálculo de la capacidad energética requerida para asegurar la autonomía del modelo de autobús eléctrico, desarrollando un modelo matemático en Matlab para simular el consumo de energía basado en las especificaciones técnicas de sus componentes y con especial enfoque en la ruta de mayor exigencia energética.

3.5.2. Postratamiento de datos

Se presentó una metodología diseñada para depurar eficazmente los datos almacenados, tomando en cuenta las complejidades introducidas por el uso del Vbox GPS lo cual puede resultar en información inusual que requiere ser refinada. Se prestó especial atención a los datos que muestran estas variaciones, con el fin de evaluar situaciones atípicas. Se observó que, en ciertos tramos del recorrido, las mediciones de pendiente y altitud superaron el 20 [%], incrementando significativamente el consumo de energía y excediendo los límites de potencia del vehículo. Para abordar esto, se adoptará el reglamento de la Unión Europea (Reglamento (UE) 206/646, 2016) que especifica el proceso para el ajuste de datos relacionados con la altitud y pendiente. A continuación, se indica la metodología utilizada, basada en la aplicación de la investigación bibliográfica y de campo que se llevó a cabo para el postratamiento de datos.

3.5.2.1. Recolección de Datos

En este parámetro se analizó las herramientas de recolección de datos más adecuadas para utilizar y poder obtener datos los más exactos posibles. En la Ilustración 3-17 se observa la instrumentación.

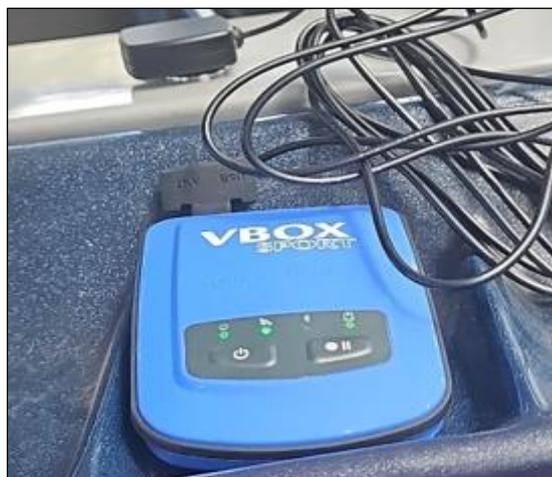


Ilustración 3-17: Instrumentación de GPS

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

3.5.2.2. Revisión de datos

Al obtener los datos se revisó cada uno de ellos para verificar su precisión y detectar posibles fallas. Es importante asegurarse de que los datos sean coherentes y eliminar datos atípicos que puedan distorsionar los resultados. En la Ilustración 3-18 se observa la visualización del trayecto y ciclo de conducción en el software VBox Test Suit.

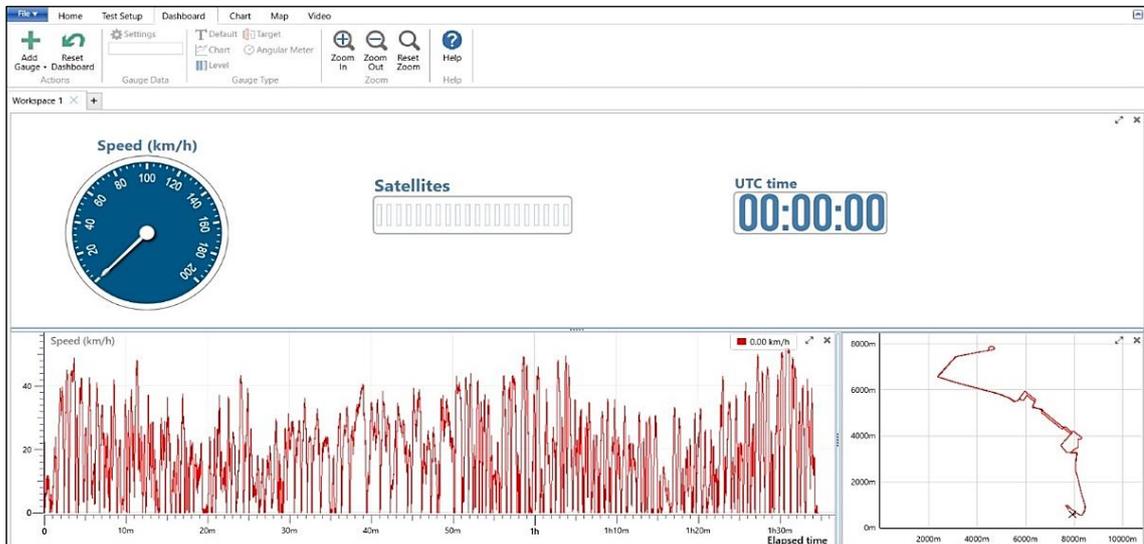


Ilustración 3-18: Visualización de trayecto y ciclo de conducción en el software VBox Test Suit

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

3.5.2.3. Identificar los errores

Luego de revisar los datos, se identificaron y se categorizaron los errores encontrados, estos errores pueden darse por fallos en los equipos de captura de datos, errores humanos o cualquier otra fuente que distorsione la exactitud de estos.

3.5.2.4. Corregir errores

Además de utilizar Minitab para corregir datos atípicos, también se analizaron datos similares que resultaran ser los más correctos y precisos. Si los errores provenían del dispositivo de medición, se incrementó el número de viajes en las rutas preseleccionadas. En caso de que los errores se originaran por factores humanos, se verificaron los datos con respecto a los originales y se realizaron las correcciones necesarias. La hoja de datos obtenida a través del dispositivo VBox GPS se muestra en la Ilustración 3-19.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	UTC time	Satellites	Speed (km/h)	Heading (Degrees)	Latitude	Longitude	pendiente GP	BrakeTrigger	Dgps	Wav file	Dual Antenna	Height (m)	Longitudinal a	Lateral accele	Elapsed time	Distance (m)	Lateral accele
2	193,049,100	4	2.32	0.0	1°38.78 S	78°44.54 W		0	0	0	0	3117.80	6.47	0.00	0.0	0.00	0.00
3	193,049,200	4	2.65	233.0	1°38.78 S	78°44.54 W		0	0	0	0	3112.40	0.88	-29.91	0.1	0.07	-29.94
4	193,049,300	4	1.32	0.0	1°38.78 S	78°44.54 W		0	0	0	0	3114.20	-3.73	15.00	0.2	0.12	14.91
5	193,049,400	4	0.78	0.0	1°38.78 S	78°44.54 W		0	0	0	0	3115.00	-1.47	0.00	0.3	0.15	0.00

Ilustración 3-19: Hoja de datos obtenidos del VBox GPS

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Los datos del VBox GPS fueron seleccionados con un intervalo de frecuencia de 1 segundo aplicando una función RESIDUO en una hoja de Excel ya que el dispositivo genera datos cada 0.1 segundos por defecto, una vez con los datos seleccionados y organizados, se escogieron las columnas del tiempo la velocidad lineal, la altitud para el análisis dinámico y la latitud y longitud para su posterior corrección, tienen un formato DDMSS, se utilizó el sitio web de CANADENSYS y mediante sus herramientas de conversión, obtuvimos los datos en grados decimales de las columnas antes mencionadas, como se observa en las ilustraciones 3-20, 3-21 y 3-22.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
2	Elapsed time	Speed (km/h)	Height (m)		10	FALSO		Elapsed time	Speed (km/h)	Height (m)
3	0.1	2.65	3112.40					1.0	1.07	3116.60
4	0.2	1.32	3114.20					2.0	0.37	3121.30
5	0.3	0.78	3115.00					3.0	0.43	3119.40
6	0.4	0.63	3115.50					4.0	0.33	3117.20
7	0.5	1.19	3116.90					5.0	1.21	3112.70
8	0.6	1.09	3118.30					6.0	0.81	3112.90
9	0.7	0.99	3117.40					7.0	0.62	3113.50
10	0.8	1.38	3116.90					8.0	0.83	3115.60
11	0.9	1.06	3116.40					9.0	0.15	3114.40
12	0.10	1.07	3116.60					10.0	0.45	3113.30
13	0.11	0.91	3117.50					11.0	3.96	3110.90
14	0.12	0.63	3118.30					12.0	0.42	3110.50
15	0.13	0.37	3119.40					13.0	0.94	3110.80
16	0.14	0.74	3121.70					14.0	0.34	3113.60
17	0.15	0.45	3123.00					15.0	1.95	3119.60
18	0.16	0.83	3122.50					16.0	2.37	3119.60
19	0.17	0.39	3122.10					17.0	3.90	3119.10
20	0.18	0.37	3122.10					18.0	4.52	3119.00
21	0.19	0.22	3121.90					19.0	4.52	3120.00
22	0.20	0.37	3121.30					20.0	6.16	3120.80

Ilustración 3-20: Selección de datos por frecuencia de un segundo, fórmula de residuo

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Se organizó y generó una hoja de cálculo para obtener la corrección de altitud, como se visualiza la pendiente máxima es de 22.6 [%], dato que no es normal, después del suavizado se evidencia la corrección cambiando el valor de esta cifra a 8.3 [%] y asumiendo valores típicos de pendiente para la ruta. Ilustración 3-25.

							22.6
Time	GPS Altitude(m)	GPS Latitude(Å°)	GPS Longitude(Å°)	Speed (GPS)(km/h)	Speed [m/s]	altitude (m)	slope (%)
0	2702	-1.70796251	-78.64679718	0	0	2663.4	0
1	2702	-1.70796251	-78.64679718	0	0	2663.4	0
2	2700	-1.70795155	-78.64678192	0.28799999	0.08	2663.5	4.7
3	2700	-1.70795155	-78.64678192	0	0	2663.5	0
4	2700	-1.70794857	-78.64678192	0.28799999	0.08	2663.5	5.5
5	2700	-1.70794845	-78.64678192	0	0	2663.5	7.5
6	2700	-1.70794845	-78.64678192	0	0	2663.5	0
7	2700	-1.70794845	-78.64678192	0	0	2663.5	0
8	2700	-1.70794845	-78.64678192	0	0	2663.5	0
9	2700	-1.70794845	-78.64678192	0	0	2663.5	0
10	2700	-1.70794845	-78.64678192	0	0	2663.5	0
11	2699	-1.70795143	-78.64677429	2.98799992	0.82999998	2663.5	-0.2
12	2699	-1.70796096	-78.64678192	4.53599977	1.25999994	2663.4	-5.5
13	2698	-1.70797217	-78.64679718	5.54399967	1.53999991	2663.3	-4.7
14	2698	-1.70798337	-78.64680481	5.65199947	1.56999985	2663.3	-5.5
15	2698	-1.7079947	-78.64682007	7.12799931	1.97999981	2663.2	-4.5
16	2698	-1.70800996	-78.64683533	7.95599985	2.20999996	2663.1	-4.8
17	2697	-1.70802653	-78.64685822	8.8920002	2.47000006	2662.9	-4.1
18	2698	-1.70804214	-78.6468811	9.14400005	2.54000001	2662.8	-3.8

Ilustración 3-25: Suavizado de pendiente

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

3.5.2.5. Validar datos corregidos

Después de haber corregido los errores, se validó los datos para asegurar su precisión y confiabilidad. Esto se realizó efectuando una comparación con otras fuentes o estándares de referencia, realizando cálculos adicionales, revisando los datos detenidamente y utilizando softwares como herramienta que validen las correcciones. El valor de la pendiente máxima es 8.3 [%], en la Ilustración 3-26 se observa que es bastante adecuado el valor para la ruta, con este cómputo basado en la corrección de pendiente y altitud se ajustan los valores para el cálculo de la dinámica del autobús y obtener su demanda energética.

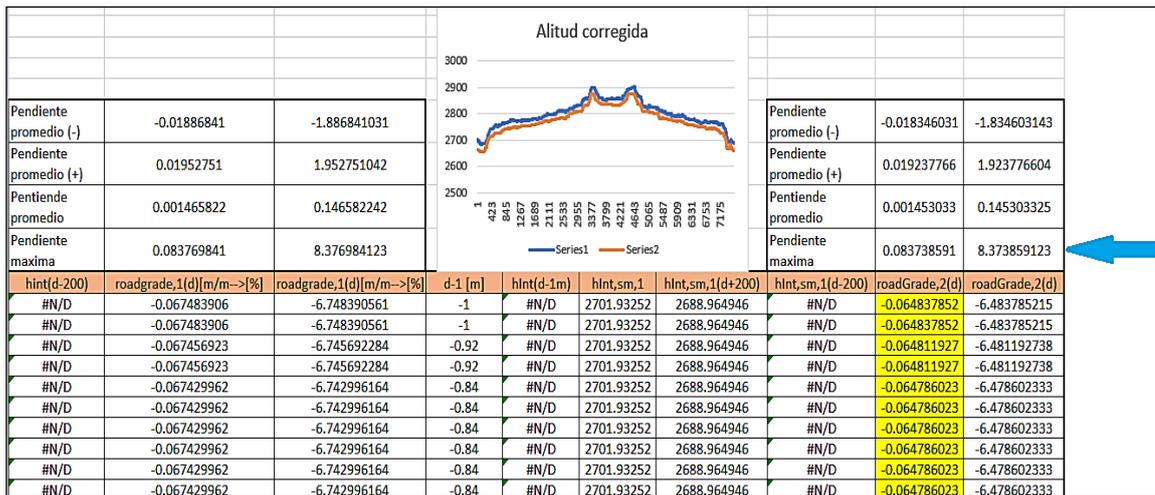


Ilustración 3-26: Suavizado de pendiente

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

3.5.2.6. Documentar los procedimientos de corrección

Finalmente, se realizó una documentación de los procedimientos de corrección realizados, esto ayudará a mejorar procedimientos de corrección y de obtención de los resultados esperados.

3.5.3. Determinación de acumulación de energía

El ciclo de representatividad, tal como lo describe (Espimbera Morales, 2018). Se fundamenta en patrones de manejo real, aplicando la metodología On Board para realizar comparativas entre diferentes rutas y examinarlas bajo escenarios de alto consumo energético. Se analizaron los parámetros del autobús y parámetros operacionales para recolectar datos en los viajes, incluyendo distancia recorrida, tiempo, velocidad, torque y potencia, ajustando el diseño de los componentes a cada ruta. En Excel, se ajustaron variables como la pendiente, descartando la altitud por su poca relevancia. Los datos, registrados cada segundo, permitieron calcular distancia y aceleración a partir de la velocidad lineal.

El procedimiento para calcular la fuerza de tracción en la rueda [Fte] involucra la suma de distintas fuerzas que actúan sobre el vehículo, incluyendo las fuerzas de arrastre, rodadura, pendiente e inercia. Una vez determinada esta fuerza total, el torque se calcula multiplicando Fte por el radio dinámico de la llanta.

La potencia, por otro lado, resulta del producto de la velocidad [m/s] por Fte [Nm], ajustado por un factor de eficiencia global de transmisión del 95 [%]. Este cálculo de potencia refleja la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo bajo condiciones específicas de conducción.

Posteriormente, la energía se obtiene multiplicando la potencia por un intervalo de tiempo diferencial, permitiendo el cálculo acumulativo de energía tanto positiva como negativa generada a lo largo del ciclo de conducción. Este enfoque facilita la evaluación detallada del rendimiento energético del vehículo y contribuye al análisis integral de su eficiencia operativa.

A continuación, un modelo de cómo se realizó los cálculos de la demanda de energía, tomando como ejemplo un viaje de la Línea 16, ilustración 3-27.

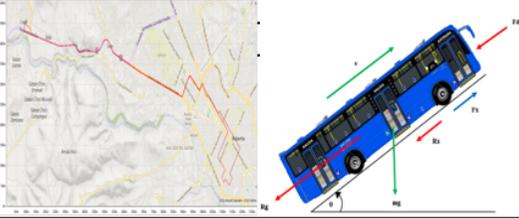
Cálculo de Dinámica y Energía demandada del Autobus																			
Ruta:	16	Viaje:	8																
Vehículo:	BUS HINDAK	Hora:	9:50 a. m.																
				Parámetros del vehículo		Unidades													
				Masa (M)	14200	[kg]													
				Coefficiente de arrastre (Cd)	0,7	[-]													
				Coefficiente de rodadura (fr)	0,009	[-]													
				Área frontal (Af)	7,44	[m ²]													
				gravedad (g)	9,81	[m/s ²]													
				Densidad de aire (ρ)	0,843	[kg/m ³]													
				Radio dinámico (rd)	0,52	[m]													
				E.Fd	0,904726332	[kWh]	2,525747326	[%]											
				E.Fx	5,086600251	[kWh]	14,20039025	[%]											
				E.Fg	14,27977201	[kWh]	39,86519979	[%]											
				E.Fi	15,5490455	[kWh]	43,40866263	[%]											
				Ex(+)	35,820144091	[kWh]	100	[%]											
Maximos							Ex(+) Total Demandada												
921,0216086	1253,718	16863,24005	23666,66667	27506,38527	14303,32034	313,0135632	35,82014409												
Fuerza arrastre (Fd)	Resistencia a la rodadura (Rx)	Resistencia a la pendiente (Rg)	Resistencia a la inercia (Ri)	Fuerza en rueda (Fx)	Torque en rueda (Tx)	Potencia en rueda (Px)	Energía en rueda (Ex)	Energía en rueda (Ex+)	Energía en rueda (Ex-)	Aceleración por Velocidad (a _v)									
[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N.m]	[Kw]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[m2/s3]									
0,00	1253,72	-123,68	0,00	1130,04	587,62	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00									
0,17	1253,72	-123,51	3510,56	4640,93	2413,28	1,28	0,00	0,00	0,00	0,07									
0,11	1253,72	-123,37	-670,56	459,91	239,15	0,10	0,00	0,00	0,00	-0,01									
0,27	1253,72	-123,15	1775,00	2905,64	1511,04	1,03	0,00	0,00	0,00	0,04									
0,48	1253,72	-122,87	1617,22	2748,55	1429,25	1,28	0,00	0,00	0,00	0,05									
1,61	1253,72	-195,96	5522,22	6581,58	3422,42	5,63	0,00	0,00	0,00	0,33									
1,38	1253,72	-195,20	-907,22	152,67	79,39	0,12	0,00	0,00	0,00	-0,05									
0,98	1253,70	-696,78	-1735,56	-1177,65	-612,38	-0,79	0,00	0,00	0,00	-0,08									
2,45	1253,70	-693,19	5482,78	6045,74	3143,78	6,38	0,00	0,00	0,00	0,41									
2,12	1253,70	-689,87	-1025,56	-459,60	-238,99	-0,45	0,00	0,00	0,00	-0,07									
14,52	1253,70	-681,35	22562,22	23149,10	12037,53	59,54	0,02	0,00	0,00	4,09									
14,97	1253,70	-672,32	552,22	1147,97	596,95	3,00	0,00	0,00	0,00	0,10									
23,11	1253,70	-662,72	8993,33	9607,42	4995,86	31,17	0,01	0,01	0,00	2,05									
29,16	1253,70	-651,63	5680,00	6311,23	3281,84	23,00	0,01	0,01	0,00	1,46									
31,42	1253,67	-1219,21	1972,22	2038,10	1059,81	7,71	0,00	0,00	0,00	0,53									
42,34	1253,68	-1021,06	8638,33	8913,29	4634,91	39,14	0,01	0,01	0,00	2,67									
36,45	1253,69	-1002,98	-4496,67	-4209,51	-2188,94	-17,15	0,00	0,00	0,00	-1,29									
36,60	1253,63	-1621,11	118,33	-212,54	-110,52	-0,87	0,00	0,00	0,00	0,03									
41,91	1253,65	-1414,80	4062,78	3943,54	2050,64	17,23	0,00	0,00	0,00	1,25									
53,91	1253,66	-1386,00	8322,78	8244,34	4287,06	40,86	0,01	0,01	0,00	2,90									
66,00	1253,66	-1355,77	7494,44	7458,34	3878,33	40,90	0,01	0,01	0,00	2,89									
77,14	1253,66	-1377,34	6311,11	6264,56	3257,57	37,13	0,01	0,01	0,00	2,63									
96,02	1253,66	-1341,80	9742,78	9750,66	5070,34	64,49	0,02	0,02	0,00	4,54									
... Viaje 6 Ruta 16		Viaje 7 Ruta 16		Viaje 8 Ruta 16		Viaje 9 Ruta 16		Viaje 10 Ruta 16		Viaje 11 Ruta 16		Viaje 12 ruta 16		Viaje 13 ruta 16		Viaje 14 ruta 16		Viaje 15 ruta 16	

Ilustración 3-27: Hoja de cálculos formulados en Excel para determinar la energía demandada en la Línea 16

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Como se visualiza en la Ilustración 3-27, el consumo de energía en la ruta 16 viaje 8, dio como resultado 35.8 [kW], celda de color verde claro.

3.6. Análisis estadístico de representatividad

3.6.1. Análisis de método ponderado para los ciclos representativos

Los ciclos representativos de cada ruta de estudio se determinaron por medio de promedios ponderados, este método permite seleccionar el ciclo que va a representar todas las muestras de los todos viajes almacenados, de forma que se seleccionará el ciclo o viaje que se aproxime a la media de cada ruta al aplicar la metodología descrita relacionando los parámetros de energía calculados.

$$y = \operatorname{argmin} \sum f_i (x_i - \bar{x}) \quad \text{Ec. (23)}$$

Donde:

- y = valor mínimo sumatoria de parámetros ponderados
- f_i = factor de ponderación de cada parámetro
- x_i = valor de parámetro resumen
- \bar{x} = Media de los valores de parámetros resume

La Ec. (23) asigna un valor de aproximación a cero, se seleccionará el valor mínimo de todas las muestras de cada ruta, dicho viaje que sea seleccionado será el que conserve la menor desviación de medida en relación con los parámetros calculados de energía. Los ciclos típicos de conducción se determinaron de una muestra de 15 viajes por ruta, los datos generados por el dispositivo VBox GPS, luego de obtener los parámetros calculados del tiempo, distancia, velocidad, aceleración, potencia, torque y energía, se procedió a determinar los ciclos de conducción representativos para cada Línea. (Quevedo, 2022).

3.6.1.1. Selección de ciclos representativos

Los porcentajes de energía demandados en rueda que determinaron el viaje con el ciclo representativo se muestran a continuación en tablas, de esta manera se visualiza el valor más cercano al factor de ponderación mínimo. A continuación, se muestra en tablas los valores de acumulación de energía y la determinación del ciclo representativo para cada Línea de transporte (5, 7, 14 y 16) de la ciudad de Riobamba.

Tabla 3-19: Porcentajes de energía consumida en la Línea 5

<i>LÍNEA 5</i>						
<i>Numero de viajes</i>	<i>Energía Fd</i>	<i>Energía Rx</i>	<i>Energía Rg</i>	<i>Energía Ri</i>	<i>Energía Total</i>	<i>Sumatoria</i>
<i>[-]</i>	<i>[%]</i>	<i>[%]</i>	<i>[%]</i>	<i>[%]</i>	<i>[%]</i>	<i>[-]</i>
1	1,61	12,85	33,42	52,12	100,00	0,38
2	1,66	11,96	31,71	54,67	100,00	2,27
3	1,41	15,86	39,10	43,63	100,00	6,41
4	1,62	14,32	36,40	47,66	100,00	3,23
5	1,71	11,15	31,55	55,60	100,00	2,92
6	1,57	12,40	34,05	51,98	100,00	0,57
7	1,80	13,17	28,35	56,68	100,00	4,27
8	1,76	12,58	27,51	58,15	100,00	5,38
9	1,65	13,80	31,35	53,20	100,00	1,48
10	1,54	16,53	39,07	42,87	100,00	6,89
11	2,24	13,62	31,17	52,97	100,00	1,40
12	1,47	14,11	33,88	50,55	100,00	0,87
13	1,45	13,31	31,34	53,90	100,00	1,82
14	1,51	14,36	33,28	50,85	100,00	0,55
15	1,78	14,29	24,15	59,78	100,00	7,33

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

El viaje seleccionado como ciclo representativo es el viaje 1.

Tabla 3-20: Porcentajes de energía consumida en la Línea 7

<i>LÍNEA 7</i>						
<i>Numero de viajes</i>	<i>Energía Fd</i>	<i>Energía Rx</i>	<i>Energía Rg</i>	<i>Energía Ri</i>	<i>Energía Total</i>	<i>Sumatoria</i>
<i>[-]</i>	<i>[%]</i>	<i>[%]</i>	<i>[%]</i>	<i>[%]</i>	<i>[%]</i>	<i>[-]</i>
1	1,68	12,64	36,55	49,13	100,00	5,81
2	1,64	10,64	33,80	53,92	100,00	1,40
3	1,77	12,42	28,22	57,59	100,00	0,50
4	1,83	11,56	28,17	58,44	100,00	0,63
5	1,69	13,13	30,47	54,71	100,00	0,26
6	1,72	12,93	27,97	57,39	100,00	0,63
7	1,70	12,25	32,08	53,97	100,00	0,68
8	1,71	11,97	33,40	52,92	100,00	1,11
9	1,79	13,19	23,02	61,99	100,00	2,14
10	1,88	13,84	25,16	59,12	100,00	1,59
11	1,73	13,82	29,08	55,38	100,00	0,41
12	1,84	14,56	23,07	60,52	100,00	2,30
13	1,49	12,08	40,05	46,38	100,00	3,09
14	1,39	12,04	40,59	45,98	100,00	3,26
15	1,72	13,26	31,77	53,25	100,00	0,66

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

El viaje seleccionado como ciclo representativo es el viaje 5.

Tabla 3-21: Porcentajes de energía consumida en la Línea 14

LÍNEA 14						
<i>Numero de viajes</i>	<i>Energía Fd</i>	<i>Energía Rx</i>	<i>Energía Rg</i>	<i>Energía Ri</i>	<i>Energía Total</i>	<i>Sumatoria</i>
[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[-]
1	1,17	10,67	31,62	56,54	100,00	3,24
2	1,43	12,78	28,96	56,82	100,00	2,09
3	1,48	13,26	16,96	68,30	100,00	7,93
4	1,39	13,39	25,47	59,75	100,00	0,65
5	1,59	18,11	13,91	66,39	100,00	8,20
6	1,80	16,11	14,48	67,61	100,00	8,50
7	1,73	11,77	30,48	56,03	100,00	3,10
8	1,55	10,81	34,92	52,72	100,00	6,33
9	1,34	13,64	26,37	58,64	100,00	0,27
10	1,13	14,16	38,00	46,72	100,00	10,41
11	1,47	14,76	34,47	49,30	100,00	8,04
12	1,05	14,15	40,52	44,27	100,00	12,51
13	1,39	15,98	31,42	51,21	100,00	6,29
14	1,53	16,27	35,55	46,65	100,00	10,10
15	1,40	13,40	25,47	59,73	100,00	0,64

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

El viaje seleccionado como ciclo representativo es el viaje 9.

Tabla 3-22: Porcentajes de energía consumida en la Línea 16

LÍNEA 16						
<i>Numero de viajes</i>	<i>Energía Fd</i>	<i>Energía Rx</i>	<i>Energía Rg</i>	<i>Energía Ri</i>	<i>Energía Total</i>	<i>Sumatoria</i>
[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[-]
1	2,21	13,86	44,47	39,46	100,00	4,39
2	2,19	12,99	35,04	49,78	100,00	4,10
3	1,57	12,52	46,84	39,08	100,00	5,53
4	2,07	13,14	40,84	43,95	100,00	0,86
5	2,10	12,10	28,65	57,16	100,00	10,07
6	2,15	13,43	47,15	37,26	100,00	6,39
7	2,18	14,19	42,28	41,35	100,00	2,72
8	2,53	14,20	39,87	43,41	100,00	0,84
9	2,33	13,94	33,91	49,82	100,00	4,63
10	2,24	12,13	38,25	47,38	100,00	1,87
11	2,18	11,31	49,70	36,81	100,00	7,83
12	1,86	11,84	39,34	46,96	100,00	1,29
13	2,00	11,62	38,15	48,22	100,00	2,35
14	2,27	13,18	37,64	46,91	100,00	1,76
15	2,10	12,76	34,64	50,50	100,00	4,62

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

El viaje seleccionado como ciclo representativo es el viaje 7.

3.6.2. Ciclos de conducción

Se muestra a continuación los ciclos de conducción y sus parámetros de ruta.

3.6.2.1. Línea 5

La Línea 5 tiene una distancia de 30.3 [km], el autobús recorrió esta ruta a una velocidad máxima de 14.22 [m/s], velocidad promedio de 6.16 [m/s], se produjo una aceleración máxima de 1.82 [m/s²] y una desaceleración de máxima -3.68 [m/s²], se ejecutó este ciclo en un tiempo de 1 hora 22 minutos, también se debe mencionar características que posee el trayecto como son la altitud máxima a 3110 [msnm] y su pendiente máxima 8 [%]. Ilustración 3-28, 3-29.

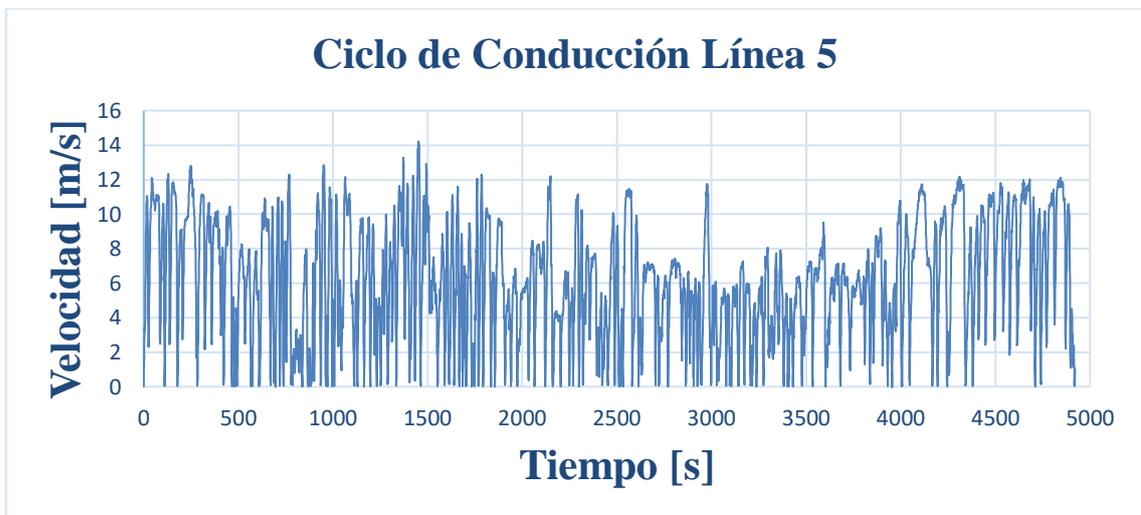


Ilustración 3-28: Ciclo de conducción Línea 5

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

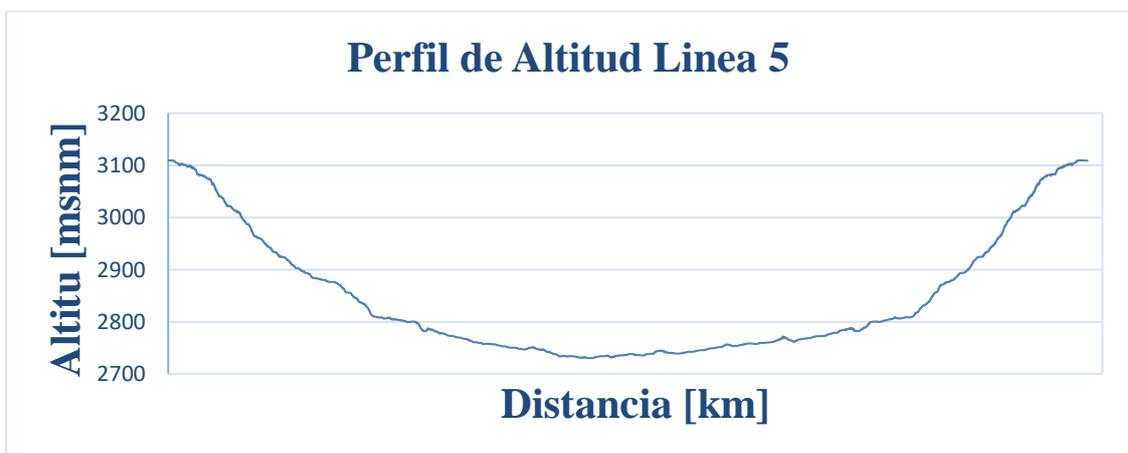


Ilustración 3-29: Perfil de Altitud Línea 5

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

3.6.2.2. Línea 7

La Línea 7 tiene una distancia de 31.7 [km], el autobús recorrió esta ruta a una velocidad máxima de 17.38 [m/s], velocidad promedio de 5.42 [m/s], se produjo una aceleración máxima de 1.78 [m/s²] y una desaceleración de máxima -2.76 [m/s²], se ejecutó este ciclo en un tiempo de 1 hora 37 minutos, también se debe mencionar características que posee el trayecto como son la altitud máxima a 2934 [msnm] y su pendiente máxima 9.6 [%]. Ilustración 3-30, 3-31.

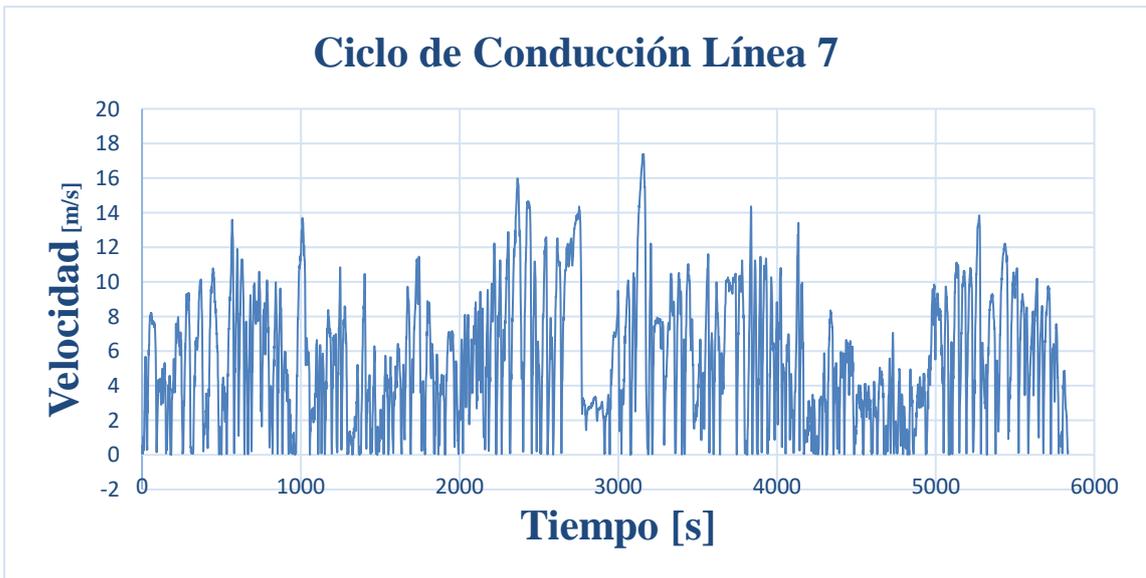


Ilustración 3-30: Ciclo de conducción Línea 7

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024



Ilustración 3-31: Perfil de Altitud Línea 7

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

3.6.2.3. Línea 14

La Línea 14 tiene una distancia de 29.7 [km], el autobús recorrió esta ruta a una velocidad máxima de 13.96 [m/s], velocidad promedio de 4.87 [m/s], se produjo una aceleración máxima de 1.9 [m/s²] y una desaceleración de máxima -2.65 [m/s²], se ejecutó este ciclo en un tiempo de 1 hora 41 minutos, también se debe mencionar características que posee el trayecto como son la altitud máxima a 2876 [msnm] y su pendiente máxima 16.6 [%]. Ilustración 3-32, 3-33.

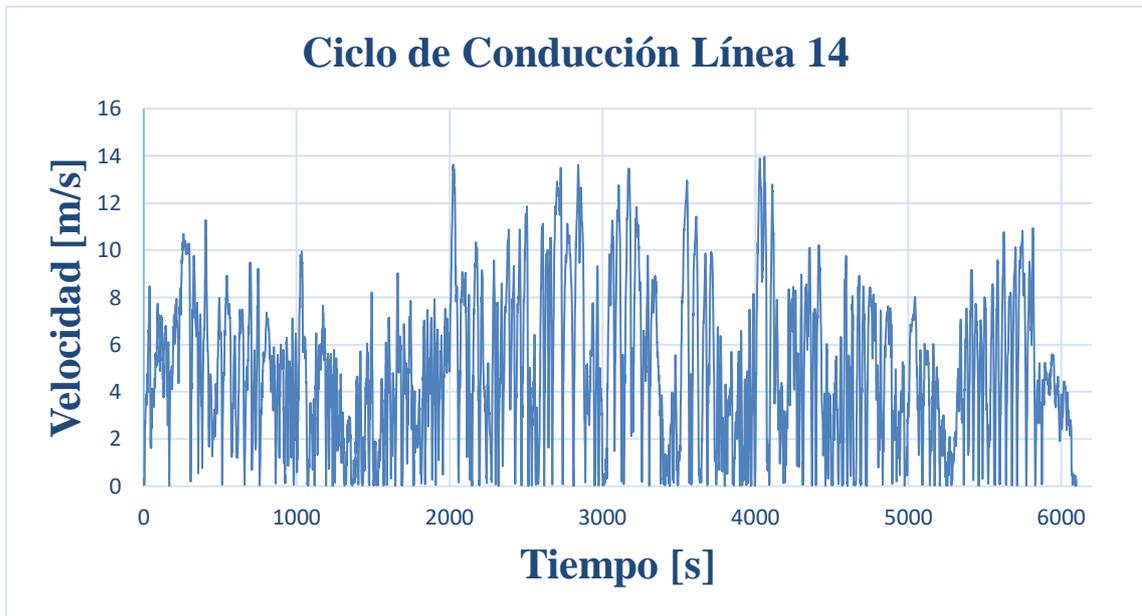


Ilustración 3-32: Ciclo de conducción Línea 14

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

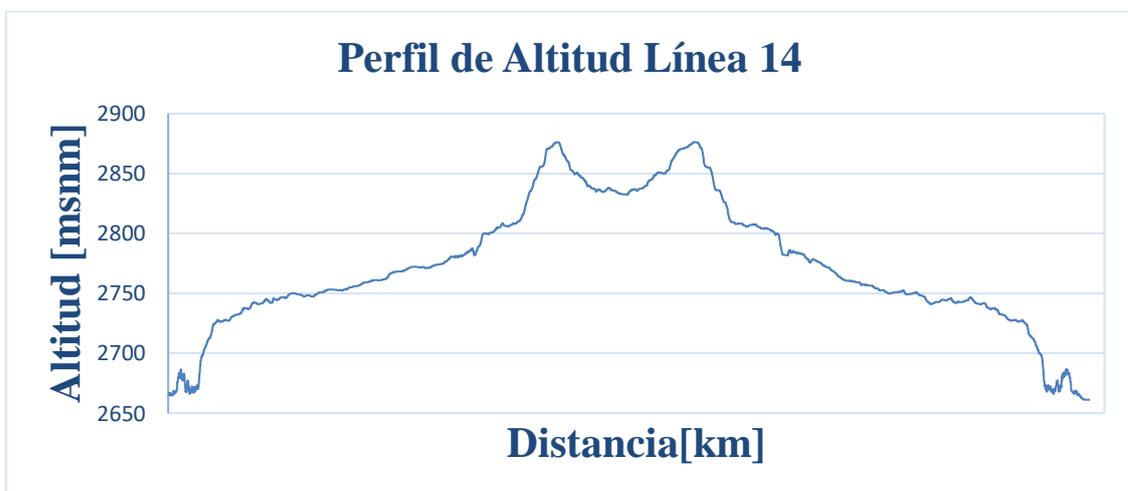


Ilustración 3-33: Perfil de Altitud Línea 14

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

3.6.2.4. Línea 16

La Línea 16 tiene una distancia de 27.8 [km], el autobús recorrió esta ruta a una velocidad máxima de 20.48 [m/s], velocidad promedio de 6.1 [m/s], se produjo una aceleración máxima de 1.67 [m/s²] y una desaceleración de máxima -2.59 [m/s²], se ejecutó este ciclo en un tiempo de 1 hora 15 minutos, también se debe mencionar características que posee el trayecto como son la altitud máxima a 3081 [msnm] y su pendiente máxima 11.5 [%]. Ilustración 3-34, 3-35.



Ilustración 3-34: Ciclo de conducción Línea 16

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

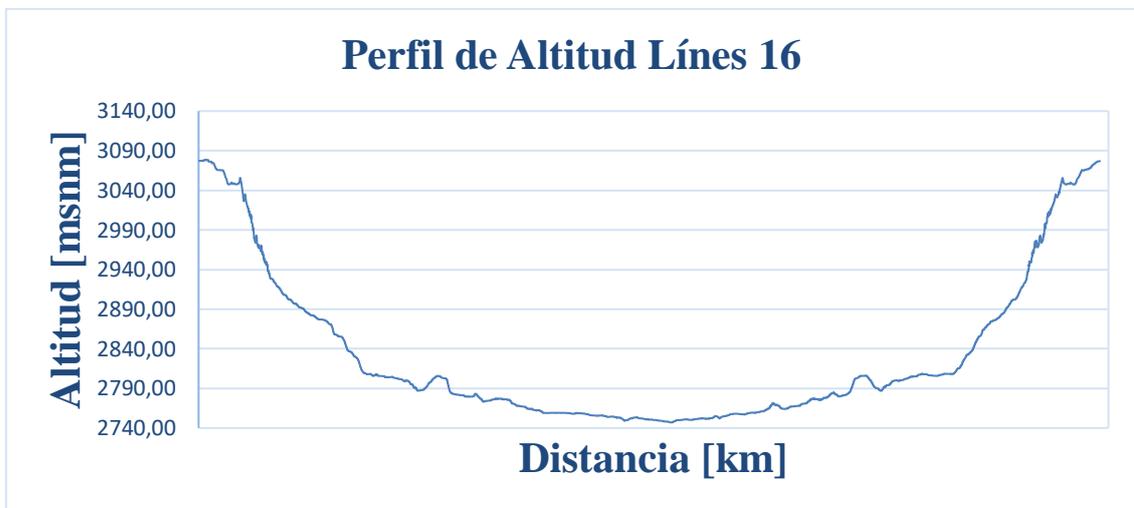


Ilustración 3-35: Perfil de Altitud Línea 16

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

3.6.3. Valores estimados en rueda de los ciclos representativos

Se estimó la demanda de energía del autobús aplicando ecuaciones basadas en las Leyes de Newton en hojas de cálculo Excel, considerando parámetros específicos del autobús, condiciones ambientales y operativas. Información adicional fue recabada de la ficha técnica proporcionada por el fabricante, en este caso, del modelo Hino Ak serie 500. Este análisis detallado, reflejado en la tabla 3-23, expone los resultados obtenidos para cada ruta en términos de torque, potencia y energía en rueda. Estos valores calculados son fundamentales para determinar las especificaciones y capacidades que debe tener el bus eléctrico para operar eficientemente en las rutas analizadas. Este proceso permitió una aproximación precisa al diseño y funcionalidad requeridos para una posible implementación efectiva de autobuses eléctricos en contextos operativos específicos.

También se concretó mediante los parámetros calculados que la Línea que más demanda de energía tuvo fue la Línea 5, con 40.66 [kW] de consumo por ciclo y 243.96 [kW] al ejecutar sus ciclos diarios de trabajo, no se consideró la energía que se consume fuera del circuito de la ruta y velocidad del viento.

Tabla 3-23: Demanda de energía por viaje en rueda.

Línea 5			Línea 7			Línea 14			Línea 16		
Distancia total	30.3	[km]	Distancia total	31.7	[km]	Distancia total	29.7	[km]	Distancia total	27.8	[km]
V.máx	14.22	[m/s]	V.máx	17.38	[m/s]	V.máx	13.96	[m/s]	V.máx	20.48	[m/s]
V.promedio	6.16	[m/s]	V.promedio	5.42	[m/s]	V.promedio	4.87	[m/s]	V.promedio	6.1	[m/s]
Ac.máx.	1.82	[m/s ²]	Ac.máx.	1.78	[m/s ²]	Ac.máx.	1.90	[m/s ²]	Ac.máx.	1.67	[m/s ²]
Ac.mín.	-3.68	[m/s ²]	Ac.mín.	-2.76	[m/s ²]	Ac.mín.	-2.65	[m/s ²]	Ac.mín.	-2.59	[m/s ²]
Tiempo total	4920	[s]	Tiempo total	5834.00	[s]	Tiempo total	6099	[s]	Tiempo total	4556	[s]
	1:22:00	[h-m-s]		1:37:14	[h-m-s]		1:41:39	[h-m-s]		1:15:56	[h-m-s]
Ac. (+) prom.	0.46	[m/s ²]	Ac. (+) prom.	0.42	[m/s ²]	Ac. (+) prom.	0.44	[m/s ²]	Ac. (+) prom.	0.38	[m/s ²]
Ac. (-) prom.	-0.64	[m/s ²]	Ac. (-) prom.	-0.52	[m/s ²]	Ac. (-) prom.	-0.49	[m/s ²]	Ac. (-) prom.	-0.485	[m/s ²]
Potencia máx.	230.06	[kW]	Potencia máx.	220.79	[kW]	Potencia máx.	209.76	[kW]	Potencia máx.	217.50	[kW]
Torque máx.	14467.6	[N.m]	Torque máx.	14294.65	[N.m]	Torque máx.	14408.47	[N.m]	Torque máx.	13588.15	[N.m]
Energía positiva total	40.66	[kWh]	Energía positiva total	39.07	[kWh]	Energía positiva total	36.15	[kWh]	Energía positiva total	34.01	[kWh]
Energía negativa total	24.97	[kWh]	Energía negativa total	23.11	[kWh]	Energía negativa total	21.60	[kWh]	Energía negativa total	20.25	[kWh]
Regeneración	58.34	[%]	Regeneración	56.19	[%]	Regeneración	56.77	[%]	Regeneración	56.56	[%]
Rendimiento	0.70	[Km/kWh]	Rendimiento	0.77	[Km/kWh]	Rendimiento	0.78	[Km/kWh]	Rendimiento	0.77	[Km/kWh]

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

En resumen, el análisis realizado de consumo de energía en las rutas estudiadas para un autobús con un Peso Bruto Vehicular (PBV) de 14200 [kg] mostró que el consumo varía entre 34.01 [kWh] y 40.66 [kWh]. En cuanto al desempeño mecánico, el torque máximo se sitúa en un rango entre 14467.61 [Nm] y 13588.15 [Nm], siendo los factores más influyentes en el consumo de energía la pendiente y la longitud del circuito.

Por otro lado, la potencia máxima generada en las ruedas se encuentra entre 230.06 [kW] y 209.76 [kW], destacando las capacidades requeridas para el funcionamiento eficiente del vehículo en dichas rutas. Estos datos son esenciales para el dimensionamiento adecuado y la selección de componentes del bus eléctrico, asegurando su viabilidad operativa y energética en las condiciones analizadas.

Tabla 3-24: Demanda de energía por diaria en rueda.

Línea 5			Línea 7			Línea 14			Línea 16		
Distancia total	181.8	[km]	Distancia total	189.9	[km]	Distancia total	178.3	[km]	Distancia total	194.6	[km]
Tiempo total	29520	[s]	Tiempo total	35004.00	[s]	Tiempo total	36594	[s]	Tiempo total	31892	[s]
	8:12:00	[h-m-s]		9:43:24	[h-m-s]		10:09:54	[h-m-s]		8:51:32	[h-m-s]
Potencia máx.	1832.34	[kW]	Potencia máx.	1555.19	[kW]	Potencia máx.	1600.80	[kW]	Potencia máx.	2191.07	[kW]
Torque máx.	91374.36	[N.m]	Torque máx.	90284.25	[N.m]	Torque máx.	91000.89	[N.m]	Torque máx.	100123.24	[N.m]
Energía positiva total	243.98	[kWh]	Energía positiva total	234.45	[kWh]	Energía positiva total	216.91	[kWh]	Energía positiva total	238.09	[kWh]

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Se estableció la demanda de energía diaria identificando que los autobuses realizan entre 6-8 viajes por cada ruta, dependiendo de las necesidades operativas y esquemas de rotación organizados por el centro de gestión de transporte. Para calcular la rentabilidad del sistema de transportes urbanos, se estableció a partir de la hoja de rentabilidad de Transporte Público que las Líneas 5, 7 y 14 efectúan 6 ciclos, mientras que la Línea 16 completa 7 ciclos diariamente. A partir de esta configuración, se estimó un consumo energético diario fue entre 243.98 [kW] y de 238.09 [kW]. Este análisis también reveló que, en promedio, los autobuses cubren una distancia de 186 [km] en una jornada laboral de 12 horas aproximadamente. Cabe destacar que estos cálculos se enfocaron exclusivamente en el recorrido activo de las rutas, sin tomar en cuenta los desplazamientos adicionales hacia estaciones de recarga o gasolineras, proporcionando así una evaluación concentrada en la operación directa de las líneas estudiadas. Como conclusión, se determinó que la Línea 5, Corona Real – Bellavista, fue la que registró el mayor consumo de energía en el transporte público de Riobamba. Esto se debió a su recorrido en pendiente positiva y la ubicación geográfica de su parada, además se infirió que posee una considerable capacidad de pasajeros, dado que opera entre una zona urbana y una rural adyacente, esto influye en la carga directamente, misma que es el primer factor influyente de consumo de energía.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Modelo de autobús

Se recolectaron datos de ciclos de conducción para identificar el autobús eléctrico adecuado y su disponibilidad en el mercado ecuatoriano. Se desarrolló un modelo algorítmico para dimensionar el tren motriz, calcular el consumo de energía y autonomía. Las investigaciones validaron la elección del modelo BYD K9 G debido a su preferencia y adecuación a los requisitos. Aunque las especificaciones técnicas del modelo BYD K9 G no eran las mejores, eran las más asequibles. Los antecedentes ofrecían información comprensible y detallada, lo que lo convirtió en la elección principal. La información permitía obtener características de sus componentes, con los que se desarrollaron los resultados de la investigación.

4.2. Modelo matemático de consumo de energía del autobús eléctrico

Para analizar el consumo energético de un vehículo, se calculó la demanda energética con el modelo BYD K9 G, vinculado estrechamente al ciclo de conducción y a las fuerzas que tuvo que superar en la Línea 5. Resultó crucial entender el tren motriz del vehículo y la fuerza inercial de sus componentes rotativos. Seguidamente, en su estudio, (Cordero, 2015) empleó fórmulas para desarrollar un modelo que permitiese estimar el consumo energético a partir de la fuerza de tracción obtenida durante el ciclo de conducción.

$$F_x = \frac{\tau_e N_{tdi} \eta_{tdi}}{R_d} - m_e a \quad \text{Ec. (24)}$$

En donde:

- F_x = Fuerza de rueda [N].
- τ_e = Torque en el motor [Nm]
- N_{tdi} = Relación total de transmisión [-]
- η_{tdi} = Eficiencia de la transmisión [%]
- R_d = Radio dinámico [m]
- m_e = Masa equivalente [kg]
- a = Aceleración [m/s²]

Para calcular la masa equivalente a partir de la siguiente formular:

$$m_e = M * m_f - M \quad \text{Ec. (25)}$$

En donde:

- **m_f**= Factor de masa [-]
- **M**= Masa [kg]

Y el factor de masa viene dado por la siguiente fórmula:

$$m_f = 1 + 0.04 + 0.0025(N_{ti} * N_{di})^2 \quad \text{Ec. (26)}$$

En el modelo se utilizó la Ec. (26) para calcular el torque en el motor despejando esta variable.

$$\tau_e = (Mm_{fi}a + Fd + Rx + Rg) * \left(\frac{Rd}{N_{tdi} * \eta_{tdi}} \right) \quad \text{Ec. (27)}$$

En donde:

- **Rd** = Radio dinámico [m]
- **Fd**= Fuerza de tracción [N]
- **Rx**= Fuerza de rodadura [N]
- **Rg**= Fuerza de gravead [N]
- **a**= aceración [m/s²]

A causa de que la potencia sea:

$$P_e = \left(\frac{\tau_e \omega_e}{\frac{60}{2\pi}} \right) \quad \text{Ec. (28)}$$

En donde:

- **P_e** = Potencia del motor [W]
- **τ_e**= Torque en el motor [Nm]
- **ω_e**= Velocidad angular [rad/s]

Y que la velocidad angular sea:

$$\omega_e = \frac{VN_{tdi}60}{R_d 2\pi} \quad \text{Ec. (29)}$$

Se consiguió hallar la potencia del motor con la siguiente ecuación:

$$P_e = \left\{ \frac{(Mm_{fia} + F_d + R_x + R_g)V}{\eta_{tdi}} \right\} \quad \text{Ec. (30)}$$

En donde:

- **Fd** = Fuerza de arrastre [N]
- **Rx**= Resistencia a la rodadura [N]
- **Rg**= Resistencia a la gravedad [N]
- **V**= Velocidad [m/s]

4.2.1. Modelo de tren motriz del autobús eléctrico BYD K9 G

El tren motriz de los vehículos es diseñado por los fabricantes para adaptarse y rendir eficientemente bajo una variedad de condiciones operativas. Esto implica que los vehículos deben ser capaces de desempeñarse adecuadamente en distintos entornos geográficos y patrones de uso. Las configuraciones del tren de potencia son distintas para diésel y un modelo eléctrico. A continuación, en la ilustración 4-1, se comparan sus singularidades.

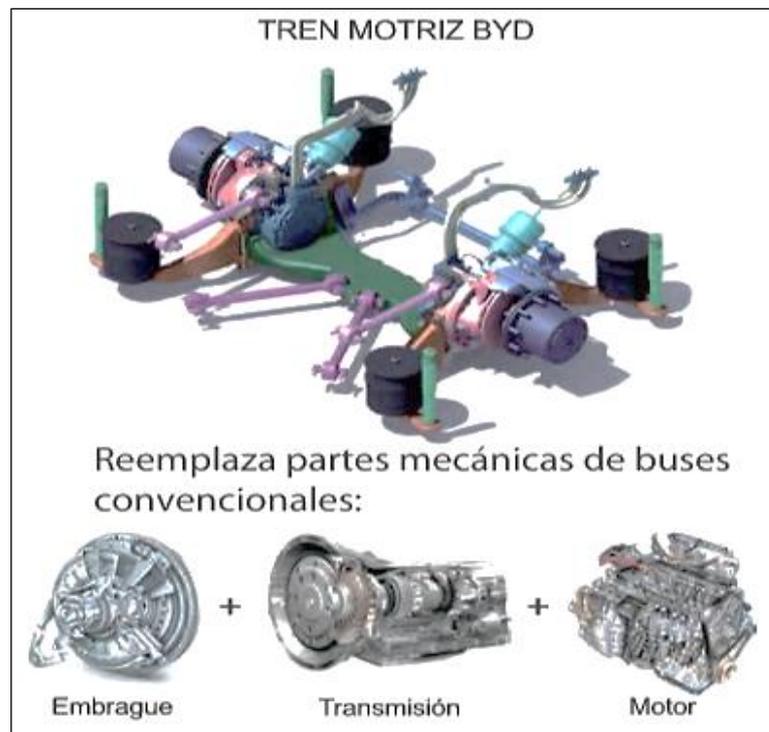


Ilustración 4-1: Elementos sustituidos por el tren motriz eléctrico

Fuente: Datum Kein, BYD-Bus-KF1, 2023

Mediante la implementación de un modelo dinámico inverso ("backward dynamic model"), se procederá a la validación y contraste de los resultados obtenidos de los cálculos frente a los de la simulación. Para completar y enriquecer este análisis, fue necesario integrar la siguiente metodología. Ilustración 4-2.

4.2.1.1. Módulo de ciclo de conducción

- Parámetros técnicos del bus
- Perfil de elevación
- Perfil de velocidad
- Fuerza de tracción en rueda

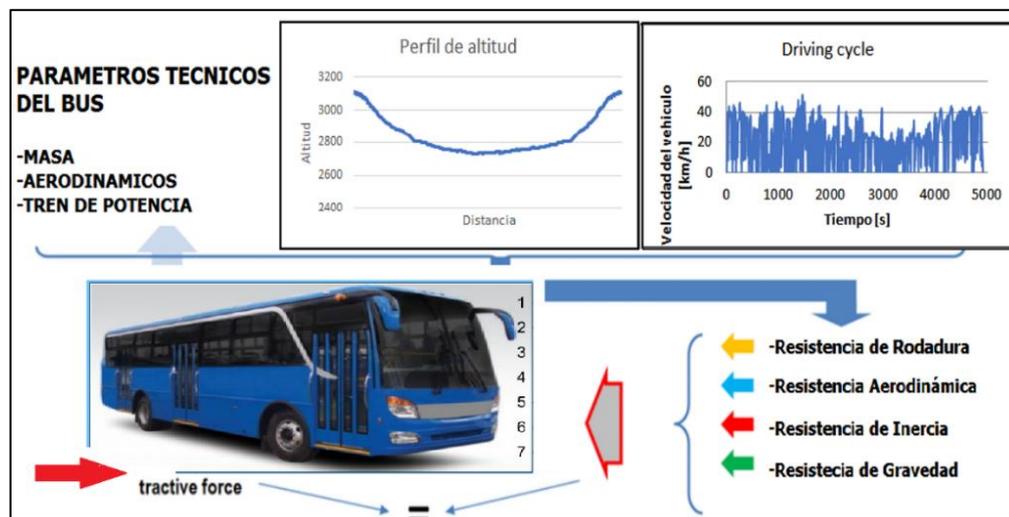


Ilustración 4-2: Parámetros técnicos de flujo inverso

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

4.2.1.2. Módulo de flujo inverso dinámico

- Torque
- Fuerza de tracción
- Potencia

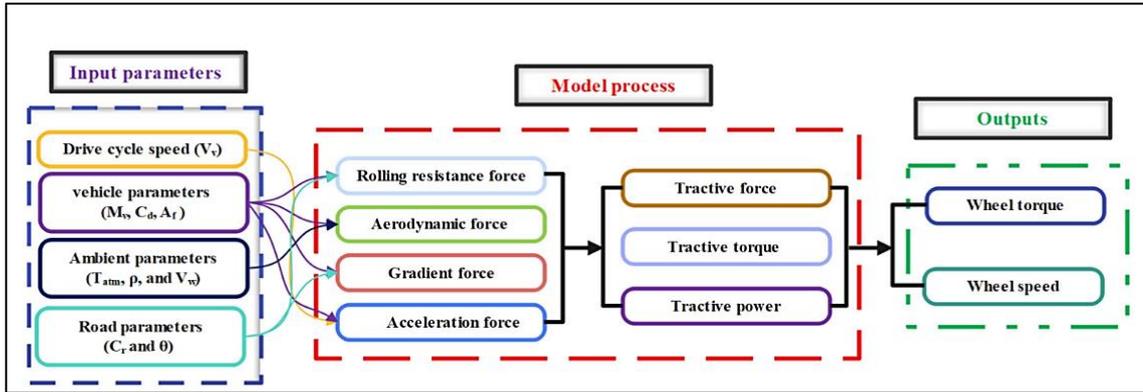


Ilustración 4-3: Parámetros técnicos de flujo inverso

Fuente: Azhaganathan G., Bragadeshwaran A., Mason B., 2023

4.2.1.3. Módulo de freno regenerativo

- Energía de batería
- Potencia de salida de batería
- Potencia de salida de inverso
- Potencia de salida del motor

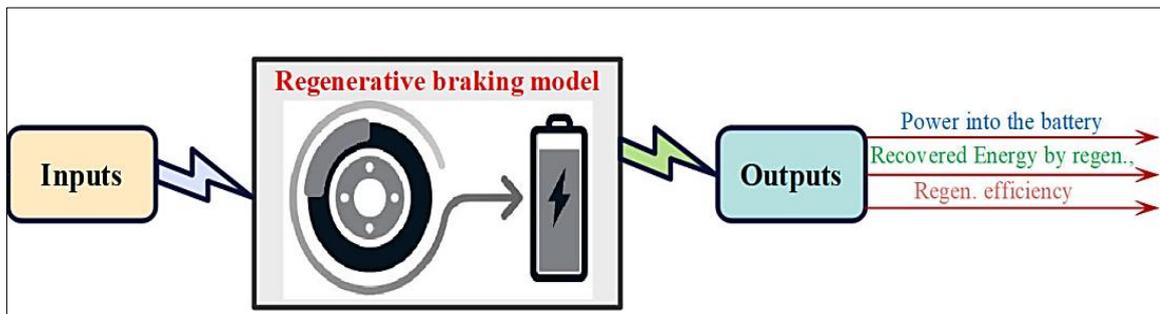


Ilustración 4-4: Ejemplo de esquema metodológico del sistema de regeneración de energía

Fuente: Azhaganathan G., Bragadeshwaran A., Mason B., 2023

A partir de la potencia se realizó una regresión en base a su eficiencia hasta llegar a la potencia de salida de la batería, se puede considerar también la potencia que consumen los elementos auxiliares.

$$P_{bat_{out}} = \frac{P_{wheel}}{\eta_{powertrain}} \quad \text{Ec. (31)}$$

$$P_{bat_{in}} = \frac{F_t * V_W}{\eta_{battery} * \eta_{inversor} * \eta_{transmison} * \eta_{motor\ ele}} + P_{aux} \quad \text{Ec. (32)}$$

- P_w = Potencia en rueda [kW]
- P_{bat} = Potencia de batería [kW]
- P_{aux} = Potencia de auxiliares [kW]
- η = Eficiencias

4.2.2. Desarrollo del modelo del autobús BYD K9 G

En esta sección, cada submodelo fue definido a través de una correlación matemática y una hoja de datos, en la cual se analizaron los parámetros de los componentes del tren motriz eléctrico del BYD K9 G para obtener datos específicos que puedan ayudar intervenir de forma que se utilice recursos para linealizarlos. También se tomaron en cuenta los parámetros de consumo de energía del ciclo de conducción del autobús Hino AK 500 para una comparativa de autonomía y desempeño. Los datos de los elementos y especificaciones técnicas empleadas del autobús BYD K9 G se enseñan en la tabla 4-1.

Tabla 4-1: Especificaciones técnicas del modelo de autobús BYD K9 G.

Parámetro	Simbología	Valor	
Parámetros del vehículo	Área frontal [m ²]	[A]	7.7
	Coefficiente de arrastre [-]	[Cd]	0.7
	Coefficiente de resistencia a la rodadura [-]	[fr]	0.0092
	Masa del vehículo [kg]	[M]	14200, 19500
	Radio dinámico [m]	[Rd]	0.52
	Masa de un pasajero [kg]	[M]	70
	Capacidad de pasajeros	[-]	80
Parámetros ambientales	Densidad del aire [km/m ²]	[ρ]	0.83
	Gravedad [m/s ²]	[g]	9.81
Parámetros de operación	Velocidad [km/h]	[V]	[ciclo de conducción]
	Aceleración [m/s ²]	[a]	[ciclo de conducción]
	Pendiente [rad]	[θ]	[ciclo de conducción]
Parámetros del motor	Potencia máxima [kW]	[Pmáx]	300
	Torque máximo [Nm]	[Tmáx]	1100
	RPM máximo [rpm]	[-]	10000
	Eficiencia del motor	[ne]	0.97
Parámetros de la transmisión	Relación de transmisión total [-]	[Ntd]	17.7
	Número de marcas [-]	[-]	1 (Drive, neutro y retro)
	Eficiencia de la transmisión	[ntd]	0.98
	Velocidad máxima [km/h]	[Vmáx]	70
Parámetros de la batería	Capacidad de la batería [kWh]	[Ebatt]	324
	Potencia de carga [kW]	[Pc]	80
	Eficiencia de la batería	[nbatt]	0.98
	Autonomía [km]	[-]	+250

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Fuente: Guiñansaca Chinchilima, W., 2020

4.2.2.1. Transmisión

En vehículos eléctricos, el uso de motores eléctricos eficientes y controlados por sistemas electrónicos permite prescindir de cajas de cambios tradicionales, optando por transmisiones de única velocidad o sin engranajes para satisfacer las necesidades de tracción. Aunque la ecuación 34, facilita el cálculo del torque del motor (T_m), (Gurusamy, Ashok y Mason, 2023) propone un método simplificado que se utilizó para determinar estos valores.

$$T_m = \frac{T_t}{G * \eta_{trans}} \quad \text{Ec. (33)}$$

$$\omega_m = G * \omega_w \quad \text{Ec. (34)}$$

$$\omega_w = \frac{V_w}{R_w} \quad \text{Ec. (35)}$$

Para asegurar un desempeño óptimo al subir pendientes pronunciadas, es fundamental que el autobús eléctrico mantenga la capacidad de producir su torque máximo (T_t) utilizando una relación de transmisión (G) constante. La fórmula para determinar la relación de transmisión adecuada en un vehículo eléctrico se describe en la ecuación 37, considerando variables como el torque máximo del motor (T_m), la máxima velocidad angular del motor (ω_m), y la máxima velocidad de la rueda (V_w). (Gurusamy, Ashok y Mason 2023)

$$T_m = \frac{T_t}{\eta_{trans} * T_m} \leq G \leq ((\omega_m)_{max} * R_w * 2\pi / ((V_w)_{max} * 60)) \quad \text{Ec. (36)}$$

Los datos para analizar la viabilidad de este componente fueron proporcionados de la tabla 4-1, la relación de transmisión utilizada fue 17.7 [-] y la eficiencia 0.98 [%], el submodelo realizado en la simulación se muestra en la ilustración 4-5.

4.2.2.2. Motor eléctrico

La eficiencia del motor (η_{motor}) se mide comúnmente mediante pruebas con un dinamómetro o estimaciones por el método de elementos finitos (FEM) utilizando parámetros de circuito equivalente y datos específicos del motor. Sin embargo, los fabricantes raramente divulgan esta información, y el cálculo por FEM, aunque es muy preciso, es más complejo y tardado. La eficiencia y componentes de potencia eléctrica de los motores se determinó a través de la eficiencia. (Gurusamy, Ashok y Mason 2023).

$$\eta_{motor} = \frac{P_{m.out}}{P_{m.in}} + P_{loss} \quad \text{Ec. (37)}$$

En este contexto, (Pm.in), (Pm.out) y (Ploss) representan la potencia de entrada, salida y las pérdidas de ser consideradas respectivamente, casi el 2[%] de la potencia de la capacidad nominal de la corriente del motor se disipa como pérdidas, no se consideró en el análisis. Este enfoque requiere un examen de la electrónica interna del componente y acceso a información específica del fabricante, la cual a menudo resulta difícil de obtener. (Gurusamy, Ashok y Mason, 2023).

En la ilustración 4-63 se muestra el submodelo y los parámetros considerados de cálculo para obtener la potencia eléctrica del motor a partir de la eficiencia del tren motriz.

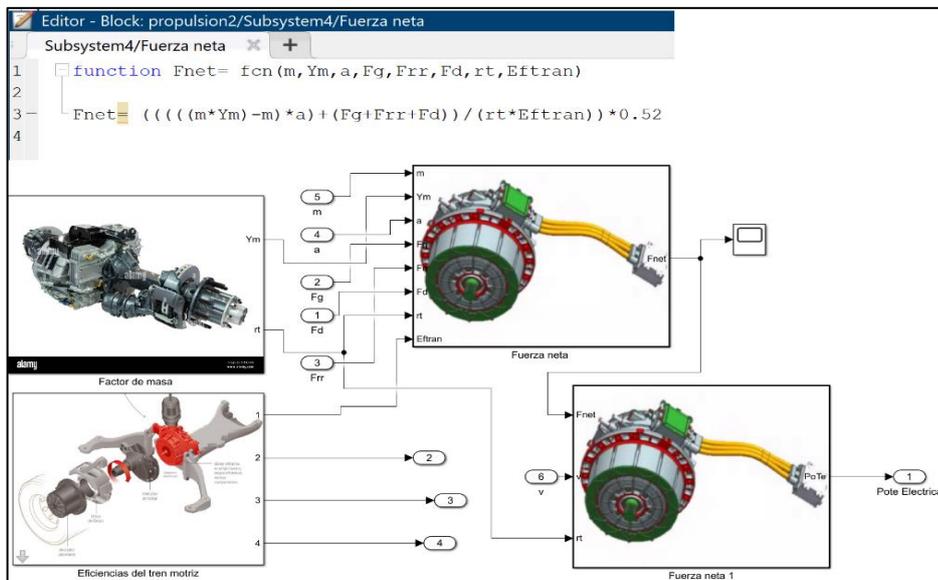


Ilustración 4-5: Submodelo de sistema de tren motriz

Fuente: Guiñansaca Chinchilima, W., 2020

4.2.2.3. Potencia de inversor

Los inversores y convertidores son sistemas del conjunto de propulsión eléctricos que se emplean para ajustar la corriente y el voltaje a las magnitudes y formas necesarias de sus elementos motrices. En el submodelo se realizó con la aplicación de este sistema al considerar su eficiencia y despreciando la electrónica de potencia interna.

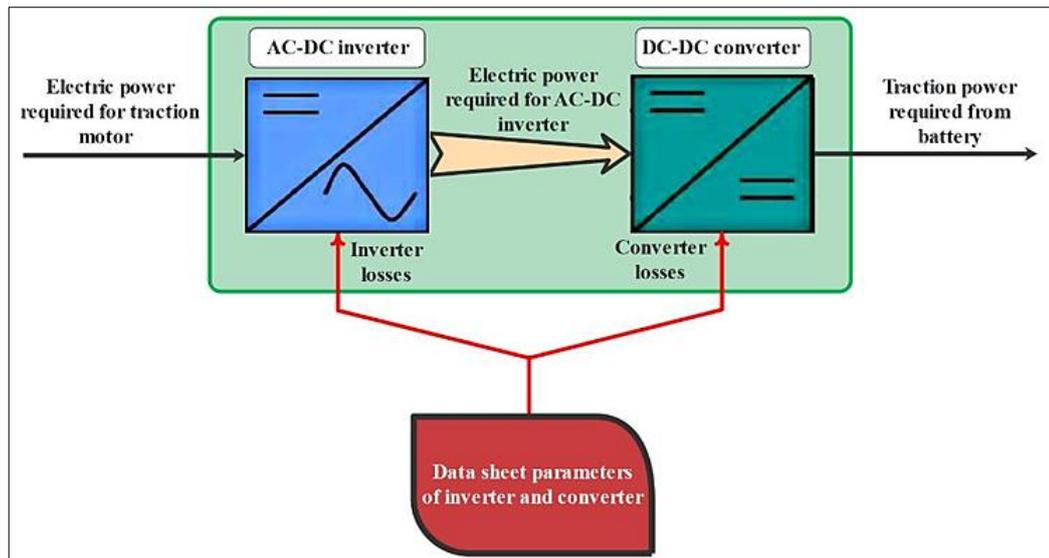


Ilustración 4-6: Ejemplo de metodología para la potencia en el submodelo de inversor.

Fuente: Guiñansaca Chinchilima, W., 2020

Específicamente, se emplea un inversor bidireccional de potencia nominal adecuada, situado entre el motor primario y la batería de los vehículos eléctricos para transformar corriente continua (CC) en corriente alterna (CA) ajustando la magnitud y la frecuencia a las necesidades.

La eficiencia del inversor (η_{inv}) se calculó mediante la relación entre la potencia de entrada del motor ($P_{m.in}$) y la potencia de salida hacia la batería (P_{outbat}), según se detalla en la siguiente ecuación. (Gurusamy, Ashok y Mason, 2023).

$$\eta_{inv} = \frac{P_{m.in}}{P_{outbat}} = \frac{P_{m.in}}{P_{m.inv} + P_{lo_{inv}}} \quad \text{Ec. (38)}$$

En los vehículos eléctricos, la energía de CC de baja tensión se amplifica a energía de CC de alta tensión y se suministra al inversor, con una eficiencia del convertidor que oscila entre el 90 y el 95 [%] ilustración 4-7. (Gurusamy, Ashok y Mason, 2023).

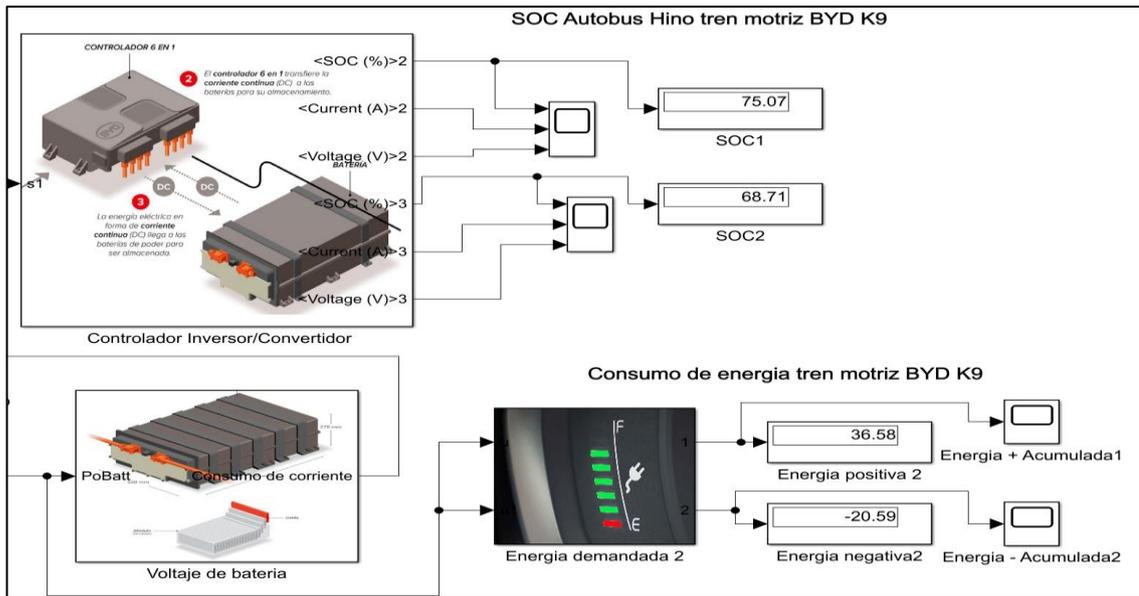


Ilustración 4-7: Subsistema de tren motriz eléctrico, eficiencias de componentes que generan la potencia de salida de batería y finalmente el consumo de corriente

Fuente: Guñansaca Chinchilima, W., 2020

4.2.2.4. Batería

En el ámbito de las fuentes de energía para vehículos eléctricos, las baterías recargables deben ser óptimas debido a sus requerimientos superiores de operatividad. De manera predominante, se ha adoptado la batería de iones de litio como la fuente de energía principal en los vehículos eléctricos, dada su eficacia y confiabilidad. A continuación, se presenta en la ilustración 4-8 un submodelo que indica la estructura interna, parámetros de entrada y salida considerados para hallar la autonomía de la batería respecto a un ciclo de conducción.

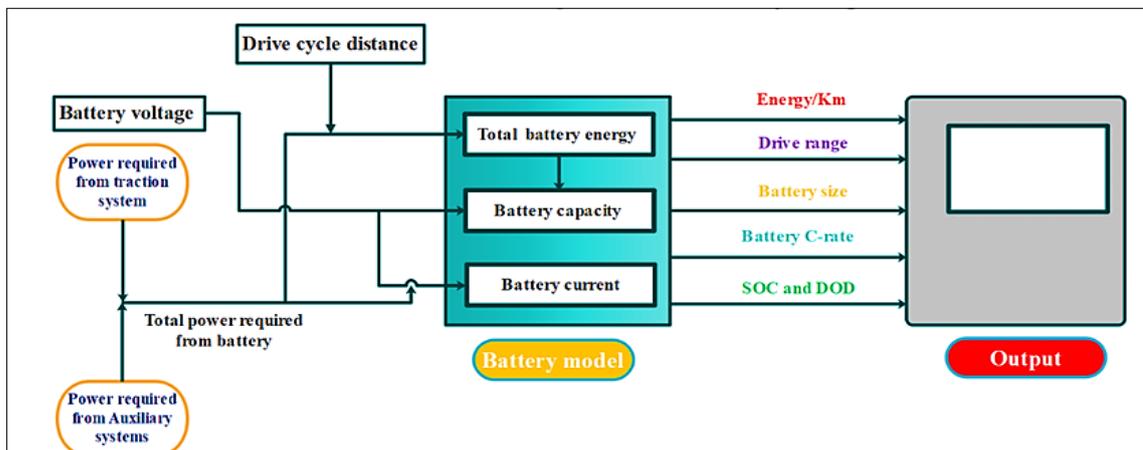


Ilustración 4-8: Ejemplo de metodología para del submodelo de batería con sus entradas y salidas.

Fuente: Guñansaca Chinchilima, W., 2020

La potencia total requerida de un paquete de baterías se estimó con la ecuación 40. La potencia consumida por sistemas auxiliares (P_{aux}), la potencia de entrada al motor ($P_{m.in}$), las eficiencias del inversor (η_{inv}) y del convertidor (η_{conv}), se utilizaron para calcular la potencia de salida de la batería a partir de la fuerza neta. (Gurusamy, Ashok y Mason, 2023)

$$P_{Bat} = \left(\frac{P_{m.in}}{(\eta_{inver} * \eta_{conver})} \right) + P_{aux} \quad \text{Ec. (39)}$$

$$P_{bat} = V_{bat} * I_{bat} \quad \text{Ec. (40)}$$

El consumo de corriente se calculó con una alimentación constante de 540 [V] proveniente del pack de baterías, se utilizó la ecuación (41), en la ilustración 4-65 se muestra el submodelo de corriente de consumo, el osciloscopio indicó una corriente calculada 421.2 [A] utilizando una eficiencia de transmisión de 95 [%].

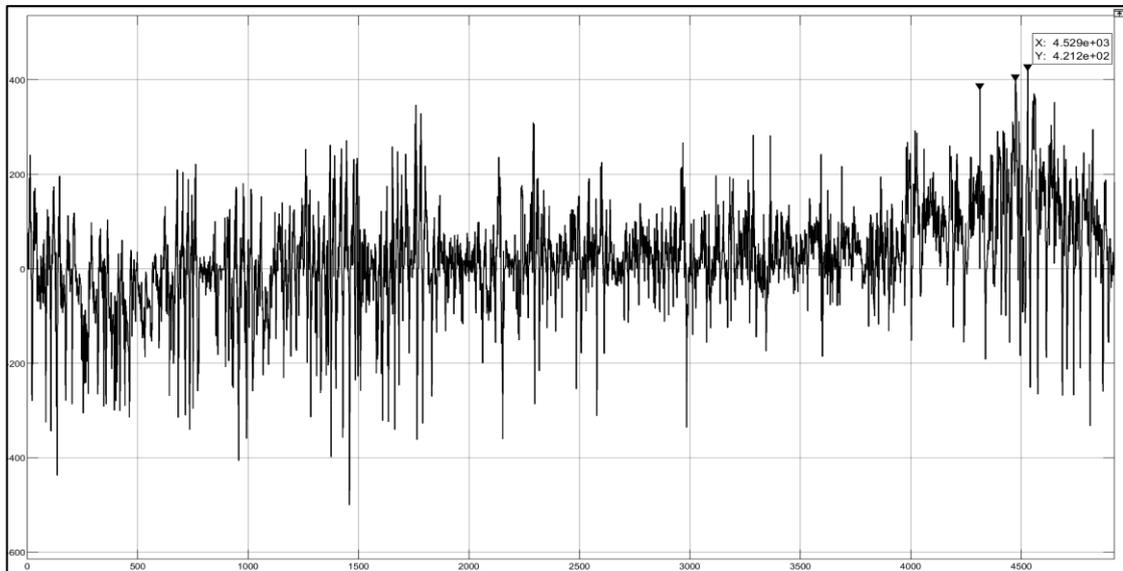


Ilustración 4-9: Señal de consumo de corriente de la batería

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

El consumo de energía en vehículos eléctricos reflejó la eficiencia de conversión de energía a lo largo del tren motriz. La energía necesaria de la batería (E_{Bat}) se calculó integrando la potencia de la batería (P_{Bat}) conforme a la ecuación 42. La energía total requerida por kilómetro ($B.E_{km}$) se determinó usando E_{Bat} y la distancia recorrida. A partir de E_{Bat} , se estimó el rango de manejo del vehículo eléctrico utilizando la energía total de la batería ($T.E_{Bat}$), a continuación las ecuaciones utilizadas para el cálculo. (Gurusamy, Ashok y Mason, 2023)

$$E_{Bat} = \int P_{Bat} dt \quad \text{Ec. (41)}$$

$$B.Ekm = \left(\frac{EBat}{3.6+10^3 * Drive\ Cycle\ Distance} \right) \quad \text{Ec. (42)}$$

$$DRdeseado = \frac{T.Ebat}{B.E\ km} \quad \text{Ec. (43)}$$

El estado de carga (SOC) de la batería indicó la proporción de carga disponible en la batería, usualmente se expresó en un rango del 0 al 100 [%]. Los fabricantes sugieren mantener el SOC de la batería dentro de un rango del 10 al 90 [%] para asegurar un óptimo rendimiento. Adicionalmente, la profundidad de descarga (DOD) se calculó basándose en el SOC(t), según se detalla en la ecuación 45. (Gurusamy, Ashok y Mason 2023).

$$SOC = 1 - \left(\frac{Cbat}{Cmax} \right)$$

$$SOCi \pm \left[\left(\frac{1}{3600} * Cbat \right) * \int_0^t Ibat\ dt \right] \quad \text{Ec. (44)}$$

$$DOC = 1 - SOC(t) \quad \text{Ec. (45)}$$

Al haber utilizado las ecuaciones en el submodelo de batería, ilustración 4-10, se ejecutó la simulación que facilitó la obtención del voltaje, corriente y SOC con una configuración de regeneración de energía y otra sin regeneración, descubriendo la diferencia y eficiente del sistema que influye directamente en la autonomía del vehículo, por otro lado, la configuración apropiada de las baterías se logra de forma automática por el software como se visualiza en la ilustración 4-11, en la sección configuraciones del bloque de parámetros se seleccionó el tipo, voltaje del pack, capacidad del pack, SOC inicial y tiempo de respuesta en Simulink, adaptándose a diferentes variaciones en ciclo de conducción de la Línea 5.

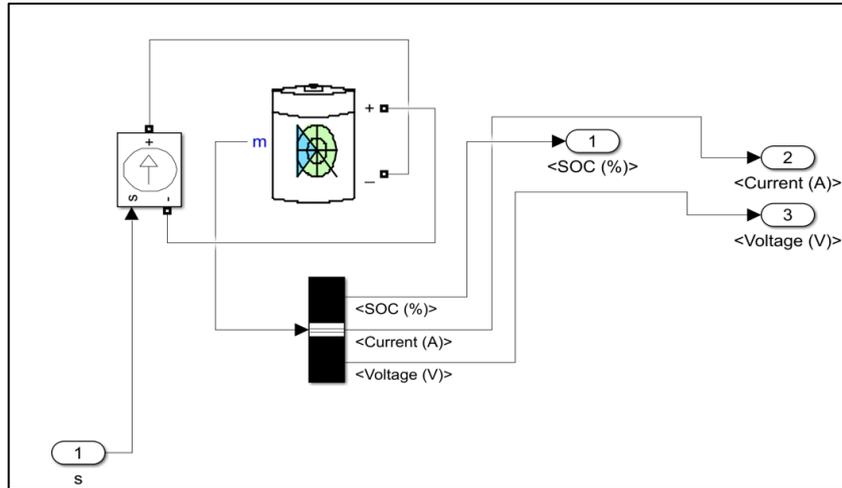


Ilustración 4-10: Submodelo de batería BYD K9 G en Simulink

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

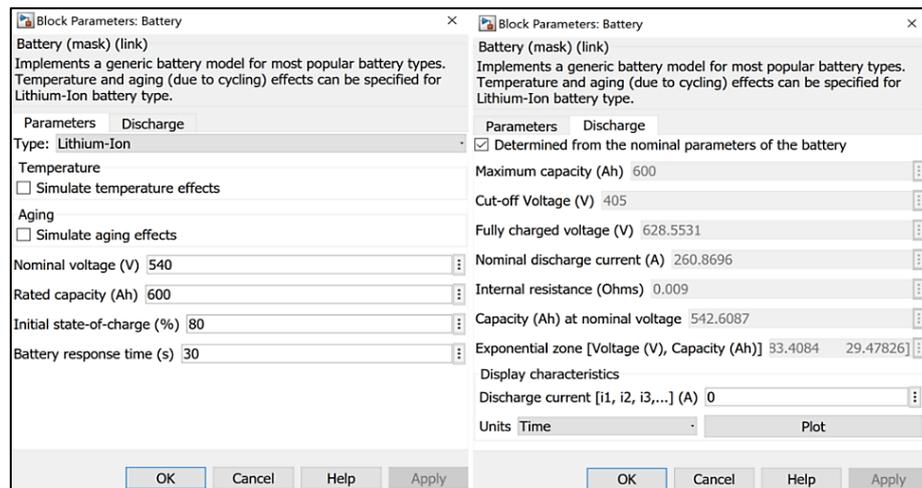


Ilustración 4-11: Configuración de bloque de parámetros de batería BYD K9 G.

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Finalmente, se logró obtener del modelo creado en el software de Matlab los resultados que mostraron el comportamiento del autobús BYD K9 G, en un ciclo de conducción de Linea 5 de Riobamba. La ilustración 4-12 muestra las gráficas de voltaje, corriente y Estado de Carga (SOC), así como la demanda de energía consumida del pack de baterías dimensionado.

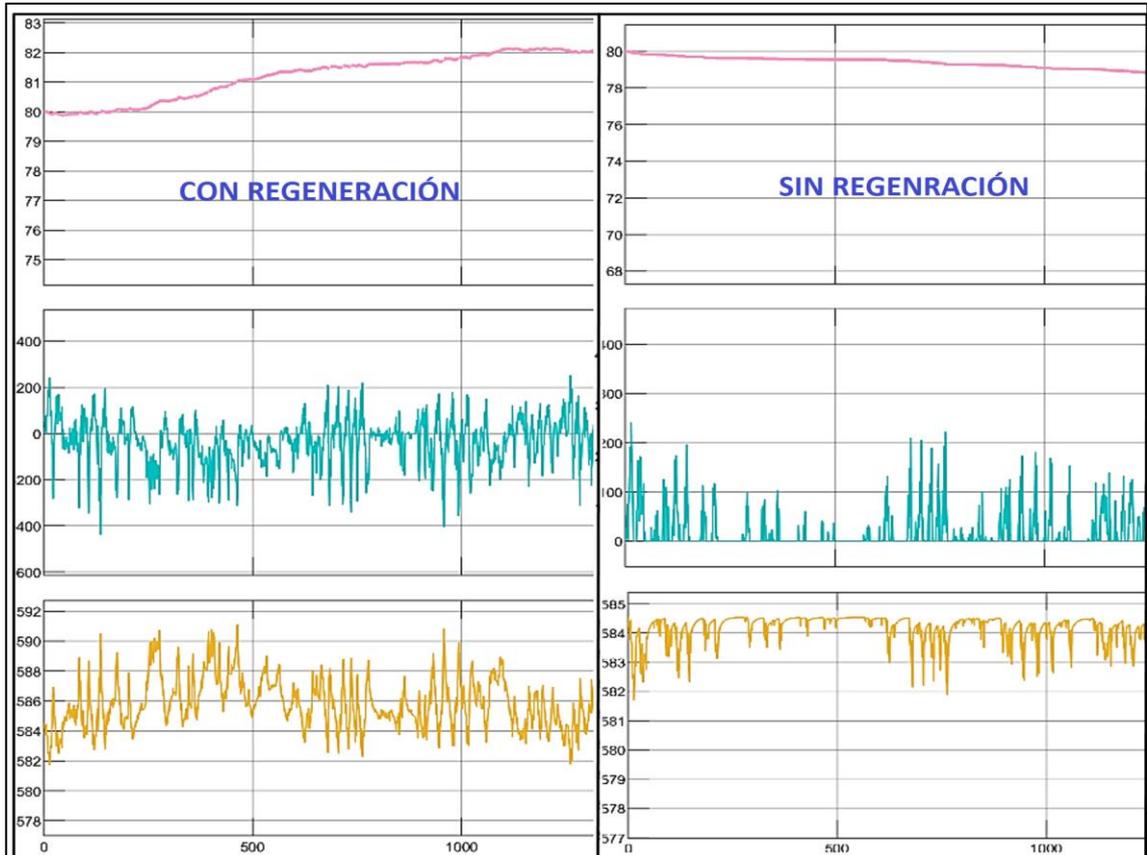


Ilustración 4-12: Submodelo y visualización de gráficas de consumo de corriente, acumulación de energía y SOC de batería.

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Es fundamental destacar que la dinámica de las curvas de corriente y voltaje experimenta un aumento significativo al suministrar potencia a los componentes. Además, es notable la disparidad en las curvas de corriente entre los modelos con y sin freno regenerativo. En el caso de los modelos con freno regenerativo, se observan picos tanto positivos como negativos en la corriente. Por el contrario, los modelos sin esta función carecen de corrientes negativas, lo que sugiere la ausencia de corriente que ingrese y, por ende, regenere parte de la energía utilizada.

También hay que referenciar la importancia de un estado de SOC inicial, se recomienda que este por debajo del 100[%] para evitar las sobrecargas, altas temperaturas, pérdidas de capacidad, degradación de batería y por seguridad. A continuación, el esquema modelado en Matlab-Simulink, ilustración 4-13.

\

4.3. Modelo en Matlab-Simulink del autobús Hino AK 500 con dimensionamiento del tren motriz eléctrico BYD K9 G.

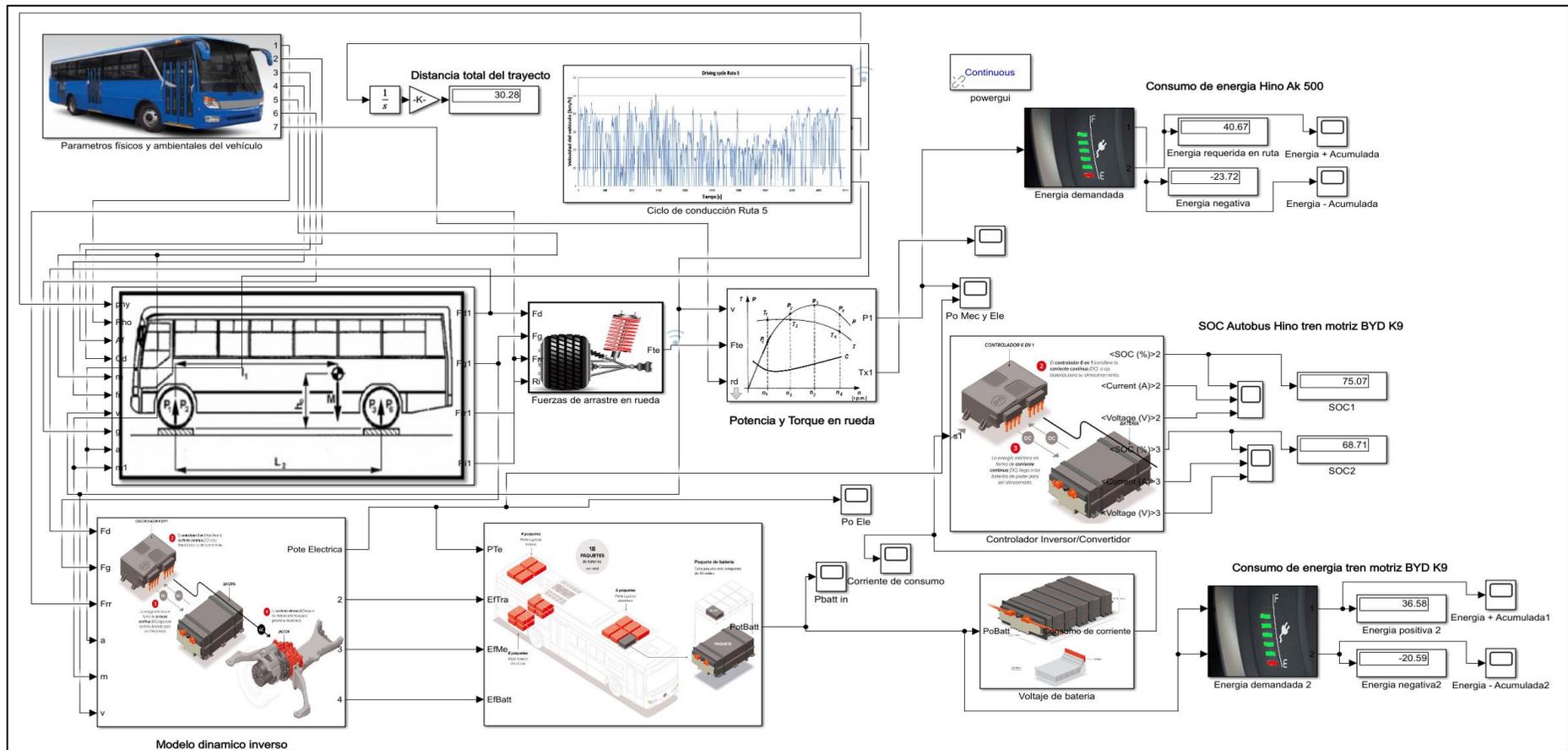


Ilustración 4-13: Visualización del modelo de simulación de consumo de energía y dimensionamiento del tren motriz del autobús BYD K9 G en Matlab.

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

CAPÍTULO V

5. MARCO PROPOSITIVO

5.1. Introducción

La investigación se desarrolló mediante un enfoque mixto y de tipo experimental de campo, donde se llevaron a cabo encuestas y revisiones de literatura con el objetivo de identificar las rutas de transporte con el mayor consumo de combustible, así como aquellas con pendientes significativas y largas distancias. Las encuestas también contribuyeron a la selección del modelo de autobús, que posteriormente se instrumentó con el dispositivo VBox GPS Sport para la recopilación de datos la cual se desarrolló utilizando la técnica On Board, se ejecutó más de 60 viajes, para cada ruta, se programaron 15 viajes. Durante el análisis, se identificaron y corrigieron datos atípicos relacionados con la altitud y la pendiente, los cuales se ajustaron siguiendo las normativas de la Unión Europea. Posteriormente se calculó la demanda de energía en las Líneas 5, 7, 14 y 16 del servicio de transporte público en Riobamba.

Aplicando el método de ponderaciones mínimas, se determinaron los ciclos de conducción característicos de cada línea, lo que permitió identificar el ciclo específico y la demanda de energía de cada una. A partir de este análisis, se concluyó que la ruta más exigente en términos de consumo energético era la Línea 5, la cual registró un consumo de 40,6 [kWh] por ciclo y un total diario de 244 [kWh].

Para determinar el modelo de autobús eléctrico más adecuado que pudiese satisfacer tanto la demanda energética como los requisitos específicos de las rutas, se efectuó una investigación técnica apoyada en fuentes bibliográficas con el fin de identificar parámetros operativos experimentales. El modelo BYD K9 G fue seleccionado debido a su disponibilidad, la solidez de investigaciones previas relacionadas y su fácil acceso en el mercado. Posteriormente, se llevó a cabo el dimensionamiento del tren motriz utilizando un modelo matemático, que se basó en los datos obtenidos del ciclo más representativo del autobús Hino Ak 500 y la demanda energética identificada para la Línea 5. Además, se adquirieron especificaciones de los componentes del autobús eléctrico y se procedió a una evaluación de viabilidad mediante simulación de un "backward dynamic model" diseñado en Matlab Simulink. Dicho análisis reveló que el ajuste del tren motriz eléctrico para la operación en la Línea 5 resultó en un consumo de 36.58 [kWh]. Asimismo, se calculó la autonomía, regeneración de energía y el rendimiento del autobús, excluyendo puntos de recarga para abastecimiento de la unidad.

5.2. Trabajos Relacionados

En la investigación denominada "Determinación de la Demanda Energética Del Sistema de Transporte Urbano en Rutas Establecidas Previo a la Implementación de Buses Eléctricos para la Ciudad De Riobamba", se analizaron el consumo de energía y la autonomía de los autobuses en variadas rutas urbanas de Riobamba mediante una metodología especialmente diseñada para este estudio.

Los datos variaron en función del peso del autobús, realizándose mediciones bajo condiciones de vacío, carga media y Peso Bruto Vehicular (PBV), obteniéndose cifras muy cercanas a las conseguidas en la investigación, por lo tanto, la consistencia observada de estos datos también validó el modelo experimental que se utilizó para el cálculo y el diseño del sistema de propulsión eléctrica.

La ilustración 5-1 muestra que, dentro de Riobamba, la Línea 14 resultó ser la que mayor cantidad de energía demanda, evaluación que se llevó a cabo considerando también el peso máximo del autobús. En la columna "F", se establecieron valores de 37 [kWh], aplicando un factor de seguridad del 50 [%] definido por el autor derivó en un consumo energético calculado de 55 [kWh] para el ciclo de conducción empleando un autobús modelo Hino Ak 500. No obstante, el análisis también incluyó una evaluación del consumo de energía utilizando el modelo eléctrico BYD K9 G, arrojando resultados de 46 [kWh] por ciclo y 276 [kWh] por jornada laboral.

Además (Piña y Sisa, 2021) señala que el bus eléctrico cumplirá con el recorrido de las rutas del sistema de transporte de Riobamba sin problema, a excepción de la Línea 14 por su pronunciada pendiente. Con el dato obtenido de torque máximo de 22081 [Nm] y la potencia de 282 [kW] en la Línea 14, reafirmó que el bus eléctrico podría lograr superar el torque máximo del circuito de la ruta, si y solo si tiene una relación de transmisión mayor o igual a 23.6, por otro lado, la potencia máxima demandada no supera la potencia del motor BYD K9 G, por lo tanto, completó satisfactoriamente este parámetro. A continuación, se evidencia los cálculos en las siguientes ilustraciones.

Tabla 5-1: Especificaciones técnicas del modelo de autobús BYD K9 G.

Bus		Motor			Capacidad baterías [kWh]	Capacidad de pasajeros
Clase	Marca	Modelo	Tipo	Potencia [kW]		
B2	BYD	K9 FE	Eléctrico	300	276,5	81
B2	YUTONG	ZK6128BEVG	Eléctrico	215	324,4	87
B2	FOTON	eBusU12QC	Eléctrico	350	151,55	90
A1	BYD	K7	Eléctrico	180	156,6	45
A1	FOTON	Ebus U8,5QC	Eléctrico	130	129	47
B2	ZHONGTONG	LCK6122EVG	Eléctrico	350	351,237	88
B2	KING LONG	XMQ6127G PLUS	Eléctrico	280	374,65	90

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Fuente: Becerra et al. 2020

Para este estudio, el modelo BYD K9 G seleccionado tiene una potencia de 300 [kW] y una batería de 324 [kWh]. Este modelo resultó ser similar en diseño a otros de la misma serie, como el K9 FE, K11 y K7. Aunque comparten características con estos, también tiene componentes con diferentes capacidades que lo hacen único en comparación con los demás. Se realizó la simulación con la capacidad máxima de carga 19500 [kg] y también satisface en más del 90 [%] los puntos de potencia y totalmente el torque requerido para el motor eléctrico con un además energética de 49.3 [kWh].

5.3.2. Análisis de Torque

El torque máximo en rueda de la Línea 5 fue de 14467.61 [Nm]. Para evaluar si el motor eléctrico del autobús BYD K9 G se utilizó la ecuación (28), en la tabla 5-2 se indican los resultados.

Tabla 5-2: Análisis de torque

Torque [Nm]				
Autobús	Relación de transmisión	Eficiencia transmisión	Torque máximo en ruta	Torque máximo del motor eléctrico
Hino Ak 500	6 velocidades	0.81	468.6	1100
Motor BYD K9 G	17.7 continua	0.98	786.2	1100

Fuente: Resultados de torque en ruta comparados para con el torque del motor eléctrico BYD K9

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

A continuación, se visualiza en la ilustración 5-2 el torque en rueda demandado en ruta, para obtener el valor estimado que se genera en el motor se debe considerar la reducción de la relación de transmisión final, por otro lado, en la ilustración 5-3 se puede visualizar que el motor eléctrico cubre con la demanda, el torque demandado no supera las especificaciones de torque del autobús eléctrico.

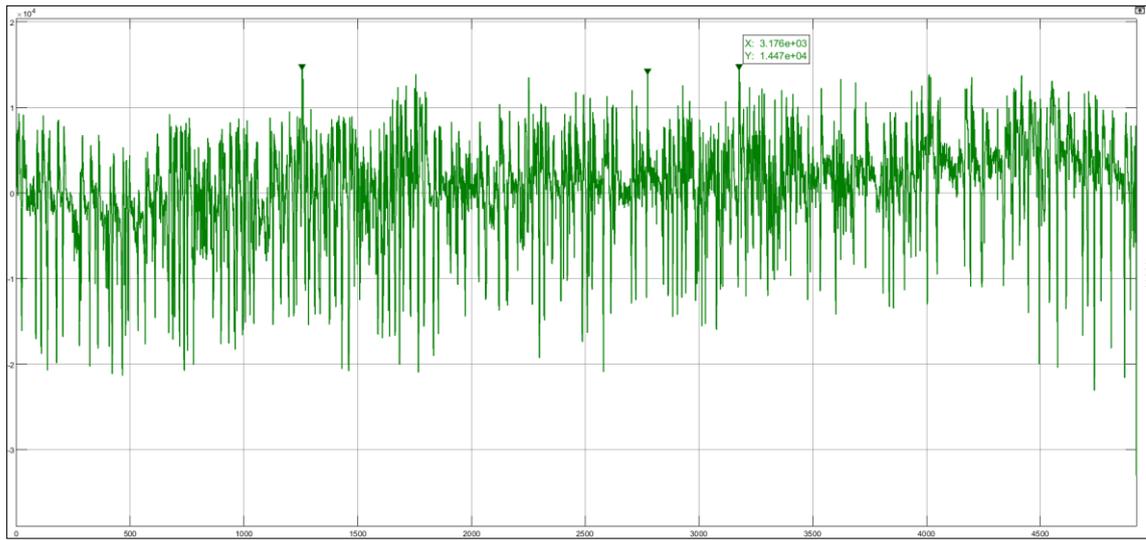


Ilustración 5-2: Torque en rueda, visualización de pico máximo de torque 14467 [Nm]

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

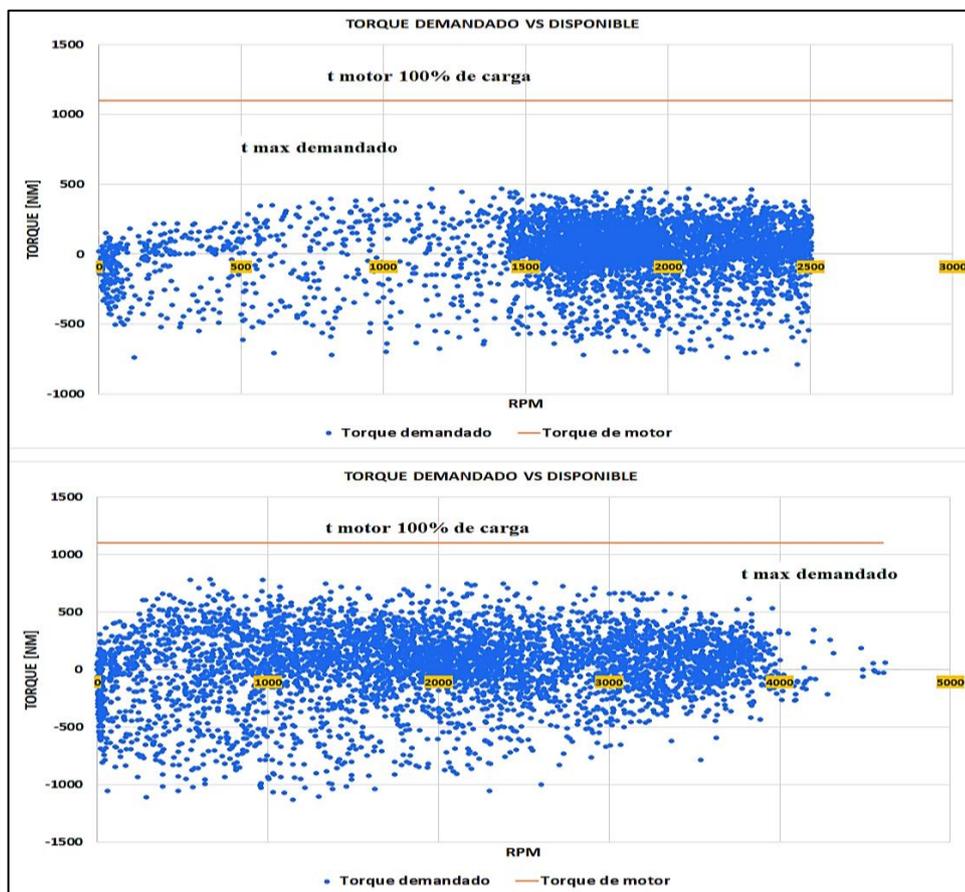


Ilustración 5-3: Viabilidad de torque del autobús Hino Ak 500 y BYD K9 G.

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

5.3.3. Análisis de Potencia

Para determinar si el sistema del tren motriz eléctrico del autobús BYD K9 puede satisfacer la demanda de potencia, se cotejó la potencia máxima del ciclo 230.1 [kW] como se visualiza en la ilustración 5-4, para la potencia del motor se debe dividir para la eficiencia de la transmisión, el resultado es 242.21 [kW], la potencia requerida por el motor eléctrico es 244.7 [kW] como se visualiza en la ilustración 5-5.

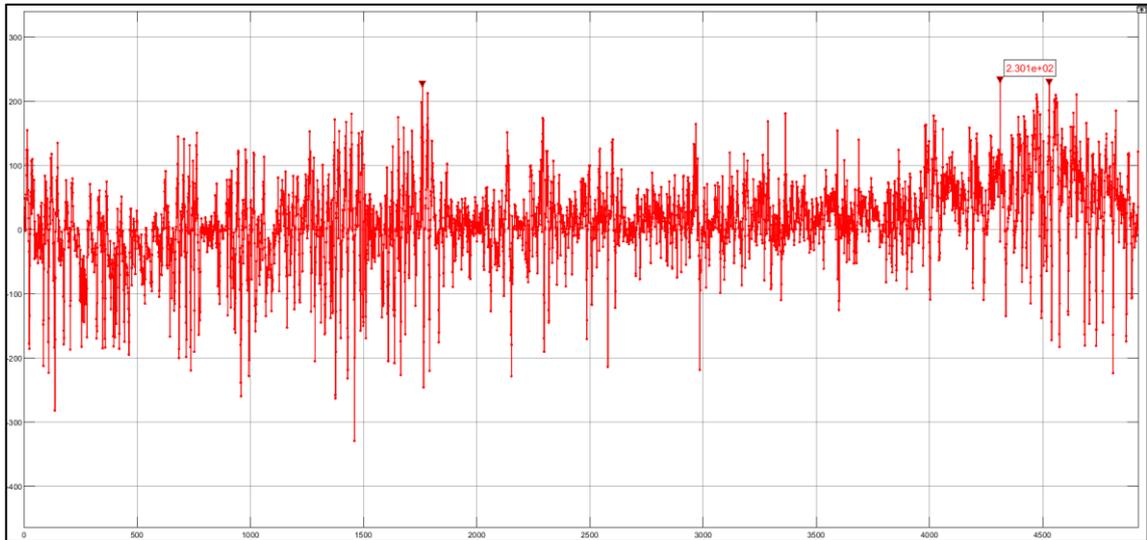


Ilustración 5-4: Potencia demandada en rueda, visualización de pico máximo 230.1 [kW].

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

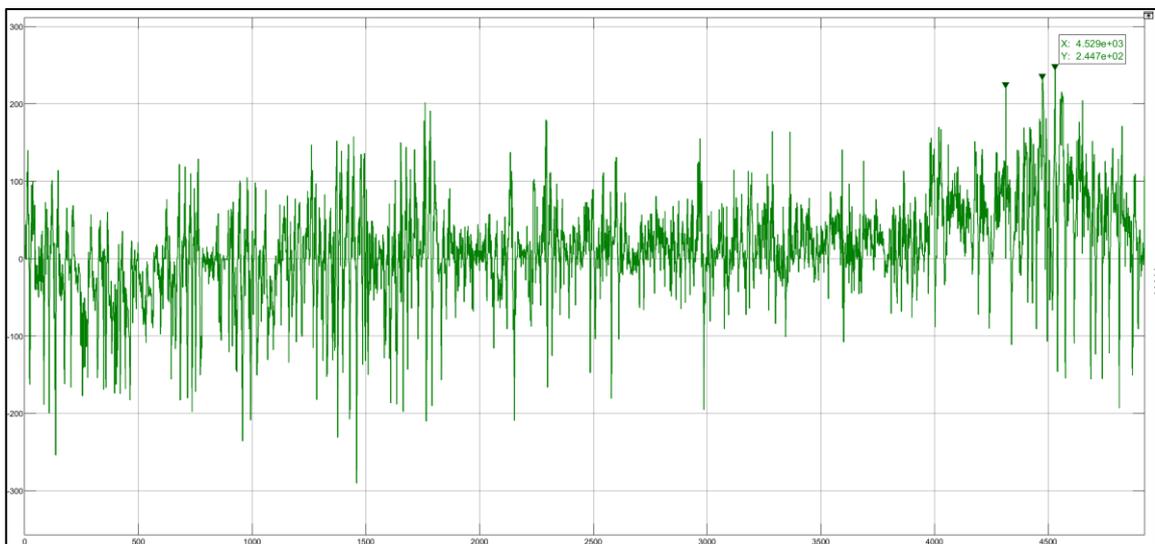


Ilustración 5-5: Potencia del tren eléctrico 244.7 [kW]

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

A continuación, se muestra en la ilustración 5-6 la potencia de salida de la batería, por otro lado, la potencia demandada no supera los 300 [kW], esto puede deberse a las condiciones de la ruta que no requirieron la máxima potencia del motor o a una gestión de la energía enfocada en la eficiencia más que en el rendimiento máximo.

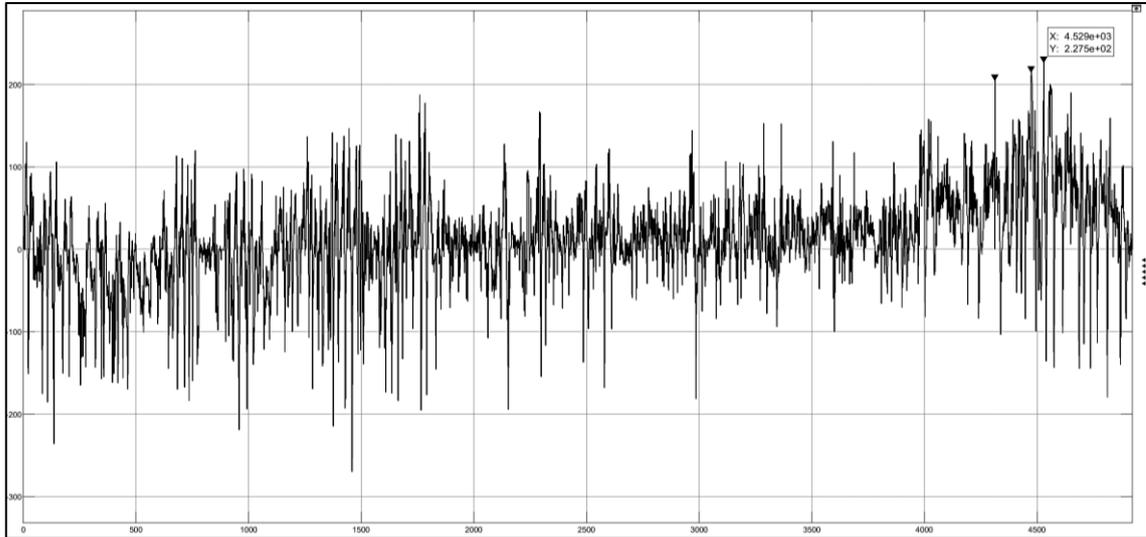


Ilustración 5-6: Potencia de salida de la batería 227.5 [kW]

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

La potencia mecánica transformada a potencia eléctrica es la potencia entrada al motor, éste por la eficiencia, se convierte en la potencia de salida del motor. La potencia de salida del motor es la potencia de entrada del inversor, este producto con su eficiencia es la potencia de salida del inversor. La potencia de salida del inversor es la potencia de entrada a la batería, y la potencia de salida de la batería es producto con su eficiencia, al final se integra esta potencia con respecto al tiempo y se obtiene la energía consumida de la batería. La potencia de salida de batería se configuro en el diagrama como se evidencia en la ilustración 5-7.

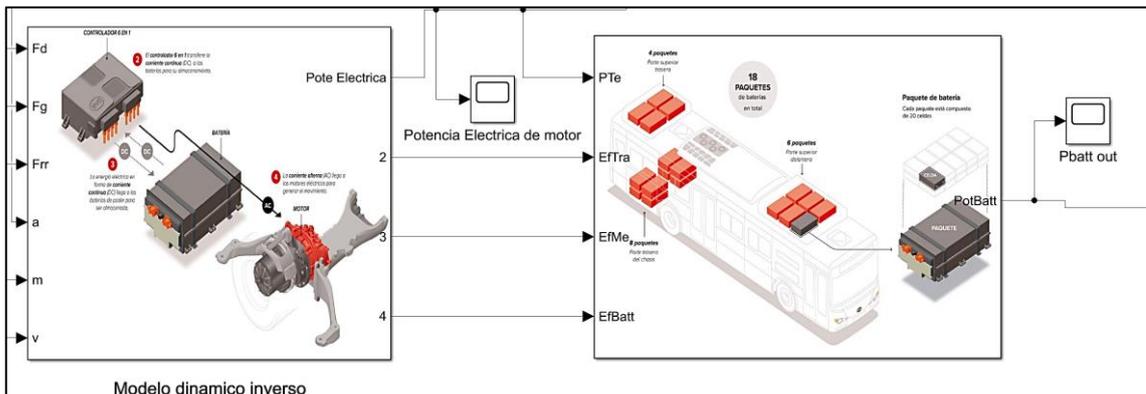


Ilustración 5-7: Ilustración del esquema de potencia del tren motriz BYD K9 G.

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Tabla 5-3: Análisis de potencia

Potencia del motor [kW]		
Motor BYD K9 G	300	Máxima
BYD K9 G - Simulación	244.7	Satisface

Fuente: Potencia en rueda comprada con la potencia del motor eléctrico BYD K9 G

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

5.3.4. Análisis de Energía

La investigación central indica que, por ciclo, la Línea 5 consume 40.66 [kWh] con una frecuencia operativa estimada de 6 ciclos diarios, el consumo total de energía asciende a 243.96 [kWh] por jornada laboral. Al dimensionar el tren motriz del BYD K9 G para el mismo ciclo, se estimó un consumo de 36.58 [kWh] por viaje y un diario de 219.48 [kWh]. A continuación, la ilustración 5-8 indica la acumulación de energía para ambos modelos en el mismo ciclo de conducción.

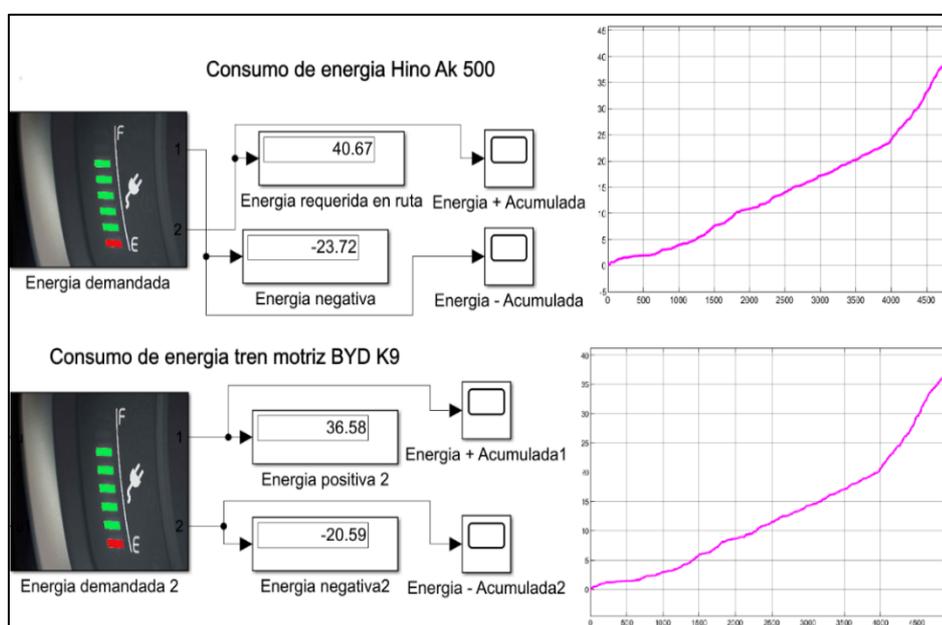


Ilustración 5-8: Acumulación de energía en la Línea 5.

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Un análisis de energía también detalla tanto el rendimiento y autonomía que se puede esperar de la ruta, también se indica a continuación como obtener estos datos claves para enfatizar la importancia de un análisis de energía para obtener viabilidad a través de los criterios experimentales.

5.3.4.1. Rendimiento [km/kWh] BYD K9 G

Aproximadamente se calculó el valor de 0.83 [km/kWh].

5.3.4.2. Autonomía restante [km] BYD K9 G

La autonomía fue calculada con un SOC inicial de 80 [%] fue de 184 [km] sin sistema de freno regenerativo y 201 [km] con el sistema freno regenerativo.

5.3.4.3. Energía requerida por kilómetro o rendimiento [kWh/km]

El rendimiento fue de 1.21 [kWh/km].

5.3.4.4. Ciclos posibles con un SOC inicial de 80 [%].

El vehículo puede completar aproximadamente 5.31 ciclos en las condiciones de la Línea 5.

5.3.4.5. Porcentaje de energía de regeneración [%]

La Línea 5 registró una demanda de energía de 40.66 [kWh], este modelo no tiene un sistema de regeneración de energía. En el análisis del tren motriz BYD K9 G, se observó un consumo energético de 36.58 [kWh] y una energía negativa de 20.59 [kWh], SOC inicial del 80 [%] el SOC fue 75.07 [%], concluyendo en un DOD de 24.93 [%]. El uso del freno regenerativo no funciona cuando las velocidades son inferiores a 15 [km/h], el SOC o la temperatura de la batería son altos, en su lugar trabaja el freno mecánico, se debe asumir el valor del 55 [%] de eficiencia para el sistema. (Salvador, Francisco y Osorio, 2021)

Tabla 5-4: Análisis de energía

Energía [kWh]		
Parámetros calculados, considerando freno regenerativo	Hino Ak 500	BYD K9 G
Rendimiento	0.74 [km/kWh]	0.83 [km/kWh]
Autonomía Restante	[-]	201 [km]
Eficiencia Energética	1.34 [kWh/Km]	1.21 [kWh/Km]
Profundidad de Descarga (DOD)	[-]	24.93 [%]
Ciclos posibles con un SOC inicial de 80 [%]	[-]	5.3
Porcentaje de energía de regeneración	[-]	56.29 [%]

Fuente: Análisis de parámetros de energía

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

5.3.5. Análisis de SOC

Se define como un rango de capacidad de la batería de 0 a 100 [%], los fabricantes recomiendan mantener un SOC entre 20 y 80 [%] para las baterías de iones de litio, también es crucial mantener el estado de carga dentro de un rango óptimo para aumentar el rendimiento y longevidad, ayudando a minimizar el estrés en la batería. Además, mantener el SOC dentro de estos límites mejora la seguridad, previniendo el sobrecalentamiento y otros riesgos asociados con la carga y descarga excesivas. Los sistemas de gestión de baterías (BMS) juegan un papel vital al monitorear y controlar el SOC para confirmar una operación segura y eficiente de los vehículos eléctricos. (Gurusamy, Ashok y Mason, 2023)

Tabla 5-5: Análisis de estado de carga (SOC)

SOC [%]		
Modelo	Hino Ak 500	BYD K9 G
SOC	[-]	75.07 [%]
DOD	[-]	24.93[%]
Cap. Batería	[-]	324 [kWh]
Capacidad inicial 80% SOC	[-]	259.2 [kWh]
Energía restante en la batería	[-]	222.62 [kWh]
Energía Consumida	[-]	36.58 [kWh]
Energía Negativa	[-]	20.59 [kWh]

Fuente: Resultados comparativos de energía y SOC del pack de baterías analizados en ambos casos.

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

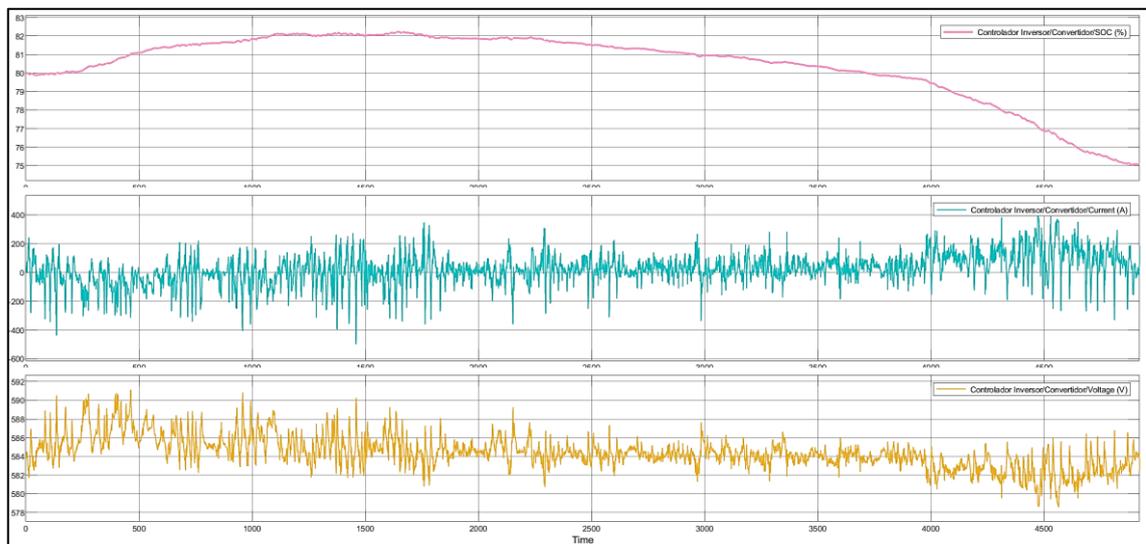


Ilustración 5-9: BYD K9 G, SOC con freno regenerativo, consumo de energía, corriente y voltaje.

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

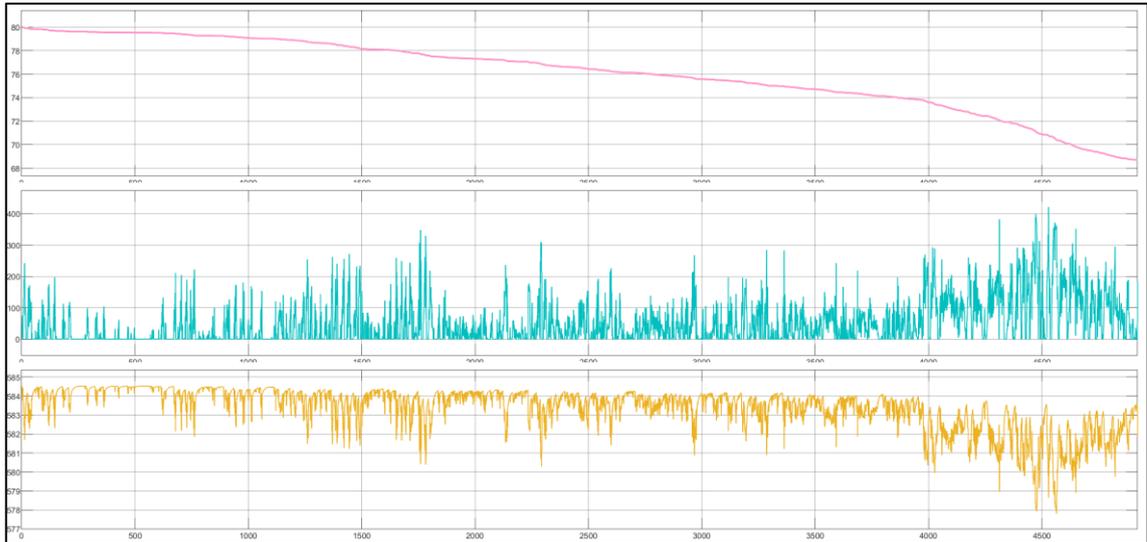


Ilustración 5-10: Simulación de SOC, voltaje y corriente del tren motriz dimensionado BYD K9 G sin freno regenerativo.

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Este módulo de simulación contempló un escenario en el que el autobús posee la capacidad de freno regenerativo, como se observa en la Ilustración 5-11 es oportuno empezar en un SOC por debajo del 100 [%] para evitar la sobrecarga en el sistema de baterías, sin embargo, esto evalúa de forma compleja la BMS y de forma oportuna regenerar energía y almacenarla.

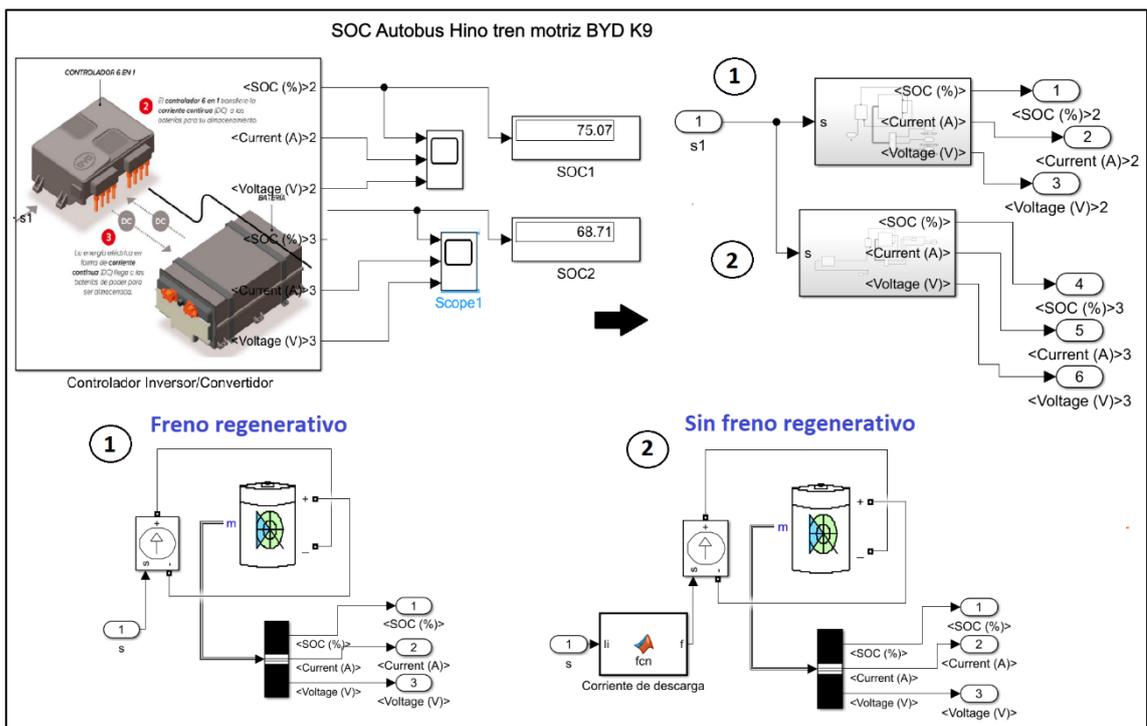


Ilustración 5-11: Esquema de subsistemas del modelo para calcular SOC.

Fuente: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Evaluar un sistema de regeneración muestra su impacto en el estado de carga (SOC). La energía recuperada durante el frenado aumenta significativamente el (SOC), indicando cuánta energía adicional se almacena en la batería. Esto mejora la eficiencia energética del vehículo y extiende su autonomía, ya que, de otro modo, esa energía se perdería como calor en los frenos convencionales.

5.3.6. *Análisis de Regeneración de Energía*

Los resultados obtenidos a partir de la simulación en Matlab-Simulink permiten realizar el siguiente análisis sin considerar a la eficiencia del sistema, como se muestra en la Tabla 5-6.

Tabla 5-6: Regeneración de energía

Regeneración de energía [%]			
Modelos	SOC Con regeneración	SOC Sin regeneración	Energía regenerativa sin eficiencia de regeneración
Tren motriz dimensionado BYD K9 G	75.07 [%]	68.71 [%]	-20.59[kWh]

Fuente: Regeneración de energía en ambos casos

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Estas diferencias en el (SOC) subrayan la eficiencia y la importancia del freno regenerativo en la mejora de la eficiencia del uso de la energía en vehículos eléctricos. Al recuperar energía durante el frenado, se puede mantener un (SOC) más alto, lo que se traduce en una mayor autonomía y menos necesidad de recargar, se evaluó la autonomía antes de necesitar recargar las baterías. Por otro lado, tomando en cuenta un porcentaje para la eficiencia de frenado considerado en los antecedentes, se evidencia que, de la energía recuperada -20.59 [kWh], solo el 55 [%] se recupera en condiciones reales, el resultado es 11.33 [kWh].

5.3.7. *Análisis de Sistemas Auxiliares y Eficiencia de Regeneración*

Energía y potencia consumida por auxiliares

Para ajustar bien una autonomía se debe considerar que el (SOC) no esté por debajo del 20 [%], este porcentaje se aumenta a la energía requerida, también se debe considerar 6 [kW] de consumo de sistemas auxiliares como describen varios autores y evaluaciones técnicas realizadas por fabricantes.(Piña y Sisa, 2021) Además se ha considerado la eficiencia de regeneración para esta sección, la intención es obtener un resultado muy apegado a las condiciones reales de conducción.

El consumo de energía se finalizó en 50.46 [kWh], multiplicando por 1.2 y sumando 6 [kW] de sistemas auxiliares, el consumo de energía del BYD K9 G. de esta manera se modificó los parametros de autonomía, rendimiento y el 20 [%] de SOC de límite de descarga. La evidencia tuvo los siguientes resultados:

- Rendimiento 0.68 [km/kWh]
- Autonomía restante 134 [km]
- 1.66 [kWh/km]
- Ciclos 3.86
- Porcentaje de regeneración considerando la eficiencia del freno regenerativo fue 22.48 [%] = -14.1 [kWh]

Para estimar la energía neta consumida se realizó lo siguiente: $50.4 \text{ más } (-7.11) = 43.3 \text{ [kWh]}$:

- Autonomía
136 [km] SOC 80[%]; restante
Ciclos 4.5
- Autonomía
181.1 [km] SOC 100 [%]; restante
Ciclos posibles 5.98

5.4. Viabilidad técnica

5.4.1. Rendimiento y consumo de energía en ruta

Se examinó el impacto de la pendiente de las rutas y el peso del vehículo como factores críticos que determinaron la eficiencia energética en este tipo de transporte. En el trabajo de (Quevedo, 2022) afirmó que BYD, toma un consumo promedio estimado de fábrica de 1.7 [kWh] por kilómetro, incorporado el consumo derivado del tren motriz tanto como la energía consumida por elementos auxiliares del vehículo. El transporte eléctrico demuestra una eficiencia superior, con menor consumo de energía al considerar un límite de seguridad (SOC). El autobús BYD K9 G satisface la demanda energética de la ruta más exigente en Riobamba y cumple con los requisitos técnicos del ciclo de conducción. Es necesario recargar las unidades eléctricas al menos una vez al día para evitar descargas profundas y garantizar la jornada completa.

5.4.2. Prestaciones correctas de funcionamiento

Según el estudio de rutas, se requieren vehículos con tren de potencia 100 [%] eléctrico, capaces de alcanzar una velocidad máxima de 90 [km/h], limitada a 60 [km/h]. A plena carga, deben

acelerar de 0 a 20 [km/h] en 10 segundos y superar pendientes del 18 [%]. El motor debe alcanzar 40 km/h en terreno plano desde parado en menos de 23 segundos, con una potencia nominal mínima de 230 [kW] y una potencia pico mínima de 280 [kW] (Becerra et al., 2020). El sistema de batería debe incluir un sistema de gestión de baterías (BMS) para monitorear temperatura y estado de carga (SOC).

5.5. Viabilidad económica

El estudio demostró que, a pesar de tener un costo inicial más elevado, los autobuses eléctricos superan a los de diésel en términos de economía operativa y mantenimiento a lo largo de su vida útil, además de brindar ventajas ambientales. Se resaltó la necesidad de considerar todos los costos al implementar autobuses eléctricos en el transporte público, respaldado por investigaciones sobre su desempeño económico para su adquisición.

Tabla 5-7: Viabilidad económica de los buses a diésel en el mercado ecuatoriano

Buses a diésel en el mercado ecuatoriano				
Modelo	Hino AK			
Costo total Chasis	67900			
Costo total carrocería	65000			
Costo total bus	132900			
Entrada (30%)	39870			
Km diarios de recorridos	290			
Galones diarios consumidos	30			
Precio diésel (USD)	1037			
Años de financiamiento	5			
Elementos de Costo	Dólar/Bus/Año	Dólar/Bus/Mes	Dólar/Bus/Día	Dólar/Bus/km
Costos variables				
a. Combustible	11199.60	933.30	31.11	0.11
b. Rodamiento	220.00	18.33	0.61	0.00
c. Mantenimiento preventivo	5184.00	432.00	14.40	0.05
d. Mantenimiento correctivo	4500.00	375.00	12.50	0.04
Costos fijos				
a. Mano de obra operacional	14610.48	987.32	32.91	0.11
b. Seguros	1200	100	3.33	0.01
c. Gastos de legalización de vehículos	291	24.25	0.81	0.00
d. Gastos administrativos	819	68.25	2.28	0.01
e. Gastos operativos	288	24	0.80	0.00
f. Depreciación	13290.00	1107.50	36.92	0.13
g. Utilidad de la inversión 30% valor del vehículo	7974.00	664.50	22.15	0.08
h. Costo de financiamiento el 70% del valor del vehículo	1806.00	1550.50	51.68	0.18
Costo total	78182.08	6284.95	209.50	0.72

Fuente: Cueva Ruiz, 2019

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

Tabla 5-8: Viabilidad económica de los buses 100% eléctricos en el mercado ecuatoriano

Buses 100% en el mercado ecuatoriano				
Modelo	BYD K9 G			
Costo total bus	419500			
Entrada (30%)	125850			
Km diarios de recorridos	288			
Galones diarios consumidos	30			
Precio diésel (USD)	1037			
Años de financiamiento	5			
Elementos de Costo	Dólar/Bus/Año	Dólar/Bus/Mes	Dólar/Bus/Día	Dólar/Bus/km
Costos variables				
e. Combustible	4479.84	373.32	12.44	0.04
f. Rodamiento	840.00	70.00	2.33	0.01
g. Mantenimiento preventivo	2073.60	172.80	5.76	0.02
h. Mantenimiento correctivo	1800.00	150.00	5.00	0.02
Costos fijos				
i. Mano de obra operacional	14610.48	987.32	32.91	0.11
j. Seguros	1200	100	3.33	0.01
k. Gastos de legalización de vehículos	291	24.25	0.81	0.00
l. Gastos administrativos	819	68.25	2.28	0.01
m. Gastos operativos	288	24	0.80	0.00
n. Depreciación	41950.00	3495.83	116.53	0.40
o. Utilidad de la inversión 30% valor del vehículo	25170.00	2097.50	62.92	0.24
p. Costo de financiamiento el 70% del valor del vehículo	58730.00	4894.17	163.14	0.57
Costo total	152251.92	12457.44	415.25	1.44

Fuente: Cueva Ruiz, 2019

Realizado por: Chávez Zambrano, J. B., 2024

En el mercado ecuatoriano, el costo de adquisición de un bus eléctrico se estimó en \$419.000 dólares, en comparación con los \$132.900 dólares que representó el precio de un bus diésel, lo que establece que el costo de un bus eléctrico es tres veces mayor que el de uno diésel. El mantenimiento requiere un costo aproximado de \$400, mientras que el bus eléctrico prescinde de esta necesidad. Según indicó la empresa BYD Ecuador, especializada en el mantenimiento de vehículos eléctricos, el ahorro en mantenimiento de los buses eléctricos respecto a diésel alcanza un 50 [%] y el costo de energía en un 59 [%].

5.6. Viabilidad ambiental

La viabilidad ambiental de los vehículos eléctricos en Ecuador es prometedora, pero requiere esfuerzos coordinados entre gobierno, industria y sociedad. Las emisiones indirectas varían según la fuente de energía. Aunque la producción de baterías tiene un alto impacto, puede mitigarse con prácticas sostenibles y reciclaje. La clave está en transitar hacia fuentes de energía más limpias y sistemas de reciclaje eficientes.

5.7. Viabilidad social

La viabilidad social de los vehículos eléctricos radica en una serie de elementos clave, como su accesibilidad, la asequibilidad, infraestructura eléctrica y la percepción pública. Estos factores, sumados a su impacto en el empleo y la industria, delinean un panorama complejo pero prometedor. A medida que los gobiernos y las industrias aborden estos desafíos de manera integral y la conciencia pública sobre los beneficios de los vehículos eléctricos crezca, es plausible que su adopción experimente un aumento significativo.

5.8. Evaluación de la hipótesis

El análisis técnico y experimental validó la viabilidad del autobús eléctrico en las rutas más demandantes de Riobamba. Los resultados mostraron que la eficiencia del tren motriz y la energía recuperada del freno regenerativo proporcionan suficiente autonomía, requiriendo solo una recarga parcial diaria. Esto confirma la viabilidad técnica y operativa del modelo BYD K9 G en el sistema de transporte urbano. Basado en los resultados, se confirma la viabilidad técnica y operativa del modelo BYD K9 G en el sistema de transporte urbano de la ciudad de Riobamba, con consumo de energía 43.4 [kWh] y un peso de 14200 [kg], el motor satisface 100 [%] la carga de potencia y torque de la ruta más demandante, considerando un peso de 19500 [kg], consume 49.3 [kWh], la potencia requerida es de 337 [kW] y torque 955 [Nm], se debe rectificar los patrones de conducción relacionados a la potencia ya que supera la capacidad del motor, por último se debe considerar una recarga parcial para asegurar su autonomía en la jornada laboral.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- El análisis de los componentes técnicos de los sistemas motrices eléctricos para autobuses urbanos revela diferencias notables con respecto a los autobuses de combustión interna. Los autobuses eléctricos son mucho más eficientes, con un rendimiento del 60 [%] al 70[%], en comparación con el 20 [%] al 30 [%] de los autobuses convencionales. Además, los autobuses eléctricos no solo son más eficientes, sino que también resultan en menores costos operativos y reducen significativamente las emisiones contaminantes, lo que los convierte en una opción más sostenible para el transporte urbano
- El análisis de los parámetros operacionales en las unidades del transporte urbano en Riobamba se adaptó debido a restricciones y posibles desperfectos en el uso de dispositivos OBD II, empleando sistemas GPS para obtener datos de conducción. Aunque más limitados, estos datos permitieron comparar el desempeño de los autobuses en condiciones reales y ejecutar un adecuado levantamiento de datos. Utilizando PVB del modelo Hino AK serie 500, se generaron los requerimientos energéticos de las Lineas 5-7-14-16, siendo las Linea 5 la más demandada, por otro lado, se confrontaron los resultados con el dimensionamiento del tren motriz eléctrico del modelo BYD K9 G, dando como resultado la notable eficiencia energética del mismo, concluyendo que para asegurar el cumplimiento de su jornada laboral debe anticipar una recarga en el día.
- La captura de datos en tiempo real a través de la técnica On Board y la instrumentación de VBox GPS Sport resultó fundamental y viable para adquirir datos como la velocidad, distancia, pendiente, latitud, longitud y aceleración en función del tiempo para predecir patrones de conducción, lo que posibilitó la determinación de energía y también el desarrollo metodológico. Las simulaciones en Excel y Matlab respectivamente proporcionaron cifras representativas que permitieron comparar de manera directa los datos experimentales con investigaciones anteriores y validar los resultados. Así se puede afirmar lo siguiente:
 - La Línea 5 presenta la mayor demanda de energía 40.67 [kWh].
 - La Línea 16 resulta tener la pendiente más pronunciada de 11.7 [%]
 - La Línea 7 tiene la ruta más extensa con 33 [km] por ciclo y 198.6 [km] diarios.

- La Línea 14 demora en hacer un viaje en un tiempo de 2 horas aproximadamente, el más extenso de todas las rutas.
 - La Línea 16 pendiente más pronunciada tiene la, 11.7 [%].
 - La Línea 8 tiene mayor demanda de pasajeros 18070.
 - La Línea 9 y 10 no tiene rentabilidad.
- Basado en el desarrollo del Capítulo V, se designó el autobús eléctrico BYD K9 G para ajustar sus parámetros y, mediante algoritmos, se creó un modelo matemático que dimensionó su desempeño en el ciclo de conducción más representativo y exigente de Riobamba. Los resultados indicaron que este modelo de autobús fue adecuado para operar en condiciones normales en la ruta más demandante del sistema de transporte urbano de la ciudad. Por lo tanto, se puede afirmar que, después de este análisis, el BYD K9 G fue una opción viable para el transporte urbano en Riobamba, a continuación, se afirma lo siguiente:
 - El autobús eléctrico representó consumos de energía con un estado de carga inicial (SOC) de 80 [%], recomendado por fabricantes.
 - El autobús eléctrico se diseñó con sistema de freno regenerativo, la simulación evidenció un aumento significativo en la autonomía, el modelo Hino acumuló 40.67 [kWh], no considera valores de autonomía y ciclos por su naturaleza de funcionamiento, el BYD 36.6 [kWh] con una autonomía de 201 [km] y 5.3 ciclos.
 - Se consideró una eficiencia para sistema de regeneración de 55 [%] y un factor de seguridad 1.2 para el SOC mínimo, esta eficiencia y el factor redujeron la autonomía, los resultados fueron 134 [km] y 3.86 ciclos.
 - Por otro lado, la energía neta consumida por el modelo de autobús BYD K9 G, con un peso de 14200 [kg], en la ruta de la Línea 5 de la ciudad de Riobamba es de 43.3 [kWh] con una autonomía de 136 [km] y 4.5 ciclos de 6 diarios manteniendo un SOC inicial de 80[%] y de seguridad de 20[%]. Y con su PBV el consumo es 49.3 [kWh], 119.5 [km] de autonomía y pudiendo completar 3.9 ciclos diarios.

6.2. RECOMENDACIONES

- Para garantizar una transición exitosa hacia la movilidad sostenible en Riobamba, es imperativo que el Gobierno Nacional y los Gobiernos Locales implementen políticas de incentivos económicos y fiscales. Estas medidas deben incluir la reducción de impuestos, subsidios para la compra de autobuses eléctricos, y tarifas eléctricas reducidas para operaciones de carga, fomentando así la inversión en esta tecnología y su infraestructura asociada. Paralelamente, se recomienda una expansión significativa de la infraestructura de carga, tanto pública como privada, incluyendo estaciones de carga rápida en puntos estratégicos de la ciudad y en depósitos de autobuses, para facilitar el uso y operación de los vehículos eléctricos.
- Es crucial fomentar un ecosistema de electromovilidad robusto a través de colaboraciones entre sectores públicos, privados y académicos, promoviendo la innovación, la formación de capacidades técnicas y la investigación. Para complementar este enfoque, se deben implementar programas de educación y sensibilización dirigidos a la población, destacando los beneficios ambientales, económicos, salud y así aumentar su aceptación y demanda.
- Se recomienda realizar un análisis más profundo y a mayor escala para evaluar de manera integral el impacto de la implementación de autobuses eléctricos en el sistema de transporte público de Riobamba. Este análisis debería considerar aspectos como:
 - Los costos de adquisición y operación de los autobuses eléctricos.
 - La infraestructura necesaria para la carga y mantenimiento de los autobuses.
 - La aceptación de los usuarios y la integración con el sistema de transporte existente.
- Realizar un análisis completo que permitiría tomar decisiones informadas sobre la viabilidad a largo plazo de la adopción de autobuses eléctricos BYD K9 G en Riobamba y otras ciudades de la región mediante pruebas piloto en rutas seleccionadas para evaluar el desempeño y viabilidad de los autobuses eléctricos antes de su implementación a gran escala. Esto reducirá la dependencia de combustibles fósiles y fomentará un entorno más saludable y sostenible, avanzando hacia la descarbonización del país.

GLOSARIO

ARCERNNR: Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables

BCE: Banco Central del Ecuador

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos

IIGE: Instituto de Investigación Geológico y Energético

MERNNR: Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables

OLADE: Organización Latinoamericana de Energía

BIBLIOGRAFÍA

1. **AGENDA NACIONAL DE ENERGÍA 2016-2040.** ARIAE. *Asociación Iberoamericana de Entidades Reguladoras de Energía*. [En línea]. 2016 [Consulta: 18 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.ariae.org/servicio-documental/agenda-nacional-de-energia-2016-2040>
2. **ALBÁN, Carlos.** Viabilidad técnica para el funcionamiento de vehículos eléctricos en el sistema de transporte urbano en el cantón Riobamba. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2023. págs. 20-23. [Consulta: 17 julio 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16323>
3. **BECERRA, Lourdes.** Especificaciones técnicas para buses eléctricos y sus sistemas de recarga en el Área Metropolitana de San José, Costa Rica. *MINAE ENERGIA – Dirección de Energía y Dirección de Transporte y Comercialización de combustibles* [En línea]. 2022 [Consulta: 30 agosto 2023]. Disponible en: <https://energia.minae.go.cr/wp-content/uploads/2022/03/3.D5-Specifications-for-procurement-of-e-buses-and-charging-infrastructure-v.2.pdf>
4. **BRAGA, Andrés.** Electrificación del transporte - buses eléctricos y el sistema de distribución. [En línea]. (Memoria) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Santiago De Chile-Chile. 2020. págs. 30-33. [Consulta: 29 julio 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/175421>
5. **CALVA, Roberto & FLORES, Andrés.** Obtención del ciclo de conducción urbano para la ciudad de Riobamba en horas pico y no pico mediante la recolección de datos de los factores de operación y consumo energético obtenido por un dispositivo OBD II. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Mecánica. Carrera de Ingeniería Automotriz. Riobamba-Ecuador. 2020. págs. 25-28. [Consulta: 27 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13823>
6. **CARCHI, Edison & PEÑAFIEL, Darwin.** “Análisis técnico sobre el comportamiento energético de un Autobús Eléctrico en recorridos en la Ciudad de Cuenca.” [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de Cuenca. Facultad de Ingeniería. Carrera de Ingeniería Eléctrica. Cuenca-Ecuador. 2019. págs. 45-55. [Consulta: 29 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33494>
7. **CASTRO, Kiara & PROAÑO, Yessenia.** Análisis de concentración de emisiones gaseosas vehiculares mediante el modelo IVE en el cantón Riobamba. [En línea]. (Trabajo de

- titulación) (Pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo. Facultad de Ingeniería. Carrera de Ingeniería Ambiental. Riobamba-Ecuador. 2023. págs. 67-78. [Consulta: 13 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33494>
8. **COBO, Josué.** Incidencia De La Micromovilidad Y Vehículos No Motorizados En El Centro Histórico De La Ciudad De Riobamba, Provincia De Chimborazo. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Administración de Empresas. Carrera Gestión Del Transporte. Riobamba-Ecuador. 2022. págs. 37-42. [Consulta: 13 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/18644>
 9. **CORDERO, Daniel & GUIÑANSACA, William.** Metodología para la configuración energética de un bus eléctrico. Casos de estudio: Líneas 27 y 100 del sistema de transporte público de la ciudad de Cuenca – Ecuador. [En línea]. (Trabajo de graduación) (Pregrado). Universidad Del Azuay. Facultad De Ciencia Y Tecnología Escuela De Ingeniería Mecánica Automotriz. Cuenca - Ecuador. 2020. págs. 48-59. [Consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11361>
 10. **CORDERO, Daniel & ZUMBA, Wilson.** Evaluación de la demanda energética de buses con motores de combustión interna, en rutas reales; para implementar buses eléctricos. [En línea]. (Trabajo de graduación) (Maestría). Universidad e Azuay. Departamento de Postgrado. Cuenca - Ecuador. 2015. págs. 48-59. [Consulta: 22 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7609>
 11. **CORDERO, Daniel.** Metodología para minimizar el consumo de combustible en autobuses, que sirven rutas fijas, mediante la reconfiguración del tren motriz. [En línea]. (Tesis) (Doctoral). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Atizapán de Zaragoza - México. 2015. págs. 37-42. [Consulta: 7 diciembre 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11285/637478>
 12. **CUEVA, Gonzalo.** Análisis de factibilidad de implementación de buses 100% eléctricos (E-Buses) para impulsar la movilidad sostenible en el sistema de transporte urbano del Distrito Metropolitano de Quito. [En línea]. (Trabajo de graduación) (Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. Quito - Ecuador. 2019. págs. 25-39. [Consulta: 15 diciembre 2023]. Disponible en: <https://bit.ly/3IJMoT3>
 13. **DÁVALOS, Danilo.** “Obtención De Un Ciclo Típico De Conducción Para Los Vehículos De La Unión De Taxistas Del Azuay”. [En línea]. (Trabajo de graduación) (Maestría). Universidad Del Azuay. Departamento De Posgrados. Cuenca - Ecuador. 2017. págs. 48-59. [Consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7274>

14. **DUQUE, Gonzalo.** Introducción a la economía del transporte. *Repositorio Universidad Nacional de Colombia* [En línea]. 2020 [Consulta: 21 octubre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3140>
15. **ESPIMBERA, David.** Estudio De Los Ciclos De Conducción Para Determinar Parametros De Manejo En Condiciones Reales De Operación Mediante La Metodología Micro – Trip. [En línea]. (Trabajo de graduación) (Maestría). Universidad Del Azuay. Departamento De Posgrados. Cuenca - Ecuador. 2017. págs. 48-59. [Consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7274>
16. **ESPIMBERA, David.** Estudio de los ciclos de conducción para determinar parámetros de manejo en condiciones reales de operación mediante la metodología mirco-trip. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias, Carrera de Ingeniería Automotriz. Santo Domingo de los Tsáchilas-Ecuador. 2018. p.48 [Consulta: 26 Diciembre 2023]. Disponible en: https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/20099/1/9710_1.David%20Espimbera.pdf
17. **FABELA, Manuel; et al.** Resumen boletines - Instituto Mexicano del Transporte. *Instituto Mexicano del Transporte, Gobierno, gob.mx* [En línea]. 2023 [Consulta: 16 diciembre 2023]. Disponible en: <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=560&IdBoletin=198>
18. **FLACSO.** Constitución de la República del Ecuador dada por la Asamblea Nacional de 1883. *Handle Proxy* [En línea]. 1887. [Consulta: 25 julio 2025]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10469/10500>
19. **GAD RIOBAMBA.** Plan PDyOT 2020 - 2030 - Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2020 - 2030 - Municipio Riobamba. Municipio de Riobamba - Municipio Riobamba [en línea]. 2020. [Consulta: 10 julio 2023]. Disponible en: <https://www.gadmriobamba.gob.ec/index.php/ordenamiento-territorial/plan-pdyot-2020-2030>
20. **GEOINNOVA.** Movilidad sostenible: ¿Cómo fomentarla? [En línea]. 2018. Disponible en: <https://geoinnova.org/blog-territorio/medioambiente-como-fomentar-movilidad-sostenible/> [Consulta: 21 agosto 2023].
21. **GILLESPIE, Thomas.** Fundamentals of Vehicle Dynamics, Revised Edition. *The Mission of SAE International is to advance mobility knowledge and solutions* [En línea]. 2021 [Consulta: 13 julio 2023]. Disponible en: <https://www.sae.org/publications/books/content/r-506/>
22. **GUANUCHE, Denny Javier; et al.** Estudio aerodinámico de un deflector de aire para camiones y su influencia en el consumo de combustible. *Revista Científica y Tecnológica*

- UPSE [en línea]. 2021, 8(1), págs. 25–31 [Consulta: 18 julio 2024]. ISSN 1390-7697. Disponible en: doi:10.26423/rctu.v8i1.557
23. **GUILLCATANDA, Paul & ZAMBRANO, Marcelo.** Análisis y optimización del comportamiento aerodinámico de la carrocería de un bus categoría M3 (interprovincial). [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz. Cuenca - Ecuador. 2019. págs. 48-59. [Consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18381>
 24. **GURUSAMY, Azhaganathan; et al.** "Prediction of Electric Vehicle Driving Range and Performance Characteristics: A Review on Analytical Modeling Strategies With Its Influential Factors and Improvisation Techniques," in IEEE Access, vol. 11, pp. 131521-131548, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3334620.
 25. **IMBAQUINGO, Ivette & OLMEDO, Ingrid.** Análisis del uso de buses eléctricos vs buses a diésel en el servicio de transporte público en Guayaquil, de acuerdo con la Ley de Eficiencia Energética. [En línea]. (Proyecto Integrador) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica Del Litoral Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas. Guayaquil - Ecuador. 2019. págs. 48-59. [Consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/51595>
 26. **INEC.** Anuario de Estadísticas de Transporte, 2022 [En línea]. 2023 [Consulta: 22 septiembre 2023]. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/ESTRA_2022/2022_BOLETIN_ESTRA.pdf
 27. **INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.** *Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 038 Bus Urbano* [En línea]. 2010a. [Consulta: 21 Mayo 2023]. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/http://www.pudeleco.com/files/RTE-038-2.pdf>
 28. **INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS, 2010.** *Fascículo Provincial Chimborazo* [En línea]. [Consulta: 20 Agosto 2023]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/chimborazo.pdf>
 29. **JIMÉNEZ, Gustavo.** Definición de especificaciones de tecnología de autobuses eléctricos para el Área Metropolitana de Guadalajara. *C40 Cities Finance Facility* [En línea]. 2020 [Consulta: 18 julio 2023]. Disponible en: <https://cff-prod.s3.amazonaws.com/storage/files/2csN18nDYTACsRShJYuiNvGVeXuTabwyprzm6rz.pdf>

30. **MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, 2022** *Balance Energético Nacional (BEN), 2021* [En línea]. Quito. Disponible en: www.recursoyenergia.gob.ec
31. **MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS.** Ley Orgánica de Eficiencia Energética. 2024. [En línea]. [Consulta: 17 diciembre 2023]. Disponible en: https://www.recursoyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/12/20190319-S_R_O_449_19_MARZO_LEY-ORGANICA-DE-EFICIENCIA-ENERGETICA.pdf
32. **NAREA, Wilson.** Con apoyo externo se hará Plan de Movilidad Sostenible para Ecuador. El Universo. Noticias de Ecuador y del mundo [en línea]. 2019 [Consulta: 27 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/07/22/nota/7437801/apoyo-externo-se-hara-plan-movilidad-sostenible/>
33. **NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 205:2010.** INEN [en línea]. 2010 [Consulta: 19 julio 2024]. Disponible en: https://www.pasajerosquito.gob.ec/index.php?option=com_docman&view=download&alias=3062-nte-inen-2205-2-vehiculos-automotores-bus-urbano-requisitos&category_slug=anexo-6-normativa-tecnica-ecuatoriana-de-accesibilidad-universal&Itemid=658
34. **OVIEDO, María.** Análisis de rutas y frecuencias de transporte público urbano y su relación con la calidad de servicio para la ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Facultad De Administración De Empresas. Carrera de Ingeniería En Gestión De Transporte. Riobamba-Ecuador. 2017. págs. 80-95. [Consulta: 22 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6766>
35. **PALAGUACHI, Juan; et al.** Redesign Of The Urban Public Transport Network Of The City Of Riobamba, Chimborazo Province [en línea]. 2019 [Consulta: 16 noviembre 2023]. Disponible en: <http://revistas.esPOCH.edu.ec/index.php/mktdescubre/article/view/411/366>
36. **PARRA, Rene.** Inventario Preliminar de las Emisiones de Contaminantes del Aire, de los cantones Ambato, Riobamba, Santo Domingo de los Colorados, Latacunga, Ibarra, Manta, Portoviejo, Esmeraldas y Milagro Proyecto Calidad del Aire III Año Base 2010. 2014
37. **PAUCAR, Gabriela.** Propuesta De Mejoramiento De Rutas Y Frecuencias Del Transporte Público Urbano Para La Ciudad De Riobamba, Provincia De Chimborazo. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Facultad De Administración De Empresas. Carrera de Ingeniería En Gestión De Transporte. Riobamba-Ecuador. 2019. págs. 80-95. [Consulta: 22 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11484>
38. **PEÑA, Gonzalo.** Modelado de un autobús eléctrico urbano y optimización de la estrategia de carga. [En línea]. (Trabajo Fin de Grado) (Pregrado). Universidad Zaragoza. Riobamba-

- Ecuador. 2021. págs. 27-45. [Consulta: 22 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11484>
39. **PEÑALOZA, Andrés & LLIVICURA, Byron.** Análisis de la demanda energética para el recorrido de las líneas de buses con mayor afluencia de pasajeros de la ciudad de Cuenca. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz. Cuenca - Ecuador. 2019. págs. 48-59. [Consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21192>
 40. **PÉREZ, Pablo & QUITO, Christian.** Determinación de los ciclos de conducción de un vehículo categoría M1 para la ciudad de Cuenca. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz. Cuenca - Ecuador. 2018. págs. 48-59. [Consulta: 22 diciembre 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15032>
 41. **PIÑA, Ronal & SISA, Jhonnathan.** Determinación de los ciclos de conducción de un vehículo categoría M1 para la ciudad de Cuenca. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz. Cuenca - Ecuador. 2018. págs. 48-59. [Consulta: 22 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15032>
 42. **QUEVEDO, Angel.** Optimización Mediante Algoritmos Genéticos Del Tren Motriz De Un Bus Eléctrico Para Servicio Urbano En La Ciudad De Riobamba. [En línea]. (Trabajo de graduación) (Maestría). Universidad Del Azuay. Departamento De Posgrados. Cuenca - Ecuador. 2022. págs. 48-59. [Consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11999>
 43. **QUEVEDO, Angel; et al.** Determinación numérica de la demanda de energía en rueda de un autobús de servicio urbano de la ciudad de Riobamba mediante el ciclo real de conducción | Quevedo Ríos, *Polo del Conocimiento* [En línea]. 2022 [Consulta: 18 julio 2024]. Disponible en: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/4833>
 44. **RACELOGIC.** *Grupo Álava Tecnología Industrial* [En línea]. 2023. [Consulta: 5 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.grupoalava.com/ingenieros/productos/velocidad-por-gps-vbox/>
 45. **RODRIGUEZ, Katherin.** “Análisis De Las Rutas, Frecuencias Del Transporte Público Urbano Y El Costo Real Del Pasaje En La Ciudad De Riobamba, Perteneiente Al Cantón Riobamba, Provincia De Chimborazo”. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional De Chimborazo. Facultad De Ingeniería. Escuela De Ingeniería Civil. Riobamba-Ecuador. 2016. págs. 80-95. [Consulta: 22 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11484>

46. **SALVADOR, Juan.** “Análisis Aerodinámico Regional Mediante Técnicas De Cfd De Un Semirremolque Tipo Plataforma Y Su Incidencia Con El Consumo De Combustible.” [En línea]. (Trabajo de Fin de Carrera Titulado) (Maestría). Universidad Internacional SEK. Facultad De Ciencias Ambientales. Quito - Ecuador. 2018. págs. 48-59. [Consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11999>
47. **SAÚL DE LOS SANTOS, José.** Modelo de evaluación para la fabricación de autobuses eléctricos en México y otros países de América Latina. *Repositorio Digital: Inicio* [En línea]. 2022 [Consulta: 9 noviembre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/7e9d3174-01be-4913-aaa1-ee1e4a53659f>
48. **SECRETARÍA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO – SENPLADES.** Plan Nacional de Desarrollo- Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017. [en línea]. 2013 [Consulta: 19 julio 2023]. Disponible en: <http://www.buenvivir.gob.ec>
49. **TORRES, Juan.** Estudio de viabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en la ciudad de Cuenca. [En línea]. (Tesis) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz. Cuenca - Ecuador. 2015. págs. 48-59. [Consulta: 22 diciembre 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15032>
50. **VALENCIA, Luis.** Catálogo FT-BUS-AK8JRSA-T. [En línea]. 2020 [Consulta: 10 octubre 2023]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/515989919/Ft-Bus-Ak8jrsta-t>
51. **VÉLEZ, Susana & VERA, Andrés.** Obtención de los parámetros necesarios para el cálculo de la fuerza en rueda de vehículos eléctricos. [En línea]. (Trabajo de graduación) (Pregrado). Universidad e Azuay. Facultad de Ciencia y Tecnología. Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz. Cuenca - Ecuador. 2015. págs. 48-59. [Consulta: 22 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5739>
52. **VIÑÁN, Alejandro; et al.** Creation of the Vehicle Technical Inspection Centre (CRTV) to Improve Service in the GADM, Riobamba, Province of Chimborazo. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.* [En línea]. 2022 [Consulta: 18 septiembre de 2023]. ISSN 2789-5009. Disponible en: [doi:10.18502/epoch.v2i6.12225](https://doi.org/10.18502/epoch.v2i6.12225)

ANEXOS

ANEXO A: RENTABILIDAD DE LÍNEAS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE EN RIOBAMBA.

Nº	LINEA	No DE VUELTAS AL DIA	No DE BUSES	TIEMPO RECORRIDO /HORA	INGRESO BRUTO	GASTOS DIESEL	GASTOS CHOFER	GASTOS COBRADOR	GASTOS ALIMENTACION	DEPRESIACIÓN(DIA/AÑO)	TOTAL GASTOS	UTILIDADES	GALONES (gatos de diesel /1,75\$ precio del gl)
1	SANTA ANA -BELLAVISTA	8	13	1,23	180	35	25	15	10	19,9	104,9	75,1	20,00
2	24 DE MAYO -BELLAVISTA	8	13	1,23	165	32	25	15	10	19,9	101,9	63,1	18,29
3	SANTA ANITA -CAMAL - MAYORISTA	6	10	1,38	135	32	25	15	10	19,9	101,9	33,1	18,29
4	LICAN-BELLAVISTA	8	9	1,25	195	35	25	15	10	19,9	104,9	90,1	20,00
5	CORONA REAL-BELLAVISTA	6	11	1,41	165	40	25	15	10	19,9	109,9	55,1	22,86
6	MIRAFLORES-BELLAVISTA	7	9	1,29	150	35	25	15	10	19,9	104,9	45,1	20,00
7	INMACULADA-EL ROSAL	6	14	1,55	160	37	25	15	10	19,9	106,9	53,1	21,14
8	YARUQUES-LAS ABRAS	7	14	1,32	165	30	25	15	10	19,9	99,9	65,1	17,14
9	LA LOLITA MERCADO MAYORISTA	6	9	1,44	45	25	25	15	10	19,9	94,9	-49,9	14,29
10	PINOS-SAN ANTONIO	6	8	1,39	48	25	25	15	10	19,9	94,9	-46,9	14,29
11	TERMINAL INTER-MAYORISTA	8	12	1,08	125	27	25	15	10	19,9	96,9	28,1	15,43
12	SAN GERARDO-BATAN	6	9	1,30	120	31	25	15	10	19,9	100,9	19,1	17,71
13	SIXTO DURAN-SAN MIGUEL DE TAPI	6,5	17	1,43	165	34	25	15	10	19,9	103,9	61,1	19,43
14	SAN LUIS -SAN MIGUEL DE TAPI	6	18	1,58	186	40	25	15	10	19,9	109,9	76,1	22,86
15	LICAN- ESPOCH-UNACH	7	10	1,25	135	32	25	15	10	19,9	101,9	33,1	18,29
16	CALPI - LA PAZ	7	10	1,28	120	35	25	15	10	19,9	104,9	15,1	20,00
Total de unidades			186										

ANEXO B: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS HINO AK 500.

AK BUS EURO 3

TRACCIÓN: 4x2

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Grupo Mavesa

MODELO: AK BUS - AKBJRSA

Motor	Especificaciones
Marca / Modelo	HINO J08E UD
Nivel de emisiones	EURO 3
Cilindrada	7.884 cm ³
Potencia	247 Hp @ 2.500 Rpm
Torque máximo	75.4 Kgl-m @ 1.500 Rpm
Nº de cilindros	6 En línea
Sistema de válvulas	OHV - Válvulas
Sistema de combustible	Inyección electrónica - Riel común
Sistema de admisión de aire	Turbo - Intercooler
Distribución	Engranajes

Transmisión	Especificaciones
Marca / modelo	Hino / MF06S
Tipo	Manual
Número de marchas	6 + Reversa
Relación	
1.*	8.189
2.*	5.340
3.*	3.076
4.*	1.936
5.*	1.341
6.*	1.000
Rev.	7.142
Relación del diferencial	4.825 / 37 a 8
Embrague	Mando hidroneumático / Disco seco Ø 380 Mm

Sistema de combustible	Especificaciones
Tipo de combustible	Díesel
Tipo de inyección	Directa
Filtro de combustible	Filtro primario y secundario con retención de agua
Capacidad del tanque	300L / 79,30 Gal

Sistema de lubricación	Especificaciones
Tipo	Lubricación mediante bomba de aceite
Filtro de aceite	Flujo total y Bypass
Capacidad de aceite	13.5 L / 3,56 Gal

Sistema de refrigeración	Especificaciones
Tipo	Presurizado con termostato
Bomba	Bomba centrífuga / radiador con tapa
Tipo embrague	

Mismáticos	Especificaciones
Medidas	295/80 R 22.5 -16
Aro rueda frontal	Metal
Aro rueda posterior	Metal
Material del rin	Acero

Ejes	Especificaciones
Eje delantero	Tipo Viga "I" Elliot Inversa reforzada
Eje posterior	Reducción y Velocidad Sencilla por engranajes hipoides

Dimensiones	Especificaciones	Simbología
Longitud total	11.140 Mm	OL
Ancho total	2.445 Mm	OW
Alto total	2.100 Mm	OH
Distancia entre ejes	5.800 Mm	WB
Voladizo delantero	1.980 Mm	FO
Voladizo posterior	3.350 Mm	RO
Trocha de eje delantero	2.035 Mm	FT
Trocha eje posterior	1.840 Mm	RT
Radio de giro	9.500 Mm	
Espacio de carga útil	N/A	

Pesos y capacidades	Especificaciones
Capacidad del eje delantero	6.500 Kg
Capacidad del eje posterior	9.200kg
Peso bruto vehicular	*14.200 Kg
Peso vacío	4.890 Kg
Capacidad de carga	*9.310 Kg

Suspensión	Especificaciones
Delantera	Ballestas semielípticas con amortiguadores de doble acción y estabilizadores
Posterior	Ballestas semielípticas con amortiguadores de doble acción y estabilizadores
Dirección	Dirección hidráulica con bolas recirculantes
Tipo	Integral

Frenos	Especificaciones
Tipo	100% Aire circuito dual
Servicio Delantero	Tambor Zapatas regulación automática
Posterior	Tambor Zapatas regulación automática
Sistema de control	ABS (control electrónico)
Freno de estacionamiento	De resorte actuando en las ruedas posteriores
Freno auxiliar	Control Electroneumático con restricción a la salida de escape, Retardador electromagnético (opcional)

Estilo de cabina	Especificaciones
Estilo de cabina	N/A
Cinturón de seguridad 3 puntos	N/A
Alternador	24 V / 50 Amp
Batería (2)	12 V c/u
Vidrios eléctricos	N/A
Bloqueo central	N/A
Audio / mp3	N/A
Cámara de retro	N/A
A/C	N/A
Asiento con suspensión	N/A
Neblineros	N/A
PTO	N/A
Opción de color	N/A

Aplicaciones

Distribuidor autorizado para cualquier necesidad

SOPORTE TOTAL
SERVICIO COMPLETO EN POSTVENTA

TALLERES ESPECIALIZADOS

REPUESTOS ORIGINALES AL MEJOR PRECIO

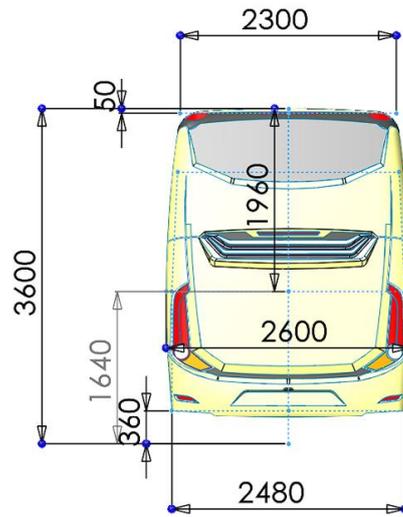
ENDEREZADA Y PINTURA

COBERTURA EN 29 AGENCIAS A NIVEL NACIONAL

1800 MAVESA

6 2 8 3 7 2 grupomavesa.com.ec

ANEXO C: DISEÑO CAD PARA CALCULAR EL ARREA FRONTAL DEL AUTOBÚS HINO AK 500.





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 30/07/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Paúl Alejandro Montúfar Paz
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Mecánica
Carrera: Automotriz
Título a optar: Ingeniero Automotriz
<p style="text-align: center;"> Ing. Paúl Alejandro Montúfar Paz Director del Trabajo de Titulación</p> <p style="text-align: center;"> Ing. Ángel José Quevedo Ríos Asesor del Trabajo de Titulación</p>

