



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO**

**AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**

**DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TEMA:**

**“ANÁLISIS DEL TREN MOTRIZ Y CHASIS DE LAS UNIDADES DEL  
SERVICIO DE TRANSPORTE URBANO EN LA CIUDAD DE IBARRA”**

**AUTOR: LÓPEZ QUINATO A BORIS PAÚL**

**DIRECTOR: ING. ROSERO AÑAZCO RAMIRO ANDRÉS MSc.**

**IBARRA – ECUADOR**

**2022**

## CERTIFICADO

### ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

### CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "Análisis del tren motriz y chasis de las unidades del servicio de transporte urbano en la ciudad de Ibarra" realizado por el señor: López Quinatoa Boris Paúl con número de cédula 100398009-9, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 05 días del mes de diciembre del 2022

Atentamente

  
Ing. Ramiro Rosero MSc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN**  
**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100398009-9		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	López Quinatoa Boris Paúl		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Atuntaqui, Calle Bolívar y 21 de junio		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:bplopezq@utn.edu.ec">bplopezq@utn.edu.ec</a>		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062908-613	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0988995752
<b>DATOS DE LA OBRA</b>			
<b>TÍTULO:</b>	<b>ANÁLISIS DEL TREN MOTRIZ Y CHASIS DE LAS UNIDADES DEL SERVICIO DE TRANSPORTE URBANO EN LA CIUDAD DE IBARRA</b>		
<b>AUTOR:</b>	López Quinatoa Boris Paúl		
<b>FECHA:</b>	05 de Diciembre del 2022		
<b>SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO</b>			
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	PREGRADO	<input type="checkbox"/> POSGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ		
<b>ASESOR/DIRECTOR:</b>	Ing. Rosero Añezco Ramiro Andrés MSc.		

## 2. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 05 días del mes de diciembre del 2022

**AUTOR:**



---

Nombre: López Quinatoa Boris Paúl

Cédula: 100398009-9

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a mi madre Zoila Quinatoa y a mis hermanos, quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida. Gracias a su guía, esfuerzo y dedicación he logrado cumplir con una meta en mi camino como profesional.

**Boris Paúl López Quinatoa**

## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia, quienes siempre han estado a mi lado apoyándome y me han enseñado a ser perseverante, a mi madre por ser mi inspiración y ejemplo a seguir, gracias a sus consejos y gracias por acompañarme en cada momento de mi vida.

**Boris Paúl López Quinatoa**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b>	<b>xv</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	<b>xvi</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xviii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>xix</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>1</b>
<b>1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes	1
1.2. Situación actual	1
1.3. Prospectiva	2
1.4. Planteamiento del problema	3
1.5. Objetivos	3
1.5.1. Objetivo general	3
1.5.2. Objetivos específicos	3
1.6. Alcance	4
1.7. Justificación	4
1.8. Marco legal y reglamentario	5
1.8.1. Constitución de la República del Ecuador	5
1.8.2. Ley orgánica de transporte terrestre tránsito y seguridad vial	6
1.8.3. Norma técnica ecuatoriana	6
1.8.4. Reglamento técnico ecuatoriano	8
1.9. Transporte urbano de pasajeros	9
1.9.1. Clasificación vehicular	9
1.10. Vehículo convencional	10
1.10.1. Motor diésel	11

1.10.2. Ciclos de funcionamiento	11
1.11. Vehículo eléctrico	12
1.11.1. Motor eléctrico	13
1.12. Vehículo híbrido	16
1.12.1. Sistemas de propulsión en paralelo	16
1.12.2. Sistemas de propulsión en serie	17
1.13. Transmision	18
1.13.1. Transmision manual	18
1.13.2. Transmisiones automáticas	19
1.14. Batería	22
1.14.1. Batería níquel- hidruro metálico	22
1.14.2. Batería de ion-litio	22
1.15. Diferencial	23
1.15.1. Partes del diferencial	23
1.16. Neumáticos	24
1.16.1. Identificación del neumático	25
1.17. Chasis	25
1.17.1. Carroceria	26
1.17.2. Sistema de suspensión	27
1.17.3. Sistema de dirección	29
1.17.4. Sistema de frenos	30
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>32</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>32</b>
2.1. Metodología	32
2.2. Caracterización de las rutas de buses de la ciudad de Ibarra	33
2.2.1. Determinación de la pendiente maxima	34
2.3. Caracterización de los buses urbanos de Ibarra	36
2.3.1. Especificaciones técnicas del fabricante	36
2.4. Evaluación de la tasa de ocupación de transporte público	37
2.4.1. Oferta de la capacidad del servicio publico	38
2.4.2. Demanda de pasajeros	38
2.4.3. Franja horaria	40
2.5. Parámetros para cálculos del rendimiento del tren motriz conveccional y eléctrico	40
2.5.1. Selección de neumáticos	41



2.5.2.	Selección del motor	42
2.5.3.	Selección del diferencial	43
2.5.4.	Cálculo velocidad máxima	44
2.5.5.	Capacidad de arranque en pendiente	44
2.5.6.	Potencia de reserva	45
2.5.7.	Potencia para vencer la resistencia al rodamiento	46
2.5.8.	Potencia para vencer la resistencia aerodinámica	47
2.5.9.	Potencia para vencer la resistencia por inercia	48
2.5.10.	Capacidad de ascenso en pendiente	48
2.6.	Selección del paquete de baterías	49
2.6.1.	Potencia de la batería	49
2.6.2.	Autonomía	50
2.7.	Desarrollo del software para el análisis del tren motriz y chasis	51
2.9.1.	Flujograma del proceso de programación	52
2.8.	Estimación consumo de combustible y costos de mantenimiento	57
2.8.1.	Encuesta consumo de combustible y costos de mantenimiento	57
2.8.2.	Consumo de combustible	58
2.8.3.	Costos mantenimiento autobuses urbanos	60
2.8.4.	Mantenimiento por kilometraje	60
2.9.	Consumo de energía y costos de mantenimiento minibús eléctrico	63
2.9.1.	Consumo energético	63
2.9.2.	Rendimiento promedio de energía	64
2.9.3.	Consumo energético por día	64
2.9.4.	Costo energía electrica	65
2.9.5.	Costos de mantenimiento	65
2.10.	Análisis comparativo	65
	<b>CAPÍTULO III</b>	<b>67</b>
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>67</b>
3.1.	Análisis de las rutas	67
3.1.1.	Distancia y tiempo por ruta	67
3.1.2.	Frecuencia por ruta	68
3.2.	Análisis de la flota vehicular	70
3.2.1.	Según la marca	70
3.2.2.	Según el modelo	71

3.2.3.	Según el año de fabricación	73
3.2.4.	Según la carrocería	73
3.3.	Análisis de la tasa de ocupación	74
3.3.1.	Análisis de la oferta según su capacidad	75
3.3.2.	Análisis de la demanda de pasajeros	75
3.3.3.	Análisis de la oferta vs la demanda	76
3.4.	Cálculo del tren motriz en el software matlab	78
3.4.1.	Ejecución del software	78
3.5.	Análisis de datos obtenidos del tren motriz	82
3.5.1.	Análisis de datos obtenidos modelo Chevrolet FTR	82
3.5.2.	Análisis de datos obtenidos modelo Chevrolet CHR 7.2	82
3.5.3.	Análisis de datos obtenidos modelo Volkswagen 17-210	83
3.5.4.	Análisis de datos obtenidos modelo Mercedes Benz	84
3.5.5.	Análisis de datos obtenidos modelo Hino AK	84
3.5.6.	Verificación de resultados	85
3.6.	Consumo de combustible	86
3.6.1.	Consumo promedio por modelo	86
3.7.	Rendimiento combustible	88
3.7.1.	Rendimiento promedio por modelo	88
3.8.	Análisis costos de mantenimiento	92
3.8.1.	Análisis financiamiento autobús	94
3.9.	Propuesta de conjunto tren motriz y chasis	95
3.9.1.	Análisis minibús convencional	95
3.9.2.	Análisis minibús eléctrico	103
3.9.3.	Análisis tasa de ocupación en horas pico y horas valle	110
3.10.	Análisis comparativo	110
<b>CAPÍTULO IV</b>		<b>114</b>
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>114</b>
4.1.	Conclusiones	114
4.2.	Recomendaciones	115
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>116</b>
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA NÚM.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>1.1</b>	Aspectos Fundamentales NTE INEN 22:05 2010	7
<b>1.2</b>	Especificaciones de clase para vehículos M2 y M3	10
<b>2.1</b>	Valores de Pendientes de la Ciudad de Ibarra	35
<b>2.2</b>	Especificaciones Técnicas	36
<b>2.3</b>	Promedio Diario Estimado de Pasajeros	39
<b>2.4</b>	Franja Horaria	40
<b>2.5</b>	Mantenimiento 4 000 km	60
<b>2.6</b>	Mantenimiento 8 000 km	61
<b>2.7</b>	Mantenimiento 40 000 km	61
<b>2.8</b>	Mantenimiento 100 000 km	62
<b>2.9</b>	Mantenimiento 200 000 km	62
<b>3.1</b>	Distancia y Tiempo de Las Rutas de la Ciudad	68
<b>3.2</b>	Frecuencia de Salida de Cada Ruta	69
<b>3.3</b>	Marca Vehículos de la Coop. San Miguel de Ibarra	70
<b>3.4</b>	Marca Vehículos de la Coop. 28 de Septiembre	71
<b>3.5</b>	Caracterización Modelos de la Flota Vehicular	72
<b>3.6</b>	Caracterización Según el Año de Fabricación	73
<b>3.7</b>	Carrocerías de la Flota Vehicular	74
<b>3.8</b>	Oferta del Servicio Público	75
<b>3.9</b>	Demanda vs Oferta	77
<b>3.10</b>	Análisis de Datos Autobús Chevrolet FTR	82
<b>3.11</b>	Análisis de Datos Autobús Chevrolet CHR	83
<b>3.12</b>	Análisis de Datos Autobús Volkswagen 17-210	83
<b>3.13</b>	Análisis de Datos Autobús Mercedes Benz OF 1721	84
<b>3.14</b>	Análisis de Datos Autobús Hino AK	85
<b>3.15</b>	Verificación de Resultados	85
<b>3.16</b>	Consumo de Combustible Promedio	88
<b>3.17</b>	Rendimiento Promedio de Combustible	91

<b>3.18</b>	Costo de Combustible Autobús	91
<b>3.19</b>	Costo de Mantenimiento Preventivo Autobús	92
<b>3.20</b>	Costo Mantenimiento Correctivo Autobús	94
<b>3.21</b>	Costo de Mantenimiento Total Autobús	94
<b>3.22</b>	Amortización del Financiamiento Autobús	94
<b>3.23</b>	Especificación Técnica Minibús Convencional	96
<b>3.24</b>	Análisis de Datos Minibús Convencional	97
<b>3.25</b>	Rendimiento Promedio y Costo de Combustible Minibús Convencional	98
<b>3.26</b>	Costo de Mantenimiento Preventivo Minibús Convencional	98
<b>3.27</b>	Costo de Mantenimiento Correctivo Minibús Convencional	100
<b>3.28</b>	Costo de Mantenimiento Total Minibús Convencional	100
<b>3.29</b>	Amortización del Financiamiento Minibús	101
<b>3.30</b>	Análisis Oferta vs Demanda Minibús Convencional	102
<b>3.31</b>	Ficha Técnica Minibús Eléctrico	103
<b>3.32</b>	Análisis de Datos Minibús Eléctrico	104
<b>3.33</b>	Consumo Energético por Día	105
<b>3.34</b>	Tarifa de Recarga para Vehículos Eléctricos	106
<b>3.35</b>	Costo de Recarga Mensual	106
<b>3.36</b>	Costo de Mantenimiento Minibús Eléctrico	107
<b>3.37</b>	Amortización del Financiamiento Minibús Eléctrico	108
<b>3.38</b>	Análisis Demanda vs Oferta Minibús Eléctrico	109
<b>3.39</b>	Análisis Comparativo	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA NÚM.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
1.1	Autobús urbano	9
1.2	Ciclos de funcionamiento	12
1.3	Motor de Imanes Permanentes	13
1.4	Motor de Reluctancia Conmutada	14
1.5	Motor de Inducción Asíncrona	15
1.6	Motor Síncrono	15
1.7	Sistema de Propulsión en Paralelo	16
1.8	Sistema de Propulsión en Serie	17
1.9	Componentes de la Caja de Cambios	18
1.10	Transmisión Continuamente Variable (CVT)	19
1.11	Transmisión Toroidal a Bajas y Altas Velocidades	20
1.12	Partes de la Transmisión Epicycloidal	21
1.13	Diagrama Esquemático de un EV con Transmisión de 2 Velocidades	21
1.14	Configuración de las Celdas de Ion-Litio	23
1.15	Partes del Diferencial	24
1.16	Identificación del Neumático	25
1.17	Chasis de Autobús	26
1.18	Carrocería Autoportante	27
1.19	Suspensión Mecánica	28
1.20	Suspensión Neumática	29
1.21	Componentes Dirección Electrohidráulica	30
1.22	Esquema Freno Regenerativo	31
2.1	Flujograma del proceso	32
2.2	Rutas del Cantón Ibarra	33
2.3	Calculo de Pendientes de la Ciudad de Ibarra	34
2.4	Esquema de Distribución de Asientos	38
2.5	Nomenclatura del Neumático	41
2.6	Flujograma de Programación para Ingreso de Datos	52

<b>2.7</b>	Flujograma de Programación Ingreso de Datos Caja de Cambios	53
<b>2.8</b>	Flujograma de Programación Ingreso de Datos del Motor	54
<b>2.9</b>	Flujograma de Programación Ingreso de Datos del Diferencial	55
<b>2.10</b>	Flujograma de Programación, Cálculos Capacidad de Arranque y Ascenso	56
<b>3.1</b>	Promedio Estimado de Pasajeros por Ruta	76
<b>3.2</b>	Ingreso Parámetros Generales	78
<b>3.3</b>	Ingreso Datos del Neumático	79
<b>3.4</b>	Ingreso Datos de la Caja de Cambios	79
<b>3.5</b>	Ingreso Datos del Motor	80
<b>3.6</b>	Ingreso Datos del Diferencial	80
<b>3.7</b>	Parámetros Calculados	81
<b>3.8</b>	Verificación de Resultados	81
<b>3.9</b>	Consumo Promedio por Modelo de la Cooperativa " San Miguel de Ibarra"	86
<b>3.10</b>	Consumo Promedio por Modelo de la Cooperativa " 28 de Septiembre"	87
<b>3.11</b>	Rendimiento Promedio por Modelo de la Cooperativa " San Miguel de Ibarra"	89
<b>3.12</b>	Rendimiento Promedio por Modelo de la Cooperativa " 28 de Septiembre"	90

## ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
2.1	Pendiente	34
2.2	Carga sugerida	41
2.3	Radio dinámico	42
2.4	Potencia estimada del motor	42
2.5	Relación de paso del diferencial	43
2.6	Velocidad máxima	44
2.7	Capacidad de arranque en pendiente	44
2.8	Potencia de reserva	45
2.9	Potencia para vencer la resistencia al rodamiento	46
2.10	Velocidad aparente	46
2.11	Potencia para vencer la resistencia aerodinámica	47
2.12	Factor de altitud	47
2.13	Potencia para vencer la resistencia por inercia	48
2.14	Capacidad de ascenso en pendiente	48
2.15	Potencia de la batería	49
2.16	Autonomía	50
2.17	Tamaño de muestra	57
2.18	Consumo de combustible	58
2.19	Consumo promedio por modelo	58
2.20	Rendimiento promedio por modelo	59
2.21	Consumo energético	63
2.22	Rendimiento promedio de energía	64
2.23	Consumo energético por día	64
2.24	Costo energía eléctrica	65

**ÍNDICE DE ANEXOS**

<b>ECUACIÓN NÚM.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
1.	Oficio Movidelnor-EP	121
2.	Formato Encuesta Parte 1	123
3.	Formato Encuesta Parte 2	124
4.	Artículo Científico	125



## RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo realizar un “Análisis del tren motriz y chasis de las unidades del servicio de transporte urbano en la ciudad de Ibarra” con la finalidad de proporcionar a los directivos y propietarios de las cooperativas de transporte directrices que permitan realizar una correcta selección de las unidades al momento de renovarlas. El desarrollo del tema de investigación se encuentra dividido por capítulos, el capítulo I se orienta en la problemática relacionada a la forma inadecuada de selección de las unidades de transporte urbano basándose en preferencias personales o del gremio sin considerar un análisis técnico, las condiciones de operación de la ciudad y la tasa de ocupación existente, lo que conlleva al uso de unidades sobredimensionadas ocasionando un desempeño ineficiente, mayor consumo energético, incremento de costo de operación, se detalla una recopilación bibliográfica basada en los elementos del tren motriz y chasis convencionales y nuevas tecnologías utilizadas en vehículos eléctricos. En el capítulo II se presenta las etapas de la metodología utilizada para cumplir con los objetivos planteados, primero se obtuvo información referente a las rutas de la ciudad y flota vehicular proporcionada por Movidelnor, posteriormente se realizó el análisis del rendimiento del tren motriz mediante programación en el software Matlab y una evaluación de la tasa de ocupación para analizar el rendimiento del chasis de la flota actual y de los modelos propuesto, además se recolecto información de fuentes bibliográficas, locales comerciales y se aplicó una encuesta dirigida a los conductores de las unidades con lo que se obtuvo información necesaria para la estimación de los costos de mantenimiento, consumo de energético, rendimiento promedio y precio de adquisición de las unidades actuales y de los minibuses propuestos en esta investigación. El capítulo III muestra los resultados y discusión demostrando que los modelos de autobuses actuales de la ciudad se encuentran sobredimensionados y sobrepasan los requerimientos técnicos y condiciones geográficas de operación, utilizando una potencia de 123,49 kW, para una capacidad de ascenso de 46,10% obteniendo un 24,10% de sobredimensionamiento en relación con la pendiente máxima ocasionando mayores costos de operación, la tasa de ocupación total posee un 22,50% de la capacidad circulando las unidades mayormente vacías y posicionando como mejor opción el uso de minibuses urbanos otorgando beneficios ambientales y económicos.

## ABSTRACT

The objective of this research project is to carry out an "Analysis of the drive train and chassis of the urban transport service units in the city of Ibarra" in order to provide the directors and owners of the transport cooperatives with guidelines that allow carrying out a correct selection of the units at the time of renewing them. The development of the research topic is divided into chapters, chapter I focuses on the problem related to the inadequate way of selecting urban transport units based on personal or union preferences without considering a technical analysis, the operating conditions of the city and the existing occupancy rate, which leads to the use of oversized units causing inefficient performance, higher energy consumption, increased operating cost, a bibliographic compilation based on the elements of the conventional powertrain and chassis is detailed, and new technologies used in electric vehicles. Chapter II presents the stages of the methodology used to meet the stated objectives, first information regarding the routes of the city and the vehicle fleet provided by Movidelnor was obtained, later the analysis of the performance of power train was carried out through programming in the Matlab software and an evaluation of the occupancy rate to analyze the performance of the chassis of current fleet and of the proposed models, in addition, information was collected from bibliographic sources, commercial premises and a survey was applied to the drivers of the units with which obtained the necessary information for the estimation of maintenance costs, energy consumption, average performance and acquisition price of the current units and the minibuses proposed in this investigation. Chapter III shows the results and discussion showing that the current city bus models are oversized and exceed the technical requirements and geographical conditions of operation, using a power of 123.49 kW, for a climbing capacity of 46.10 % obtaining a 24.10% oversizing in relation to the maximum slope causing higher operating costs, the total occupancy rate has 22.50% of the capacity circulating the mostly empty units and positioning the use of urban minibuses as the best option providing environmental and economic benefits.

## INTRODUCCIÓN

En el servicio de transporte urbano existen vehículos que no han sido seleccionados de manera adecuada basando su elección en criterios erróneos sin considerar la naturaleza del transporte, condiciones de operación y sus aspectos técnicos, lo que conlleva a un excesivo uso de potencia, alto consumo de combustible y elevados costos de mantenimiento generando pérdidas económicas y baja eficiencia, por tal motivo se considera importante y necesario realizar investigaciones que contribuyan con el gremio de transportistas en la selección correcta del tren motriz y chasis adecuados (Samaniego Castro & Silva Ortiz, 2009). Mediante una óptima selección del tren motriz y chasis de las unidades de transporte, se podrá obtener un desempeño eficiente cumpliendo con las necesidades de sus usuarios y con las condiciones de operación, que permitan aprovechar toda su capacidad.

Según (Andrade Freire, 2015) quien realizó una metodología para mejorar la selección del tren motriz y chasis para las unidades de servicio de transporte urbano, concluye que en la cooperativa 28 de septiembre de la ciudad de Ibarra, se utiliza como vehículo principal para transporte de pasajeros el modelo FTR 32M, el cual corresponde a un vehículo de carga, por tal motivo este modelo posee un chasis más rígido y una relación de transmisión diferente con un torque más elevado, ocasionando un mayor consumo de combustible e incrementando la cantidad de emisiones contaminantes.

En consecuencia, al problema planteado se tiene como objetivo principal analizar el rendimiento del tren motriz y chasis de las unidades del servicio de transporte urbano en la ciudad de Ibarra con la finalidad de determinar la idoneidad de las unidades actuales o si estas se encuentran sobredimensionadas para las necesidades de la ciudad, además de aportar con una propuesta de un conjunto tren motriz y chasis que mejore la eficiencia de la tasa de ocupación y el rendimiento del sistema de transporte.

# CAPÍTULO I

## 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. ANTECEDENTES

La selección de las unidades que brindan el servicio de transporte urbano suele realizarse de una forma inadecuada apoyándose en preferencias personales o del gremio y recomendaciones comerciales, sin considerar las condiciones de operación de la ciudad y los componentes del tren motriz y chasis, debido a la falta de conocimiento se suelen utilizar unidades sobredimensionadas lo cual desfavorece su operación y servicio, ocasionando un desempeño ineficiente.

“Una selección técnica de los vehículos y en particular del tren motriz, conlleva a un conjunto de beneficios significativos para cualquier empresa de autotransporte, sobre todo si se pretenden adquirir diversas unidades” (Cervantes de Gortari & Rafael Morales, 2006). El estudio del tren motriz en conjunto con el chasis de las unidades de transporte urbano es de suma importancia, para una apropiada selección de estos, de ellos depende el funcionamiento eficiente y adecuado del vehículo, además de proporcionar la seguridad necesaria a pasajeros y peatones para brindar un óptimo servicio a la ciudadanía.

Se han realizado investigaciones en relación con el tren motriz y chasis (Serres A & Valdivia P, 2001). se enfocó en la selección del tren motriz y chasis de unidades de transporte público mediante un sistema interactivo de cálculo utilizando parámetros de relación del diferencial, relación de la transmisión y la potencia del motor, el cual cumpla con las condiciones de operación de la ruta.

### 1.2. SITUACIÓN ACTUAL

El análisis del tren motriz y chasis de las unidades de transporte es un estudio que se ha realizado con anterioridad en diferentes países como México en donde se desarrolló métodos

de selección del tren motriz mediante la investigación de sus elementos y condiciones de operación (Zavala Ponce & Rafael Morales, 1999).

En el Ecuador se ha desarrollado investigaciones similares en lo referente al análisis del tren motriz y chasis, por ejemplo, en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador se ha realizado un estudio, basado en una metodología para mejorar la selección de los elementos que conforman el tren motriz y chasis de las unidades de transporte urbano (Andrade Freire, 2015). Con el objetivo de garantizar un servicio de transporte eficiente y acorde a las necesidades de la población.

(Cevallos Tayán , 2017) se enfoca en el “análisis del rendimiento del tren de potencia en vehículos que brindan el servicio de taxis en la ciudad de Ibarra” con la finalidad de establecer relaciones de transmisión óptimas, las cuales permitan obtener una marcha eficaz para un mejor desempeño del vehículo automotor.

### **1.3. PROSPECTIVA**

La ciudad de Ibarra cuenta con dos cooperativas de servicio de transporte urbano: “La Cooperativa 28 de septiembre” cuenta con 160 unidades, y “La Cooperativa San Miguel de Ibarra” cuenta con 127 unidades (Cazares García & Cuasapaz Celin , 2018). Con esto se puede notar el número de vehículos que brinda el servicio de transporte urbano en la ciudad de Ibarra, los cuales se tiene la hipótesis que fueron seleccionados sin tomar en cuenta un análisis técnico.

Una parte esencial al momento de obtener un vehículo para uso del servicio de transporte es realizar un análisis de eficiencia de los componentes del tren motriz y chasis, además de aspectos de condición de operación. Mediante esta investigación se busca analizar el rendimiento del tren motriz y chasis de las unidades del servicio de transporte urbano de la ciudad de Ibarra determinando la idoneidad de estos y su buen funcionamiento respecto a requerimientos y necesidades de la ciudad.

## **1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la ciudad de Ibarra, en la actualidad existen unidades de servicio de transporte urbano que no han sido seleccionadas de la manera correcta debido a que no se realiza un análisis de eficiencia de los aspectos técnicos como el tren motriz y el chasis los cuales deben realizarse al vehículo con anterioridad a su obtención.

La falta del análisis en aspectos técnicos y aspectos relacionados a condiciones de operación ocasiona problemas de desempeño al no aprovechar la verdadera capacidad del transporte de servicio urbano por la subutilización o por el sobredimensionamiento, incrementando el consumo de combustible, emitiendo mayor contaminación y en algunos casos ocasionando accidentes de tránsito al no contar con elementos adecuados.

## **1.5. OBJETIVOS**

### **1.5.1. OBJETIVO GENERAL**

Analizar el rendimiento del tren motriz y chasis de las unidades del servicio de transporte urbano en la ciudad de Ibarra, bajo las condiciones de funcionamiento y requerimientos técnicos establecidos en la normativa.

### **1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar el rendimiento del tren motriz y chasis de las unidades de transporte urbano en la ciudad de Ibarra.
- Determinar la idoneidad de las unidades de transporte urbano para brindar un óptimo servicio basado en un análisis técnico.
- Proponer un conjunto chasis y tren motriz en función de las necesidades de la ciudad de Ibarra.

## **1.6. ALCANCE**

El presente trabajo de investigación pretende determinar la idoneidad de las unidades que brindan el servicio de transporte urbano en la ciudad de Ibarra, mediante el análisis de rendimiento del conjunto tren motriz, chasis y culminará con la propuesta de un conjunto tren motriz y chasis en función de las necesidades de la ciudad. El resultado de esta investigación estará orientado a entidades que regulan y operan el servicio de transporte público, logrando conseguir beneficios a la hora de renovar sus unidades y planificar el sistema de transporte público.

## **1.7. JUSTIFICACIÓN**

“La movilidad es una necesidad básica en la sociedad actual, y nos permite acceder al trabajo, a la educación, a los hospitales, al ocio y a otros servicios” (Balboa la Chica , Mesa Mendoza , & Suárez Falcón , 2014). Por tanto, el transporte urbano se constituye como un factor primordial el cual debe proporcionarse de una manera eficaz y segura.

El plan nacional de desarrollo en la política 5.6 menciona “Promover la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, la protección de la propiedad intelectual, para impulsar el cambio de la matriz productiva mediante la vinculación entre el sector público, productivo y las universidades” (SENPLADES, 2017, pág. 83). Este estudio de investigación se enfoca en el análisis del tren motriz y chasis de las unidades del servicio de transporte urbano en la ciudad de Ibarra, para lo cual se identificará el rendimiento del conjunto tren motriz y chasis, determinando la idoneidad de sus unidades para brindar un servicio eficiente en criterios de consumo de combustible y emisiones.

El transporte urbano es una de las principales fuentes de desplazamiento en la ciudad de Ibarra, por lo cual se debe realizar una selección de sus unidades de transporte de tal forma que se aproveche su verdadera capacidad, seleccionándolos de una manera adecuada mediante un análisis de los requerimientos técnicos y la tasa de ocupación del sistema, sin sobredimensionarlos evitando la mala utilización de estos, mejorando el rendimiento del

vehículo. Contribuyendo con el objetivo 3 del plan nacional de desarrollo 2017-2021- Toda una Vida que menciona “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones” (SENPLADES, 2017, pág. 64). Mediante el análisis técnico de los elementos del tren motriz y chasis se podrá seleccionar un conjunto tren motriz, chasis adecuado para el servicio de transporte urbano, utilizando menor cantidad de combustible y reduciendo niveles de contaminación ambiental.

El tema de investigación se involucra en el objetivo 3.12 del plan nacional para el buen vivir 2013-2017 que menciona “Garantizar el acceso a servicios de transporte y movilidad incluyentes, seguros y sustentables a nivel local e internacional” (SENPLADES, 2013, pág. 151). Se busca optimizar el servicio de transporte para garantizar un servicio de movilidad digno, sostenible y eficiente, mejorando la calidad de vida de la población.

## **1.8. MARCO LEGAL Y REGLAMENTARIO**

Para la elaboración del presente trabajo de investigación es necesario estudiar y analizar, la legislación, normativa y reglamentación vigente, las cuales establecen los lineamientos referentes al servicio de transporte público de nuestro país.

### **1.8.1. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR**

La constitución de la república del Ecuador menciona:

#### **1.8.1.1. Capítulo cuarto: Régimen de Competencias**

Artículo 264.- “Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley: planificar, regular y controlar el tránsito y el transporte público dentro de su territorio cantonal” (CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, ART 264, 2008, pág. 86).



## **1.8.2. LEY ORGÁNICA DE TRANSPORTE TERRESTRE TRÁNSITO Y SEGURIDAD VIAL**

Artículo 3.- “El estado garantizara que la prestación del servicio de transporte público se ajuste a los principios de seguridad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, continuidad y calidad, con tarifas socialmente justas” (LOTTTSV, 2008, pág. 2).

### **1.8.2.1. Título IV: De los Tipos de Transporte Terrestre**

Artículo 71.- “Las especificaciones técnicas y operacionales de cada uno de los tipos de transporte terrestre, serán aprobadas por la Comisión Nacional del Transporte Terrestre, Transito y Seguridad Vial y constarán en los reglamentos correspondientes” (LOTTTSV, 2008, pág. 21)

### **1.8.2.2. Título VI: De la Homologación de los Medios de Transporte**

Artículo 86.- Los medios de transporte empleados en cualquier servicio definido en esta ley, deberán contar obligatoriamente con el certificado de homologación conferido por la Agencia Nacional de Tránsito, de acuerdo con el reglamento específico, el mismo que deberá prever las acciones de control y sanción sobre quienes no acaten la presente disposición (LOTTTSV, 2008, pág. 27)

## **1.8.3. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

### **1.8.3.1. NTE INEN 2205:2010, Vehículos automotores bus urbano, requisitos**

La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2205:2010, vehículos automotores, bus urbano. Tiene como propósito definir los requisitos que debe cumplir el bus de transporte urbano, con el objetivo de brindar un nivel de seguridad y confort adecuado a los usuarios. La norma además

establece como buses urbanos, los que poseen una capacidad para transportar pasajeros igual o mayor a 60 y minibús con una capacidad menor a 60 pasajeros.

### Requisitos específicos:

Los requisitos mínimos de seguridad. Los buses y minibuses urbanos deben cumplir con el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034 en la que se menciona “Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores”.

Los aspectos fundamentales del bus y minibús urbano son: motor, chasis, carrocería, organización externa e interna, detalles exteriores e interiores y elementos de seguridad.

**Tabla 1.1** Aspectos Fundamentales NTE INEN 22:05 2010

Requisitos específicos	Ensayos
Especificaciones del motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Arrancabilidad en pendiente</li> <li>b. Capacidad de aceleración en plano</li> <li>c. Emisiones contaminantes</li> <li>d. Posición del motor</li> <li>e. Alimentación de combustible</li> <li>f. Sistema de escape</li> </ul>
Especificaciones del chasis	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Chasis de piso bajo</li> <li>b. Chasis de piso alto</li> <li>c. Sistema de dirección</li> <li>d. Sistema de suspensión</li> <li>e. Sistema de frenos</li> <li>f. Transmisión</li> <li>g. Neumáticos</li> </ul>
Especificaciones de la carrocería	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Material de la estructura</li> <li>b. Parachoques frontal y posterior</li> <li>c. Ventanas laterales</li> <li>d. Parabrisas y lunetas</li> <li>e. Unión chasis-carrocería</li> <li>f. Superficie del piso</li> </ul>
Organización externa	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Dimensiones externas del vehículo</li> <li>b. Voladizos</li> <li>c. Ventanas conductor-usuarios</li> <li>d. Puertas de servicio</li> <li>e. Salidas de emergencia</li> <li>f. ventilación</li> </ul>
Organización interna	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Dimensiones internas del vehículo</li> <li>b. Entrada y salida de pasajeros</li> <li>c. Panel de conducción</li> <li>d. Mamparas de protección</li> <li>e. Aviso de parada</li> <li>f. Área para personas en silla de ruedas</li> </ul>

Fuente: (NTE INEN 2205; 2010, pág. 6 a 18)

En la tabla 1.1, podemos observar los aspectos y requisitos fundamentales que debe cumplir el autobús de transporte urbano, obteniendo ciertas especificaciones del motor como: buena arrancabilidad con una pendiente del 25% cumpliendo con la norma UNE 26 358, optima capacidad de aceleración permitiendo alcanzar una velocidad mínima de 40 km/h, iniciando en condición de reposo y cumplir con el control de emisiones contaminantes. Además, en las especificaciones del chasis debe constar los sistemas de suspensión, dirección y frenos adecuados que brinde seguridad a los usuarios y la certificación del fabricante garantizando que fue creado para uso exclusivo de transporte de pasajeros.

#### **1.8.3.2. NTE INEN 1323: 2009, Vehículos automotores, Carrocería de buses requisitos**

La norma INEN 1323: 2009, “Específica los parámetros generales que se debe cumplir para el diseño, fabricación y ensamblaje de carrocerías de buses, sean estas de fabricación nacional o extranjera” (NTE INEN 1323: 2009, pág. 2).

### **1.8.4. REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO**

#### **1.8.4.1. El reglamento RTE INEN 038: 2010, Bus Urbano, tiene como objetivo:**

Establecer los requisitos que deben cumplir los buses y minibuses de transporte de pasajeros con la finalidad de proteger la vida y la seguridad de las personas, el ambiente y la propiedad, y prevenir practicas engañosas que puedan inducir a error a los fabricantes o usuarios de vehículos para el transporte urbano. (REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 038: 2010, pág. 2)

#### **Requisitos**

Los buses y minibuses urbanos deben cumplir con los requisitos especificados en las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN 2205, 1669, 1323, 1155 vigentes.

## 1.9. TRANSPORTE URBANO DE PASAJEROS

El autobús es un tipo de vehículo asignado para el transporte que permite la fácil movilidad de las personas, desplazándolos a diferentes destinos, cubriendo las necesidades de toda la ciudadanía. Los autobuses son una parte indispensable del transporte público, por su bajo costo económico y por la variedad de rutas que transitan.



**Figura 1.1** Autobús urbano  
(Carrocerias IMCE, s.f, pág. 1)

### 1.9.1. CLASIFICACIÓN VEHICULAR

existen diferentes tipos de autobús pertenecientes a brindar el servicio de transporte público, siendo del modelo tipo M3 las unidades que se utilizan para transitar en la ciudad de Ibarra (Silva Reinoso, 2015).

Los vehículos utilizados para el servicio de transporte público deben cumplir con la normativa NTE INEN 2656, en la cual se establece la clasificación de los vehículos diseñados para circulación terrestre, identificados y seleccionados mediante características de diseño y

uso tales como la capacidad de carga, peso máximo admisible, capacidad de pasajeros y peso bruto vehicular.

**Minibús urbano:** es un vehículo destinado al transporte público de menor tamaño que un autobús, posee una longitud de 8 metros con capacidad de transporte menor a 60 pasajeros. Su tamaño favorece la circulación en vías estrechas.

**Autobús urbano:** es un autobús considerado de tamaño y capacidad mediano, posee una longitud de entre 8 a 11 metros con capacidad para transportar de 60 a 80 personas.

Los autobuses y minibuses se encuentran incluidos en la subcategoría M2 y M3 cuya capacidad sea superior a 22 plazas y cuyo PBV es superior a 5000 kg, los cuales se clasifican de acuerdo con la siguiente tabla:

**Tabla 1.2** Especificaciones de clase para vehículos M2 y M3

<b>Clase</b>	<b>Características</b>
Clase I	Vehículos diseñados y fabricados con áreas para pasajeros de pie.
Clase II	Vehículos diseñados y fabricados para el transporte de pasajeros sentados y diseñados para el transporte de pasajeros de pie en el pasillo o en un área que no sobrepase el espacio previsto para dos asientos dobles.
Clase III	Vehículos diseñados y fabricados exclusivamente para el transporte de pasajeros sentados.

**Fuente:** (NTE INEN 2656:2016, pág. 7)

## 1.10. VEHÍCULO CONVENCIONAL

(Muñoz Domínguez & Rovira de Antonio, 2015) menciona lo siguiente:

Un vehículo convencional o atmosférico adquiere la energía mecánica de un motor de combustión interna, el cual es un conjunto de elementos mecánicos que permiten obtener energía mecánica a partir de la energía térmica de un fluido de trabajo.

La energía mecánica que se produce por la combustión de los hidrocarburos es transmitida hacia los diferentes elementos que conforman el tren motriz y transformada en desplazamiento.

### 1.10.1. MOTOR DIÉSEL

“El motor diésel es un motor de combustión interna alternativo de encendido por compresión (Castillejo Calle , 2014). En el cual la combustión de la mezcla se inicia por la autoignición del combustible luego de ser inyectado en la cámara de combustión, son considerados los más eficientes sobrepasando un rendimiento del 50% y emiten menos gases contaminantes a la atmosfera.

### 1.10.2. CICLOS DE FUNCIONAMIENTO

Los motores diésel existen de dos y cuatro tiempos, a continuación, se va a detallar el motor diésel de cuatro tiempos:

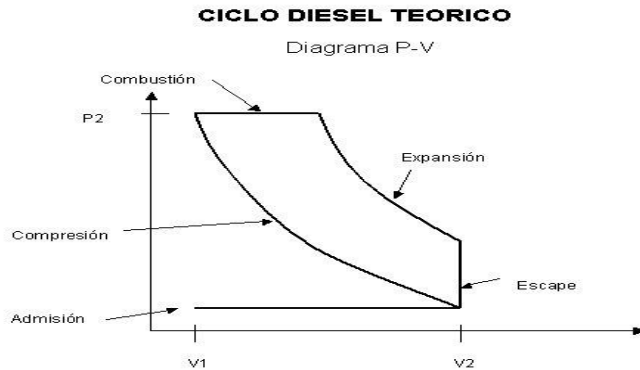
**Admisión:** la primera carrera que realiza el pistón es la carrera de admisión, el pistón desciende hacia el punto muerto inferior, aspirando aire por la abertura de la válvula de admisión y posteriormente introduciéndolo en la cámara de combustión.

**Compresión:** Durante la segunda carrera del pistón, las válvulas se encuentran cerradas y el pistón se mueve hacia el punto muerto superior comprimiendo el aire. La temperatura se incrementa a medida que las moléculas de aire son comprimidas hasta 850 °C.

**Combustión:** Cuando el pistón llega a la parte superior en la carrera de compresión, se inyecta combustible dentro de la cámara de combustión a una presión de 1500 bares mezclándolo con el aire caliente comprimido, ocasionando la combustión.

**Expansión:** En la tercera carrera del pistón conocida como la fase de trabajo, el pistón es forzado a bajar debido a la combustión (Conesa, JA, 2011). De este modo se transmite la fuerza longitudinal hacia el cigüeñal por medio de la biela, transformándolo en un movimiento circular uniforme o conocido como fuerza de giro.

**Escape:** durante la cuarta carrera el pistón vuelve a realizar el recorrido hacia el punto muerto superior, con lo cual las válvulas de escape se abren y los gases son conducidos hacia la atmósfera.



**Figura 1.2** Ciclos de funcionamiento  
(Consuegra Pacheco, 2007, pág. 9)

## 1.11. VEHÍCULO ELÉCTRICO

Este sistema se caracteriza por utilizar exclusivamente un motor eléctrico para generar el movimiento del vehículo, el cual emplea la energía eléctrica del paquete de baterías recargable para ello. Esta nueva tecnología se presenta como una alternativa confiable en cuanto a medio de transporte urbano se refiere (Martínez Gutiérrez, 2013). puesto que estos utilizan energía renovable como su fuente principal.

Con el uso de un autobús eléctrico se obtiene una reducción de hasta el 75% en las emisiones de dióxido de carbono (Seyed Mostafa, Mohammad Hosein , & Seyyed Reza, 2019). Este potencial de reducción de la contaminación se puede dar si se cumple con la utilización de fuentes de energía renovable.

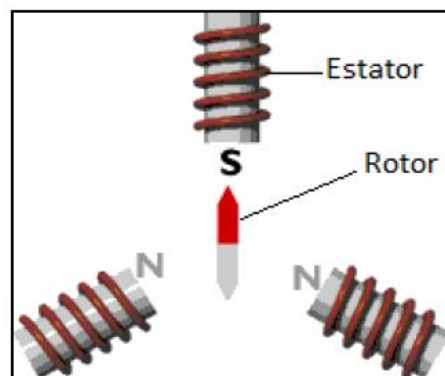
La adopción de un vehículo eléctrico contribuirá en una disminución importante de la cantidad de emisiones contaminantes emitidas hacia la atmosfera (Mounce & Nelson, 2019). Considerándose como una fuente principal a través de la cual se mejorará la sostenibilidad del transporte. La autonomía de estos vehículos dependerá de la capacidad de las baterías y las distintas formas de recargarlas.

### 1.11.1. MOTOR ELÉCTRICO

Los motores eléctricos se encuentran muy desarrollados en la rama de la industria automotriz, estos convierten la energía eléctrica en energía mecánica (Secundino, González, & Rivas, 2009). Utilizan la energía eléctrica que se encuentra almacenada en una batería recargable para brindar la tracción al vehículo convirtiéndose en un medio de transporte más amigable con el medio ambiente, estos motores pueden ser de corriente alterna (AC) o corriente continua (DC), cuentan con pares elevados a bajas velocidades y a altas velocidades su par es reducido.

#### 1.11.1.1. MOTOR DE IMANES PERMANENTES (DC)

Este tipo de motor cuenta con un rotor de imanes permanentes, lo que elimina la necesidad de tener un bobinado y escobillas en el rotor (Díaz Tituaña , 2019). El par de rotación es generado mediante la interacción del campo magnético producido por el rotor y el bobinado del estator. Este tipo de motor proporciona las siguientes ventajas: alta densidad de potencia, peso reducido, bajo costo de mantenimiento, buena disipación térmica y potencia constante. De igual manera posee ciertas desventajas como: elevado coste de fabricación y reducción de la eficiencia a elevadas velocidades.



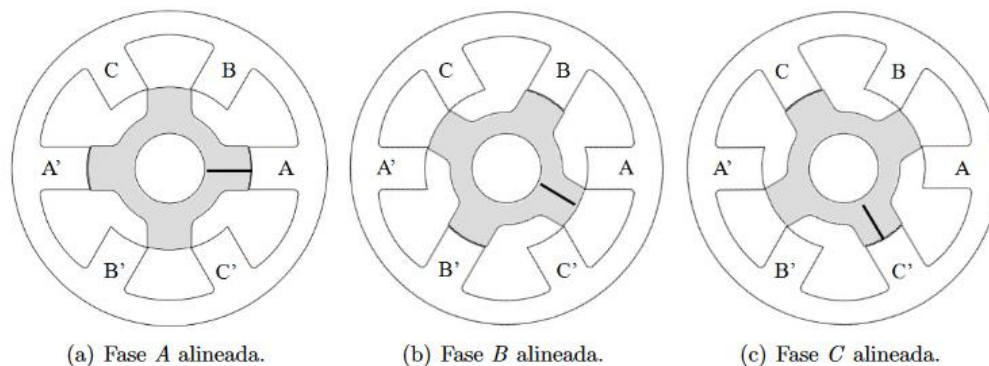
**Figura 1.3** Motor de Imanes Permanentes  
(Chuquiana Cunalata , 2014, pág. 33)



En la figura 1.3 se detalla la estructura interna que posee el motor de imanes permanentes, conformado por un elemento fijo como el estator y un elemento en movimiento como el rotor, los cuales generan el par de rotación requerido para movilizar al vehículo.

#### 1.11.1.2. MOTOR DE RELUCTANCIA CONMUTADA (DC)

Este tipo de motor cuenta con elevada densidad de potencia, produce alto par a bajas velocidades, alcanza altas velocidades y posee un diseño robusto, cuenta con polos dobles salientes uno ubicado en el estator y otro en el rotor. Es considerada como una maquina rotativa que no utiliza escobillas ni imanes permanentes puesto que el rotor no es de material magnético. Su principal desventaja es que no pueden operar directamente con fuentes CA y DC, se debe utilizar de manera obligatoria el empleo de un controlador electrónico.

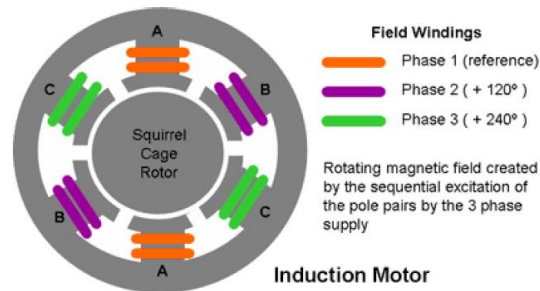


**Figura 1.4** Motor de Reluctancia Conmutada  
(Aguado Rojas , 2012)

#### 1.11.1.3. MOTOR DE INDUCCIÓN ASINCRÓNICA (AC)

El paso de corriente se lleva a cabo mediante la inducción electromagnética. El estator es considerado como el devanado principal porque en este se encuentran ubicadas las bobinas inductoras, estas bobinas son trifásicas y se encuentran con un desfase de  $120^\circ$ . Para su uso en vehículos híbridos y eléctricos se necesita de velocidad variable por lo tanto se utiliza un dispositivo que permita variaciones de velocidad. En este caso se debe convertir la DC de las baterías en AC mediante un inversor de voltaje. Entre sus ventajas encontramos alta

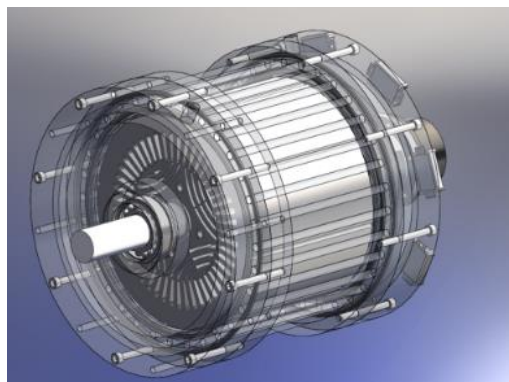
eficiencia, bajo costo, bajo ruido y vibraciones, posee un par constante, su principal desventaja es una baja densidad de potencia y bajo par en el arranque.



**Figura 1.5** Motor de Inducción Asincrónica  
(Cuesta Capellan , 2017, pág. 25)

#### 1.11.1.4. MOTOR SÍNCRONO (AC)

Este tipo de motores puede ser de flujo axial o radial, sin embargo, los más empleados son los de flujo radial. estos tipos de motores cuentan con un imán en la parte del rotor y con bobinas desfasadas a  $120^\circ$ . Los motores de flujo axial pueden instalarse en cada rueda del autobús transmitiendo de manera directa el movimiento del motor hacia los neumáticos. Cabe recalcar que los motores síncrono y asíncrono son empleados en vehículos eléctricos e híbridos.



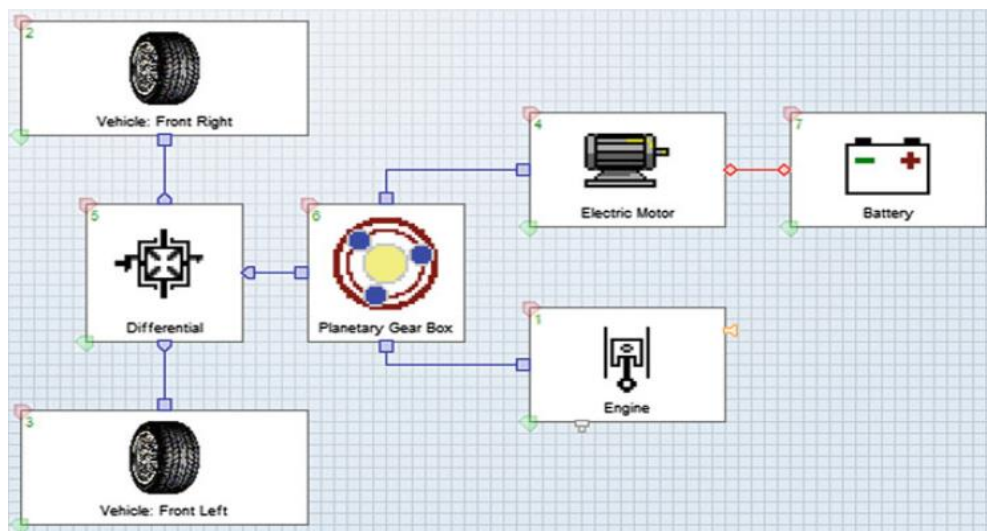
**Figura 1.6** Motor Síncrono  
(Veiga Laborde , 2013, pág. 91)

## 1.12. VEHÍCULO HÍBRIDO

En los últimos años se ha presentado una gran preocupación por el cuidado del medio ambiente, lo que ha dado paso a la creación de nuevas tecnologías y fuentes de energía para la propulsión de vehículos (Chele Sancan , 2017). Existe un sistema de propulsión que trabaja netamente con un motor eléctrico, además nuevos sistemas de propulsión que consisten en la combinación de un motor eléctrico y un motor de combustión interna, este nuevo sistema se lo ha denomina híbrido y su principal objetivo es disminuir las emisiones contaminantes y el consumo de combustible.

### 1.12.1. SISTEMAS DE PROPULSIÓN EN PARALELO

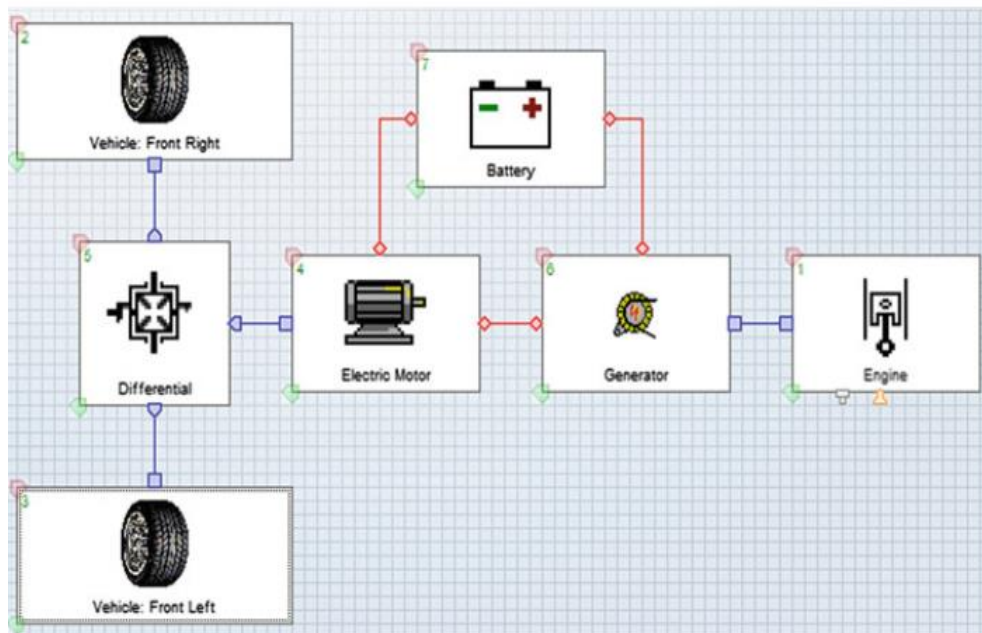
En el sistema de propulsión en paralelo el motor de combustión y el motor eléctrico trabajan conjuntamente, pero están conectados a la transmisión de forma independiente (Grütter, 2014). En esta configuración el motor eléctrico proporciona potencia durante la detención y el avance también hace la función de generador para poder recargar las baterías o se las recarga mediante el freno regenerativo, en cambio a velocidades altas o de autopista el vehículo recibe la propulsión únicamente del motor de combustión interna.



**Figura 1.7** Sistema de Propulsión en Paralelo  
(Ovidiu Varga , Iclodean , & Mariasiu , 2016, pág. 15)

### 1.12.2. SISTEMAS DE PROPULSIÓN EN SERIE

En este sistema de propulsión el motor diesel estimula al generador y luego envía la energía hacia el motor eléctrico el cual utiliza la corriente eléctrica que se ha generado para arrancar las ruedas del vehículo, todo este proceso reduce la eficiencia del grupo de transmisión aproximadamente entre un 10% y 15%. En el caso de un viaje de larga distancia el motor de combustión interna debe compensar las pérdidas de energía, por ello, el sistema híbrido en serie posee entre un 20% y 30% menor eficiencia que el sistema en paralelo (Ovidiu Varga , Iclodean , & Mariasiu , 2016). En esta configuración existen dos métodos para cargar las baterías el primero se produce mediante el motor convencional y el segundo mediante el freno regenerativo.



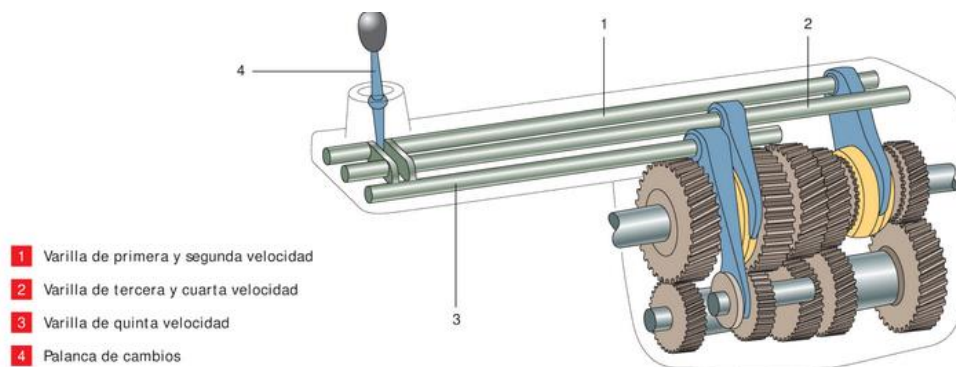
**Figura 1.8** Sistema de Propulsión en Serie  
(Ovidiu Varga , Iclodean , & Mariasiu , 2016, pág. 14)

## 1.13. TRANSMISION

Es el elemento encargado de transferir el par adecuado para vencer las fuerzas estáticas, las resistencias de avance y dar movimiento al vehículo (Galarza Villafuerte & Pérez Basantes, 2014). Las transmisiones se clasifican en manuales y automáticas.

### 1.13.1. TRANSMISION MANUAL

Este elemento actúa como un multiplicador o desmultiplicador al modificar el número de revoluciones que serán transmitidas hacia las ruedas brindando mayor torque o mayor potencia según el requerimiento del vehículo.



**Figura 1.9** Componentes de la Caja de Cambios  
 (Borja, Fenoll, & De Herrera, 2009, pág. 43)

En la figura 1.9 podemos observar una transmisión manual compuesta por sincronizados, horquillas y selectores de accionamiento, controlados por el conductor por medio de la palanca de mando, con la cual puede seleccionar la marcha adecuada de acuerdo con las condiciones que posee el terreno y las necesidades de conducción.

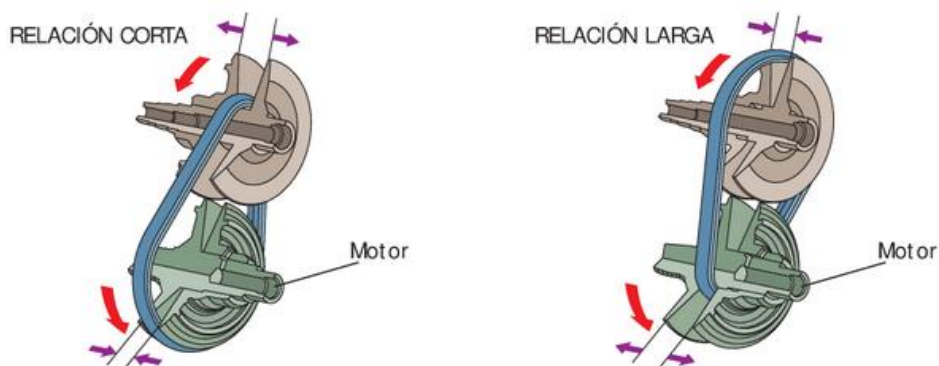
La transmisión con disposición longitudinal es utilizada mayormente en vehículos pesados de tracción trasera, al no incorporar al eje de tracción en su interior necesita de un eje de transmisión el cual pueda accionar al diferencial y brindar el movimiento hacia las ruedas.

### 1.13.2. TRANSMISIONES AUTOMÁTICAS

Este sistema posee varias relaciones de transmisión, los cambios de velocidad se determinan de manera automática, seleccionando la mejor relación de potencia o torque que requiere el vehículo por medio de un tren epicicloidal y un sistema de mando hidráulico, electrónico o electrohidráulico permitiendo un mejor desempeño que las trasmisiones convencionales. El principal inconveniente en nuestro medio es la escaza mano de obra capacitada para realizar el mantenimiento.

#### 1.13.2.1. TRANSMISIÓN CONTINUAMENTE VARIABLE (CVT)

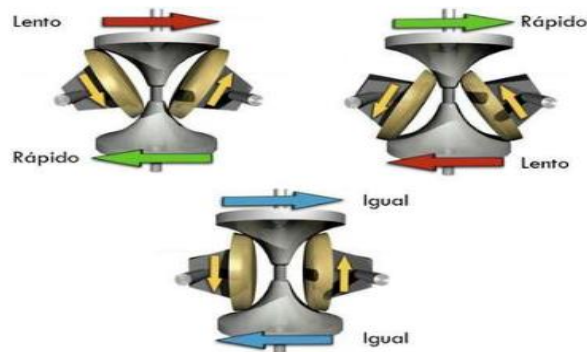
La transmisión continuamente variable se caracteriza específicamente por poseer varias relaciones de transmisión que permiten mantener el torque máximo del motor, obteniendo una mayor eficiencia de funcionamiento y rendimiento. Este sistema cuenta con una polea conductora y una polea conducida que permiten obtener una mejor relación de transmisión para cada velocidad lo cual produce una reducción de entre el 10% y 15 % del consumo de combustible.



**Figura 1.10** Transmisión Continualmente Variable (CVT)  
(Borja, Fenoll, & De Herrera, 2009, pág. 67)

### 1.13.2.2. CVT TOROIDAL

Este sistema está compuesto por rodillos y discos con lados cóncavos, los cuales son controlados por el sistema hidráulico. En este caso la transmisión toroidal posee un torque elevado e incluso puede duplicarse al utilizar dos unidades en línea (Díaz Tituaña , 2019). Cabe mencionar que este sistema necesita de un tipo lubricante especial compuesto por hidrogeno, benceno y carbón, necesario para garantizar la conservación y durabilidad de los elementos internos.

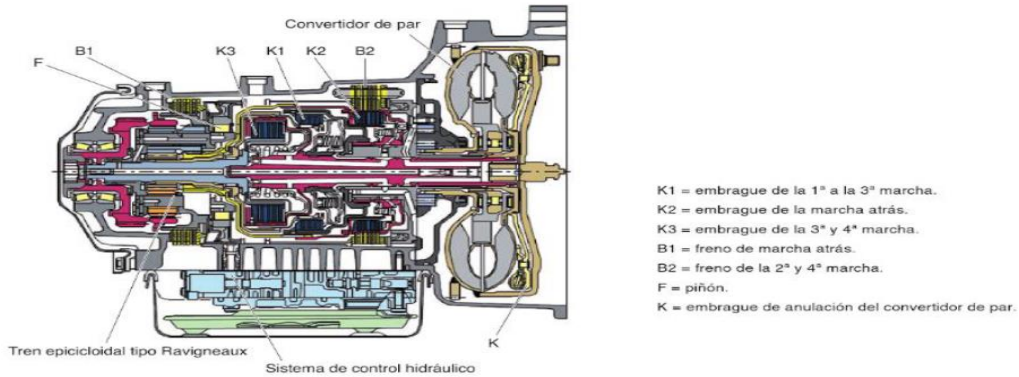


**Figura 1.11** Transmisión Toroidal a Bajas y Altas Velocidades  
(Barrera Hinojosa & Maldona Montalvo, 2013)

### 1.13.2.3. TRANSMISIÓN EPICICLOIDAL

En tipo de transmisión está conformada por trenes epicicloidales, estos elementos son los encargados de determinar las distintas relaciones de transmisión según la velocidad deseada por el conductor. Este sistema posee un accionamiento controlado electrónicamente el cual está conformado por las siguientes partes: sensor de posición del pedal, sensor de velocidad, electroválvulas, un sistema de mando electrohidráulico y una unidad de control electrónica.

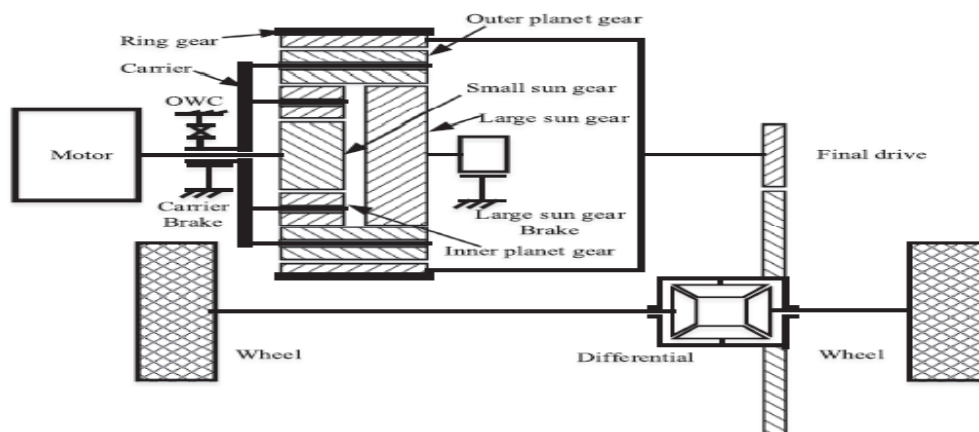




**Figura 1.12** Partes de la Transmisión Epicycloidal  
 (Ferrer & Checa , 2010, pág. 149)

#### 1.13.2.4. TRANSMISIÓN AUTOMÁTICA DE 2 VELOCIDADES

La transmisión de 2 velocidades fue desarrollada principalmente para ser utilizada en vehículos eléctricos brindando una mayor eficiencia global de la transmisión, así como también de ampliar el rango de conducción limitado para el almacenamiento de energía (Tian , Ruan , Zhang , Wu, & Walker , 2018). Este tipo de transmisión posee un menor costo de producción además son utilizadas en el servicio de transporte urbano en unidades como volvo 7900 eléctrico logrando un desempeño satisfactorio.



**Figura 1.13** Diagrama Esquemático de un EV con Transmisión de 2 Velocidades  
 (Tian , Ruan , Zhang , Wu, & Walker , 2018)



## **1.14. BATERÍA**

Las baterías son el componente clave para los autobuses híbridos y eléctricos, pues de ellas dependen ciertos factores fundamentales como la autonomía, vida útil, tiempo de carga y precio. Cabe mencionar que la autonomía es el número de kilómetros que pueden recorrerse durante el ciclo de descarga de las baterías. Las baterías han evolucionado de manera notable gracias a las nuevas tecnologías iniciando con las baterías de plomo-ácido o níquel-hierro, hasta la de iones de litio la cual ha conseguido aumentar más de 12 veces su autonomía.

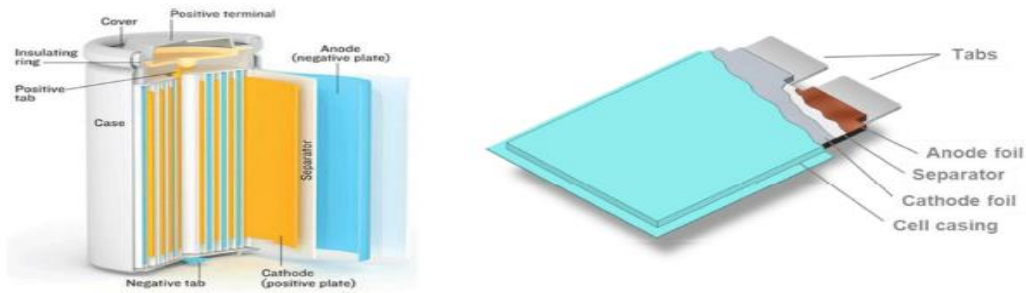
### **1.14.1. BATERÍA NÍQUEL- HIDRURO METÁLICO**

La batería de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) se constituye como una batería con tecnología avanzada pues posee alta densidad de energía y es más amigable con el medio ambiente (Viera Pérez, 2003). Esta batería consta de hidróxido de níquel positivo (ánodo) en donde se almacena el hidrógeno, hidruro metálico negativo (cátodo) y láminas de separación de nylon. Esta tecnología posee ciertas ventajas como: precio bajo, mejor vida útil en relación con la batería plomo-ácido y estabilidad térmica, de igual manera posee ciertas desventajas como: alta auto-descarga, baja eficiencia y pérdida de un 20% de su capacidad (Ogura & Kolhe, 2017).

### **1.14.2. BATERÍA DE ION-LITIO**

La batería de ion-litio posee mayor potencial electroquímico y proporciona mayor capacidad de almacenamiento de energía, brindando características de alta densidad de energía, alta potencia específica, baja auto-descarga, y mayor longevidad llegando a tener decenas de miles de ciclos de carga y descarga. Estas singularidades hacen que este tipo de batería sea el mejor candidato para ayudar a la movilidad sostenible obteniendo vehículos eléctricos e híbridos con gran autonomía y amigables con el medio ambiente. La celda de la batería está constituida por el cátodo, ánodo, electrolito y separador, durante la carga los iones de litio se mueven desde el cátodo hasta el ánodo para esto se utilizan varios óxidos de litio como: óxido

de litio y cobalto, óxido de litio y manganeso, fosfato de litio y hierro, óxido de litio y níquel (Zubi, Dufo López, Carvalho, & Pasaoglu, 2018).



**Figura 1.14** Configuración de las Celdas de Ion-Litio (Zubi, Dufo López, Carvalho, & Pasaoglu, 2018)

## 1.15. DIFERENCIAL

El mecanismo diferencial permite el giro de las ruedas motrices a distintas velocidades (Hidalgo Escudero & Tenelanda Velema, 2013). Este elemento es fundamental para el adecuado funcionamiento del vehículo, actúa incrementando o disminuyendo la velocidad de rotación de cada una de las ruedas motrices para mantener la estabilidad adecuada al tomar una curva.

### 1.15.1. Partes del diferencial

El diferencial está constituido por los siguientes elementos:

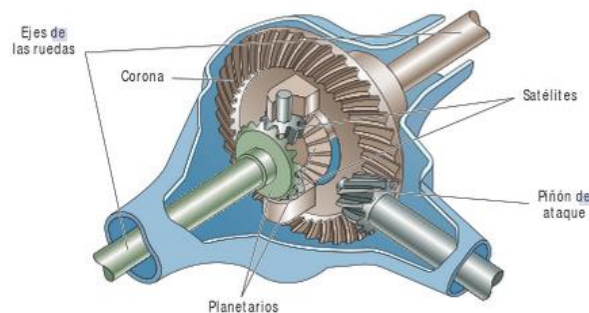
**Piñón cónico:** este elemento recibe el movimiento proveniente del eje de transmisión y lo envía hacia la corona.

**Corona:** es un elemento que consta con un gran número de dientes helicoidales, transmite el movimiento hacia los satélites para realizar la desmultiplicación.

Satélites: poseen como misión principal aumentar o reducir la velocidad de los planetarios en una trayectoria de giro.

Planetarios: estos elementos van acoplados a los semiejes y transmiten la velocidad angular hacia las ruedas para dar el movimiento al vehículo.

El movimiento que recibe del eje de transmisión ingresa directamente hacia el piñón cónico, el cual lo envía a la corona para posteriormente pasar hacia los satélites y realizar la desmultiplicación. Los componentes satélites y planetarios tienen como misión principal transmitir la velocidad angular hasta las ruedas para dar movimiento al vehículo.



**Figura 1.15** Partes del Diferencial  
(Borja, Fenoll, & De Herrera, 2009, pág. 119)

Las relaciones en el eje posterior del vehículo por lo general son: de 3.5:1 a 6:1 y en vehículos con mayor peso vehicular hasta de 10:1. Por medio de la relación de paso del diferencial se puede determinar la reducción del movimiento que es transmitido hacia las ruedas motrices.

## 1.16. NEUMÁTICOS

Los neumáticos se constituyen como un elemento principal de contacto con la superficie de la carretera, influyen directamente sobre el comportamiento y rendimiento del vehículo (Paucar Ortega & Delgado Tacuri, 2015). Es el elemento encargado de brindar la adherencia adecuada en la frenada, deslizamiento e imperfecciones de la carretera con lo cual asegura una óptima seguridad tanto como para conductores y transeúntes.





**Figura 1.17** Chasis de Autobús  
(Grupo Mavesa, 2022, pág. 1)

El chasis cama baja fue implementado en autobuses con el propósito de facilitar el ingreso y salida de los usuarios sin ningún tipo de inconvenientes, principalmente en personas con discapacidad y personas consideradas de tercera edad. Este sistema consiste en transformar las gradas de ingreso y salida en rampas de fácil acceso.

### **1.17.1. CARROCERIA**

Es la estructura conformada por planchas y piezas metálicas ligadas entre sí, formando el armazón, con el propósito de recibir en su interior pasajeros, además define la forma, diseño y apariencia del autobús. La carrocería de autobús debe cumplir con la normativa NTE INEN 1323, en la cual se establecen parámetros del diseño y fabricación con la finalidad de obtener un habitáculo más adecuado para proteger a los pasajeros.



**Figura 1.18** Carrocería Autoportante  
(Villafuerte Buñay, 2017, pág. 144)

Para este tipo de estructura metálica se utiliza acero galvanizado y laminado según la norma ASTM A 36, empleado principalmente por sus características técnicas, los perfiles más utilizados son tubo cuadrado y tubo rectangular. La carrocería con chasis independiente es el sistema más antiguo empleado en los vehículos, está conformado por un chasis independiente a la carrocería, su acoplamiento se realiza por medio de soldadura y tornillos (Aranda Pazmiño & Dután Amay, 2009). Su estructura está formada por largueros y travesaños, unidos mediante remaches, soldadura o tornillos. Destinados principalmente para el transporte de personas o mercadería.

### **1.17.2. SISTEMA DE SUSPENSIÓN**

El sistema de suspensión al formar parte de la seguridad activa del vehículo debe de funcionar de manera óptima por distintos tipos de terrenos brindando confort y absorbiendo con flexibilidad las irregularidades de la carretera (Dominguez, 2011). Este sistema garantiza que el vehículo se mantenga estable y absorbiendo los esfuerzos verticales, longitudinales y transversales de la carrocería.

### 1.17.2.1. SUSPENSIÓN MECÁNICA

Este tipo de suspensión es la más sencilla, de fácil montaje, robusta y brinda una adecuada estabilidad al autobús. La suspensión rígida facilita la sujeción entre el eje y el chasis actuando de soporte y unión, pero requieren de un mantenimiento adecuado de engrase y limpieza constante. Este sistema está constituido por los siguientes elementos mecánicos: ballestas, horquillas, muelles helicoidales, barra estabilizadora, amortiguadores y neumáticos (Álvarez Castillo, 2018). En el servicio de transporte de pasajeros por lo general se utiliza la suspensión tipo rígida tanto en la parte delantera como en la parte posterior, puesto que el chasis debe resistir una mayor carga.



**Figura 1.19** Suspensión Mecánica  
(Dominguez, 2011, pág. 197)

### 1.17.2.2. SUSPENSIÓN NEUMÁTICA

En la actualidad el sistema de suspensión neumática es la más evolucionada tecnológicamente pues permite suplir ciertas carencias del sistema mecánico tales como: adaptar a la carrocería a diferentes alturas en función de las necesidades del terreno y de la marcha, adapta la suspensión y la amortiguación a la estructura de la carretera y a la manera de conducir (Dominguez, 2011). Este sistema se diferencia al sistema mecánico porque se sustituyen elementos como las ballestas, el muelle y la barra de torsión por un fuelle o cojín de aire, el cual proporciona las siguientes ventajas: reducción de frecuencias oscilatorias,

elevado confort de manejo, mayor capacidad de amortiguación y reducción de la resistencia a la rodadura.



**Figura 1.20** Suspensión Neumática  
(Dominguez, 2011, pág. 277)

### **1.17.3. SISTEMA DE DIRECCIÓN**

El sistema de dirección es un mecanismo de guiado que permite orientar las ruedas directrices del vehículo de acuerdo con las necesidades del conductor, proporciona un control y estabilidad direccional preciso para realizar maniobras de trazado de curvas y evasión de obstáculos a altas y bajas velocidades (Flores Guzmán & Remache Chimbo, 2014) trabaja en conjunto con el sistema de suspensión consiguiendo confortabilidad, precisión y seguridad.

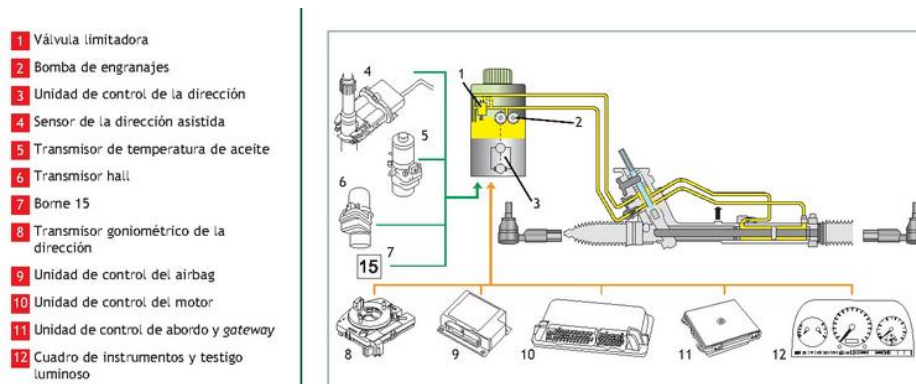
#### **1.17.3.1. DIRECCIÓN HIDRÁULICA**

La dirección hidráulica es muy utilizada en la actualidad debido a la desmultiplicación que posee otorgando mayor control, suavidad y sensibilidad al conductor, este sistema se basa en acoplar un mecanismo de dirección simple a un circuito hidráulico accionado mediante una bomba hidráulica (Chafra Taquina & Salinas Mejia , 2012). Los elementos que conforman el sistema de dirección son: deposito, bomba hidráulica, caja de dirección, tubería de presión, válvula distribuidora, cilindro de asistencia, columna de dirección y rotulas.



### 1.17.3.2. DIRECCIÓN ELECTROHIDRÁULICA

La dirección electrohidráulica o EHPS (Electro-Hidraulic Powered Steering) es un avance tecnológico de la dirección hidráulica, en la cual se utiliza un motor eléctrico como fuerza de asistencia para mover la bomba hidráulica, un sensor de dirección asistida, una unidad de control que gestiona las señales de entrada y salida (Aucancela Reino & Criollo Guamán, 2016). En este sistema la asistencia se produce solamente cuando es necesaria y cambia en función de la velocidad de giro del volante y de la marcha del vehículo, además proporciona ciertas ventajas como: incremento del confort, ahorro de combustible, mejor seguridad activa, optimiza y simplifica el número de componentes.



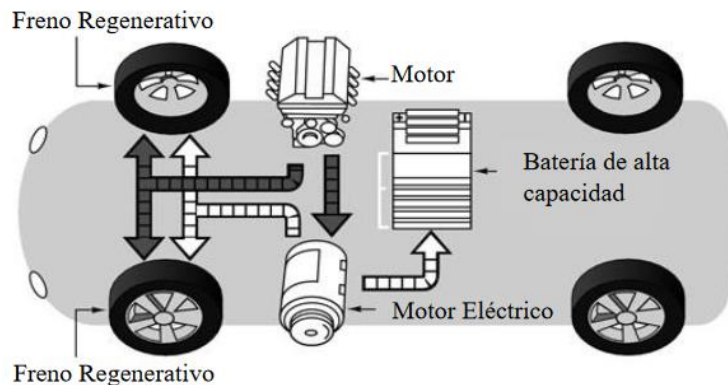
**Figura 1.21** Componentes Dirección Electrohidráulica (Dominguez, 2011, pág. 332)

### 1.17.4. SISTEMA DE FRENOS

El sistema de frenos integra la seguridad activa del vehículo y es sin duda la más importante para garantizar la seguridad del conductor y los pasajeros, tiene como objetivo principal anular o disminuir progresivamente la velocidad del vehículo, estabilizar la velocidad o mantener inmóvil el vehículo (Velasteguí Carrillo, 2015). Este sistema ha evolucionado en sus componentes, como también en la forma de accionamiento (mecánico, hidráulico, neumático) siendo cada vez más rápidos y efectivos.

### 1.17.4.1. FRENO REGENERATIVO

El freno regenerativo o KERS (sistema de recuperación de energía cinética), es un sistema que permite disminuir la velocidad del vehículo convirtiendo parte de su energía cinética en energía eléctrica. En el momento en el que el vehículo empieza a desacelerar, el motor eléctrico se activa e invierte su polaridad y empieza a funcionar como un generador eléctrico transformando la energía cinética en electricidad la cual es almacenada en la batería recargándola e incrementando su energía disponible para usarlo en la aceleración (Chávez Romero , 2017). Este sistema de frenos es utilizado principalmente en vehículos híbridos y eléctricos convirtiéndose en una de sus principales características pues de este depende la economía del combustible por ende el incremento de su autonomía como también la reducción de costos de mantenimiento del propio sistema (Díez , Bohórquez , Rodríguez , & Roa, 2009).



**Figura 1.22** Esquema Freno Regenerativo  
(Chávez Romero , 2017, pág. 15)

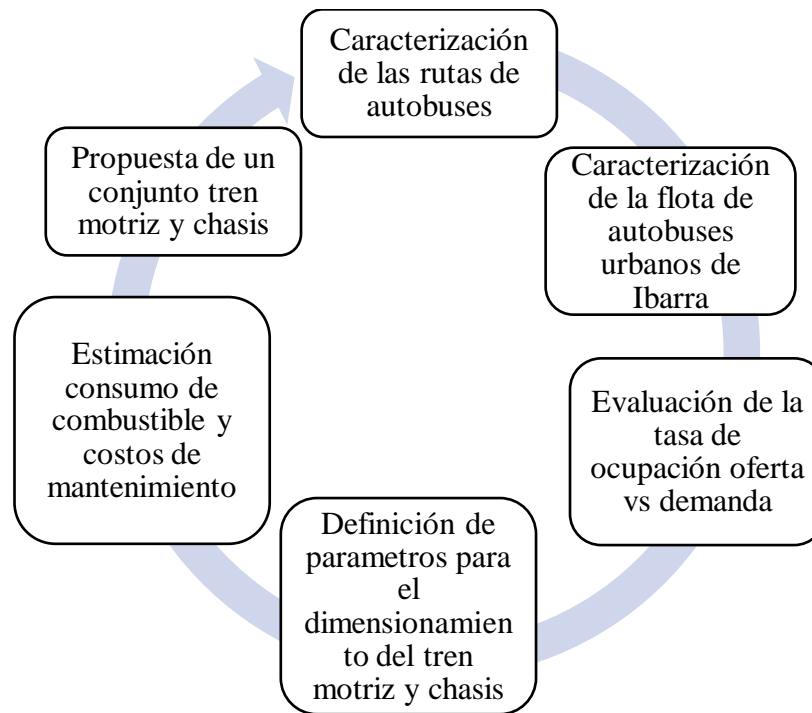
## CAPÍTULO II

### 2. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1. METODOLOGÍA

Con la finalidad de cumplir con los objetivos planteados se procede a determinar las etapas de la metodología. La propuesta para el análisis del rendimiento del tren motriz y chasis de los buses urbanos de la ciudad de Ibarra se basa en analizar la caracterización de la flota vehicular, de las rutas recorridas, la tasa de ocupación, además de las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante tomando en cuenta características y parámetros generales del vehículo.

Para el desarrollo de la propuesta se ha establecido un flujograma que ilustra el proceso y las etapas a seguir con la finalidad de proporcionar mayor facilidad al desarrollo del estudio de investigación.



**Figura 2.1** Flujograma del proceso

## 2.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS RUTAS DE BUSES DE LA CIUDAD DE IBARRA

Para la caracterización de las rutas de transporte urbano, se adquirió la información de fuentes bibliográficas y por medio del plan de movilidad, del cual se obtuvo datos referentes a distancia recorrida, frecuencia y tiempo estimado por vuelta de cada ruta, relevantes para la elaboración de este tema de estudio.

El cantón Ibarra cuenta con veinte y dos rutas de transporte urbano, las cuales están cubiertas por las dos cooperativas de transporte que cumplen la misión principal de brindar una movilidad adecuada y segura a la población. La cooperativa 28 de septiembre provee 13 rutas, mientras que la cooperativa San Miguel de Ibarra brinda 9 rutas (Cazares García & Cuasapaz Celin , 2018).

El número de buses promedio que realiza el recorrido de cada ruta es de 15 unidades, las cuales recorren al día entre 5 y 6 vueltas dependiendo de la ruta de trabajo, se debe tomar en cuenta que los autobuses alternan sus rutas diariamente.

La población cuenta en su totalidad con 287 unidades, las cuales distribuyen sus servicios a todo el cantón Ibarra por distintas rutas con una capacidad máxima de 80 a 90 pasajeros por unidad.



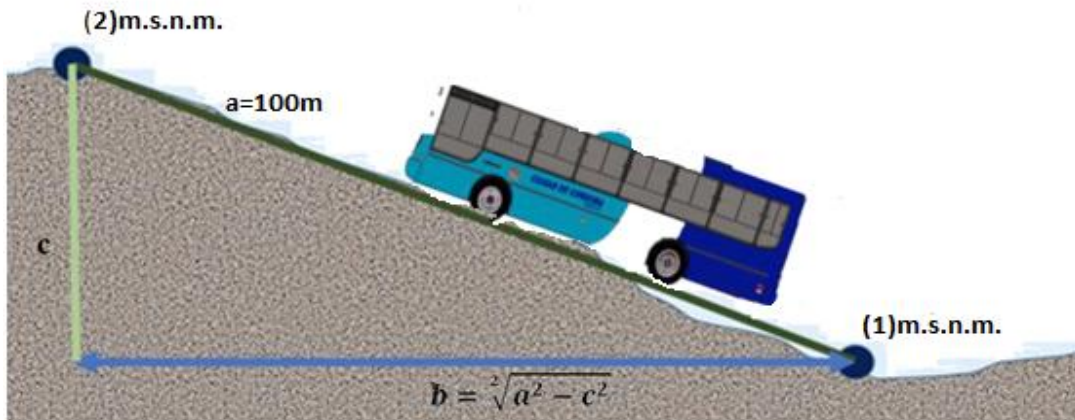
**Figura 2.2** Rutas del Cantón Ibarra  
(Quilumba Delgado , 2015)

### 2.2.1. DETERMINACIÓN DE LA PENDIENTE MÁXIMA

Mediante el análisis de la pendiente máxima que poseen las rutas se podrá determinar la potencia del motor e identificar el rendimiento que brinda el tren motriz de las unidades de servicio.

Para el análisis y cálculo de las pendientes se utilizó un GPS mediante el cual se obtuvo las alturas geográficas indispensables. Para este cálculo se debe conocer el punto 1 y punto 2 en metros sobre el nivel del mar, dichos puntos estarán separados por una distancia de 100 metros, mediante la diferencia entre las alturas del punto 1 y punto 2 conoceremos la distancia y utilizando la ecuación de Pitágoras podremos establecer el valor de la pendiente máxima que existe en cada ruta.

$$\text{pendiente} = \frac{c}{b} * 100\% \quad [2.1]$$



**Figura 2.3** Calculo de Pendientes de la Ciudad de Ibarra

En la figura 2.3, podemos identificar los puntos indispensables utilizados para determinar la pendiente crítica o máxima de las rutas brindadas por las cooperativas de servicio de transporte urbano.

A continuación, se presenta la tabla 2.1, en donde se ilustra las pendientes máximas que posee cada ruta de la ciudad siendo la ruta Naranjito la de mayor pendiente con 21% y la ruta Pugacho-Santa Teresita la de menor pendiente con 7%.

**Tabla 2.1** Valores de Pendientes de la Ciudad de Ibarra

N.-	RUTA	MSN	MSN	c(m)	b(m)	PENDIENTE (%)
		MIN.	MAX.			
1	Tanguarín-Aduana	2269	2287	18	101	18
2	Arcángel-San Cristóbal	2481	2500	19	95.66	20
3	Milagro - Yahuarcocha	2223	2232	9	100.24	9
4	Chorlaví- La Victoria	2254	2267	13	91.04	13
5	Caranqui- Aduana	2320	2332	12	101.67	12
6	Carmen- Bellavista	2349	2362	13	102.86	13
7	Santa Rosa- Los Ceibos	2384	2398	14	96.33	15
8	Naranjito	2656	2677	21	101.92	21
9	Aloburo	2320	2335	15	98.87	15
10	Palmas- Los Ceibos	2295	2306	11	95.86	12
11	Azaya- La Campiña	2286	2302	16	97.56	17
12	Pugacho- Santa Teresita	2250	2257	7	99.75	7
13	Católica-Alpachaca	2184	2194	10	90.94	11
14	Santa Isabel- Huertos Familiares	2419	2434	15	104.54	15
15	Santo Domingo- Universidades	2373	2386	13	98.73	13
16	19 de Enero- Odilas	2456	2473	17	101.83	17
17	Ejido de Caranqui- Miravalle	2234	2247	13	102.38	13
18	Colinas del Sur- Aduana	2229	2240	11	105.20	11
19	Chugchupungo- Florida	2333	2346	13	95.84	14
20	La Esperanza- Hospital del Seguro	2497	2515	18	96.18	19
21	Santa Lucía- La Victoria	2390	2400	10	98.80	10
22	Caranqui- Universidades	-	-	-	-	-

## 2.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS BUSES URBANOS DE IBARRA

Para la caracterización de la flota vehicular de autobuses de transporte urbano de la ciudad, se tomó a las cooperativas vigentes “San Miguel de Ibarra” y “28 de septiembre”. Clasificándolos según los siguientes aspectos: marca, modelo, año de fabricación, carrocería cuya información se obtuvo de la Empresa Pública de Movilidad MOVIDELNOR-EP, la cual brindo datos actualizados de las unidades. Actualmente existen en circulación 287 vehículos, 160 corresponden a la Cooperativa 28 de septiembre y 127 a la Cooperativa San Miguel de Ibarra.

### 2.3.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL FABRICANTE

Para realizar un análisis adecuado del tren motriz y chasis de las unidades de servicio de transporte, es fundamental conseguir características y parámetros generales del vehículo, las cuales se obtendrán de fuentes bibliográficas y catálogos proporcionados por los fabricantes.

Se ha escogido a los autobuses que predominan en la ciudad de Ibarra siendo los más utilizados los modelos Chevrolet, Hino, Mercedes Benz y el modelo Volkswagen, la mayoría de estos modelos cuentan con la normativa de emisiones Euro II y Euro III, en nuestro país la calidad de los combustibles impide que los vehículos se desempeñen con normas de mayor exigencia.

**Tabla 2.2** Especificaciones Técnicas

<b>Motor</b>					
Marca	Isuzu	Isuzu	Volkswagen	Hino	Mercedes Benz
Modelo	FTR 32M	CHR 7.2	17210	AK8JRSA	OF 1721/59
Nro. De Cilindros	6 en línea	6 en línea	6 en línea	6 en línea	6 en línea
Potencia (kW@ rpm)	169-2500	151-2800	152-2600	184-2500	155-2600
Torque (Nm@ rpm)	667-1500	598-1700	657-1700	739-1500	660-1400

**Tabla 2.2 Especificaciones Técnicas (Continuación...)**

<b>Transmisión</b>					
Modelo	MLD6Q	FSB-6406A	EATON-FS-5106A	MF06S	MBG-60
1era	6.720	6.615	9.01	8,189	9,2
2da	4.244	4.095	5.27	5,34	5,23
3era	2.580	2.358	3.22	3,076	3,14
4ta	1.540	1.531	2.04	1,936	2,03
5ta	1.0	1.0	1.36	1,341	1,37
6ta	0.763	0.722	1	1	1
Reversa	6.823	8.63	7.22	7,142	8,65
Relación de paso diferencial	6.143:1	6.142:1	6.65:1	4,625	5,857
Neumáticos	230/70R20	275/70R22.5	275/80R22.5	275/80R22,5	275/80R22,5
<b>Pesos y Capacidades</b>					
Peso bruto vehicular (kg)	14.200	14.500	17.200	14.200	17.000
Tanque de combustible (l)	200	200	275	300	210

**Fuente:** (ISUZU , 2019, pág. 1) (Volkswagen Ecuador, 2022, pág. 1) (Teojama Comercial S.A., 2017, pág. 1)

En la tabla 2.2, se presenta las especificaciones técnicas necesarias para poder realizar el análisis del tren motriz y poder analizar su rendimiento, para lo cual se obtuvo la información de su ficha técnica siendo el modelo FTR 32M el más utilizado en la ciudad de Ibarra.

## **2.4. EVALUACIÓN DE LA TASA DE OCUPACIÓN DE TRANSPORTE PÚBLICO**

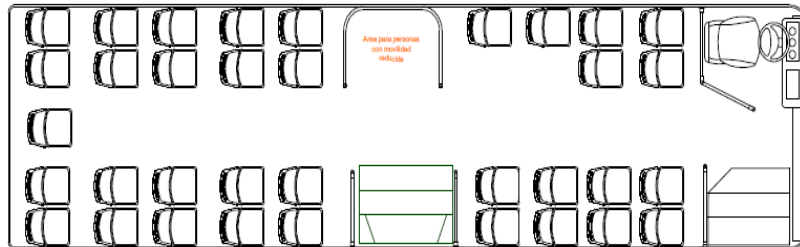
Para la evaluación de la tasa de ocupación se toma como referencia la información obtenida de (Cazares García & Cuasapaz Celin , 2018), quienes realizaron un estudio del análisis de la tasa de ocupación de las rutas de buses urbanos en la ciudad de Ibarra, determinando que existe un sobredimensionamiento de las unidades de transporte en relación con la oferta vs demanda.



Para la elaboración de este tema de estudio se tomó en cuenta el análisis de la tasa ocupacional específicamente los parámetros fundamentales como son la oferta del servicio público, la demanda de los pasajeros, la franja horaria conocidas como horas pico y horas valle y la tasa de ocupación promedio de la ciudad y de esta manera se podrá dimensionar de manera exacta el tren motriz y chasis adecuado para la ciudad.

#### 2.4.1. OFERTA DE LA CAPACIDAD DEL SERVICIO PUBLICO

La oferta en el sistema de transporte publico viene dada por la capacidad que ofrecen los autobuses y la cantidad que brinda este servicio, para establecer la oferta total de las unidades se procedió a recolectar información referente al número de asientos que posee cada autobús, además de la capacidad de personas que pueden ir de pie. Mediante la recolección de estos datos y la especificación de la normativa 22:05 de 6 personas de pie por metro cuadrado, se pudo determinar la capacidad total de pasajeros.



**Figura 2.4** Esquema de Distribución de Asientos  
(NTE INEN 2205; 2010, pág. 23)

#### 2.4.2. DEMANDA DE PASAJEROS

La demanda en el servicio de transporte publico dependerá directamente de la necesidad de los usuarios a movilizarse por la ciudad para satisfacer horarios de trabajo u obligaciones estudiantiles y de la calidad del servicio. Para una adecuada determinación de datos concerniente a la demanda de pasajeros de la ciudad de Ibarra se toma la información del estudio realizado por (Cazares García & Cuasapaz Celin , 2018). Para calcular la demanda

realizaron un conteo del ascenso y descenso de pasajeros a bordo, registrando información de personas que suben y bajan en cada parada de las rutas de la ciudad esta información demuestra la eficiencia que posee cada ruta y brinda la tasa de ocupación promedio de pasajeros. Este procedimiento de recolección de información lo realizaron con ambas cooperativas de transporte y con las 22 rutas de servicio urbano de la ciudad. Además, se realizó un análisis de la demanda de pasajeros entre semana y fin de semana.

**Tabla 2.3** Promedio Diario Estimado de Pasajeros

Ruta	Coop.	Promedio Diario Estimado de Pasajeros		Total, Estimado
		Entre semana	Fin de Semana	Semanal
Sta. Isabel-Huertos Familiares	SMI	15 382	15 891	108 692
Azaya – La Campiña	28S	14 247	9 702	90 640
Palmas- Los Ceibos	28S	11 603	7 145	7 2304
La Esperanza-Hosp. del Seguro	SMI	11 028	5 121	6 5385
Ejido-Miravalle	SMI	10 838	6 618	6 7427
Católica- Alpachaca	28S	10 150	5 687	6 2123
Tanguarín- Aduana	28S	9 715	8 198	6 4969
Caranqui- Aduana	28S	9 491	7 362	6 2177
Milagro-Yahuarcocha	28S	9 040	9 179	6 3557
Sto. Domingo-Universidades	SMI	7 817	5 249	4 9581
19 de Enero- Odilas	SMI	7 760	7 382	5 3565
Chorlavi- La Victoria	28S	7 565	5 667	4 9161
Chugchupungo- La Florida	SMI	7 083	4 908	4 5231
Sta. Lucia- La Victoria	SMI	6 471	2 553	3 7458
Pugacho- Sta. Teresa	28S	6 286	3 375	3 9875
Santa Rosa-Los Ceibos	28S	5 981	4 971	3 8178
Arcángel- San Cristóbal	28S	2 658	2 158	1 7606
Colinas- Aduana	SMI	2 475	1 540	1 5455
Caranqui- Universidades	SMI	1 281	0	6 405
Naranjito	28S	650	457	4 164
Aloburo	28S	343	140	1 997
Carmen- Bellavista	28S	234	175	1 520

**Fuente:** (Cazares García & Cuasapaz Celin , 2018)

### 2.4.3. FRANJA HORARIA

Se tomo en cuenta la franja horaria por que mediante esta información se determinó el horario que posee una mayor demanda de pasajeros, existen diferentes necesidades por parte de los usuarios sean estos dados por cuestiones de trabajo o estudio estableciendo la franja horaria como horas pico y horas valle.

**Tabla 2.4** Franja Horaria

<b>Franja Horaria</b>	<b>Horario</b>
Hora Pico	6:30 a 8:00
Hora Pico	12:00 a 13:30
Hora Pico	17:30 a 19:00
Hora Valle	8:00 a 12:00
Hora Valle	13:30 a 17:30

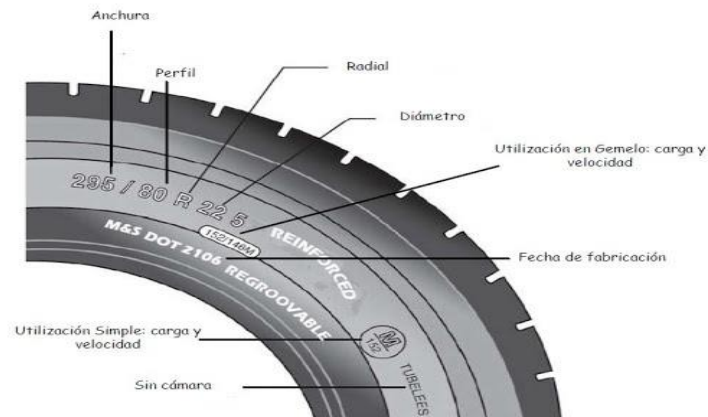
## 2.5. PÁRAMETROS PARA CÁLCULOS DEL RENDIMIENTO DEL TREN MOTRIZ CONVECCIONAL Y ELÉCTRICO

Para la selección del tren motriz se necesita realizar el cálculo de ciertas variables que proporcionaran un dimensionamiento adecuado del mismo, para calcular la magnitud de estas fuerzas es necesario obtener datos de las fichas técnicas de cada modelo de autobús que circula en la ciudad de Ibarra, además del minibús eléctrico que se va a proponer, las cuales son obtenidas por medios oficiales del fabricante. Mediante el análisis del rendimiento del tren motriz de los autobuses que brindan el servicio de transporte urbano podremos determinar si son adecuados o no para brindar dicho servicio. Para esto se tomarán en cuenta requerimientos técnicos y la tasa de ocupación del sistema de transporte.

Para calcular la eficiencia del tren motriz utilizaremos los siguiente datos técnicos proporcionadas por el fabricante: PBV, torque, potencia y relaciones de transmisión, en el caso del minibús eléctrico la autonomía. Mediante los cálculos podremos verificar si el tren motriz proporciona características eficientes y que optimicen el uso de recursos.

### 2.5.1. SELECCIÓN DE NEUMÁTICOS

Para el cálculo del tren motriz en el software se debe conocer las características de identificación que posee el neumático pues este elemento soporta todo el peso del vehículo, posee contacto directo con la carretera y permite su desplazamiento.



**Figura 2.5** Nomenclatura del Neumático

En la figura 2.5, se presenta la nomenclatura que utilizan los neumáticos para autobuses, identificando el ancho del neumático, altura, diámetro, índice de carga e índice de velocidad, carga máxima, fecha de fabricación. La nomenclatura permite optar por un neumático que cumpla con las condiciones de trabajo requeridas para las rutas de circulación y poder realizar el cálculo de la carga sugerida de la rueda, además del radio dinámico.

La carga sugerida de la rueda permite determinar la distribución del peso bruto vehicular para cada una de las ruedas y se expresa en la siguiente ecuación:

$$CRS = \frac{PBV}{Nr} \quad [2.2]$$

Donde:

CRS = Carga de rueda sugerida [kg]

PBV = Peso bruto vehicular [kg]

Nr = Número de ruedas del vehículo

Además, se considera para la selección adecuada del neumático el radio dinámico que este posee indicando la tolerancia en porcentaje ocasionado por el desplazamiento del vehículo principalmente a altas velocidades. Para ello utilizamos la siguiente ecuación:

$$Rdin = \frac{rin}{2} + \frac{ar \cdot hr}{100} + tolrin \quad [2.3]$$

Donde:

Rdin = Radio dinámico de las ruedas [mm]

rin = Diámetro interior de la rueda [mm]

ar = Ancho de rueda [mm]

hr = Altura de rueda [%]

### 2.5.2. SELECCIÓN DEL MOTOR

Para el motor se debe calcular la potencia estimada para autobuses, la cual es necesaria para vencer a las fuerzas que se oponen al movimiento del autobús. Este cálculo se lo realiza mediante las dimensiones del vehículo y el PBV, con la finalidad de determinar si el motor seleccionado cumple eficientemente o es demasiado grande lo cual implique un mayor peso para a la unidad.

$$P_e = ((13,44 * w) * (h - 0,22)) + (0,00185 * PBV) \quad [2.4]$$

Donde:

$P_e$  = Potencia estimada del motor [kW]

$w$  = Ancho del vehículo [m]

$V_{max}$  = Alto del vehículo [m]

PBV = Peso bruto vehicular [kg]

Con respecto al torque máximo para el autobús convencional y eléctrico se utilizó el proporcionado por la ficha técnica, el cual viene en función de la capacidad torsional de la caja de cambios para que esta no sufra daños en el caso del autobús convencional.

### 2.5.3. SELECCIÓN DEL DIFERENCIAL

El parámetro principal para considerar en el mecanismo diferencial es la relación de transmisión que este proporciona. Para ello utilizamos la siguiente ecuación que permite alcanzar la velocidad máxima dentro del área de mínimo consumo específico de combustible:

$$P_d = \frac{60 * C_{ll} * (R_{cm} + 200)}{1000 * P_u * V_r} \quad [2.5]$$

Donde:

$P_d$  = Relación de paso del diferencial

$C_{ll}$  = Circunferencia de la llanta [pulg]

$V_{max}$  = Velocidad máxima [km/h]

$R_{cm}$  = Régimen de consumo mínimo [rpm]

$P_u$  = Relación de paso del último engrane de la transmisión.

$V_r$  = velocidad reglamentaria de circulación [km/]

#### 2.5.4. CÁLCULO VELOCIDAD MÁXIMA

El tren motriz proporciona una velocidad de desplazamiento máxima en función de la relación de paso del diferencial, la relación de paso de última marcha y el diámetro de los neumáticos. Utilizando la siguiente ecuación:

$$V_{max} = \frac{d * RPM * 63,34}{336 * Pd * Pu} \quad [2.6]$$

Donde:

$V_{max}$  = Velocidad máxima [km/h]

$Pd$  = Relación de paso del diferencial

RPM = Revoluciones motor en potencia máxima

$d$  = Diámetro de la llanta [m]

$Pu$  = Relación de paso del último engrane de la transmisión.

#### 2.5.5. CAPACIDAD DE ARRANQUE EN PENDIENTE

La capacidad de arranque es la pendiente máxima en la que el vehículo puede iniciar su marcha sin disminuir su desempeño, sus valores vienen expresados en porcentaje. Para calcular la capacidad de arranque utilizamos la siguiente ecuación:

$$S = \left( \frac{Tm * Pd * Pt1 * Rv}{PBV} * 0,503 \right) - 1,75 \quad [2.7]$$

Donde:

$S$  = Capacidad de arranque en pendiente [ % ]

$T_m$  = Torque máximo [Nm]

$P_d$  = Relación de paso del diferencial

$P_{t1}$  = Relación de la primera marcha

$R_v$  = Revoluciones de la llanta [rpm/km]

$PBV$  = Peso bruto vehicular [kg]

### 2.5.6. POTENCIA DE RESERVA

La potencia de reserva es la encargada de afrontar las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo y que influyen directamente al momento de ponerse en marcha. Para ello usamos la siguiente ecuación:

$$Pr = P - (P_{rr} + P_{ra} + P_{ri}) \quad [2.8]$$

Donde:

$Pr$  = Potencia de reserva [kW]

$P$  = Potencia del motor [kW]

$P_{rr}$  = Potencia para vencer la resistencia al rodamiento [kW]

$P_{ra}$  = Potencia para vencer la resistencia aerodinámica [kW]

$P_u$  = Potencia para vencer la resistencia a la inercia [kW]



### 2.5.7. POTENCIA PARA VENCER LA RESISTENCIA AL RODAMIENTO

Es la potencia necesaria que genera el motor para vencer la resistencia al rodamiento, se presenta cuando dos superficies entran en contacto, ocasionando que uno de ellos o ambos se deformen, esta fuerza actúa porque los neumáticos poseen un amortiguamiento y la energía invertida en el momento de la deformación no se puede recuperar plenamente cuando el neumático vuelve a su forma natural. Esta resistencia depende del peso total que posee la unidad y de la velocidad aparente, además de su coeficiente de fricción.

La potencia para vencer la resistencia al rodamiento se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P_{rr} = Va * (7,69 * Va) \left( \frac{PBV * 10^{-3}}{375} \right) \quad [2.9]$$

Donde:

Va = Velocidad aparente [km/h]

PBV = Peso bruto vehicular

Para poder calcular la velocidad aparente utilizamos la siguiente ecuación:

$$Va = \frac{D * rpm}{Pd * Pt1 * 336} \quad [2.10]$$

Donde:

D = Diámetro de la llanta [pulg]

Rpm = Régimen del motor en potencia máxima

Pd = Relación de paso del diferencial

Pt1 = Relación de la primera marcha

### 2.5.8. POTENCIA PARA VENCER LA RESISTENCIA AERODINÁMICA

Es la potencia que debe generar el motor para vencer la resistencia que se presenta a través del flujo de aire, por lo tanto, a una mayor velocidad, la fuerza para vencer esta resistencia se incrementa drásticamente, este fenómeno ocasiona que el vehículo utilice una mayor potencia energética para generar su movimiento y depende de las dimensiones del vehículo, velocidad aparente y la altitud geográfica. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Pra = [0,002 * Va^3 * (h - 0,75)(w)] * \left(\frac{fa}{375}\right) \quad [2.11]$$

Donde:

Pra= Potencia para vencer la resistencia aerodinámica [kW]

Va = Velocidad aparente [km/h]

h = Alto vehículo [m]

w = Ancho vehículo [m]

fa = Factor de altitud

Para poder calcular el factor de altitud utilizamos la siguiente ecuación:

$$fa = \left(-2464,71 * 10^{-8} * \frac{a}{0,3048}\right) + 9873,53 * 10^{-4} \quad [2.12]$$

Donde:

$a$  = Altitud nivel del mar [m]

### 2.5.9. POTENCIA PARA VENCER LA RESISTENCIA POR INERCIA

Es la potencia necesaria que utiliza el motor para vencer la resistencia al avance por inercia sea este en estado de reposo o movimiento relativo. Para el cálculo de esta potencia utilizamos la siguiente ecuación:

$$Pri = (nM * PBV) + nB \quad [2.13]$$

Donde:

$Pri$  = Potencia para vencer la resistencia por inercia [kW]

$nM$ ,  $nB$  = Coeficiente de ajuste para la potencia

$PBV$  = Peso bruto vehicular [kg]

### 2.5.10. CAPACIDAD DE ASCENSO EN PENDIENTE

La capacidad de ascenso en pendiente define la capacidad que posee un vehículo para subir una pendiente, por lo tanto, la selección de una transmisión no adecuada con la unidad a su máxima capacidad de carga puede provocar que disminuya considerablemente el rendimiento del motor al punto de no permitir el avance del vehículo (Andrade Freire, 2015, pág. 76). Para determinar la capacidad de ascenso utilizamos la siguiente ecuación:

$$G = \frac{37,5 * Pr}{PBV * 10^{-3} * Va} \quad [2.14]$$

Donde:

G = Capacidad de ascenso en pendiente [ % ]

Pr = Potencia de reserva [kW]

PBV = Peso bruto vehicular [kg]

Va = Velocidad aparente [km/h]

## **2.6. SELECCIÓN DEL PAQUETE DE BATERÍAS**

Para la correcta selección del paquete de baterías se debe considerar la potencia de la batería y la autonomía, con la finalidad de determinar su rendimiento y el consumo energético de un día de trabajo que va a poseer el autobús eléctrico y si este cumple con las necesidades de la ciudad.

### **2.6.1. POTENCIA DE LA BATERÍA**

La potencia de la batería se encuentra relacionada directamente con la potencia del motor eléctrico, peso bruto vehicular y la autonomía requerida (Díaz Tituaña , 2019, pág. 101). También se relaciona con el uso de accesorios del autobús según (López Martínez, Jiménez Alonso, Flores , & Resino Zamora, 2011) quienes realizaron un estudio acerca del requerimiento energético de los vehículos híbridos de transporte urbano la potencia que utilizan los accesorios frenos, aire acondicionado, dirección etc. Es de 45,23kW. La potencia de la batería la obtenemos por medio de la siguiente ecuación:

$$P_{bat} = P_{mr} * P_{ac}$$

[2.15]

Donde:

P<sub>bat</sub> = Potencia de la batería [kW]

P<sub>mr</sub> = Potencia del motor [kW]

P<sub>ac</sub> = Potencia accesorios [kW]

### 2.6.2. AUTONOMÍA

La autonomía nos indica la cantidad de kilómetros que podrá recorrer el autobús con una carga del 100%, Para calcular la autonomía del autobús eléctrico, utilizaremos la siguiente ecuación:

$$A = \frac{C * V_{max}}{I} \quad [2.16]$$

Donde:

A = Autonomía [km]

C = Capacidad [Ah]

I = Intensidad [A]

## **2.7. DESARROLLO DEL SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS DEL TREN MOTRIZ Y CHASIS**

El programa seleccionado para el desarrollo del análisis técnico del tren motriz es el software Matlab el cual nos permite realizar cálculos matemáticos con vectores y matrices hasta desarrollar códigos de programación de cualquier tipo numérico, con un código de programación propio denominado “M”. Además, proporciona el cálculo de operaciones matemáticas y parámetros necesarios para el análisis de los componentes del tren motriz.

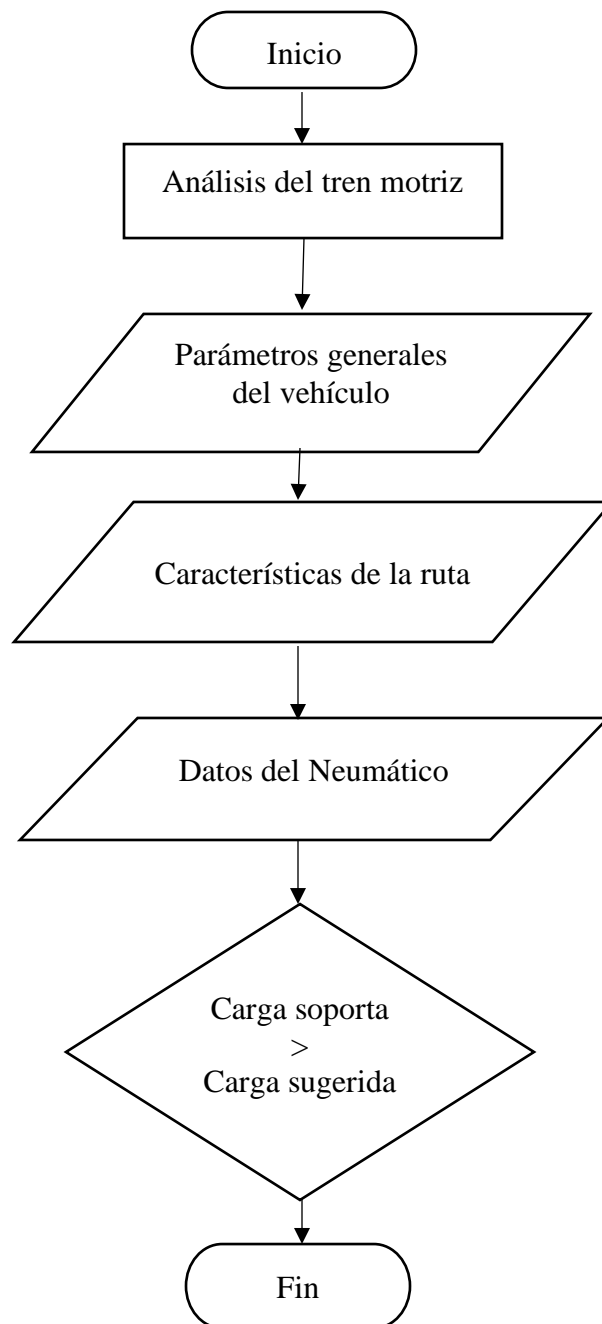
Este análisis se basa en datos obtenidos mediante especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante tomando en cuenta características generales del vehículo y condiciones de las rutas como la pendiente máxima y la velocidad reglamentaria.

Las acciones que realiza el programa para el análisis de la eficiencia del tren motriz son:

- 1.- Solicita ingresar los parámetros generales del vehículo como dimensiones y PBV, características de la ruta especialmente la de pendiente máxima y la velocidad reglamentaria en ciudad.
- 2.- Solicita ingresar el número de neumáticos y su identificación general referente al diámetro, ancho y perfil.
- 3.- Requiere ingresar información de la caja de cambios específicamente de la relación de transmisión de la primera y última marcha, además de la capacidad torsional indispensables para poder determinar los cálculos de la capacidad de ascenso.
- 4.- Se procede a ingresar datos del motor referentes al torque máximo, potencia máxima y régimen del consumo mínimo de combustible obtenidos de las especificaciones técnicas del fabricante.
- 5.- Una vez ingresada toda la información referente a los componentes del tren motriz el programa nos muestra los parámetros calculados y la verificación de estos, donde se podrá analizar y evaluar su desempeño, determinando si el vehículo cumple o no con las condiciones y necesidades de la ciudad.

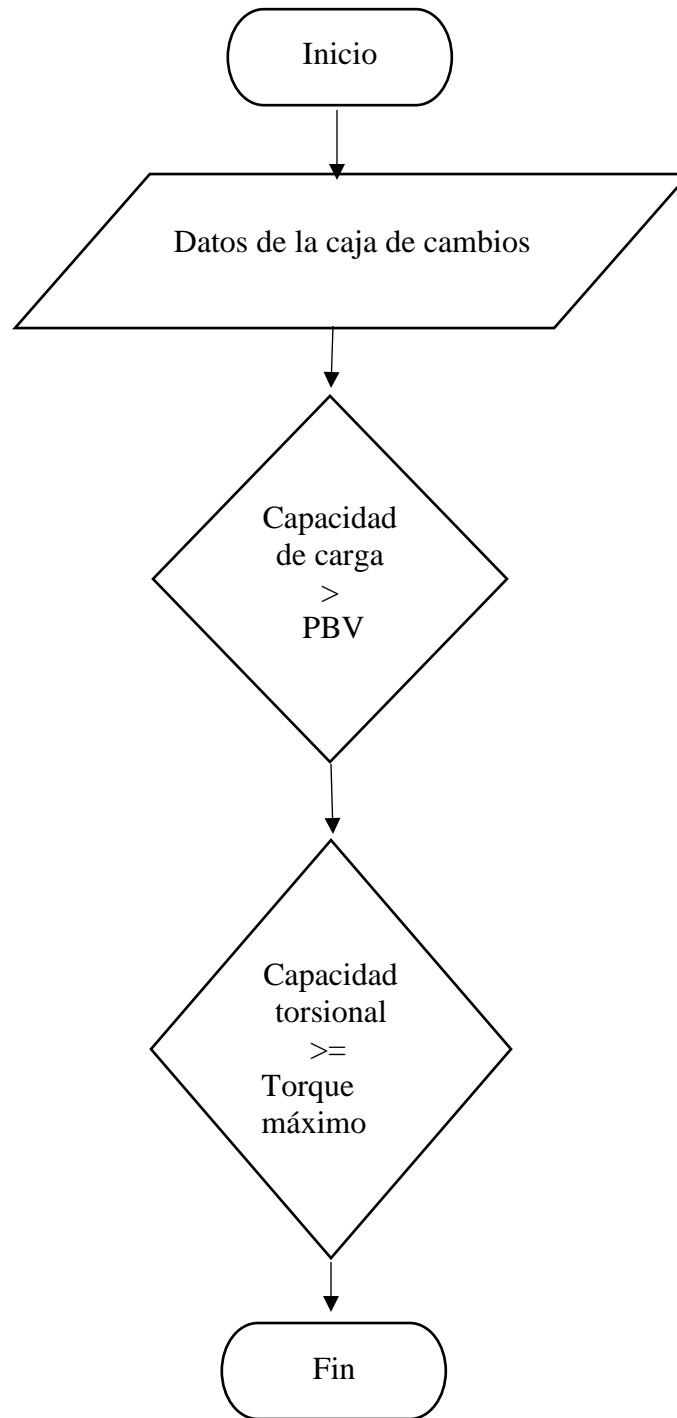
### 2.9.1. FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE PROGRAMACIÓN

Con la finalidad de facilitar la comprensión del código de la programación, se procedió a realizar un diagrama de flujo el cual ilustra los pasos a seguir durante cada etapa. Para proporcionar un mejor desarrollo del proceso se lo ha dividido en diferentes partes específicas.



**Figura 2.6** Flujograma de Programación para Ingreso de Datos

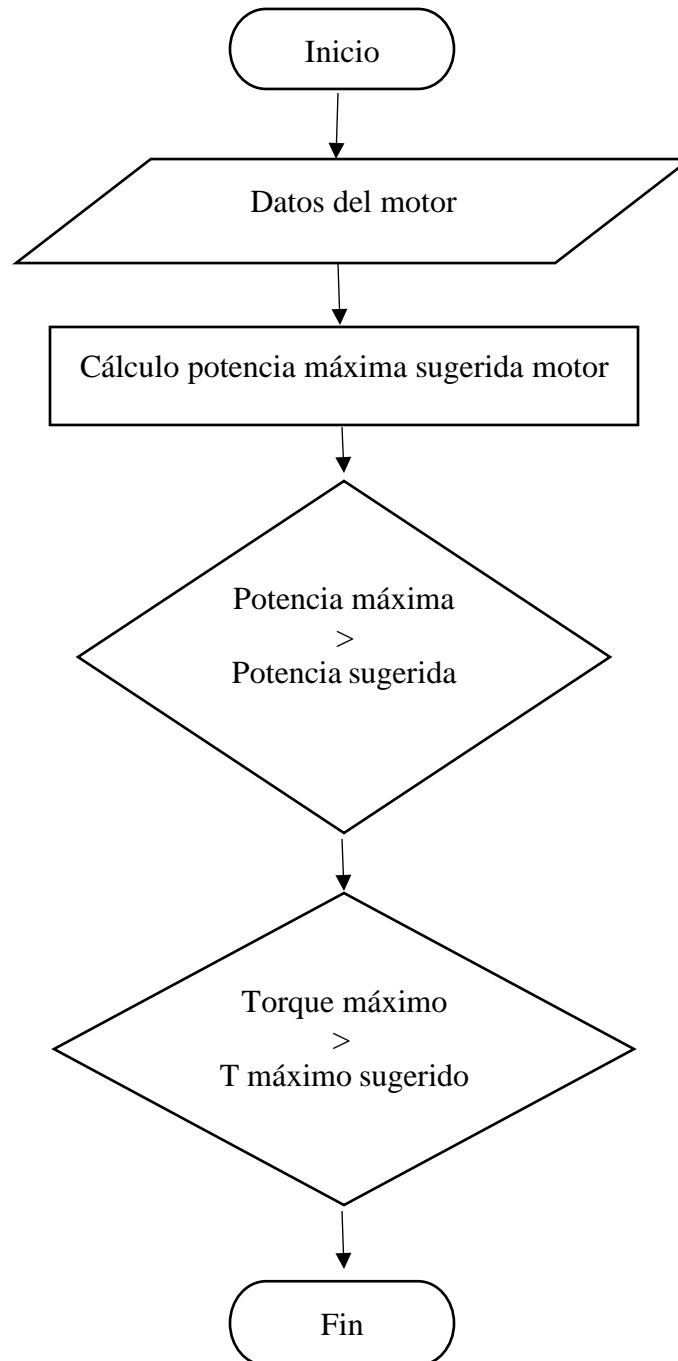
En la figura 2.6, se muestra la primera etapa del programa, en esta etapa se solicita el ingreso de datos dimensionales del vehículo, su peso bruto vehicular, el número de ruedas que posee, además de la carga que soporta, datos específicos de la ruta y su altura a nivel del mar con el propósito de iniciar el cálculo de cada uno de los procesos.



**Figura 2.7** Flujograma de Programación Ingreso de Datos Caja de Cambios



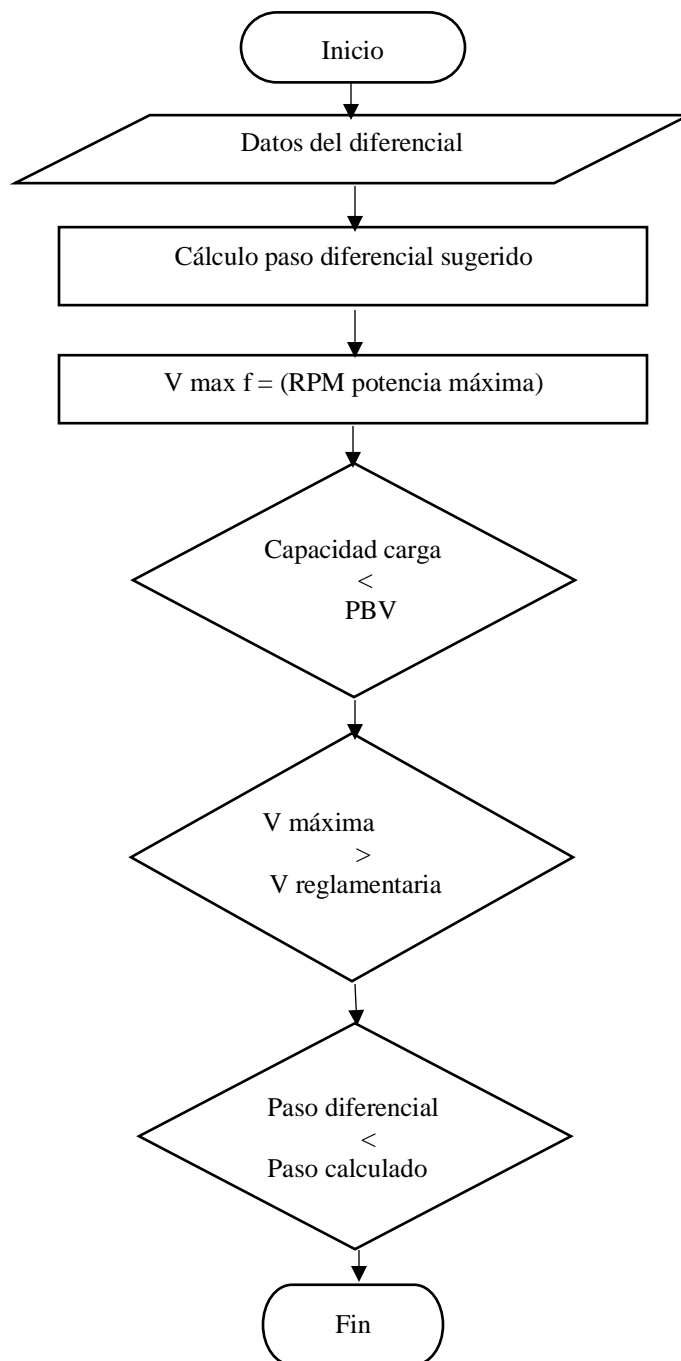
La figura 2.7, nos ilustra la segunda etapa del programa solicitando el ingreso de información referente a la caja de cambios concretamente las relaciones de transmisión de la primera y última marcha, el número de marchas que posee, además nos indica que la capacidad de carga y capacidad torsional debe ser mayor o igual al PBV y al torque máximo respectivamente.



**Figura 2.8** Flujograma de Programación Ingreso de Datos del Motor

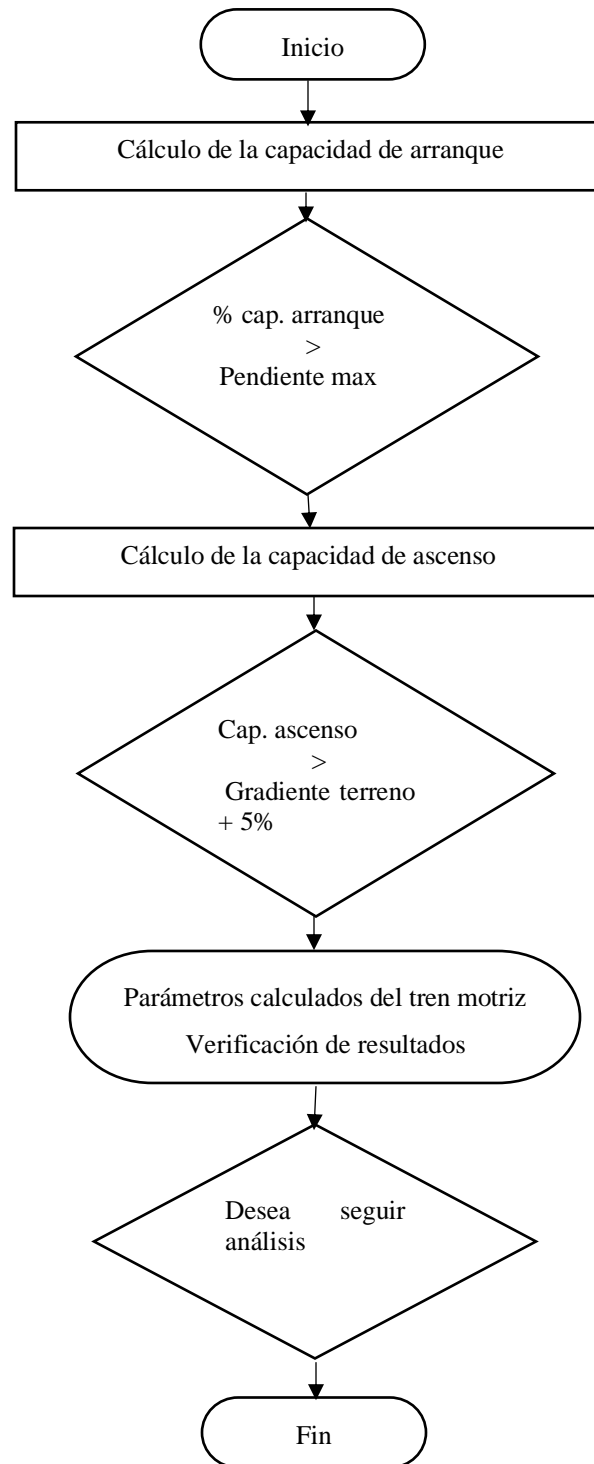
En la figura 2.8, se muestra el ingreso de datos del motor recolectados de las especificaciones técnicas del fabricante necesarios para poder analizar el torque y potencia.

A continuación, se muestra los datos de ingreso para el diferencial, su relación de transmisión con respecto a la velocidad máxima y su capacidad de carga.



**Figura 2.9** Flujograma de Programación Ingreso de Datos del Diferencial

Una vez ingresados todos los datos referentes a los componentes del tren motriz, el software nos muestra los parámetros calculados como la capacidad de arranque, la capacidad de ascenso y la verificación de estos, con los cuales se podrá analizar y evaluar su desempeño.



**Figura 2.10** Flujograma de Programación, Cálculos Capacidad de Arranque y Ascenso

## 2.8. ESTIMACIÓN CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y COSTOS DE MANTENIMIENTO

Para determinar una relación adecuada de costos de mantenimiento y consumo de combustible, se procedió a realizar una encuesta dirigida a los conductores de autobuses de las cooperativas de transporte urbano, recolección de informaciones de diferentes fuentes bibliográficas, además de la obtención de información mediante proformas con costos de diferentes repuestos en locales comerciales y costos de adquisición de diferentes unidades.

### 2.8.1. ENCUESTA CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y COSTOS DE MANTENIMIENTO

Para la obtención de datos se estableció una encuesta en base a los costos de mantenimiento y consumo de combustible diario dirigida a conductores del servicio de transporte. Para esto se determinó una muestra de la flota de autobuses de la ciudad de Ibarra mediante la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{E^2(N - 1) + Z^2 * p * q} \quad [2.17]$$

Donde:

n = Muestra

N = Tamaño de la población

Z = Nivel de confianza deseado

E = Margen de error dispuesto a cometer

p = Probabilidad a favor

q = Probabilidad en contra

Para el cálculo de la muestra se emplearon los siguientes datos: el tamaño de la población es  $N= 287$  con un nivel de confianza del 95%, equivalente a un valor de  $Z= 1,96$  y un margen de error del 5%, el valor de  $e= 0,05$ . Para  $p$  y  $q$  se toma el valor de 0,5.

El tamaño de la muestra es de 165, la encuesta fue dirigida a los conductores del servicio de transporte urbano, el formato de la encuesta se encuentra en el Anexo II.

## 2.8.2. CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Para determinar el consumo de combustible, se procedió a recopilar la información de la encuesta realizada a los conductores de las flotas de transporte urbano de la ciudad, de la cual se obtuvo el valor de compra diaria de combustible en dólares, el modelo utilizado, la distancia recorrida del día y de esta manera conocer el consumo de galones por kilómetro recorrido.

$$\text{Consumo de combustible} = \frac{\text{Distancia recorrida}}{\text{Gasto combustible}} \quad [2.18]$$

Mediante estos datos recolectados se podrá determinar el índice de rendimiento que posee cada modelo de autobús actual de la ciudad y minibús convencional propuesto para este tema de investigación.

### 2.8.2.1. CONSUMO PROMEDIO POR MODELO

Mediante el consumo por modelo se pudo determinar, cual es el modelo que genera un menor consumo de combustible, Para obtener este cálculo es necesario aplicar la siguiente ecuación, la misma que se encuentra en función de galones consumidos sobre el tiempo.

$$C. p_{\text{modelo}} = \frac{\text{gal. cons}}{\text{tiempovuelta} * \#vuelatas} \quad [2.19]$$

Donde:

C.pmodelo = Consumo promedio por modelo [gal/h]

gal. Cons = Galones consumidos [gal]

Tiempo vuelta = tiempo [h]

#vueltas = número de vueltas al día

### 2.8.2.2.RENDIMIENTO PROMEDIO POR MODELO

Con la obtención del rendimiento promedio se pudo determinar el modelo de autobús más eficiente en circulación, el rendimiento se encuentra en unidades de kilómetros sobre galones y se utiliza la siguiente ecuación:

$$R.pmodelo = \frac{\text{Km por vuelta} * \text{núm vueltas prom}}{\text{gal. cons}} \quad [2.20]$$

Donde:

R. pmodelo = rendimiento promedio por modelo: [km/gal]

Km por vuelta = Kilómetros recorridos [km]

Núm. vueltas prom = Número de vueltas promedio

gal. Cons = Galones consumidos diario [gal]

### 2.8.3. COSTOS MANTENIMIENTO AUTOBUSES URBANOS

Los costos de mantenimiento son rubros consignados a la conservación del autobús, su objetivo principal es evitar o disminuir las consecuencias de los fallos. Para la obtención de información se utilizó el uso de encuestas a conductores de cooperativas de transporte urbano, además de recopilación de información de fuentes bibliográficas y proformas de locales comerciales.

Mediante la encuesta realizada se obtuvo datos referentes de costos de los diferentes sistemas del autobús como son: sistema de frenos, suspensión y dirección, sistema de refrigeración, sistema de distribución y transmisión, sistema de inyección y eléctrico, además de carrocería, chasis y motor en general, en intervalos de mantenimiento mensual, semestral y anual.

### 2.8.4. MANTENIMIENTO POR KILOMETRAJE

El mantenimiento de los vehículos se encuentra establecido en función de los kilómetros recorridos con la finalidad de mejorar su rendimiento y preservarlo en óptimas condiciones. A continuación, se muestran tablas de mantenimiento en base al estudio de Andrade y Loyo al año (2005).

**Tabla 2.5** Mantenimiento 4 000 km

Revisión fugas de aire
Revisión terminales
Revisión guarda polvos
Revisión barra estabilizadora y bujes
Revisión radiador e intercooler
Revisión ventiladores
Revisión mangueras
Revisión bomba de combustible
Cambio aceite de motor

**Fuente:** (Andrade C & Loyo Pacheco , 2005, pág. 94)

En la tabla 2.5, observamos los diferentes trabajos que se realizan al mantenimiento de 4 000 km, tomando como vital para su funcionamiento al cambio de aceite, el mismo que representa un gasto principal en la conservación del autobús.

**Tabla 2.6** Mantenimiento 8 000 km

Revisión crucetas
Revisión diferencial
Revisión catalinas
Revisión templado banda del alternador
Cambio aceite y filtro de motor
Cambio filtro separador de agua/ combustible
Cambio filtros de aire

**Fuente:** (Andrade C & Loyo Pacheco , 2005, pág. 95)

El mantenimiento a los 8000 km se realiza mediante chequeos de los elementos del sistema diferencial indispensable para el correcto funcionamiento del autobús, además del cambio de aceite, filtros y revisión completa de ejes articulados de accionamiento.

**Tabla 2.7** Mantenimiento 40 000 km

Empaquetado zapatas
Rectificación tambores
Mantenimiento de 8000 km
Cambio cilindro maestro del freno
Cambio cilindros de freno delanteros
Cambio cilindro de freno posteriores
Cambio banda del alternador

**Fuente:** (Andrade C & Loyo Pacheco , 2005, pág. 96)

En la tabla 2.7, se muestra los elementos del autobús al mantenimiento de 40 000 km, a este kilometraje se realiza un trabajo completo referente al sistema de frenos como el cambio de



cilindros y empaquetado de zapatas evitando posibles fallas durante su operación, además del cambio de la banda del alternador.

**Tabla 2.8** Mantenimiento 100 000 km

Reparación alternador
Reparación sistema de arranque
Mantenimiento de 4000 km
Cambio amortiguadores
Cambio rodamientos y retenedores
Cambio de llantas

**Fuente:** (Andrade C & Loyo Pacheco , 2005, pág. 97)

Los amortiguadores pertenecientes al sistema de suspensión deben ser reemplazados al kilometraje establecido para mantener la correcta estabilidad y control del autobús. Uno de los cambios primordiales que se realiza a este kilometraje es el de las llantas con lo cual se mantiene una correcta adherencia del vehículo.

**Tabla 2.9** Mantenimiento 200 000 km

Limpieza tanque de combustible
Rectificación tambores
Empaquetado zapatas
Reparación alternador y sistema de arranque
Mantenimiento de 8000 km
Cambio amortiguadores
Cambio de llantas
Cambio de aceite y filtro de motor
Cambio filtros de aire
Cambio filtro separador de agua/ combustible
Cambio cilindro maestro del freno
Cambio banda del alternador
Cambio rodamientos y retenedores

**Fuente:** (Andrade C & Loyo Pacheco , 2005, pág. 98)

En la tabla 2.9, se detallan los distintos trabajos establecidos en el plan de mantenimiento a 200 000 km para asegurar el óptimo funcionamiento del autobús como: limpieza del tanque de combustible que evita que exista un daño mayor en el sistema de inyección al eliminar impurezas que pueden taponar los inyectores.

El cambio de filtros es de vital importancia puesto que estos elementos son los encargados de retener todas las impurezas y evitar desgastes prematuros en el motor.

## **2.9. CONSUMO DE ENERGÍA Y COSTOS DE MANTENIMIENTO MINIBÚS ELÉCTRICO**

Para establecer el consumo de energía del minibús eléctrico, se necesita realizar el cálculo de ciertas variables con datos procedentes de la ficha técnica del fabricante específicamente la capacidad de la batería y la autonomía que esta proporciona, además de la tarifa del servicio de carga para vehículos eléctricos proporcionado por la agencia de regulación y control de energía y recursos naturales no renovables. Para la obtención de los costos de mantenimiento se procedió a recolectar información de fuentes bibliográficas.

### **2.9.1. CONSUMO ENERGÉTICO**

Mediante el cálculo del consumo energético se podrá determinar el consumo promedio de energía que brinda el paquete de baterías, a continuación, se ilustra la ecuación que se utiliza para determinar estos valores:

$$C_e = \frac{Cb}{A} \quad [2.21]$$

Donde:

$C_e$  = Consumo Energético [kWh/km]

$C_b$  = Capacidad batería [kWh]

$A$  = Autonomía [km]

### 2.9.2. RENDIMIENTO PROMEDIO DE ENERGÍA

El rendimiento promedio de la energía nos muestra el número de kilómetros recorridos por cada kilovatio por hora consumido. Para calcular el rendimiento utilizamos la siguiente ecuación:

$$R = \frac{A}{C_b} \quad [2.22]$$

Donde:

$R$  = rendimiento promedio de energía [km/kWh]

$A$  = Autonomía [km]

$C_b$  = Capacidad batería [kWh]

### 2.9.3. CONSUMO ENERGÉTICO POR DÍA

Mediante el número de kilómetros recorridos por día se podrá determinar el consumo de energía diario de la batería, y se calcula mediante el uso de la siguiente ecuación.

$$\text{Consumo energético día} = C_e * \text{km recorridos día} \quad [2.23]$$

Donde:

Ce = Consumo energético [kWh]

km = Kilómetros recorridos día [km]

#### **2.9.4. COSTO ENERGÍA ELECTRICA**

Mediante el costo tarifario de servicio de carga para vehículos eléctricos podemos determinar el costo de energía eléctrica diaria del minibús, Para calcular el costo de energía eléctrica, utilizamos la siguiente ecuación:

$$\text{Costo} = \text{Consumo energético día} * \text{tarifa servicio de carga} \quad [2.24]$$

Donde:

Costo = Costo energía [USD]

Ced = Consumo energético día [kWh/ día]

Tarifa Sc = Tarifa servicio de carga [Ctvs./kWh]

#### **2.9.5. COSTOS DE MANTENIMIENTO**

Con respecto al costo de mantenimiento que tendría el minibús eléctrico y tomando en cuenta que en nuestro país este tipo de tecnología por el momento no posee mucha acogida, por lo tanto, no existen muchas fuentes de las cuales obtener información, se procedió a tomar como referencia para este estudio la información de la página oficial de la empresa BYD Ecuador.

#### **2.10. ANÁLISIS COMPARATIVO**

El análisis comparativo se lo considero en base a 8 parámetros técnicos e índices de eficiencia calculados, para el autobús de transporte urbano se utilizó los rendimientos obtenidos del

modelo Chevrolet FTR al ser el modelo con mayor presencia en el parque de autobuses de la ciudad y los dos minibuses urbanos propuestos para este estudio. Entre los parámetros e índices de eficiencia analizados se puede mencionar los siguientes:

**Capacidad de arranque:** También conocida como Startability, es la pendiente máxima en la que el vehículo puede arrancar sin disminuir su desempeño, se expresa en porcentaje.

**Capacidad de ascenso:** También conocida como Gradeability, es la capacidad que posee el vehículo para subir una pendiente y se encuentra relacionada directamente con el PBV y la potencia utilizada.

**Potencia utilizada:** Es la cantidad de energía usada para vencer las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo y que influyen directamente al momento de ponerse en marcha y al momento de subir una pendiente.

**Rendimiento de energía:** Mediante el cálculo del rendimiento podemos determinar la eficiencia que posee cada modelo de autobús propuesto en este tema de estudio, básicamente los kilómetros recorridos por galón de combustible consumido para los modelos convencionales y en el caso del modelo eléctrico el número de kilómetros recorridos por cada kilovatio hora consumido.

**Costo combustible/energía:** Es la cantidad de dinero mensual que utiliza el autobús y minibús eléctrico al brindar el servicio de transporte en la ciudad.

**Costo de mantenimiento:** Son los gastos asignados a la conservación del autobús, su propósito principal es evitar o reducir las consecuencias de los fallos.

**Costo de adquisición:** Es el valor de compra determinado por el proveedor en la ficha técnica y página oficial designado para cada unidad.

**Eficiencia tasa de ocupación:** Se basa en el análisis de la demanda de pasajeros vs la oferta proporcionada por el transporte público.

## **CAPÍTULO III**

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. ANÁLISIS DE LAS RUTAS**

El análisis de las rutas de transporte urbano de la ciudad de Ibarra, se lo efectuó con el objetivo de obtener datos referentes a distancia recorrida, tiempo por vuelta de cada ruta, además de datos de altura máxima y mínima para determinar la pendiente máxima que existe en cada ruta de la ciudad.

##### **3.1.1. DISTANCIA Y TIEMPO POR RUTA**

La finalidad de obtener la distancia recorrida es para poder seleccionar un tren motriz apropiado y que cumpla con la jornada laboral en el caso de un autobús eléctrico que posea una adecuada autonomía y efectúe sin inconvenientes el trayecto. Los tiempos para recorrer las rutas están relacionados directamente con las distancias recorridas, aunque pueden influir ciertos factores como el flujo vehicular y la velocidad del autobús que ocasionan que este tiempo aumente o disminuya.

En la tabla 3.1, se muestra la distancia de cada ruta, siendo la más extensa la ruta Santa Isabel-Huertos Familiares con una distancia de 39,20 km, y la ruta con un menor recorrido es la Católica-Alpachaca con 17,19 km recorrida por la cooperativa 28 de septiembre.

Además, podemos observar el tiempo que tarda cada unidad al recorrer una vuelta por cada una de las rutas, obteniendo como resultado que la ruta Santa Isabel-Huertos Familiares cumple su recorrido en un tiempo de 2h30min siendo la de mayor tiempo de circulación y la ruta Aloburo la de menor tiempo de circulación con 1h10min.

**Tabla 3.1** Distancia y Tiempo de Las Rutas de la Ciudad

N.-	RUTA	COOP	DISTANCIA (km)	TIEMPO
1	Tanguarín-Aduana	28S	36,40	145 min
2	Arcángel-San Cristóbal	28 S	35,26	120 min
3	Milagro - Yahuarcocha	28S	34,84	125 min
4	Chorlaví- La Victoria	28S	33,70	130 min
5	Caranqui- Aduana	28S	20,59	110 min
6	Carmen- Bellavista	28S	23,80	75 min
7	Santa Rosa- Los Ceibos	28S	22,89	110 min
8	Naranjito	28S	21,63	100 min
9	Aloburo	28S	20,38	70 min
10	Palmas- Los Ceibos	28S	19,35	93 min
11	Azaya- La Campiña	28S	19,40	100 min
12	Pugacho- Santa Teresita	28S	19,04	98 min
13	Católica-Alpachaca	28S	17,09	90 min
14	Santa Isabel- Huertos Familiares	SM	39,20	150 min
15	Santo Domingo- Universidades	SM	30,27	130 min
16	19 de Enero- Odilas	SM	29,08	130 min
17	Ejido de Caranqui- Miravalle	SM	28,40	120 min
18	Colinas del Sur- Aduana	SM	25,85	100 min
19	Chugchupungo- Florida	SM	24,27	110 min
20	La Esperanza- Hospital del Seguro	SM	24,04	115 min
21	Santa Lucía- La Victoria	SM	23,99	105 min
22	Caranqui- Universidades	SM	20,20	80 min

Los tiempos de las rutas son establecidos por las dos cooperativas de transporte urbano, se toma en cuenta la relación que posee con la distancia de recorrido y mediante esa relación se determina horarios de salida y llegada.

### 3.1.2. FRECUENCIA POR RUTA

En la tabla 3.2, se muestra la frecuencia establecida por ambas cooperativas de transporte para cada una de las rutas de la ciudad, obteniendo rutas como santa Isabel- Huertos

Familiares con una frecuencia de salida de 8 minutos y otras rutas que solo necesitan de un turno como la ruta Carmen-Bellavista.

**Tabla 3.2** Frecuencia de Salida de Cada Ruta

<b>N.-</b>	<b>RUTA</b>	<b>COOP</b>	<b>FRECUENCIA</b>
1	Tanguarín-Aduana	28S	10 min
2	Arcángel-San Cristóbal	28 S	15 min
3	Milagro - Yahuarcocha	28S	10 min
4	Chorlaví- La Victoria	28S	8 min
5	Caranqui- Aduana	28S	10 min
6	Carmen- Bellavista	28S	Turno
7	Santa Rosa- Los Ceibos	28S	15 min
8	Naranjito	28S	Turno
9	Aloburo	28S	Turno
10	Palmas- Los Ceibos	28S	6 min
11	Azaya- La Campiña	28S	7 min
12	Pugacho- Santa Teresita	28S	10 min
13	Católica-Alpachaca	28S	6 min
14	Santa Isabel- Huertos Familiares	SM	8 min
15	Santo Domingo- Universidades	SM	10 min
16	19 de Enero- Odilas	SM	10 min
17	Ejido de Caranqui- Miravalle	SM	8 min
18	Colinas del Sur- Aduana	SM	10 min
19	Chugchupungo- Florida	SM	10 min
20	La Esperanza- Hospital del Seguro	SM	8 min
21	Santa Lucía- La Victoria	SM	8 min
22	Caranqui- Universidades	SM	10 min

**Fuente:** (Castillo A, 2015, pág. 226)



### 3.2. ANÁLISIS DE LA FLOTA VEHICULAR

El análisis de la flota vehicular se lo realizo con la finalidad de obtener el tipo de autobús que predomina en ambas cooperativas de la ciudad de Ibarra, clasificándolos según diferentes aspectos como: marca, modelo, año de fabricación, carrocería y chasis.

#### 3.2.1. SEGÚN LA MARCA

Mediante la caracterización según la marca obtuvimos los autobuses más representativos que posee la flota vehicular, esta caracterización se toma en cuenta para el análisis del rendimiento del tren motriz, el estudio de esta caracterización se lo realiza por cooperativa de transporte debido a la diferencia en el número de autobuses de cada cooperativa.

En la tabla 3.3, se representa las marcas de los autobuses utilizados por la cooperativa San Miguel de Ibarra. Obteniendo a la marca Isuzu Chevrolet como la de mayor número de unidades con 70, posicionándola como la marca predominante pues representa el 55,11% del total de autobuses; las marcas Volkswagen e Hino poseen un número considerable de unidades con 20 y 18 respectivamente.

**Tabla 3.3** Marca Vehículos de la Coop. San Miguel de Ibarra

MARCA	NÚMERO DE BUSES
ISUZU CHEVROLET	70
VOLKSWAGEN	20
HINO	18
MERCEDES BENZ	7
VOLVO	5
JIANGTE	2
KING LONG	1
MAN	1
SCANIA	1
HYUNDAI	1
DONGFENG	1
<b>TOTAL</b>	<b>127</b>

En la cooperativa 28 de septiembre de igual manera predomina la marca Isuzu Chevrolet con 110 unidades lo cual es equivalente al 68,75% del total de sus unidades. Cabe mencionar que la marca Hino posee 39 unidades siendo un número significativo, dando como resultado un 24,37% del total, las demás marcas no cuentan con un número considerable de unidades.

**Tabla 3.4** Marca Vehículos de la Coop. 28 de Septiembre

<b>MARCA</b>	<b>NÚMERO DE BUSES</b>
ISUZU CHEVROLET	110
HINO	39
MERCEDES BENZ	7
VOLKSWAGEN	3
INTERNACIONAL	1
<b>TOTAL</b>	<b>160</b>

La marca Chevrolet es la que posee un mayor porcentaje en el número de unidades posicionándose como la marca predominante del total de la flota vehicular. Cabe mencionar que la marca Hino y Mercedes Benz poseen un número significativo de unidades.

### **3.2.2. SEGÚN EL MODELO**

Cada marca posee varios modelos, por medio de la caracterización según el modelo del autobús determinamos los modelos más utilizados y que poseen mayor relevancia en el servicio de transporte de la ciudad de Ibarra, esta información nos sirve como referencia al momento de obtener las especificaciones técnicas para realizar los cálculos del tren motriz puesto que se realizara el análisis del tren motriz de las unidades más predominantes o que poseen una cantidad considerable.

En la caracterización de la flota vehicular según el modelo, se determina que los autobuses más utilizados o con mayor afluencia son el Chevrolet FTR y el Chevrolet CHR sumando juntos el 62,71% del total del parque automotor de buses.

**Tabla 3.5** Caracterización Modelos de la Flota Vehicular

MARCA	MODELO	SAN MIGUEL DE IBARRA	28 DE SEPTIEMBRE
CHEVROLET	FTR 32M	53	88
CHEVROLET	CHR 7.2	17	22
VOLKSWAGEN	17210	18	3
VOLKSWAGEN	17260	2	0
HINO	FG1JPUZ	1	14
HINO	AK8JRSA	0	13
HINO	RK1JSTL	12	1
HINO	FF1JPSZ	5	2
HINO	GD11PTZ	0	7
HINO	FD2HPSZ	0	2
MERCEDES BENZ	OF1721/59	4	4
MERCEDES BENZ	OF1721/52	3	3
VOLVO	SVELTO	5	0
JIANGTE	JDF5120GSSK	2	0
KING LONG	CF18-30	1	0
MAN	14285LC	1	0
SCANIA	F94HB	1	0
HYUNDAI	SUPER AEROCITY	1	0
DONGFENG	DHZ1122KTD16	1	0
INTERNATIONAL	3000FE	0	1
<b>TOTAL</b>		<b>127</b>	<b>160</b>

En la tabla 3.5, se tienen todos los modelos de autobuses que brindan el servicio de transporte urbano de la ciudad, los modelos Chevrolet FTR y el Chevrolet CHR son los más utilizados con 49,13% y 13,59% respectivamente. Es importante mencionar que el modelo Volkswagen 17210 y los Modelos Hino FG, AK y RK poseen una presencia importante del total de la flota vehicular con 7,32%, 5,23%, 4,5 Y 4,53% respectivamente.

### 3.2.3. SEGÚN EL AÑO DE FABRICACIÓN

En tabla 3.6, se observa que, en la flota vehicular de las dos cooperativas, existen vehículos con un rango de fabricación desde el año 1999 hasta el año 2020, cabe destacar que el mayor número de autobuses fueron fabricados desde el año 2001 hasta el año 2006, además de una renovación de 10 autobuses en el año 2020.

**Tabla 3.6** Caracterización Según el Año de Fabricación

<b>AÑO DE FABRICACIÓN</b>	<b>SAN MIGUEL DE IBARRA</b>	<b>28 DE SEPTIEMBRE</b>
1999	2	2
2001	5	18
2002	35	30
2003	38	25
2004	23	23
2005	6	13
2006	4	10
2007	3	7
2008	3	8
2009	4	4
2010	0	2
2011	3	2
2012	1	3
2013	0	1
2014	0	2
2019	0	7
2020	0	3
<b>TOTAL</b>	<b>127</b>	<b>160</b>

### 3.2.4. SEGÚN LA CARROCERIA

La caracterización de la flota vehicular de acuerdo con el tipo de carrocería y a sus dimensiones permite identificar la capacidad de pasajeros del autobús y garantiza

condiciones de seguridad óptimas a sus ocupantes, en nuestro país existen varias empresas carroceras autorizadas por la ANT. En la tabla 3.7 se ilustra los diferentes tipos de carrocerías que utilizan los autobuses de las cooperativas de transporte de la ciudad de Ibarra, cabe mencionar que la carrocería con el nombre ND no fue identificada con un fabricante específico.

**Tabla 3.7** Carrocerías de la Flota Vehicular

<b>CARRO CERÍA</b>	<b>SAN MIGUEL DE IBARRA</b>	<b>28 DE SEPTIEMBRE</b>
MONCAYO	4	6
IMCE	5	18
IMETAM	16	17
MARIELBUS	6	3
MIRAL	18	22
OLÍMPICA	15	11
PICOSA	2	12
VARMA	5	11
NEOTHOMAS	3	5
ND	7	6
OTRAS	46	49
<b>TOTAL</b>	<b>127</b>	<b>160</b>

### **3.3. ANÁLISIS DE LA TASA DE OCUPACIÓN**

Para el análisis de la tasa de ocupación se toma como parámetros principales la oferta proporcionada por la flota vehicular y la demanda promedio de pasajeros con la finalidad de determinar el estado actual del servicio de transporte urbano y la variación de eficiencia que obtendrá en comparación con los minibuses propuestos.

### 3.3.1. ANÁLISIS DE LA OFERTA SEGÚN SU CAPACIDAD

La oferta en el sistema de transporte público, se la determino mediante la caracterización de sus unidades identificando la capacidad que posee cada modelo y por ende determinando la capacidad total de la flota vehicular. En la tabla 3.8 se muestra la capacidad de oferta que se posee por unidad.

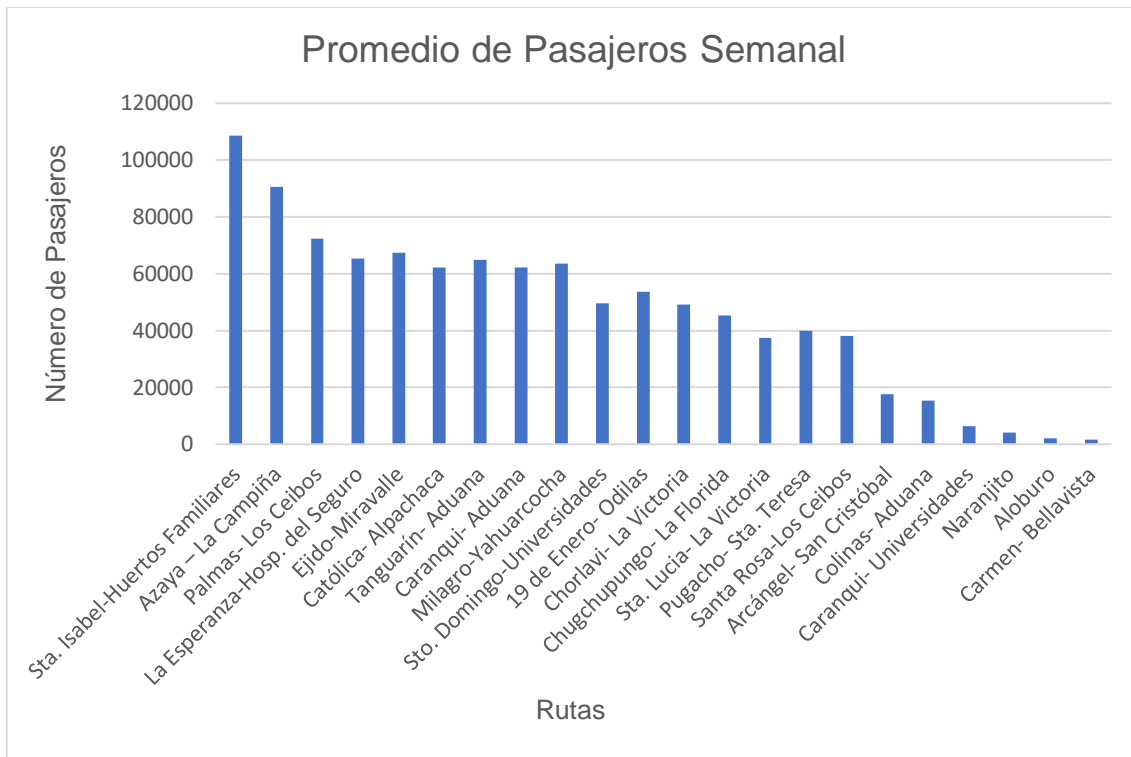
**Tabla 3.8** Oferta del Servicio Público  
**Oferta del Servicio Público Vehicular**

Cap. Sentados	Cap. De Pie	Cap. Total
36	44	80

El total de la capacidad que puede transportar un autobús, tomando en cuenta el modelo de uso predominante en la ciudad es de 80 personas, en cuanto a los demás modelos o marcas se posee variaciones muy pequeñas respecto a su capacidad. Para la obtención de la oferta del servicio público vehicular se realizó un promedio de la capacidad de personas sentadas y de pie entre las cooperativas de transporte.

### 3.3.2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE PASAJEROS

Mediante el análisis de la demanda de pasajeros basado en el estudio de Cazarez y Cuasapaz (2018), se determina si la capacidad de las unidades es la adecuada o si se ajusta a la realidad de la ciudad de Ibarra, En la figura 3.1 se muestran los valores del promedio diario de pasajeros entre semana y fin de semana.



**Figura 3.1** Promedio Estimado de Pasajeros por Ruta

La ruta que posee una mayor demanda de pasajeros es Santa Isabel-Huertos Familiares, con un total estimado de 108 692 pasajeros en una semana de servicio, mientras que la ruta con menor demanda de pasajeros es Carmen- Bellavista con un valor de 234 usuarios entre semana y 175 usuarios en fin de semana dando un total estimado de 1 522 pasajeros en una semana de servicio.

### 3.3.3. ANÁLISIS DE LA OFERTA VS LA DEMANDA

Mediante el análisis de estos parámetros fundamentales como son la oferta y demanda de pasajeros, se puede establecer el estado actual del servicio de transporte de la ciudad y determinar si existe un exceso de la oferta en el transporte urbano.

En la tabla 3.9 se puede observar información detallada acerca de la ocupación promedio de la demanda, proporcionada por (Cazares García & Cuasapaz Celin , 2018) con la capacidad de la oferta de la flota vehicular correspondiente a cada una de las rutas, determinando que la capacidad total no es superada por ninguna ruta.

Tabla 3.9 Demanda vs Oferta

Ruta	Coop.	Demanda	Oferta					
		Ocup. Promedio/Vuelta	Cap. Sentados	Cap. De Pie	Cap. Total	% Sentados	% Parados	% Total Ocup. Buses
Católica-Alpachaca	28S	19	36	44	80	52,77 %	0 %	23,75 %
Arcángel- San Cristóbal	28S	18	36	44	80	50,00 %	0 %	22,50 %
Azaya – La Campiña	28S	20	36	44	80	55,55 %	0 %	25,00 %
Caranqui-Aduana	28S	15	36	44	80	41,66 %	0 %	18,75 %
Chorlavi- La Victoria	28S	18	36	44	80	50,00 %	0 %	22,50 %
Milagro-Yahuarcocha	28S	22	36	44	80	61,11 %	0 %	27,50 %
Naranjito	28S	35	36	44	80	97,22 %	0 %	43,75 %
Palmas- Los Ceibos	28S	21	36	44	80	58,33 %	0 %	26,25 %
Pugacho- Sta. Teresa	28S	15	36	44	80	41,66 %	0 %	18,75 %
Santa Rosa- Los Ceibos	28S	19	36	44	80	52,77 %	0 %	23,75 %
Aloburo	28S	25	36	44	80	69,44 %	0 %	31,25 %
Tanguarín-Aduana	28S	24	36	44	80	66,66 %	0 %	30,00 %
Carmen-Bellavista	28S	17	36	44	80	47,22 %	0 %	21,25 %
Ejido-Miravalle	SMI	19	36	44	80	52,77 %	0 %	23,75 %
La Esperanza-Hosp. del Seguro	SMI	15	36	44	80	41,66 %	0 %	18,75 %
Chugchupungo- La Florida	SMI	14	36	44	80	38,88 %	0 %	17,50 %
Colinas-Aduana	SMI	8	36	44	80	22,22 %	0 %	10,00 %
Sta. Isabel-Huertos Familiares	SMI	18	36	44	80	50,00 %	0 %	22,50 %
19 de Enero-Odilas	SMI	13	36	44	80	36,11 %	0 %	16,25 %
Caranqui-Universidades	SMI	8	36	44	80	22,22 %	0 %	10,00 %
Sto. Domingo-Universidades	SMI	19	36	44	80	52,77 %	0 %	23,75 %
Sta. Lucia- La Victoria	SMI	14	36	44	80	38,88 %	0 %	17,50 %
<b>Promedio</b>						49,99 %	0 %	22,50 %



De acuerdo con este resultado se evidencia que las unidades son demasiado grandes para la demanda de pasajeros existente en la ciudad, puesto que su ocupación total está por debajo del 30% de la capacidad total del autobús.

### 3.4. CÁLCULO DEL TREN MOTRIZ EN EL SOFTWARE MATLAB

Para el cálculo del rendimiento del tren motriz se procede a ejecutar el software matemático Matlab, en el cual se realiza los cálculos de las potencias necesarias para vencer las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo, además de la capacidad de arranque en pendiente (Starbility) y capacidad de ascenso en pendiente (Gradeability). Para poder realizar estos cálculos se recolecto información de la ficha técnica de cada marca de autobús, con la finalidad de utilizar información confiable y de una fuente fiable.

#### 3.4.1. EJECUCIÓN DEL SOFTWARE

Para la ejecución del programa tren motriz ingresamos al software y elegimos el archivo “programación análisis del tren motriz autobuses urbanos”, y se desplegara la pantalla editor, donde se encuentran todo el proceso de programación luego seleccionamos el icono correr, para iniciar la ejecución del programa y proceder al ingreso de datos.

```
ANÁLISIS DEL TREN MOTRIZ AUTOBUSES URBANOS
UTN - INGENIERIA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
INGRESE LOS PARAMETROS GENERALES DEL VEHÍCULO
-Peso Bruto Vehicular [kg]: 14200
-Ancho del vehículo [m]: 2.55
-Altura del vehículo [m]: 3.20
-Número de ruedas del vehículo: 6
-Velocidad reglamentaria de circulación ANT [km/h]: 50
-Altitud sobre el nivel del mar de Ibarra [m]: 2300
-Pendiente maxima del terreno (sugerido 30%) [%]: 21
```

**Figura 3.2** Ingreso Parámetros Generales

En la figura 3.2, se muestra el ingreso de los parámetros generales del autobús obtenidos de las especificaciones técnicas del fabricante, la velocidad máxima de circulación en zona urbana, además de las características de la ciudad referentes a la pendiente máxima y a su altura sobre el nivel del mar.

A continuación, se procede a ingresar los datos del neumático basados en las especificaciones del fabricante:

```
INGRESE LOS DATOS DEL NEUMÁTICO
-La carga mínima sugerida que debe soportar el neumático es: 2366.6667[kg]
-Carga que soporta la rueda[kg]: 3550
-Diámetro interior [pulg]: 22.5
-Ancho de la rueda[mm]: 295
-Alto de la rueda[%]: 80
-Tolerancia radio dinámico(sugerido +10%) [%]:0
```

**Figura 3.3** Ingreso Datos del Neumático

La figura 3.3, nos indica la carga que soporta cada rueda, según sus dimensiones cada rueda soporta un máximo de 3550 kg con un índice de carga de 154, la carga mínima que soporta el neumático en relación con el PBV es de 2366.66, igualmente cabe mencionar que se considera cero el valor del radio dinámico debido a la baja velocidad de circulación al tratarse de zonas urbanas.

A continuación, ingresamos los parámetros de la caja de cambios obtenidos de las especificaciones técnicas del fabricante:

```
INGRESE LOS DATOS DE LA CAJA DE CAMBIOS
-La capacidad de carga de la caja debe ser mayor a:14200[kg]
-Capacidad Carga Maxima [kg]:14200
-Relación de 1ra marcha:8.189
-Relación de última marcha:1
-Capacidad Torsional [N.m]:740
-Número de marchas:6
```

**Figura 3.4** Ingreso Datos de la Caja de Cambios

La figura 3.4, nos indica el ingreso de datos referentes al tipo de caja de cambios utilizada por este modelo de autobús, la información ingresada es proporcionada de las especificaciones técnicas, la capacidad torsional siempre debe ser más elevada que el torque máximo proporcionado por el motor para evitar que se generen sobre esfuerzos y un posible recalentamiento de la misma.

Luego ingresamos los datos referentes al motor proporcionados por el fabricante:

```

INGRESE LOS DATOS DEL MOTOR
-La potencia máxima sugerida para el motor es:128.4006[kW]
-El torque máximo sugerido para el motor es:740[N.m]
-Potencia máxima [kW]:193
-Torque máximo [N.m]:739
-Régimen del motor en potencia máxima[rpm]:2500
-Régimen del motor en torque máximo[rpm]:1500
-Régimen del motor para consumo mínimo de combustible[rpm]:2100

```

**Figura 3.5** Ingreso Datos del Motor

En la figura 3.5, podemos observar el ingreso de datos del motor como: la potencia máxima, el torque máximo cada uno con su respectivo régimen de trabajo, además el software realiza un cálculo y nos brinda la potencia máxima sugerida para el motor.

Posteriormente continuamos con el ingreso de datos correspondiente al diferencial:

```

INGRESE LAS RELACIONES DEL DIFERENCIAL
-La relación del diferencial sugerida es:9.048
-Relación del diferencial:4.625
-La capacidad mínima de carga sugerida para el diferencial es:14200[kg]
-Capacidad de carga del diferencial[kg]:14200

```

**Figura 3.6** Ingreso Datos del Diferencial

La relación del sistema diferencial proporcionado por el fabricante para el autobús urbano es de 4.625, aunque en base a los datos ingresados al software nos sugiere como punto máximo una relación de transmisión de 9.048 y su capacidad de carga está relacionada directamente con el PBV.

Finalmente, luego de completar el análisis de cada elemento que conforma el tren motriz, nos muestra los parámetros calculados:

```

PARÁMETROS CALCULADOS
-Velocidad máxima:106.3415 [km/h]
-Capacidad de arranque en pendiente (Startability):28.493 [%]
-Velocidad aparente:7.7915 [km/h]
-Potencia para vencer la resistencia al rodamiento:2.4203 [kW]
-Factor de altitud:0.80137
-Potencia para vencer la resistencia aerodinámica:0.029517 [kW]
-Potencia para vencer la resistencia por inercia:11.9272 [kW]
-Potencia de reserva:142.7382 [kW]
-Capacidad de ascenso en pendiente (Gradeability):47.3923 [%]

```

**Figura 3.7** Parámetros Calculados

Los parámetros calculados más importantes referentes al tren motriz son la capacidad de ascenso, la capacidad de arranque en pendiente con los cuales podemos realizar un análisis de su rendimiento y la cantidad de potencia que utiliza la unidad para cumplir con la pendiente máxima de 21% de la ciudad.

Para finalizar procedemos a validar los parámetros calculados:

```

VERIFICACIÓN DE RESULTADOS
-Las ruedas soportan el peso del vehículo:Si
-La potencia del motor es mayor o igual a la potencia sugerida:Si
-El paso del diferencial es menor o igual al paso sugerido:Si
-La capacidad de arranque en pendiente (Startability) es mayor o igual a 21%:Si
-La potencia de reserva es mayor a 0:Si
-La capacidad de ascenso (Gradeability) es mayor o igual a 30%:Si

```

**Figura 3.8** Verificación de Resultados

La figura nos muestra la verificación de resultados y si cumple o no cada componente del tren motriz.

### 3.5. ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS DEL TREN MOTRIZ

A continuación, se muestra los parámetros calculados de los modelos predominantes de autobuses que circulan por la ciudad, con los datos obtenidos se realiza el análisis del rendimiento del tren motriz actual y la eficiencia que posee.

#### 3.5.1. ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS MODELO CHEVROLET FTR

Los parámetros calculados del modelo FTR, indican un valor de velocidad máxima de 101.71 km/h, posee una capacidad de arranque de 29%, una potencia de reserva de 123.49 kW y una capacidad de ascenso de 46.10% muy por encima al valor de la pendiente máxima de la ciudad de 21%.

**Tabla 3.10** Análisis de Datos Autobús Chevrolet FTR

Parámetros calculados	Valor
Velocidad máxima [ km/h]	101.71
Capacidad de arranque [%]	29
Potencia para vencer la resistencia al rodamiento [ kW]	2.14
Factor de altitud	0.8014
Potencia para vencer la resistencia aerodinámica [kW]	0.020
Potencia para vencer la resistencia por inercia [kW]	11.93
Potencia de reserva [kW]	123.49
Capacidad de ascenso [ %]	46.10

#### 3.5.2. ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS MODELO CHEVROLET CHR 7.2

Los datos obtenidos del modelo CHR 7.2, nos muestran una velocidad máxima de 98.80 km/h, posee una capacidad de arranque de 30.57%, la potencia de reserva es de 106.79kW y su capacidad de ascenso es de 41,32%.

**Tabla 3.11** Análisis de Datos Autobús Chevrolet CHR

<b>Parámetros calculados</b>	<b>Valor</b>
Velocidad máxima [ km/h]	98.80
Capacidad de arranque [%]	30.57
Potencia para vencer la resistencia al rodamiento [ kW]	2.06
Factor de altitud	0.8014
Potencia para vencer la resistencia aerodinámica [kW]	0.016
Potencia para vencer la resistencia por inercia [kW]	14.06
Potencia de reserva [kW]	106.79
Capacidad de ascenso [ %]	41.32

### 3.5.3. ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS MODELO VOLKSWAGEN 17-210

El modelo Volkswagen 17-210 posee los siguientes parámetros calculados: velocidad máxima de 74.56 km/h, capacidad de arranque de 34.48% un 9% más que la establecida en la normativa, potencia de reserva de 106.30 kW y su capacidad de ascenso es de 41.96% un 20.96% superior a la pendiente máxima de la ciudad.

**Tabla 3.12** Análisis de Datos Autobús Volkswagen 17-210

<b>Parámetros calculados</b>	<b>Valor</b>
Velocidad máxima [ km/h]	74.56
Capacidad de arranque [%]	34.48
Potencia para vencer la resistencia al rodamiento [ kW]	2.00
Factor de altitud	0.8014
Potencia para vencer la resistencia aerodinámica [kW]	0.010
Potencia para vencer la resistencia por inercia [kW]	15.42
Potencia de reserva [kW]	106.30
Capacidad de ascenso [ %]	41.96

### 3.5.4. ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS MODELO MERCEDES BENZ

Los parámetros obtenidos del modelo mercedes OF1721/59 son los siguientes: velocidad máxima de circulación 84.65km/h, potencia de reserva de 109.12 kW, capacidad de arranque en pendiente de 31.36% y su capacidad de ascenso es de 47.59% un valor muy por encima a la pendiente máxima establecida de la ciudad.

**Tabla 3.13** Análisis de Datos Autobús Mercedes Benz OF 1721

<b>Parámetros calculados</b>	<b>Valor</b>
Velocidad máxima [ km/h]	84.65
Capacidad de arranque [%]	31.36
Potencia para vencer la resistencia al rodamiento [ kW]	1.81
Factor de altitud	0.8014
Potencia para vencer la resistencia aerodinámica [kW]	0.0074
Potencia para vencer la resistencia por inercia [kW]	15.25
Potencia de reserva [kW]	109.12
Capacidad de ascenso [ %]	47.59

### 3.5.5. ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS MODELO HINO AK

Para el autobús modelo Hino AK se obtienen los siguientes parámetros calculados: velocidad máxima de 106.34 km/h, potencia de reserva de 142.74 kW, capacidad de arranque de 28.49% superior a la establecida en la normativa y una capacidad de ascenso en pendiente de 47.39%, de igual manera muy superior a la pendiente máxima establecida en este estudio.

**Tabla 3.14** Análisis de Datos Autobús Hino AK

<b>Parámetros calculados</b>	<b>Valor</b>
Velocidad máxima [ km/h]	106.34
Capacidad de arranque [%]	28.49
Potencia para vencer la resistencia al rodamiento [ kW]	2.42
Factor de altitud	0.8014
Potencia para vencer la resistencia aerodinámica [kW]	0.029
Potencia para vencer la resistencia por inercia [kW]	11.93
Potencia de reserva [kW]	142.74
Capacidad de ascenso [ %]	47.39

### 3.5.6. VERIFICACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, en la tabla 3.3 podemos observar la verificación de los resultados correspondiente a los modelos de autobuses en circulación más utilizados de la ciudad de Ibarra tomados para este tema de estudio. Mediante los parámetros calculados se pudo comprobar que todos los modelos cumplen sin inconvenientes porque se encuentran sobredimensionados de fábrica, utilizando una potencia excesiva para cumplir con las características del terreno y la pendiente máxima de la ciudad.

**Tabla 3.15** Verificación de Resultados

<b>Verificación de resultados</b>	<b>Autobuses cumplen</b>
Las ruedas soportan el peso del vehículo	SI
La caja soporta la carga generada por el peso del vehículo	SI
La potencia del motor es mayor o igual a la sugerida	SI
La caja de cambios soporta el torque del motor	SI
El diferencial soporta la carga generada por el peso del vehículo	SI
El paso del diferencial es menor o igual al paso sugerido	SI
La capacidad de arranque (Startability) es mayor o igual a 21%	SI
La capacidad de ascenso (Gradeability) es mayor o igual a 25%	SI

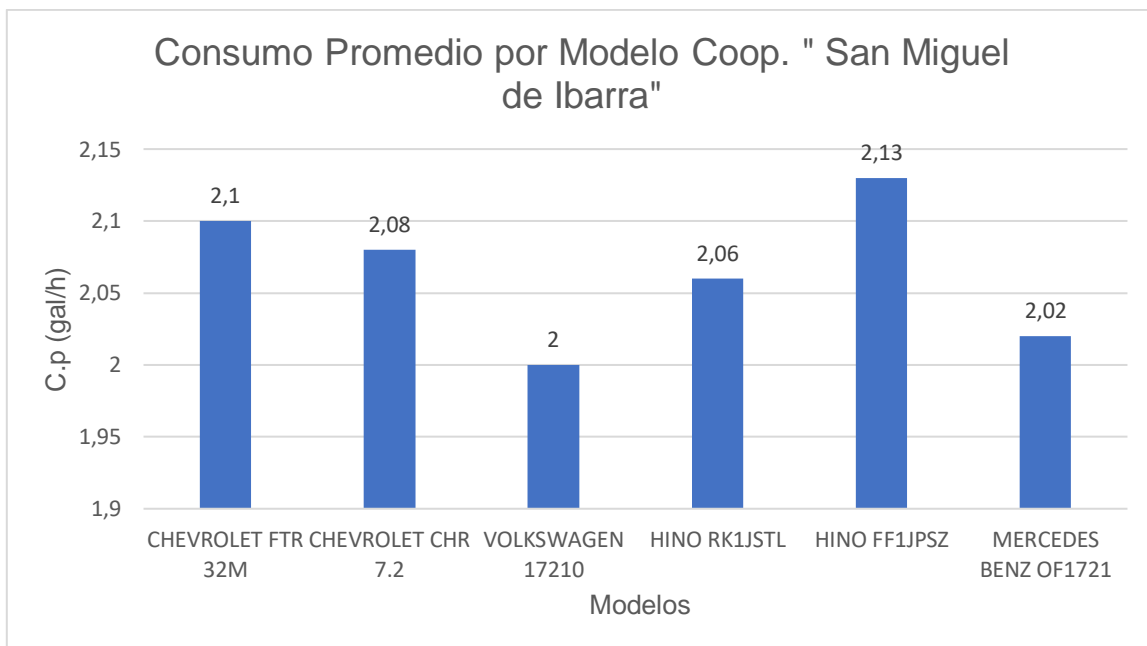


### 3.6. CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Para determinar el consumo de combustible de los modelos de autobuses que circulan en la ciudad de Ibarra, se realizó una encuesta a los conductores de las dos cooperativas que brindan el servicio de transporte urbano obteniendo datos de fuentes confiables para el análisis del estudio.

#### 3.6.1. CONSUMO PROMEDIO POR MODELO

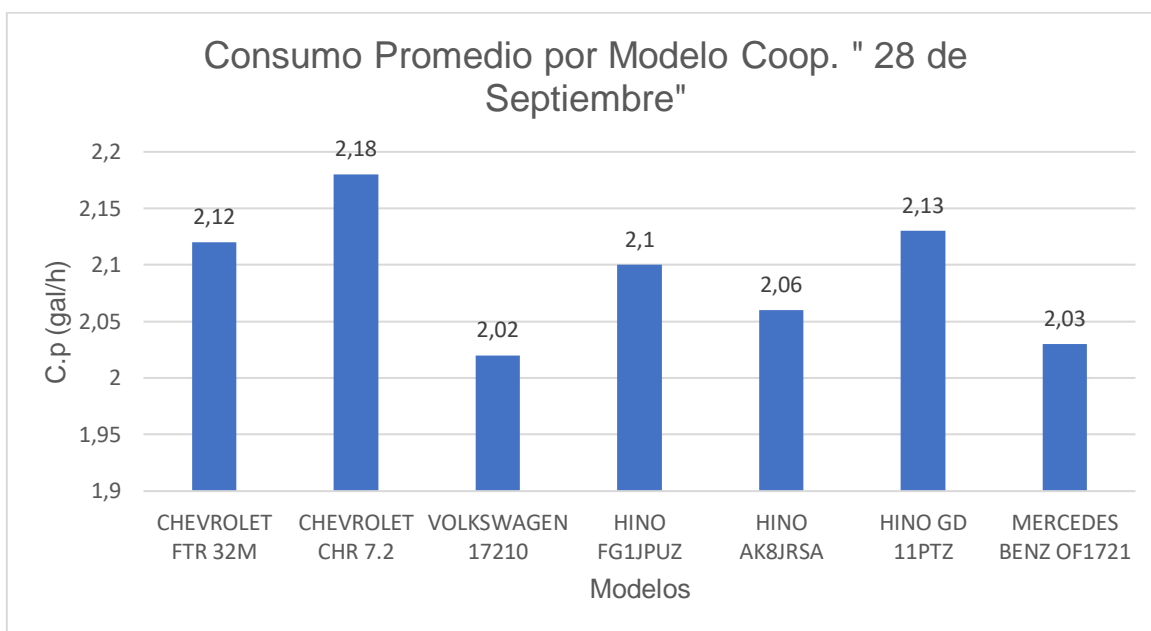
A continuación, se muestra el consumo promedio por modelo de autobús, donde podemos distinguir los modelos con mayor consumo de combustible y el modelo de menor consumo para cada cooperativa.



**Figura 3.9** Consumo Promedio por Modelo de la Cooperativa " San Miguel de Ibarra"

En la figura 3,9 podemos observar el consumo promedio pertinente a la cooperativa "San Miguel de Ibarra". Donde se encuentran especificados los modelos con mayor y menor consumo (gal/h), siendo el modelo Hino FF el de mayor consumo con 2,13 (gal/h), además cabe mencionar que los modelos Volkswagen 17210 y Mercedes Benz OF1721 son los de menor consumo con 2 (gal/h) y 2,02 (gal/h) respectivamente.

Los modelos de la marca Hino poseen una diferencia considerable entre ellos respecto al consumo de combustible, el modelo RK1JSTL consume 0,07 (gal/h) menos que el modelo FF1JPSZ, además observamos que entre los modelos Chevrolet FTR 32M y CHR 7.2 existe una diferencia de consumo de 0,03 (gal/h).



**Figura 3.10** Consumo Promedio por Modelo de la Cooperativa " 28 de Septiembre"

En la figura 3.10 se presenta las cuatro marcas más representativas de la cooperativa "28 de Septiembre" con sus respectivos modelos. El modelo CHR 7.2 de la marca Chevrolet con 2,18 (gal/h) es el de mayor consumo y posee una diferencia de 0,06 (gal/h) respecto al modelo FTR 32M de la misma marca, seguido por el modelo GD11PTZ de la marca Hino con 2,13 (gal/h) y con una diferencia de 0,07 (gal/h) con respecto al modelo AK8JRSA que posee el menor consumo de la marca.

Los modelos Volkswagen 17210 con 2,02 (gal/h) y Mercedes Benz OF1721 con 2,03 (gal/h) son los que poseen un menor consumo de combustible de entre todos los modelos existentes.

En la tabla 3.16 se puede observar los consumos promedio que posee cada modelo de autobús utilizados por las cooperativas de transporte urbano de la ciudad, además cabe mencionar

que los modelos Volkswagen y Mercedes Benz son los que tienen un menor consumo de combustible con respecto a los demás modelos, aunque no existe una diferencia considerable entre cada uno de los modelos.

**Tabla 3.16** Consumo de Combustible Promedio

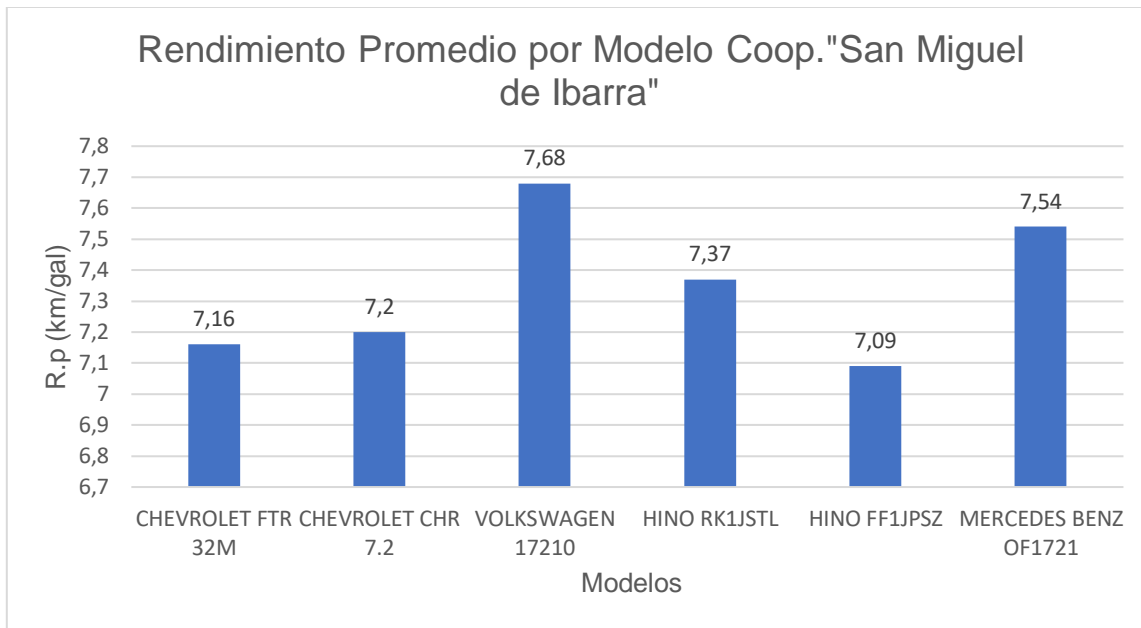
<b>Modelo</b>	<b>Coop. SMI (gal/h)</b>	<b>Coop. 28 S (gal/h)</b>	<b>Consumo promedio (gal/h)</b>
Chevrolet FTR 32M	2,10	2,12	2,11
Chevrolet CHR 7.2	2,08	2,18	2,13
Volkswagen 17210	2,00	2,02	2,01
Hino RK1JSTL	2,06	-	2,06
Hino FF1JPSZ	2,13	-	2,13
Hino FG1JPUZ	-	2,10	2,10
Hino AK8JRSA	-	2,06	2,06
Hino GD11PTZ	-	2,13	2,13
Mercedes Benz OF1721	2,02	2,03	2,025

### **3.7. RENDIMIENTO COMBUSTIBLE**

El rendimiento de un autobús está relacionado directamente al consumo de combustible, básicamente en los kilómetros recorridos sobre el consumo y se expresa en (km/gal). Mediante el rendimiento se puede identificar qué modelo de autobús posee una mayor eficiencia y brinda un mejor beneficio al propietario.

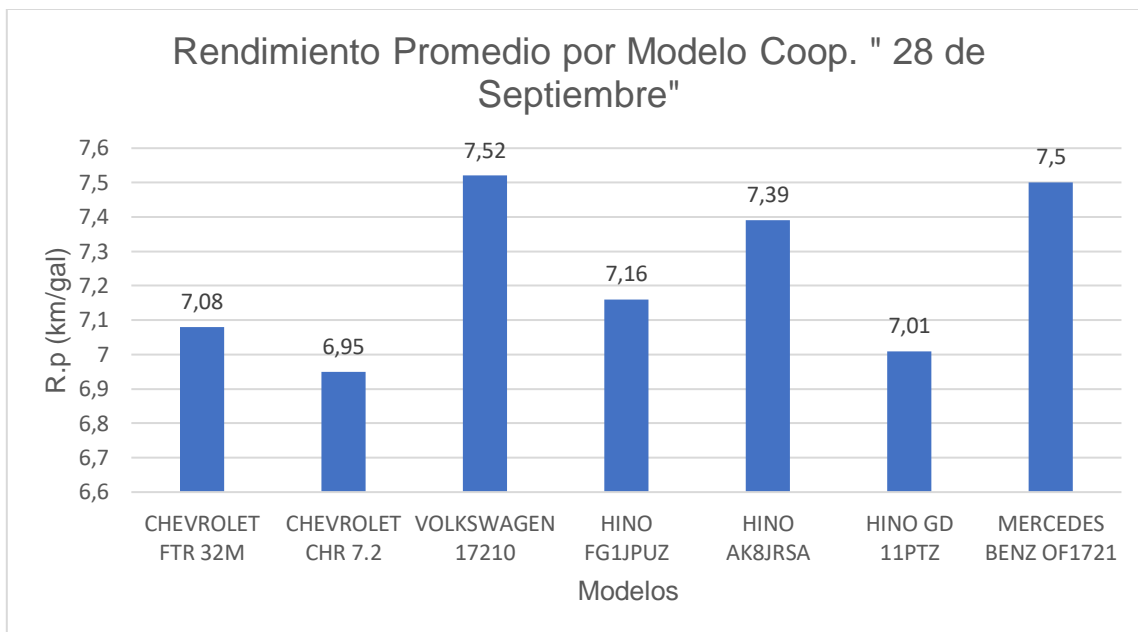
#### **3.7.1. RENDIMIENTO PROMEDIO POR MODELO**

A continuación, podemos observar el rendimiento promedio que posee cada modelo de autobús pertenecientes a las dos cooperativas de transporte urbano, identificando modelos que poseen un rendimiento mayor en relación con otros.



**Figura 3.11** Rendimiento Promedio por Modelo de la Cooperativa " San Miguel de Ibarra"

En la figura 3.11, se muestra cada uno de los modelos con su respectivo rendimiento, identificando al modelo Volkswagen 17210 como el de mejor rendimiento con 7,68 (km/gal) seguido por el modelo Mercedes Benz OF1721 con 7,54 (km/gal), ambos modelos poseen el mismo consumo de combustible, pero el modelo Volkswagen 17210 recorre una mayor distancia proporcionando un mejor rendimiento en el consumo de combustible. Respecto a los modelos de la marca Chevrolet el modelo CHR 7.2 posee un rendimiento de 7,2 (km/gal) y el modelo FTR posee 7,16 (km/gal) una diferencia de 0,04 (km/gal). Los modelos de la marca Hino que posee la cooperativa San Miguel de Ibarra son el RK1JSTL con 7,37 (km/gal) y el modelo FF1JPSZ es el que posee un menor rendimiento con 7,09 (km/gal).



**Figura 3.12** Rendimiento Promedio por Modelo de la Cooperativa " 28 de Septiembre"

En la figura 3.12, podemos observar los rendimientos que poseen los modelos de autobuses de la cooperativa 28 de Septiembre, en la marca Hino tenemos tres modelos el de mejor rendimiento de esta marca es el AK8JRSA con 7,39 (km/gal), seguido por el modelo FG1JPUZ con 7,16 (km/gal) y con el menor rendimiento de esta marca el modelo GD11PTZ que posee 7,01 (km/gal). En cuanto a la marca Chevrolet esta posee dos modelos los cuales son el modelo FTR con un rendimiento de 7,08 (km/gal) y el modelo CHR 7.2 con un rendimiento de 6,95 (km/gal) siendo este el más bajo de todos los modelos que posee la cooperativa. Los modelos que poseen el mejor rendimiento son el Volkswagen 17210 con 7,52 (km/gal) y el modelo Mercedes Benz OF1721 con 7,50 (km/gal).

En la tabla 3.17, se muestra el rendimiento promedio que posee cada modelo de autobús de ambas cooperativas determinando que el modelo con mayor rendimiento es el de la marca Volkswagen seguido por el modelo Mercedes Benz, cabe mencionar que la diferencia del rendimiento entre ambos modelos es mínima, aunque con los demás modelos posee una diferencia considerable.

**Tabla 3.17 Rendimiento Promedio de Combustible**

<b>Modelo</b>	<b>Coop. SMI (km/gal)</b>	<b>Coop. 28 S (km/gal)</b>	<b>Rendimiento promedio (km/gal)</b>
Chevrolet FTR 32M	7,16	7,08	7,12
Chevrolet CHR 7.2	7,20	6,95	7,08
Volkswagen 17210	7,68	7,52	7,60
Hino RK1JSTL	7,37	-	7,37
Hino FF1JPSZ	7,09	-	7,09
Hino FG1JPUZ	-	7,16	7,16
Hino AK8JRSA	-	7,39	7,39
Hino GD11PTZ	-	7,01	7,01
Mercedes Benz OF1721	7,54	7,50	7,52
Promedio general	-	-	7,26

En la tabla 3.18, se presenta el rendimiento promedio y el consumo de combustible diario estimado que poseen las unidades de transporte actuales de la ciudad, esta información se obtuvo mediante las muestras de campo realizadas y se utiliza para obtener el costo de combustible de un autobús para operar de manera diaria, mensual y anual. Cabe mencionar que la información se obtuvo con el costo de combustible diesel a 1,90 USD el galón, además se utilizó un promedio de kilómetros recorridos de entre todas las rutas dando un estimado de 140 km por día. No obstante, y debido a la reducción del costo del combustible la tabla presenta información con el costo por galón de combustible a 1,75 USD.

**Tabla 3.18 Costo de Combustible Autobús**

<b>Rendimiento (km/gal)</b>	<b>Consumo al día (gal/día)</b>	<b>Costo al día USD</b>	<b>Costo semanal USD</b>	<b>Costo al mes USD</b>	<b>Costo Anual USD</b>
7,26	19,28	33,74	202,44	843,5	10 122

De acuerdo con los parámetros calculados, se obtiene el costo promedio diario de combustible utilizado para un autobús en la ciudad de Ibarra de 33,74 USD y al año de 10 122 USD.

### 3.8. ANÁLISIS COSTOS DE MANTENIMIENTO

A continuación, se presentan los costos de mantenimiento que se generan en el servicio de transporte urbano, este análisis se lo realizó basándose en el valor recolectado de proformas proporcionadas por locales comerciales y el valor de la encuesta realizada a los conductores, se realizó el análisis de los costos de mantenimiento preventivo por sistemas y se consideró para el análisis de los costos de mantenimiento correctivo a las reparaciones.

La tabla 3.19, presenta los costos de mantenimiento preventivo que posee un autobús en cada uno de sus sistemas con sus respectivos intervalos de tiempo de mantenimiento en meses, podemos observar el costo anual total estimado de 8 790,29 USD, uno de los principales costos en el mantenimiento es el cambio de aceite y filtro de motor que se lo realiza de manera mensual con un costo estimado de 110 USD y un costo anual de 1 320 USD, además del cambio de neumáticos considerado como uno de los rubros más elevados con un costo estimado de 2 700 USD que se lo realiza de manera anual.

**Tabla 3.19** Costo de Mantenimiento Preventivo Autobús

Sistema	Tiempo (meses)	Costo USD	Costo anual USD
<b>Carrocería y chasis</b>			
Limpia parabrisas	18	40	26,66
Tapicería	30	950	380
Engrasado	2	20	120
Arreglo del piso	36	1 500	500
<b>Sistema eléctrico</b>			
baterías	14	320	274,28
luces	12	60	60
Alternador	14	100	85,71
arranque	14	100	85,71
<b>Motor y distribución</b>			
Calibración de válvulas	8	60	90
banda de accesorios	20	65	39
aceite y filtro	1	110	1 320
filtro de aire	6	61	122

**Tabla 3.19** Costo de Mantenimiento Preventivo Autobús (**Continuación...**)

<b>Sistema de refrigeración</b>			
liquido refrigerante	12	35	35
tapa del radiador	24	40	20
<b>Sistema de inyección</b>			
filtro de combustible	1	20	240
filtro separador de agua	1	17	204
Calibración bomba de inyección	12	350	350
Limpieza tanque de combustible	20	50	30
<b>Sistema de frenos</b>			
Frenos delanteros	8	100	150
Frenos posteriores	8	75	112,5
filtro secador de aire	9	111	148
Mantenimiento compresor	12	85	85
<b>Sistema de transmisión</b>			
aceite diferencial	8	75	112,5
aceite caja de cambios	8	70	105
kit de embrague	18	780	520
Engrasado puntas de eje	10	180	216
junta y soporte cardan	12	150	150
<b>Sistema de dirección y suspensión</b>			
ballestas	9	100	133,33
amortiguadores	8	170	255
líquido hidráulico	9	25	33,33
rotulas de dirección	22	160	87,27
neumáticos	12	2 700	2700
Total		8 589	8 790,29

En la tabla 3.20, observamos los costos correspondientes al mantenimiento correctivo del autobús, el rubro principal corresponde a la reparación del motor que se lo realiza en un tiempo estimado de 5 años con un costo de 5 500 USD, además se realizó el cálculo del costo anual obteniendo la cantidad de 2 294 USD.



**Tabla 3.20** Costo Mantenimiento Correctivo Autobús

Sistema	Tiempo (meses)	Costo USD	Costo anual USD
Reparación motor	60	5 500	1 100
Reparación de caja	40	1 500	450
Reparación de bomba de inyección	50	1 600	384
Reparación de diferencial	36	600	200
Reparación turbo	60	800	160
Total		10 020	2 294

En la tabla 3.21, se muestra el costo total de mantenimiento de un autobús al año, mediante los parámetros obtenidos se estima que el costo de mantenimiento mensual es de 923,69 USD y el costo de mantenimiento anual asciende a 11 084,29 USD.

**Tabla 3.21** Costo de Mantenimiento Total Autobús

Descripción	Costo Mensual USD	Costo Anual USD
Mantenimiento preventivo	732,52	8 790,29
Mantenimiento correctivo	191,17	2294
Total	923,69	11 084,29

### 3.8.1. ANÁLISIS FINANCIAMIENTO AUTOBÚS

El financiamiento para la adquisición de la unidad se puede realizar mediante la Corporación Financiera Nacional, esta entidad pública otorga créditos a un plazo de 10 a 15 años y una tasa de interés del 7,5% anual. A continuación, se detalla la tabla de amortización.

**Tabla 3.22** Amortización del Financiamiento Autobús

Años	Cuota	Interés	Capital	Saldo
1	15 860,21	10 500,00	5 360,21	140 000,00
2	15 860,21	10 098,00	5 762,23	134 639,79
3	15 860,21	9 666,00	6 194,40	128 877,56
4	15 860,21	9 201,24	6 658,98	122 683,16
5	15 860,21	8 701,81	7 158,40	116 024,19

**Tabla 3.22** Amortización del Financiamiento Autobús (**Continuación...**)

6	15 860,21	8 164,93	7 695,28	108 865,79
7	15 860,21	7 587,79	8 272,43	101 170,51
8	15 860,21	6 967,36	8 892,86	92 898,08
9	15 860,21	6 300,39	9 559,82	84 005,23
10	15 860,21	5 583,41	10 276,81	74 445,40
11	15 860,21	4 812,64	11 047,57	64 168,60
12	15 860,21	3 984,08	11 876,14	53 121,03
13	15 860,21	3 093,37	12 766,85	41 244,89
14	15 860,21	2 135,85	13 724,36	28 478,05
15	15 860,21	1 106,53	14 753,69	14 753,69

### **3.9. PROPUESTA DE CONJUNTO TREN MOTRIZ Y CHASIS**

La propuesta se basa en la selección de unidades que estén más acorde a las condiciones de la ciudad y disminuyan el problema del sobredimensionamiento que posee el tren motriz y la ineficiencia ocupacional existente.

Por tal motivo la propuesta del conjunto tren motriz y chasis de este tema de estudio plantea el uso de minibuses urbanos con capacidad de 55 y 52 pasajeros, para lo cual se realizó un análisis técnico del rendimiento del tren motriz, rendimiento de combustible y costos de mantenimiento del minibus propuesto y los beneficios que este conlleva.

#### **3.9.1. ANÁLISIS MINIBÚS CONVENCIONAL**

Para el análisis de rendimiento del tren motriz del minibus a diesel, se procedió a definir los parámetros del terreno tomando en cuenta una pendiente máxima del 21% y datos referente a las especificaciones técnicas que se utilizan para realizar el cálculo de la capacidad de arranque y asenso en el software Matlab.

**Tabla 3.23** Especificación Técnica Minibús Convencional

<b>Motor</b>	
Nro. De Cilindros	4 en línea
Potencia (kW@ rpm)	108-2600
Torque (Nm@ rpm)	500-1600
<b>Transmisión</b>	
1era	5,76
2da	2,46
3era	1,53
4ta	1
5ta	0,77
Reversa	5,24
Relación de paso diferencial	4,63:1
Neumáticos	215/75R17,5
<b>Pesos y capacidades</b>	
Peso vacío (kg)	3 090
Peso bruto vehicular (kg)	9 200
Capacidad de carga (kg)	6 110
Costo de Adquisición (USD)	90 000

**Fuente:** (Grupo Mavesa, 2022, pág. 2) (Volkswagen Ecuador, 2022, pág. 2)

En la tabla 3.23, se observa los datos técnicos que se utiliza para realizar los cálculos del rendimiento que posee el tren motriz del minibús, tal como su PBV de 9200 kg, la relación de transmisión del paso del diferencial de 4,63, como también la potencia de 108 kW y el torque de 500 Nm, con esta información se pudo calcular ciertos parámetros que permiten efectuar un análisis técnico del rendimiento, además de un análisis comparativo con el rendimiento que posee el autobús.

### 3.9.1.1 ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS MINIBUS

Los parámetros calculados para el minibús mediante el uso del software son los siguientes: velocidad máxima de 105,46 km/h, capacidad de arranque para una pendiente de 28,51 % un

3,51% superior a la establecida en la normativa, capacidad de ascenso de 35,69% utilizando una potencia de 77,54 kW a un velocidad aparente de 8,68 km/h.

**Tabla 3.24** Análisis de Datos Minibús Convencional  
**MINIBUS CONVENCIONAL PROPUESTA**

<b>Parámetros calculados</b>	<b>Valor</b>
Velocidad máxima [ km/h]	105.46
Capacidad de arranque [%]	28,51
Potencia para vencer la resistencia al rodamiento [ kW]	1.76
Factor de altitud	0.8014
Potencia para vencer la resistencia aerodinámica [kW]	0.033
Potencia para vencer la resistencia por inercia [kW]	8.59
Potencia de reserva [kW]	77,54
Capacidad de ascenso [ %]	35,69

En la tabla 3.24, se presenta todos los parámetros calculados y como se detalló anteriormente la pendiente máxima es 21% por lo tanto el minibús cumple con las condiciones de la ciudad y con la norma INEN puesto que en la normativa 2 205:2010 nos indica que la capacidad de arranque mínima es de 25% y el minibús posee la capacidad de arranque de 28,51% y capacidad de ascenso de 35,69%.

### **3.9.1.2 RENDIMIENTO COMBUSTIBLE MINIBUS**

Para la obtención del rendimiento promedio estimado que posee el minibús, se lo realizo de igual manera que la del autobús mediante los kilómetros recorridos en función del consumo de combustible, a continuación, se detalla la tabla 3,24 en la cual observamos el valor del rendimiento correspondiente a la media ponderada de los datos obtenidos dando como resultado un rendimiento de 9,22 km/gal, con un consumo de 15,18 galones por día.

**Tabla 3.25** Rendimiento Promedio y Costo de Combustible Minibús Convencional

<b>Rendimiento (km/gal)</b>	<b>Consumo al día (gal/día)</b>	<b>Costo al día USD</b>	<b>Costo semanal USD</b>	<b>Costo al mes USD</b>	<b>Costo Anual USD</b>
9,22	15,18	26,57	159,42	664,25	7 971

Mediante los parámetros calculados con el rendimiento de 9,22 km/gal obtenemos el costo promedio diario de combustible si se utilizase el minibús urbano en la ciudad de Ibarra con 26,57 USD y un costo mensual de 664,25 USD.

### 3.9.1.3 ANÁLISIS COSTO DE MANTENIMIENTO MINIBUS

En la tabla 3.26, se detalla los costos estimados de mantenimiento preventivo correspondiente a un minibús urbano distribuido por sistemas que deben realizarse cada cierto lapso de tiempo, obteniendo un costo mensual de 573,76 USD y un costo anual de 6 885,14 USD por rubros de mantenimiento. El cambio de aceite y filtro de motor es de vital importancia y constituye uno de los mayores costos de mantenimiento con un costo mensual de 90 USD y un costo anual de 1 080 USD, además cabe mencionar el cambio del kit de embrague posee un costo de 640 USD y se lo debe realizar en un tiempo estimado de 18 meses.

**Tabla 3.26** Costo de Mantenimiento Preventivo Minibús Convencional

<b>Sistema</b>	<b>Tiempo (meses)</b>	<b>Costo USD</b>	<b>Costo anual USD</b>
<b>Carrocería y chasis</b>			
Limpia parabrisas	18	36	24
Tapicería	30	845	338
Engrasado	2	20	240
Arreglo del piso	36	1250	416,66
<b>Sistema eléctrico</b>			
baterías	14	320	274,28
luces	12	60	60
Alternador	14	90	77,14

**Tabla 3.26** Costo de Mantenimiento Preventivo Minibús Convencional (**Continuación...**)

arranque	14	90	77,14
<b>Motor y distribución</b>			
Calibración de válvulas	8	60	90
banda de accesorios	20	60	36
aceite y filtro	1	90	1080
filtro de aire	6	40	80
<b>Sistema de refrigeración</b>			
liquido refrigerante	12	30	30
tapa del radiador	24	36	18
<b>Sistema de inyección</b>			
filtro de combustible	1	18	216
filtro separador de agua	1	15	180
Calibración bomba de inyección	12	315	315
Limpieza tanque de combustible	20	50	30
<b>Sistema de frenos</b>			
Zapatas delanteras	8	85	127,5
Zapatas posteriores	8	68	97,5
filtro secador de aire	9	82	109,33
Mantenimiento compresor	12	80	80
<b>Sistema de transmisión</b>			
aceite diferencial	8	38	57
aceite caja de cambios	8	35	52,5
kit de embrague	18	640	426,66
Engrasado puntas de eje	10	160	192
junta y soporte cardan	12	125	125
<b>Sistema de dirección y suspensión</b>			
ballestas	9	85	113,33
amortiguadores	8	145	217,5
líquido hidráulico	9	25	33,33
rotulas de dirección	22	138	75,27
neumáticos	12	1596	1596
Total		6727	6885,14

En la tabla 3.27, se presenta los costos referentes al mantenimiento correctivo, obteniendo un costo anual de 1 803,33 USD y un costo total de 7800 USD siendo estos los costos más elevados debido a las reparaciones necesarias que se deben realizar al minibús para un óptimo desempeño.

**Tabla 3.27** Costo de Mantenimiento Correctivo Minibús Convencional

<b>Sistema</b>	<b>Tiempo (meses)</b>	<b>Costo USD</b>	<b>Costo anual USD</b>
Reparación motor	60	4200	840
Reparación de caja	40	1200	360
Reparación de bomba de inyección	50	1250	300
Reparación de diferencial	36	550	183,33
Reparación turbo	60	600	120
Total		7800	1803,33

En la tabla 3.28, se muestra el costo total de mantenimiento de un minibús al año, mediante los parámetros obtenidos se estima que el costo de mantenimiento mensual es de 724,04 USD y el costo de mantenimiento anual asciende a 8 688,47 USD.

**Tabla 3.28** Costo de Mantenimiento Total Minibús Convencional

<b>Descripción</b>	<b>Costo Mensual USD</b>	<b>Costo Anual USD</b>
Mantenimiento preventivo	573,76	6 885,14
Mantenimiento correctivo	150,28	1 803,33
Total	724,04	8 688,47

### 3.9.1.4 ANÁLISIS FINANCIAMIENTO MINIBÚS CONVENCIONAL

A continuación, se detalla la tabla de amortización por un valor de 90 000 USD perteneciente al costo de la unidad a un plazo de 15 años y una tasa de interés del 7,5 % anual.

**Tabla 3.29** Amortización del Financiamiento Minibús

Años	Cuota	Interés	Capital	Saldo
1	10 195,85	6 750,00	3 445,85	90 000,00
2	10 195,85	6 492,00	3 704,29	86 554,15
3	10 195,85	6 214,00	3 982,11	82 849,86
4	10 195,85	5 915,08	4 280,77	78 867,75
5	10 195,85	5 594,02	4 601,83	74 586,98
6	10 195,85	5 248,89	4 946,97	69 985,15
7	10 195,85	4 877,86	5 317,99	65 038,18
8	10 195,85	4 479,01	5 716,84	59 720,20
9	10 195,85	4 050,25	6 145,60	54 003,36
10	10 195,85	3 589,33	6 606,52	47 857,76
11	10 195,85	3 093,84	7 102,01	41 251,24
12	10 195,85	2 561,19	7 634,66	34 149,23
13	10 195,85	1 988,59	8 207,26	26 514,57
14	10 195,85	1 373,05	8 822,80	18 307,32
15	10 195,85	711,34	9 484,51	9 484,51

### 3.9.1.5 ANÁLISIS OCUPACIONAL DE LA OFERTA VS LA DEMANDA

En la tabla 3.30, podemos observar los resultados obtenidos del análisis de la demanda de todas las rutas de la ciudad utilizando la oferta que proporciona el minibús convencional propuesto para este tema de estudio.



**Tabla 3.30** Análisis Oferta vs Demanda Minibús Convencional

Ruta	Coop.	Demanda	Oferta					
		Ocup. Promedio/Vuelta	Cap. Sentados	Cap. De Pie	Cap. Total	% Sentados	% Parados	% Total Ocup. Buses
Católica-Alpachaca	28S	19	22	33	55	86,36 %	0 %	34,55 %
Arcángel- San Cristóbal	28S	18	22	33	55	81,81 %	0 %	32,73 %
Azaya – La Campiña	28S	20	22	33	55	90,91 %	0 %	36,36 %
Caranqui-Aduana	28S	15	22	33	55	61,18 %	0 %	27,27 %
Chorlavi- La Victoria	28S	18	22	33	55	81,81 %	0 %	32,73 %
Milagro-Yahuarcocha	28S	22	22	33	55	100 %	0 %	40,00 %
Naranjito	28S	35	22	33	55	100 %	39,39 %	63,64 %
Palmas- Los Ceibos	28S	21	22	33	55	95,45 %	0 %	38,18 %
Pugacho- Sta. Teresa	28S	15	22	33	55	61,18 %	0 %	27,27 %
Santa Rosa- Los Ceibos	28S	19	22	33	55	86,36 %	0 %	34,55 %
Aloburo	28S	25	22	33	55	100 %	9,09 %	45,45 %
Tanguarín-Aduana	28S	24	22	33	55	100 %	6,06 %	43,64 %
Carmen-Bellavista	28S	17	22	33	55	77,27 %	0 %	30,91 %
Ejido-Miravalle	SMI	19	22	33	55	86,36 %	0 %	34,55 %
La Esperanza-Hosp. del Seguro	SMI	15	22	33	55	61,18 %	0 %	27,27 %
Chugchupungo- La Florida	SMI	14	22	33	55	63,64 %	0 %	25,45 %
Colinas-Aduana	SMI	8	22	33	55	36,36 %	0 %	14,55 %
Sta. Isabel-Huertos Familiares	SMI	18	22	33	55	81,81 %	0 %	32,73 %
19 de Enero-Odilas	SMI	13	22	33	55	59,09 %	0 %	23,64 %
Caranqui-Universidades	SMI	8	22	33	55	36,36 %	0 %	14,55 %
Sto. Domingo-Universidades	SMI	19	22	33	55	86,36 %	0 %	34,55 %
Sta. Lucia- La Victoria	SMI	14	22	33	55	63,64 %	0 %	25,45 %
<b>Promedio</b>						77,14 %	2,47 %	32,73 %

Tomando en cuenta los resultados de la tabla 3.9, correspondiente a la demanda vs la oferta de los autobuses actuales de la ciudad podemos realizar una comparación de eficiencia ocupacional, utilizando el minibús propuesto notamos que mejora el porcentaje de ocupación total en un 10,23% y el porcentaje de eficiencia en la capacidad de pasajeros sentados en un 13,16%.

### 3.9.2. ANÁLISIS MINIBÚS ELÉCTRICO

Para el correcto análisis del tren motriz del minibús eléctrico, se procedió a obtener las características técnicas del fabricante necesarias para realizar los cálculos en el software Matlab, en la investigación se evidencio que los fabricantes no dan a conocer el tipo de transmisión, ni tampoco las relaciones de transmisión que posee, por lo tanto, para el análisis de la capacidad de arranque en pendiente se utilizó el dato proporcionado en la ficha técnica.

**Tabla 3.31** Ficha Técnica Minibús Eléctrico

<b>Motor eléctrico</b>	
Motor	TM4 eléctrico
Tipo	Síncrono imanes permanentes
Potencia (kW)	230
Torque (Nm)	2500
Potencia continua (kW)	115
Torque continuo (Nm)	1140
<b>Batería</b>	
Batería de alto voltaje	ion-litio 360v
Energía (kWh)	220
Autonomía (km)	300
<b>Transmisión</b>	
Primera marcha	—
Ultima marcha	—
Relación paso diferencial	—
Neumáticos	245/75R17,5

**Tabla 3.31** Ficha Técnica Minibús Eléctrico (Continuación...)

Pesos y dimensiones	
Largo (m)	8,315
Ancho (m)	2,436
Alto (m)	3,090
Peso bruto vehicular (kg)	11 500
Costo de adquisición (USD)	300.000

**Fuente:** (Karsan, 2022, pág. 30)

En la tabla 3.31, se presenta las características técnicas del minibús eléctrico propuesto con las siguientes dimensiones: 8,31 m de largo, 2,43 m de ancho, 3,09 m de alto, PBV de 11 500 kg, potencia máxima de 230 kW, torque de 2500 Nm, capacidad de batería de 220 kWh, con una autonomía de 300 km en carga completa.

### 3.9.2.1 ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS MINIBUS ELÉCTRICO

A continuación, en la tabla 3.32, se presenta los parámetros calculados mediante el software correspondiente al minibús eléctrico: velocidad máxima de 80 km/h, capacidad de ascenso en pendiente de 31,76%, utilizando una potencia de 80,98 kW a una velocidad aparente de 8,14 km/h.

**Tabla 3.32** Análisis de Datos Minibús Eléctrico

Parámetros calculados	Valor
Velocidad máxima [ km/h]	80
Capacidad de arranque [%]	24
Potencia para vencer la resistencia al rodamiento [ kW]	2,05
Factor de altitud	0.8014
Potencia para vencer la resistencia aerodinámica [kW]	0.030
Potencia para vencer la resistencia por inercia [kW]	10,55
Potencia de reserva [kW]	80,98
Capacidad de ascenso [ %]	31,76

Como se detalló anteriormente el dato de la capacidad de arranque en pendiente no se lo pudo calcular debido a que el fabricante no proporciona información referente a las relaciones de transmisión, por lo tanto, para el análisis se utilizó el dato proporcionado en la ficha técnica que es de 24% de capacidad de arranque en pendiente, superior en un 3% a la pendiente máxima que se presenta en la ciudad cumpliendo con las condiciones de la misma.

### 3.9.2.2 CONSUMO ENERGÍA ELECTRICA

En el análisis del consumo energético del minibús eléctrico se utilizó el mismo promedio de kilómetros recorridos usados para el análisis del consumo de combustibles del bus convencional de entre todas las rutas dando un estimado de 140 km por día, además de la capacidad de almacenamiento de 220 kWh que posee la batería y su autonomía de 300 km tomados de las especificaciones técnicas de la tabla 3,29.

En la tabla 3.33, observamos los resultados obtenidos correspondiente al minibús eléctrico en un día de trabajo con un rendimiento de energía de 1,36 km/kWh y un consumo energético diario de 102,62 kWh.

**Tabla 3.33** Consumo Energético por Día

Consumo energético (kWh/km)	Rendimiento energía (km/kWh)	Consumo energético por día (kWh)
0,733	1,36	102,62

Para poder obtener el costo diario de energía eléctrica, se necesita conocer la tarifa para el servicio de carga a vehículos eléctricos determinado por la Agencia de regulación y control de energía y recursos naturales no renovables (ARCERNNR, 2022), el mismo que se expresa en kWh. La tabla 3,34 muestra la tarifa para los proveedores del servicio de carga de energía a vehículos eléctricos para el periodo Enero-Diciembre 2022 según la resolución Nro.-ARCERNNR-011/2022. La resolución expresa los límites máximos del costo del servicio en electrolinerías clasificándolos por vehículos livianos, pesados y modo de carga.

**Tabla 3.34** Tarifa de Recarga para Vehículos Eléctricos

<b>Descripción</b>	<b>Costo carga rápida (ctvs./kWh)</b>	<b>Costo carga ultra rápida (ctvs./kWh)</b>
Vehículos livianos	17,15	28,51
Vehículos pesados	16,10	17,51

Fuente: (ARCERNNR, 2022, págs. 13,14)

La tabla 3.35, muestra el costo de energía para una unidad, tomando en cuenta los parámetros mencionados anteriormente referentes a la tarifa, obteniendo un costo diario de 16,52 USD y un costo mensual estimado de 413 USD.

**Tabla 3.35** Costo de Recarga Mensual

<b>Consumo energético (kWh/km)</b>	<b>Consumo al día (kWh/día)</b>	<b>Costo al día USD</b>	<b>Costo semanal USD</b>	<b>Costo al mes USD</b>	<b>Costo Anual USD</b>
0,733	102,62	16,52	99,12	413	4 956

Respecto al costo de la infraestructura de estaciones de carga o electrolinerías, la empresa BYD Ecuador en conjunto con la alcaldía de Guayaquil y el gobierno nacional inauguraron su primera electrolinería con una inversión de 650 000 USD. Esta estación cuenta con 20 cargadores de carga rápida que en la noche carga los E-buses y posee la capacidad para cargar 500 vehículos eléctricos (BYD Ecuador, 2019).

### 3.9.2.3 ANÁLISIS COSTO DE MANTENIMIENTO MINIBUS ELÉCTRICO

A continuación, se presenta los costos de mantenimiento para el minibús eléctrico, al no contar con suficiente información por considerarse una tecnología relativamente nueva en nuestro país especialmente en el servicio de transporte urbano, se han considerado tomar como referencia los costos de mantenimiento oficiales de la empresa BYD Ecuador. La cual manifiesta el costo de mantenimiento de un autobús eléctrico a diferencia de un convencional

posee un ahorro del 30% al contar con menos partes mecánicas en funcionamiento y mejor tecnología (BYD Ecuador , 2018).

La tabla 3.36, muestra los costos de mantenimiento tomando en cuenta el costo del modelo correspondiente al minibús convencional al ser un modelo similar y de igual capacidad al minibús eléctrico y lo mencionado anteriormente una reducción del 30% de los costos según BYD, obteniendo un costo estimado de 506,83 USD mensuales.

**Tabla 3.36** Costo de Mantenimiento Minibús Eléctrico

<b>Descripción</b>	<b>Costo Mensual USD</b>	<b>Ahorro 30% mensual USD</b>	<b>Costo mensual eléctrico USD</b>
Mantenimiento preventivo	573,76	172,13	401,63
Mantenimiento correctivo	150,28	45,08	105,20
Total	724,04	217,21	506,83

Con relación al costo de adquisición del modelo seleccionado, se obtuvo de la página oficial del fabricante a julio 2022 con un costo de 300 000 USD, es importante mencionar que en el costo de adquisición está incluido los costos de flete e importación y que al tratarse de minibuses eléctricos para transporte publico están exentos de impuestos.

### 3.9.2.4 ANÁLISIS FINANCIAMIENTO MINIBÚS ELÉCTRICO

A continuación, se detalla la tabla de amortización por un valor de 300 000 USD perteneciente al costo del minibús eléctrico a un plazo de 15 años y una tasa de interés del 7,5 % anual.

**Tabla 3.37** Amortización del Financiamiento Minibús Eléctrico

Años	Cuota	Interés	Capital	Saldo
1	33 986,17	22 500,00	11 486,17	300 000,00
2	33 986,17	21 639,00	12 347,63	288 513,83
3	33 986,17	20 712,00	13 273,71	276 166,20
4	33 986,17	19 716,94	14 269,23	262 892,49
5	33 986,17	18 646,74	15 339,43	248 623,26
6	33 986,17	17 496,29	16 489,88	233 283,83
7	33 986,17	16 259,55	17 726,63	216 793,94
8	33 986,17	14 930,05	19 056,12	199 067,32
9	33 986,17	13 500,84	20 485,33	180 011,20
10	33 986,17	11 964,44	22 021,73	159 525,87
11	33 986,17	10 312,81	23 673,36	137 504,14
12	33 986,17	8 537,31	25 448,86	113 830,77
13	33 986,17	6 628,64	27 357,53	88 381,91
14	33 986,17	4 576,83	29 409,34	61 024,38
15	33 986,17	2 371,13	31 615,04	31 615,04

### 3.9.2.5 ANÁLISIS OCUPACIONAL DE LA OFERTA VS LA DEMANDA

En la tabla 3.38, observamos los resultados obtenidos del análisis de la demanda de pasajeros vs la oferta proporcionada por el modelo de minibús eléctrico propuesto, notamos que existe una mejor eficiencia ocupacional con respecto al porcentaje total obteniendo un 34,63%.

**Tabla 3.38** Análisis Demanda vs Oferta Minibús Eléctrico

Ruta	Coop.	Demanda	Oferta					
		Ocup. Promedio/Vuelta	Cap. Sentados	Cap. De Pie	Cap. Total	% Sentados	% Parados	% Total Ocup. Buses
Católica-Alpachaca	28S	19	21	31	52	90,47 %	0 %	36,54 %
Arcángel- San Cristóbal	28S	18	21	31	52	85,71 %	0 %	34,62 %
Azaya – La Campiña	28S	20	21	31	52	95,24 %	0 %	38,46 %
Caranqui-Aduana	28S	15	21	31	52	71,42 %	0 %	28,85 %
Chorlavi- La Victoria	28S	18	21	31	52	85,71 %	0 %	34,62 %
Milagro-Yahuarcocha	28S	22	21	31	52	100 %	3,22 %	42,31 %
Naranjito	28S	35	21	31	52	100 %	45,16 %	67,30 %
Palmas- Los Ceibos	28S	21	21	31	52	100 %	0 %	40,38 %
Pugacho- Sta. Teresa	28S	15	21	31	52	71,42 %	0 %	28,85 %
Santa Rosa- Los Ceibos	28S	19	21	31	52	90,47 %	0 %	36,54 %
Aloburo	28S	25	21	31	52	100 %	12,90 %	48,07 %
Tanguarín-Aduana	28S	24	21	31	52	100 %	9,68 %	46,16 %
Carmen-Bellavista	28S	17	21	31	52	80,95 %	0 %	32,69 %
Ejido-Miravalle	SMI	19	21	31	52	90,47 %	0 %	36,54 %
La Esperanza-Hosp. del Seguro	SMI	15	21	31	52	71,42 %	0 %	28,85 %
Chugchupungo- La Florida	SMI	14	21	31	52	66,67 %	0 %	26,92 %
Colinas-Aduana	SMI	8	21	31	52	38,09 %	0 %	15,38 %
Sta. Isabel-Huertos Familiares	SMI	18	21	31	52	85,71 %	0 %	34,62 %
19 de Enero-Odilas	SMI	13	21	31	52	61,90 %	0 %	25 %
Caranqui-Universidades	SMI	8	21	31	52	38,09 %	0 %	15,38 %
Sto. Domingo-Universidades	SMI	19	21	31	52	90,47 %	0 %	36,54 %
Sta. Lucia- La Victoria	SMI	14	21	31	52	66,67 %	0 %	26,92 %
<b>Promedio</b>						80,94 %	3,23 %	34,63 %



Al realizar una comparación de eficiencia ocupacional, utilizando el autobús actual y el minibús eléctrico propuesto notamos que mejora el porcentaje de ocupación total en un 12,13% y el porcentaje de eficiencia en la capacidad de pasajeros sentados en un 30,95%.

### **3.9.3. ANÁLISIS TASA DE OCUPACIÓN EN HORAS PICO Y HORAS VALLE**

Con respecto a la demanda de pasajeros en horas pico esta se da por momentos cortos entre el primero y segundo turno de salida, luego para el tercer turno ya no existe aglomeración de pasajeros teniendo una caída brusca de la demanda. Se posee dos puntos de vista distintos para proporcionar una solución de la demanda en horas pico con el uso del minibús propuesto, la primera opción es realizar dos horarios de salida de las unidades en las horas valle mantener la frecuencia normal y en las horas pico reducir la frecuencia de salida o reducir el tiempo de espera en las paradas establecidas proporcionando mayor cantidad de unidades disponibles en hora pico.

Como segunda opción de solución se propone utilizar un pequeño convoy estimado de tres minibuses, durante las dos primeras salidas de las horas pico puesto que la duración de aglomeración de personas se estima ocurre durante los primeros 10 minutos de la hora pico y no sobrepasa los 130 pasajeros, y para las horas valle normalizar el horario de salida de las unidades ya que no existe una mayor demanda de pasajeros.

### **3.10. ANÁLISIS COMPARATIVO**

El análisis comparativo se lo realizo mediante los siguientes índices de eficiencia y parámetros calculados: capacidad de arranque y ascenso, potencia utilizada por pendiente, rendimiento de combustible, costos de mantenimiento, eficiencia tasa de ocupación y precio de adquisición.

**Tabla 3.39** Análisis Comparativo

Parámetros Calculados	Autobús	Minibús	Minibús eléctrico
Capacidad de arranque [ % ]	29	28,51	24
Capacidad de ascenso [ % ]	46,10	35,69	31,76
Potencia utilizada [kW]	123,49	77,54	80,98
Rendimiento Combustible [km/gal]	7,26	9,22	—
Rendimiento energía [km/kWh]	—	—	1,36
Consumo de energía [kWh]	784,69	617,82	102,62
Costo combustible/energía mensual [USD]	843,50	664,25	413
Costo mantenimiento mensual [USD]	923,69	724,04	506,83
Precio de adquisición [USD]	140 000	90 000	300.000
Eficiencia tasa de ocupación [ % ]	22,50	32,73	34,63

Mediante el análisis comparativo como resultado referente a la capacidad de arranque en pendiente obtenemos al autobús con mayor capacidad con 29%, seguido del minibús con 28,51 y el minibús eléctrico con 24%. La diferencia entre el autobús y minibús convencional es mínima, pero con el minibús eléctrico posee una diferencia de 5%, no obstante, la capacidad de arranque que posee el minibús eléctrico cumple sin inconvenientes con las condiciones de la ciudad puesto que su mayor pendiente es de 21%.

La capacidad de ascenso que posee el vehículo para subir una pendiente está relacionada directamente con la potencia utilizada dos de los parámetros que estamos analizando para evaluar su rendimiento, el autobús posee una capacidad de ascenso de 46,10% y utiliza una potencia de 123,49 kW, el minibús convencional tiene una capacidad de ascenso de 35,69% utilizando una potencia de 77,54 kW mientras el minibús eléctrico utiliza 80,98 kW de potencia para una capacidad de ascenso de 31,76%. Los tres vehículo están por encima al valor de la pendiente máxima de 21% en especial el autobús que se encuentra sobredimensionado en un 25,10%, dando como mejor opción el uso de un minibús urbano que cumple con las condiciones y utiliza menor potencia para desempeñar el mismo trabajo.

En lo referente al rendimiento de combustible el minibús convencional es el de mayor rendimiento con 9,22 km/gal en comparación al autobús que posee un rendimiento de 7,26 km/gal. Con relación al minibús eléctrico no se puede realizar una comparación con los buses

convencionales al utilizar otra fuente de energía en este caso eléctrica distribuida por el paquete de baterías, no obstante, para las rutas de la ciudad el minibús eléctrico posee un rendimiento de energía de 1,36 km/kWh y una autonomía de 300 km.

En el consumo de energía se realizó una conversión de los galones diesel consumidos por las unidades convencionales a kWh con la finalidad de poder efectuar una comparación con el minibús eléctrico, obteniendo al autobús con el consumo de energía más elevado con 784,69 kWh en un día de trabajo seguido por el minibús convencional con 617,82 kWh y al minibús eléctrico con 102,62 kWh siendo el de menor consumo energético al trabajar con una mejor tecnología.

El costo de combustible que se genera de manera mensual en el caso del autobús es el más elevado con 843,50 USD seguido del minibús convencional con 664,25 USD lo que representa una reducción monetaria del 21,25%, sin embargo, si se optara por considerar el uso del minibús eléctrico su costo mensual se reduciría a 413 USD obteniendo una reducción monetaria en relación con el autobús del 51,04% por unidad lo que generaría un ahorro significativo para los transportistas.

En cuanto a los costos de mantenimiento mensual nuevamente tenemos al autobús con el valor más alto con 923,69 USD luego al minibús convencional con 724,04 USD, realizando una comparación entre ambos vehículos obtenemos una reducción monetaria del 21,61% a favor del minibús a diesel, en el caso del minibús eléctrico es el de menor costo de mantenimiento con 506,83 USD y proporcionaría una reducción monetaria del 45,13% en comparación con el autobús convencional.

En el precio de adquisición tenemos el minibús convencional como el más económico con un costo de 90 000 USD, seguido del autobús convencional con 140 000 USD y por último el minibús eléctrico con un valor de 300 000 USD.

En lo relacionado a la tasa de ocupación obtenemos al minibús eléctrico con mayor eficiencia ocupacional, en el análisis de la demanda de pasajeros vs la oferta proporcionada para cada una de las rutas posee un 34,63% de ocupación de pasajeros en base a la oferta total, seguido del minibús convencional con un 32,73% y por último tenemos al autobús convencional con

un 22,50% de ocupación. Llegando a concluir que el uso de minibuses mejorará la eficiencia ocupacional de la flota de transporte y cumplirá con las necesidades de cada una de las rutas de la ciudad.

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

Los criterios adecuados para analizar el rendimiento del tren motriz son la capacidad de arranque, la capacidad de ascenso y la potencia utilizada, obteniendo como resultado que todos los modelos de autobuses evaluados sobrepasan los requerimientos técnicos y condiciones geográficas de la ciudad, encontrándose sobredimensionados un 8% en su capacidad de arranque, un 25,10% en la capacidad de ascenso con relación a la pendiente máxima y utilizan potencia de sobra para los requerimientos de la naturaleza del transporte urbano provocando un mayor consumo de combustible y mayores costos de operación de las unidades.

El rendimiento del chasis se lo analizó en función de la eficiencia ocupacional, determinando que la tasa de ocupación promedio de los autobuses es del 50% si se considera solo la capacidad de pasajeros que pueden ir sentados y del 22,50 % considerando la capacidad total del autobús, llegando a concluir que la unidades son demasiado grandes para la demanda de pasajeros y no son idóneas para brindar un óptimo servicio en la ciudad.

Como parte de la propuesta para el transporte de la ciudad se analizó un minibús urbano convencional dando como resultado una reducción en los costos de mantenimiento del 21,61%, una reducción en los costos de combustible del 21,25%, aumenta la eficiencia ocupacional un 10,23% y utiliza una potencia de 77,54 kW para brindar una capacidad de ascenso de 35,69% y una capacidad de arranque de 28,51% maximizando el rendimiento del sistema de transporte y cumpliendo con las condiciones de la ciudad.

Como segunda alternativa de la propuesta se analizó un minibús urbano eléctrico obteniendo como resultado una reducción en los costos de mantenimiento del 45,13%, en los costos de energía una reducción del 51,04%, brinda un incremento de la eficiencia ocupacional del 12,13% y utiliza una potencia de 80,98 kW para proporcionar una capacidad de ascenso de

31,76% y una capacidad de arranque de 24% optimizando su rendimiento y posicionándolo como mejor opción sin embargo su principal desventaja es su elevado costo de adquisición.

## **4.2. RECOMENDACIONES**

Socializar los resultados obtenidos del trabajo de investigación a entidades de control, directivos y propietarios de las cooperativas de transporte urbano de la ciudad con la finalidad de plantear soluciones viables que ayuden a optimizar el rendimiento de las unidades y los beneficios que esto conlleva.

Se recomienda a las entidades de control promover normativas que impongan a los importadores y fabricantes automotrices a hacer de dominio público la información de las especificaciones técnicas completas, puesto que las proporcionadas son demasiado generales y no permiten realizar un análisis completo del vehículo.

Si se opta por renovar los autobuses por el minibús propuesto se recomienda reducir la frecuencia de salida de las unidades para las horas pico que es donde se tiene mayor demanda de pasajeros o disminuir el tiempo de espera en las paradas para proporcionar una mayor cantidad de unidades en circulación y en horas valle normalizar la frecuencia de salida.

Se recomienda realizar un estudio sobre la infraestructura y gestión que sería necesaria para la implementación de un sistema de carga en la ciudad y la demanda energética que se generaría en la red eléctrica al utilizar minibuses urbanos 100% eléctricos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Aguado Rojas , M. M. (2012). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para motores de reluctancia conmutada*. México : Universidad Nacional Autónoma de México.
2. Álvarez Castillo, P. S. (2018). *Estudio para el diseño de un dispositivo electrónico anti-volteo aplicado a un prototipo de un modelo de vehículo de transporte público que alerte mediante señales acústicas y luminosas y pueda integrarse al sistema de seguridad activa del vehículo*. Quito: Universidad Internacional del Ecuador.
3. Andrade Álvarez, A. F., & Jaramillo Madrid, G. (2009). *Diseño y construcción del chasis para un vehículo tipo buggy de la fórmula automovilística universitaria ( Tesis de pregrado)*. . Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
4. Andrade C, C. A., & Loyo Pacheco , F. F. (2005). *Determinación de la Vida Útil de los Vehículos de Transporte Público del Distrito Metropolitano de Quito*. Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército.
5. Andrade Freire, L. (2015). *Propuesta de una metodología para selección del tren motriz y chasis para vehículos de transporte colectivo en el Ecuador ( Tesis de postgrado)*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
6. Aranda Pazmiño, D. O., & Dután Amay, V. P. (2009). *Estudio de aceros estructurales para la construcción de carrocerías para buses ( Tesis de pregrado)*. Quito: Escuela Politécnica Nacional .
7. ARCERNNR. (2022). *Pliego tarifario para los proveedores del servicio de carga de energía a vehículos eléctricos límites máximo del costo*. Quito: Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables.
8. Aucancela Reino, C. A., & Criollo Guamán, L. R. (2016). *Instalación del sistema de dirección hidráulica en la camioneta Ford F-150*. . Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.
9. Balboa la Chica , P. M., Mesa Mendoza , M., & Suárez Falcón , H. (2014). Análisis de las empresas concesionarias del servicio público de transporte urbano colectivo en

- España (2008-2010). *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, 23-32. doi:10.1016
10. Barrera Hinojosa , D. F., & Maldona Montalvo, M. A. (2013). *Diseño e implementación de un sistema de transmisión variable continua (CVT), como nueva técnica para la locomoción de una silla de ruedas*. Latacunga: Escuela Politécnica del Ejercito.
  11. Borja, J. C., Fenoll, J., & De Herrera, J. (2009). *Sistema de Transmisión y Frenado*. Macmillan, Iberia S.A.
  12. BYD Ecuador . (28 de 02 de 2018). *BYD Ecuador*. Obtenido de <https://bydelectrico.com/ec/2018/02/28/recorridos-en-el-bus-electrico-cuenca/>
  13. BYD Ecuador. (08 de 11 de 2019). *BYD Ecuador*. Obtenido de <https://bydelectrico.com/ec/2019/11/08/byd-entrega-a-guayaquil-la-electrolinera-mas-grande-de-ecuador/>
  14. Carrocerías IMCE. (s.f). *Carrocerías IMCE*. Obtenido de <https://carroceriasimce.com/autos/platinum-u-340/>
  15. Castillejo Calle , A. (2014). *Sistemas de Inyección en Motores Diesel*. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla.
  16. Castillo A, A. (2015). *Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Ibarra: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra.
  17. Cazares García, B., & Cuasapaz Celin , E. V. (2018). *Análisis de la tasa de ocupación de las rutas de buses urbanos en la ciudad de Ibarra ( Tesis de pregrado)*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
  18. Cervantes de Gortari, J., & Rafael Morales, M. Y. (2006). *La selección del tren motriz basada en la eficiencia energética para vehículos de servicio pesado*. México: Red Ingeniería, Investigación y tecnología.
  19. Cevallos Tayán , V. A. (2017). *Análisis del rendimiento del tren de potencia en vehículos que brindan el servicio de taxis en la ciudad de Ibarra ( Tesis de pregrado)*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.



20. Chafra Taquina , L. A., & Salinas Mejia , M. S. (2012). *Construcción e implementación de un tablero didáctico del sistema de dirección asistida eléctricamente EPS*. Riobamba: Escuela Politécnica Superior de Chimborazo.
21. Chávez Romero , J. A. (2017). *Análisis y optimización de un freno regenerativo para un vehículo híbrido*. Mexico: Instituto Politécnico Nacional .
22. Chele Sancan , D. G. (2017). Vehículos híbridos, una solución interina para bajar los niveles de contaminación del medio ambiente causados por las emisiones provenientes de los motores de combustión interna. *INNOVA Research Journal*, 1-10. doi:2477-9024
23. Chuquiana Cunalata , E. I. (2014). *Diseño e implementación del tren motriz con motor eléctrico y Transmisión CVT, para un vehículo biplaza plegable*. Latacunga : Universidad de las Fuerzas Armadas.
24. Conesa, JA. (11 de Abril de 2011). *Motor de Combustión Interna*. Obtenido de Motor de Combustión Interna: [kimerius.com/app/download/5783857246/Motor+de+combustión+interna.pdf](http://kimerius.com/app/download/5783857246/Motor+de+combustión+interna.pdf)
25. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, ART 264. (20 de Octubre de 2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Obtenido de [http://www.oas.org/juridico/PDFs/mesicic4\\_ecu\\_const.pdf](http://www.oas.org/juridico/PDFs/mesicic4_ecu_const.pdf)
26. Consuegra Pacheco, S. (2007). *Módulo Motores Diesel*. La Guajira: Instituto Tecnológico de Soledad Atlántico.
27. Cuesta Capellan , G. (2017). *Caracterización del tren de potencia de un vehículo eléctrico de categoría L7 tipo Smart*. Barcelona: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona.
28. Díaz Tituaña , F. M. (2019). *Caracterización de las rutas de buses de transporte público de la ciudad de Ibarra para la implementación de buses híbridos y eléctricos*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte .

29. Díez , A., Bohórquez , A., Rodríguez , J., & Roa, F. (2009). Evaluación de la tracción híbrida en el transporte público urbano de pasajeros. *Revista investigaciones aplicadas.*, 64-74.
30. Dominguez, E. J. (2011). *Circuitos de fluidos, Suspensión y Dirección*. Macmillan Iberia, S.A. doi:9788479429744
31. Ferrer, J., & Checa , G. (2010). *Mantenimiento mecánico preventivo del vehículo*. Editex.
32. Flores Guzmán, F. E., & Remache Chimbo, A. M. (2014). *Reingeniería de los sistemas d dirección y frenos del automóvil Land Rover Hard*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
33. Galarza Villafuerte, L. E., & Pérez Basantes, B. S. (2014). *Diseño y construcción de un banco didáctico de una caja de cambios manual de tres ejes, utilizada en vehículos pesados, para el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Automotriz ( Tesis pregrado)*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3361/1/65T00115.pdf>
34. GOOD YEAR. (2019). *GOOD YEAR*. Obtenido de [https://www.goodyear.eu/es\\_es/truck/tires/](https://www.goodyear.eu/es_es/truck/tires/)
35. Grupo Mavesa . (s.f). *Grupo Mavesa ( Hino Motors)*. Obtenido de <https://grupomavesa.com.ec/marcas-pesados-hino/>
36. Grütter, J. (2014). *Real World Performance of Hybrid and Electric Buses Environmental and Financial Performance of Hybrid and Battery Electric Transit Buses Based on Real World Performance of Large Operational Fleets*. Grütter Consulting.
37. Hidalgo Escudero, L. E., & Tenelanda Velema, C. R. (2013). *Construcción e implementación de un banco didáctico del sistema diferencial, con su plan de mantenimiento para la Escuela de Ingeniería Automotriz ( Tesis de pregrado)*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3870/1/65T00065.pdf>
38. ISUZU . (2019). *ISUZU*. Obtenido de <https://www.autolarte.com.co/files/fichas/41/forward.pdf>

39. Karsan. (2022). *Karsan e-ATAK*. Bursa: Karsan.
40. López Martínez, J. M., Jiménez Alonso, F., Flores , H. N., & Resino Zamora, D. (2011). Requerimientos Energéticos de los Vehículos Híbridos de Transporte Urbano de Alto Tonelaje. *DYNA*, 182-189.
41. LOTTTSV. (07 de Agosto de 2008). *LEY ORGANICA DE TRANSPORTE TERRESTRE TRANSITO Y SEGURIDAD VIAL*. Obtenido de : <https://www.turismo.gob.ec/wp-content/uploads/2016/04/LEY-ORGANICA-DE-TRANSPORTE-TERRESTRE-TRANSITO-Y-SEGURIDAD-VIAL.pdf>
42. Martínez Gutiérrez, J. A. (2013). *VEHÍCULO ELÉCTRICO: ANALISIS Y PROSPECTIVA DE FACTORES TECNOLÓGICOS Y ECONÓMICOS*. Valladolid: Universidad de Valladolid. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/6296/1/PFC-P-94.pdf>
43. Mounce, R., & Nelson, J. D. (2019). On the potential for one-way electric vehicle car-sharing in future mobility systems. *Elsevier*, 17-30. doi:10.1016
44. Muñoz Domínguez, M., & Rovira de Antonio, A. (2015). *Motores de Combustión Interna*. Madrid: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia.
45. NTE INEN 1323: 2009. (s.f.). *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN*. Obtenido de [www.tungurahua.gob.ec/carrocero/wp-content/uploads/2016/09/NTE-1323.pdf](http://www.tungurahua.gob.ec/carrocero/wp-content/uploads/2016/09/NTE-1323.pdf)
46. NTE INEN 2205; 2010. (s.f.). *INSTITUTO TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN*.
47. NTE INEN 2656:2016. (s.f.). *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN*. Obtenido de [https://181.112.149.204/buzon/normas/nte\\_inen\\_2656-1.pdf](https://181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_2656-1.pdf)
48. Ogura, K., & Kolhe, M. (2017). Battery technologies for electric vehicles: prospects and challenges. *Elsevier* , 139-167.
49. Ovidiu Varga , B., Iclodean , C., & Mariasiu , F. (2016). *Electric and hybrid buses for urban transport, energy efficiency strategies*. Rumanía : Springer .

50. Paucar Ortega, B. F., & Delgado Tacuri, L. S. (2015). *Estudio de las condiciones que generan un desgaste anormal de los neumáticos radiales para vehículos pesados que impiden su reutilización como base para reencauche ( Tesis de pregrado)*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
51. Quilumba Delgado , J. X. (2015). *Diseño de mapas de ruta y señalética para la cooperativa 28 de septiembre en la ciudad de Ibarra durante el año 2015 ( Tesis de pregrado)*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
52. REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 038: 2010. (s.f.). *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN*. Obtenido de [https://www.canfacecuador.com/reglamentos/rte\\_038\\_2.pdf](https://www.canfacecuador.com/reglamentos/rte_038_2.pdf)
53. Samaniego Castro, R. E., & Silva Ortiz, Á. V. (2009). *Análisis de fuerzas del tren motriz en vehículos pesados ( Tesis de pregrado)*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
54. Secundino, E., González, J., & Rivas, J. L. (2009). *Motores*. Macmillan Iberia, S.A. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/reader.action?docID=3195396&query=motor+electrico>
55. SENPLADES. (24 de Junio de 2013). *Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo*. Obtenido de Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo: <http://ftp.eeq.com.ec/upload/informacionPublica/2013/PLAN-NACIONAL-PARA-EL-BUEN-VIVIR-2013-2017.pdf>
56. SENPLADES. (22 de Septiembre de 2017). *Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo*. Obtenido de [https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL\\_0K.compressed1.pdf](https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf)
57. Serres A, J. C., & Valdivia P, J. F. (2001). *Sistema interactivo para el cálculo y selección del tren motriz en unidades de transporte público (SISUT)*. *Revista Ciencia e Ingeniería*. 22(3), 2001. Caracas: Red Universidad de Los Andes. doi:1316-7081

58. Seyed Mostafa, J. F., Mohammad Hosein , A., & Seyyed Reza, E. (2019). *Study of Electric Buses and Their Impact on The Environment in Urban Netwoks*. Tehran : University Tarbiat Modares.
59. Silva Reinoso, S. E. (2015). *Manual de Normas y Parámetros para la Revisión Técnica-Mecánica de los Buses Urbanos del Cantón Ibarra*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
60. Teojama Comercial S.A. (2017). *Teojama Comercial S.A.* Obtenido de <https://www.teojama.com/>
61. Tian , Y., Ruan , J., Zhang , N., Wu, J., & Walker , P. (25 de 04 de 2018). Modelling and control of a novel two-speed transmission for electric vehicles. *Mechanism and Machine Theory*, 13-32. doi:10.1016
62. Veiga Laborde , C. (2013). *Diseño del tren de potencia de un vehículo eléctrico basado en el motor síncrono de reluctancia variable*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
63. Velasteguí Carrillo, A. J. (2015). *Los materiales de fricción y su influencia en la eficiencia de frenado*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
64. Viera Pérez , J. C. (2003). *Carga rápida de baterías de Ni-Cd y Ni-MH de media y gran capacidad. Análisis, síntesis y comparación de nuevos métodos*. Gijón : Universidad de Oviedo.
65. Villafuerte Buñay, L. E. (2017). *Análisis estructural de una carrocería autoportante para un bus interprovincial mediante elementos finitos para la producción en serie*. Latacunga : Universidad de las Fuerzas Armadas.
66. Volkswagen Ecuador. (s.f). *Volkswagen Buse y camiones Ecuador*. Obtenido de <https://vwcamionesybuses.com.ec/>
67. Zavala Ponce, A., & Rafael Morales, M. Y. (1999). *Selección del tren motriz de vehículos pesados carga y pasajeros destinados al servicio publico federal*. Sanfandila, Querétaro: Instituto Mexicano de transporte. doi:0188-7297

68. Zubi, G., Dufo López, R., Carvalho, M., & Pasaoglu, G. (2018). The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 292-308.

## **ANEXOS**

## ANEXO I

## OFICIO DIRIGIDO A MOVIDELNOR-EP



Oficio Nro. EPM-AGI-2022-0217-O

Ibarra, 13 de mayo de 2022

**Asunto:** RESPUESTA A SOLICITUD DE AUTORIZACION DE ACCESO A ESTUDIANTE E INFORMACION TRANSPORTE PUBLICO DE IBARRA

Ingeniero  
Ignacio Bayardo Benavides Cevallos  
Coordinador CIAUT  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
En su Despacho

Reciba un cordial y atento saludo de quienes conformamos la Empresa Pública de Movilidad "MOVIDELNOR E.P".

Por medio del presente, en respuesta al documento Nro. EPM-DDSG-2022-01380-E, ingresado con fecha 10/05/2022, mismo que en su parte pertinente detalla y cito; "(...) Como Coordinador de la Carrera de Ingeniería Automotriz, solicito de /a manera más comedida, conceda la respectiva autorización para que of. señor LOPEZ QUINATO BORIS PAUL, portador de la cedula de ciudadanía N° 1003980099 estudiante de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, tenga acceso a las Instalaciones de MOVIDELNOR S.A. desde el 09/05/2022 hasta el 13/05/2022, con el objeto de recopilar datos sobre: caracterización de flotas de autobuses urbanos que brindan el servicio de transporte en la ciudad de Ibarra específicamente de "Cooperativa 28 de septiembre" y "Cooperativa San Miguel de Ibarra, puntualizando en los siguientes ítems: a) año de fabricación b) modelo c) marca d) chasis y carrocería, para que pueda continuar con el desarrollo del Plan de Trabajo de Grado titulado 'ANÁLISIS DEL TREN MOTRIZ Y CHASIS DE LAS UNIDADES DEL SERVICIO DE TRANSPORTE URBANO EN LA CIUDAD DE IBARRA' (...)". Ante lo cual, se cumple en informar lo siguiente:

- Que la Empresa Pública de Movilidad del Norte, es una persona jurídica de derecho público, con patrimonio propio, dotada de autonomía presupuestaria, financiera, económica, administrativa y de gestión y con jurisdicción coactiva.
- Que mediante Resolución No. 067-DE-ANT-2015, de 8 de mayo del 2015, y resolución Rectificatoria No. 219-DE-ANT-2015 de 01 de junio del 2015, se Certifica para la ejecución de la Competencias de Títulos Habilitantes; Matriculación y Revisión Técnica Vehicular; y Control Operativo a la MANCOMUNIDAD PARA LA GESTIÓN DESCENTRALIZADA DE LA COMPETENCIA DE TRÁNSITO, TRANSPORTE TERRESTRE Y SEGURIDAD VIAL DE LA REGIÓN DEL NORTE.

Dicho esto, una vez verificada y aprobada la solicitud constante en el documento antes descrito, adjunto al presente me permito remitir a usted la información solicitada en formato Excel para los fines académicos que se considere pertinentes.  
Remito y comunico a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,

Ing. Carlos Andrés Pazmiño Villarreal  
COORDINADOR AGENCIA IBARRA



www.movidelnor.gob.ec

Av. Eloy Alfaro 2-80 y Julio Zaldumbide - Ibarra  
(06)2608497 - buzon@movidelnor.gob.ec

**Figura AI.1.** Solicitud de información dirigida a EPM



## ANEXO II

### FORMATO DE ENCUESTA



#### UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

ENCUESTA DIRIGIDA A CONDUCTORES DEL TRANSPORTE PUBLICO

La presente encuesta tiene como finalidad recolectar información, para determinar el consumo de combustible y costos de mantenimiento de autobuses del transporte urbano, le agradecemos de ante mano por su vital colaboración para responder las siguientes preguntas:

Instrucciones: por favor lea cuidadosamente cada pregunta y responda de manera honesta marcando con una x el casillero de su conveniencia.

#### 1.- Datos generales del vehículo

Marca/ modelo del vehículo:
Año de fabricación:
Carrocería:

#### 2.- Escriba el consumo de combustible, distancia recorrida y Número de vueltas.

Santo Domingo-Universidades ( )	19 de Enero-Odilas ( )	Ejido de Caranqui-Miravalle ( )
Colinas del Sur-Aduana ( )	Chugchupungo-Florida ( )	La Esperanza-Hospital del Seguro ( )
Santa Lucia-La Victoria ( )	Santa Isabel-Huertos Familiares ( )	Caranqui-Universidades ( )
Consumo de combustible diario (\$)	Distancia recorrida (km)	Número de vueltas

#### 3.- ¿cuáles son los intervalos de mantenimiento de la unidad de transporte urbano?

Mantenimiento	Tiempo en meses				Costo	Observación
	1	6	12	Otros		
<b>Carrocería y chasis</b>						
Cambio Limpia parabrisas						
Cambio Tapicería						
Engrasase						
Arreglo del piso						
Sistema eléctrico						

**Figura AII.1.** Formato de encuesta parte 1

cambio de baterías						
Cambio de luces						
<b>Motor y distribución</b>						
Calibración de válvulas						
Cambio banda de accesorios						
Cambio de aceite y filtro						
Cambio filtro de aire						
Mantenimiento del turbo						
Reparación de motor						
<b>Sistema de refrigeración</b>						
Cambio liquido refrigerante						
Cambio mangueras						
Cambio tapa del radiador						
<b>Sistema de inyección</b>						
Cambio filtro de combustible						
Cambio filtro separador de agua						
Calibración bomba de inyección						
Limpieza tanque de combustible						
Reparación bomba de inyección						
<b>Sistema de frenos</b>						
Cambio tambores						
Cambio zapatas						
Cambio filtro secador de aire						
Mantenimiento compresor						
<b>Sistema de transmisión</b>						
Cambio de aceite diferencial						
Cambio de aceite caja de cambios						
Cambio kit de embrague						
Engrasado puntas de eje						
Cambio junta y soporte cardan						
Reparación caja de cambios						
Reparación diferencial						
<b>Sistema de dirección y suspensión</b>						
Cambio de ballestas						
Cambio de amortiguadores						
Cambio de líquido hidráulico						
Cambio rotulas de dirección						
Cambio pines y bocines						
Cambio neumáticos						
Reencauche de neumáticos						

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

**Figura AII.2.** Formato de encuesta parte 2

## ANEXO II

### ARTÍCULO CIENTÍFICO

#### ANÁLISIS DEL TREN MOTRIZ Y CHASIS DE LAS UNIDADES DEL SERVICIO DE TRANSPORTE URBANO EN LA CIUDAD DE IBARRA

Boris López<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ingeniería Automotriz, Universidad Técnica del Norte Av. 17 de Julio, Ibarra, Ecuador

bplopezq@utn.edu.ec

El presente estudio de investigación tiene como objetivo realizar un “Análisis del tren motriz y chasis de las unidades del servicio de transporte urbano en la ciudad de Ibarra” con la finalidad de proporcionar a los directivos y propietarios de las cooperativas de transporte directrices que permitan realizar una correcta selección de las unidades al momento de renovarlas. Se obtuvo el rendimiento del tren motriz y chasis de la flota actual mediante programación y evaluación de la tasa de ocupación de la ciudad respectivamente, además de los costos de operación recolectados por medio de una encuesta aplicada a conductores del transporte público. El análisis realizado permitió conocer el estado y problemática relacionados con el uso de unidades sobredimensionadas ocasionando un desempeño ineficiente y altos costos de operación. Basados en este análisis se realizó una propuesta del conjunto tren motriz y chasis orientada a mejorar la eficiencia del sistema de transporte.

**Palabras Clave:** Tren motriz, chasis, rendimiento, tasa de ocupación, eficiencia.

#### 1 Introducción

En el servicio de transporte urbano existen vehículos que no han sido seleccionados de manera adecuada basando su elección en criterios erróneos sin considerar la naturaleza del transporte, condiciones de operación y sus aspectos técnicos, lo que conlleva a un excesivo uso de potencia, alto consumo de combustible y elevados costos de mantenimiento generando pérdidas económicas y baja eficiencia, por tal motivo se considera importante y necesario realizar investigaciones que contribuyan con el gremio de transportistas en la selección correcta del tren motriz y chasis adecuados [1]. Mediante una óptima selección del tren motriz y chasis de las unidades de transporte, se podrá obtener un desempeño eficiente cumpliendo con las necesidades de sus usuarios y con las condiciones de operación, que permitan aprovechar toda su capacidad.

Según (Andrade Freire, 2015) [2] quien realizó una metodología para mejorar la selección del tren motriz y chasis para las unidades de servicio de transporte urbano,

**Figura AIII.1.** Artículo científico

concluye que en la cooperativa 28 de septiembre de la ciudad de Ibarra, se utiliza como vehículo principal para transporte de pasajeros el modelo FTR 32M, el cual corresponde a un vehículo de carga, por tal motivo este modelo posee un chasis más rígido y una relación de transmisión diferente con un torque más elevado, ocasionando un mayor consumo de combustible e incrementando la cantidad de emisiones contaminantes.

En consecuencia, al problema planteado se tiene como objetivo principal analizar el rendimiento del tren motriz y chasis de las unidades del servicio de transporte urbano en la ciudad de Ibarra con la finalidad de determinar la idoneidad de las unidades actuales o si estas se encuentran sobredimensionadas para las necesidades de la ciudad, además de aportar con una propuesta de un conjunto tren motriz y chasis que mejore la eficiencia de la tasa de ocupación y el rendimiento del sistema de transporte.

## 2 Materiales y métodos

La metodología propuesta para el desarrollo del tema de investigación está compuesta de seis etapas según se muestra en la fig.1.

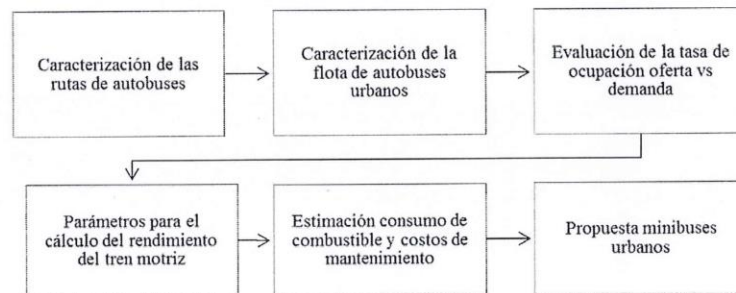


Fig. 1. Flujograma del proceso

### 2.1 Caracterización de las rutas de autobuses

Para la caracterización de las rutas de transporte urbano, se adquirió la información de fuentes bibliográficas y por medio del plan de movilidad, del cual se obtuvo datos referentes a distancia recorrida, frecuencia y tiempo estimado por vuelta de cada ruta [3] [4], relevantes para la elaboración de este tema de estudio.



## **2.2 Caracterización de la flota de autobuses urbanos**

Para la caracterización de la flota vehicular de autobuses de transporte urbano de la ciudad, se tomó a las cooperativas vigentes “San Miguel de Ibarra” y “28 de septiembre”. Clasificándolos según los siguientes aspectos: marca, modelo, año de fabricación, carrocería. La información se obtuvo de la Empresa Pública de Movilidad MOVIDELNOR-EP, la cual brindo datos actualizados de las unidades. Actualmente existen en circulación 287 vehículos, 160 corresponden a la Cooperativa 28 de septiembre y 127 a la Cooperativa San Miguel de Ibarra [5].

## **2.3 Evaluación de la tasa de ocupación oferta vs demanda**

Para la evaluación de la tasa de ocupación se toma como referencia la información obtenida de (Cazares García & Cuasapaz Celin , 2018) [6], quienes realizaron un estudio del análisis de la tasa de ocupación de las rutas de buses urbanos en la ciudad de Ibarra.

La oferta en el sistema de transporte público viene dada por la capacidad que ofrecen los autobuses y la cantidad que brinda este servicio, para establecer la oferta total de las unidades se procedió a recolectar información referente al número de asientos que posee cada autobús, además de la capacidad de personas que pueden ir de pie. Mediante la recolección de estos datos y la especificación de la normativa INEN 22:05; 2010, de 6 personas de pie por metro cuadrado [7], se pudo determinar la capacidad total de pasajeros.

## **2.4 Parámetros para el cálculo del rendimiento del tren motriz**

Para el rendimiento del tren motriz se necesita realizar el cálculo de ciertas variables que proporcionaran un dimensionamiento adecuado del mismo, para calcular la magnitud de estas fuerzas es necesario obtener datos de las fichas técnicas de cada modelo de autobús que circula en la ciudad de Ibarra, las cuales son obtenidas por medios oficiales del fabricante. Mediante este análisis podremos determinar si son adecuados o no para brindar dicho servicio en la ciudad. Para esto se tomarán en cuenta requerimientos técnicos, la pendiente máxima de la ciudad.

# **3 Resultados**

## **3.1 Análisis de la tasa de ocupación**

El total de la capacidad que puede transportar un autobús, tomando en cuenta el modelo de uso predominante en la ciudad es de 80 personas, en cuanto a los demás

modelos o marcas se posee variaciones muy pequeñas respecto a su capacidad. Para la obtención de la oferta del servicio público vehicular se realizó un promedio de la capacidad de personas sentadas y de pie entre las cooperativas de transporte.

La ruta que posee una mayor demanda de pasajeros es Santa Isabel-Huertos Familiares, con un total estimado de 108 692 pasajeros en una semana de servicio, mientras que la ruta con menor demanda de pasajeros es Carmen- Bellavista con un valor de 234 usuarios entre semana y 175 usuarios en fin de semana dando un total estimado de 1 522 pasajeros en una semana de servicio.

En la fig. 2 se puede observar la ocupación promedio de la demanda, con la capacidad de la oferta de la flota vehicular correspondiente a cada una de las rutas, determinando que la capacidad total no es superada por ninguna ruta.

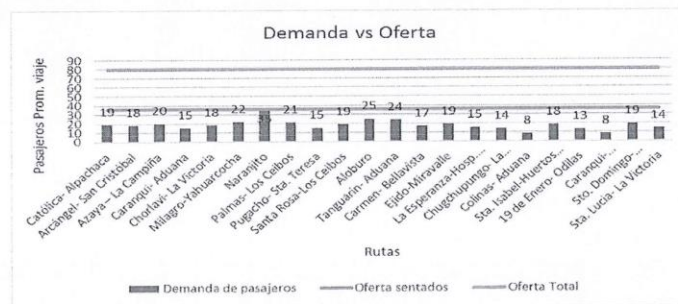


Fig. 2. Demanda vs oferta

De acuerdo con este resultado se evidencia que las unidades son demasiado grandes para la demanda de pasajeros existente en la ciudad, puesto que su ocupación total está por debajo del 30% de la capacidad total del autobús.

### 3.2 Cálculo del rendimiento del tren motriz

Para el cálculo del rendimiento del tren motriz se procede a ejecutar el software matemático Matlab, en el cual se realiza los cálculos de las potencias necesarias para vencer las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo, además de la capacidad de arranque en pendiente (Starbility) y capacidad de ascenso en pendiente (Gradeability). Luego de completar el análisis de cada elemento que conforma el tren motriz, nos muestra los parámetros calculados mas importantes con los cuales podemos realizar un análisis de su rendimiento y la cantidad de potencia que utiliza la unidad para cumplir con la pendiente máxima de 21% de la ciudad.

A continuación, se muestra los parámetros calculados del modelo predominante de autobús que circula por la ciudad.

**Tabla 3.** Análisis de datos autobús chevrolet FTR

Parámetros calculados	Valor
Velocidad máxima [ km/h ]	101,71
Capacidad de arranque [%]	29
Potencia para vencer la resistencia al rodamiento [ kW ]	2,14
Factor de altitud	0,8014
Potencia para vencer la resistencia aerodinámica [ kW ]	0,020
Potencia para vencer la resistencia por inercia [ kW ]	11,93
Potencia de reserva [ kW ]	123,49
Capacidad de ascenso [ % ]	46,10

### 3.3 Rendimiento promedio de combustible

El rendimiento de un autobús está relacionado directamente al consumo de combustible, básicamente en los kilómetros recorridos sobre el consumo y se expresa en (km/gal). Mediante el rendimiento se puede identificar que modelo de autobús posee una mayor eficiencia y brinda un mejor beneficio al propietario.

**Tabla 4.** Rendimiento promedio de combustible

Modelo	Rendimiento promedio (km/gal)
Chevrolet FTR 32M	7,12
Chevrolet CHR 7.2	7,08
Volkswagen 17210	7,60
Hino RK1JSTL	7,37
Hino FF1JPSZ	7,09
Hino FG1JPUZ	7,16
Hino AK8JRSA	7,39
Hino GD11PTZ	7,01
Mercedes Benz OF1721	7,52
Promedio general	7,26

En la tabla 5, se presenta el rendimiento promedio general y el consumo de combustible diario estimado que poseen las unidades de transporte actuales de la ciudad, esta información se obtuvo mediante las muestras de campo realizadas y se utiliza para obtener el costo de combustible de un autobús para operar de manera diaria, mensual y anual. Cabe mencionar que la información se obtuvo con el costo de combustible diesel a 1,75 USD el galón, además se utilizó un promedio de kilómetros recorridos de entre todas las rutas dando un estimado de 140 km por día.

Tabla 5. Costo de combustible autobús

Rendimiento (km/gal)	Consumo al día (gal/día)	Costo al día USD	Costo mensual USD	Costo Anual USD
7,26	19,28	33,74	843,5	10 122

De acuerdo con los parámetros calculados, se obtiene el costo promedio diario de combustible utilizado para un autobús en la ciudad de Ibarra de 33,74 USD y al año de 10 122 USD.

### 3.4 Costos de mantenimiento

A continuación, se presentan los costos de mantenimiento que se generan en el servicio de transporte urbano, este análisis se lo realizó basándose en el valor recolectado de proformas proporcionadas por locales comerciales y el valor de la encuesta realizada a los conductores, se realizó el análisis de los costos de mantenimiento preventivo por sistemas y se consideró para el análisis de los costos de mantenimiento correctivo a las reparaciones.

Tabla 6. Costo de mantenimiento total autobús

Descripción	Costo Mensual USD	Costo Anual USD
Mantenimiento preventivo	732,52	8 790,29
Mantenimiento correctivo	191,17	2294
Total	923,69	11 084,29

### 3.5 Propuesta minibus convencional

Los parámetros calculados para el minibus mediante el uso del software son los siguientes: velocidad máxima de 105,46 km/h, capacidad de arranque para una pendiente de 28,51 % un 3,51% superior a la establecida en la normativa, capacidad de ascenso de 35,69% utilizando una potencia de 77,54 kW.

Tabla 7. Análisis de datos minibus

Parámetros calculados	Valor
Velocidad máxima [ km/h]	105,46
Capacidad de arranque [%]	28,51
Potencia para vencer la resistencia al rodamiento [ kW]	1,76
Factor de altitud	0,8014
Potencia para vencer la resistencia aerodinámica [kW]	0,033
Potencia para vencer la resistencia por inercia [kW]	8,59
Potencia de reserva [kW]	77,54
Capacidad de ascenso [%]	35,69



En la tabla 7, se presenta todos los parámetros calculados y como se detalló anteriormente la pendiente máxima es 21% por lo tanto el minibús cumple con las condiciones de la ciudad y con la norma INEN puesto que en la normativa 2 205:2010 nos indica que la capacidad de arranque mínima es de 25% y el minibús posee la capacidad de arranque de 28,51% y capacidad de ascenso de 35,69%.

Para la obtención del rendimiento promedio estimado que posee el minibús, se lo realizó de igual manera que la del autobús mediante los kilómetros recorridos en función del consumo de combustible, a continuación, se detalla la tabla 8, en la cual observamos el valor del rendimiento correspondiente a la media ponderada de los datos obtenidos dando como resultado un rendimiento de 9,22 km/gal, con un consumo de 15,18 galones por día y un costo mensual de combustible de 664,25 USD.

**Tabla 8. Costo de combustible minibús**

<b>Rendimiento (km/gal)</b>	<b>Consumo al día (gal/día)</b>	<b>Costo al día USD</b>	<b>Costo mensual USD</b>	<b>Costo Anual USD</b>
9,22	15,18	26,57	664,25	7 971

Los costos estimados de mantenimiento preventivo correspondiente a un minibús urbano distribuido por sistemas que deben realizarse cada cierto lapso de tiempo, son los siguientes un costo mensual de 573,76 USD y un costo anual de 6 885,14 USD, con respecto al mantenimiento correctivo obtenemos un rubro mensual de 150,28 USD y anual de 1 803,33.

En la tabla 9, se muestra el costo total de mantenimiento de un minibús al año, mediante los parámetros obtenidos se estima que el costo de mantenimiento mensual es de 724,04 USD y el costo de mantenimiento anual asciende a 8 688,47 USD.

**Tabla 9. Costo de mantenimiento total minibús**

<b>Descripción</b>	<b>Costo Mensual USD</b>	<b>Costo Anual USD</b>
Mantenimiento preventivo	573,76	6 885,14
Mantenimiento correctivo	150,28	1 803,33
Total	724,04	8 688,47

Con respecto a la demanda ocupacional y tomando en cuenta los resultados de la fig 3, correspondiente a la demanda vs la oferta de los autobuses actuales de la ciudad podemos realizar una comparación de eficiencia ocupacional, utilizando el minibús propuesto notamos que mejora el porcentaje de ocupación total en un 10,23% y el porcentaje de eficiencia en la capacidad de pasajeros sentados en un 13,16%

utilizando la oferta de 55 pasajeros que proporciona el minibús convencional propuesto para este tema de estudio.

### 3.6 Propuesta minibús eléctrico

A continuación, en la tabla 3.32, se presenta los parámetros calculados mediante el software correspondiente al minibús eléctrico: velocidad máxima de 80 km/h, capacidad de ascenso en pendiente de 31,76%, utilizando una potencia de 80,98 kW.

**Tabla 10.** Análisis de datos minibús eléctrico

Parámetros calculados	Valor
Velocidad máxima [ km/h]	80
Capacidad de arranque [%]	24
Potencia para vencer la resistencia al rodamiento [ kW]	2,05
Factor de altitud	0,8014
Potencia para vencer la resistencia aerodinámica [kW]	0,030
Potencia para vencer la resistencia por inercia [kW]	10,55
Potencia de reserva [kW]	80,98
Capacidad de ascenso [ %]	31,76

El dato de la capacidad de arranque en pendiente no se lo pudo calcular debido a que el fabricante no proporciona información referente a las relaciones de transmisión, por lo tanto, para el análisis se utilizó el dato proporcionado en la ficha técnica que es de 24% de capacidad de arranque en pendiente, superior en un 3% a la pendiente máxima que se presenta en la ciudad cumpliendo con las condiciones de la misma

En la tabla 11, observamos los resultados obtenidos correspondiente al minibús eléctrico en un día de trabajo con un rendimiento de energía de 1,36 km/kWh y un consumo energético diario de 102,62 kWh.

**Tabla 11.** Consumo energético por día

Consumo energético (kWh/km)	Rendimiento energía (km/kWh)	Consumo energético por día (kWh)
0,733	1,36	102,62

Para poder obtener el costo diario de energía eléctrica, se necesita conocer la tarifa para el servicio de carga a vehículos eléctricos determinado por la Agencia de regulación y control de energía y recursos naturales no renovables (ARCERNNR, 2022), el mismo que se expresa en kWh. La tabla 12, muestra la tarifa para los proveedores del servicio de carga de energía a vehículos eléctricos para el periodo Enero-Diciembre 2022 según la resolución Nro. - ARCERNNR-011/2022. La

resolución expresa los límites máximos del costo del servicio en electrolinerías clasificándolos por vehículos livianos, pesados y modo de carga [11].

**Tabla 12.** Tarifa de recarga para vehículos eléctricos

Descripción	Costo carga rápida (Ctvs. /kWh)	Costo carga ultra rápida (Ctvs. /kWh)
Vehículos livianos	17,15	28,51
Vehículos pesados	16,10	17,51

Fuente: (ARCERNNR, 2022, págs. 13,14)

La tabla 13, muestra el costo de energía para una unidad, tomando en cuenta los parámetros mencionados anteriormente referentes a la tarifa, obteniendo un costo diario de 16,52 USD y un costo mensual estimado de 413 USD.

**Tabla 13.** Costo de recarga mensual

Consumo energético (kWh/km)	Consumo al día (kWh/día)	Costo al día USD	Costo al mes USD	Costo Anual USD
0,733	102,62	16,52	413	4 956

A continuación, se presenta los costos de mantenimiento para el minibus eléctrico, al no contar con suficiente información por considerarse una tecnología relativamente nueva en nuestro país especialmente en el servicio de transporte urbano, se han considerado tomar como referencia los costos de mantenimiento oficiales de la empresa BYD Ecuador. La cual manifiesta el costo de mantenimiento de un autobús eléctrico a diferencia de un convencional posee un ahorro del 30% al contar con menos partes mecánicas en funcionamiento y mejor tecnología [12].

La tabla 14, muestra los costos de mantenimiento tomando en cuenta el costo del modelo correspondiente al minibus convencional al ser un modelo similar y de igual capacidad al minibus eléctrico y lo mencionado anteriormente una reducción del 30% de los costos según BYD, obteniendo un costo estimado de 506,83 USD mensuales.

**Tabla 14.** Costo de mantenimiento minibus eléctrico

Descripción	Costo Mensual USD	Ahorro 30% mensual USD	Costo mensual eléctrico USD
Mantenimiento preventivo	573,76	172,13	401,63
Mantenimiento correctivo	150,28	45,08	105,20
Total	724,04	217,21	506,83

En los resultados obtenidos del análisis de la demanda de pasajeros vs la oferta de 52 pasajeros por el modelo de minibus eléctrico propuesto, notamos que existe una mejor eficiencia ocupacional con respecto al porcentaje total obteniendo un 34,63%.

Al realizar una comparación de eficiencia ocupacional, utilizando el autobús actual y el minibus eléctrico propuesto notamos que mejora el porcentaje de ocupación total en un 12,13% y el porcentaje de eficiencia en la capacidad de pasajeros sentados en un 30,95%.

#### **4 Conclusiones y trabajos futuros**

Los criterios adecuados para analizar el rendimiento del tren motriz son la capacidad de arranque, la capacidad de ascenso y la potencia utilizada, obteniendo como resultado que todos los modelos de autobuses evaluados sobrepasan los requerimientos técnicos y condiciones geográficas de la ciudad, encontrándose sobredimensionados un 8% en su capacidad de arranque, un 25,10% en la capacidad de ascenso con relación a la pendiente máxima y utilizan potencia de sobra para los requerimientos de la naturaleza del transporte urbano provocando un mayor consumo de combustible y mayores costos de operación de las unidades.

El rendimiento del chasis se lo analizó en función de la eficiencia ocupacional, determinando que la tasa de ocupación promedio de los autobuses es del 50% si se considera solo la capacidad de pasajeros que pueden ir sentados y del 22,50 % considerando la capacidad total del autobús, llegando a concluir que las unidades son demasiado grandes para la demanda de pasajeros y no son idóneas para brindar un óptimo servicio en la ciudad.

Como parte de la propuesta para el transporte de la ciudad se analizó un minibus urbano convencional dando como resultado una reducción en los costos de mantenimiento del 21,61%, una reducción en los costos de combustible del 21,25%, aumenta la eficiencia ocupacional un 10,23% y utiliza una potencia de 77,54 kW para brindar una capacidad de ascenso de 35,69% y una capacidad de arranque de 28,51% maximizando el rendimiento del sistema de transporte y cumpliendo con las condiciones de la ciudad.

Como segunda alternativa de la propuesta se analizó un minibus urbano eléctrico obteniendo como resultado una reducción en los costos de mantenimiento del 45,13%, en los costos de energía una reducción del 51,04%, brinda un incremento de la eficiencia ocupacional del 12,13% y utiliza una potencia de 80,98 kW para proporcionar una capacidad de ascenso de 31,76% y una capacidad de arranque de 24% optimizando su rendimiento y posicionándolo como mejor opción sin embargo su principal desventaja es su elevado costo de adquisición.

Se recomienda realizar un estudio sobre la infraestructura y gestión que sería necesaria para la implementación de un sistema de carga en la ciudad y la demanda



energética que se generaría en la red eléctrica al utilizar minibuses urbanos 100% eléctricos.

### Referencias

1. Samaniego Castro, R. E., & Silva Ortiz, Á. V. (2009). *Análisis de fuerzas del tren motriz en vehículos pesados ( Tesis de pregrado)*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
2. Andrade Freire, L. (2015). *Propuesta de una metodología para selección del tren motriz y chasis para vehículos de transporte colectivo en el Ecuador ( Tesis de postgrado)*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
3. Castillo A, A. (2015). *Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Ibarra: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra.
4. Díaz Tituaña , F. M. (2019). *Caracterización de las rutas de buses de transporte público de la ciudad de Ibarra para la implementación de buses híbridos y eléctricos*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
5. MEP. (2022). *Empresa Pública de Movilidad del Norte*. Ibarra: MOVIDELNOR- EP.
6. Cazares García, B., & Cuasapaz Celin , E. V. (2018). *Análisis de la tasa de ocupación de las rutas de buses urbanos en la ciudad de Ibarra ( Tesis de pregrado)*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
7. NTE INEN 2205; 2010. (s.f.). *Instituto Ecuatoriano de Normalización*. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2205-2.pdf>.
8. Cervantes de Gortari, J., & Rafael Morales, M. Y. (2004). *La selección del tren motriz basada en la eficiencia energética para vehículos de servicio pesado*. México: Red Ingeniería, Investigación y tecnología.
9. Zavala Ponce, A., & Rafael Morales, M. Y. (1999). *Selección del tren motriz de vehículos pesados carga y pasajeros destinados al servicio publico federal*. Sanfandila, Querétaro: Instituto Mexicano de Transporte. doi:0188-7297.
10. Cervantes de Gortari, J., Lozano Guzmán A, & Rafael Morales, M. Y. (2011). *Metodo para la configuración del tren motriz de vehículos de servicio pesado con uso eficiente de combustible*. México: Instituto Mexicano de Transporte.
11. ARCERNNR. (2022). *Pliego tarifario para los proveedores del servicio de carga de energía a vehículos eléctricos límites máximo del costo*. Quito: Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables.
12. BYD Ecuador . (28 de 02 de 2018). *BYD Ecuador*. Obtenido de <https://bydelectrico.com/ec/2018/02/28/recorridos-en-el-bus-electrico-cuenca/>