



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:

**CARACTERIZACIÓN DE LAS RUTAS DE BUSES DE TRANSPORTE
PÚBLICO DE LA CIUDAD DE IBARRA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE
BUSES HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS GPS**

AUTOR:

FRANKLIN MARCELO DÍAZ TITUAÑA

DIRECTOR:

ING. RAMIRO ANDRÉS ROSERO AÑASCO MSC.

Ibarra, Enero 2019

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

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

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es “CARACTERIZACIÓN DE LAS RUTAS DE BUSES DE TRANSPORTE PÚBLICO DE LA CIUDAD DE IBARRA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE BUSES HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS GPS” presentado por el señor: Franklin Marcelo Díaz Tituaña, con número de cédula 172379166-9, 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 31 días del mes de enero del 2019.

Atentamente;



Ing. Ramiro Rosero Msc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD
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.

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172379166-9		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Díaz Tituaña Franklin Marcelo		
DIRECCIÓN:	Cantón Pedro Moncayo – Parroquia Malchinguí – Barrio San Vicente – Av. Quito y Amazonas.		
EMAIL:	fmdiazt@utn.edu.ec / frank1992mdt@hotmail.com		
TELEFONO FIJO:	022158481	TELEFONO MÓVIL:	0979909131
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	CARACTERIZACIÓN DE LAS RUTAS DE BUSES DE TRANSPORTE PÚBLICO DE LA CIUDAD DE IBARRA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE BUSES HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS GPS		
AUTORES:	Franklin Marcelo Díaz Tituaña		
FECHA:	31 – 01 - 2019		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	PREGRADO		
TITULO POR EL QUE OPTA	Ingeniería en Mantenimiento Automotriz		
ASESOR/DIRECTOR	Ing. Ramiro Andrés Rosero Añasco MSc.		

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos del 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 esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 31 días del mes de enero de 2019

EL AUTOR



Franklin Marcelo Díaz Tituaña

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con mucho cariño a mi querido padre Marcelo Díaz y a mi amada madre Elsa Tituaña, ya que fueron las personas que siempre estuvieron en los buenos y malos momentos durante mi vida universitaria. Del mismo modo, fueron las personas que me implantaron buenos valores, los cuales practico hasta el día de hoy, a mi hermano quien me apoyo constantemente y gracias a esto hoy día estoy cumpliendo una meta esperada ansiosamente. Por último, agradezco a todos mis compañeros de carrera, ya que con ellos hemos compartido muchos momentos inolvidables, ya que con ellos hemos compartido momentos de compañerismo, en donde se ha demostrado amistad, apoyo moral e intercambio de conocimientos.

Franklin Díaz T.

AGRADECIMIENTO

En el transcurso de mi vida universitaria la Universidad Técnica del Norte fue como mi segundo hogar, en la cual aprendí muchas cosas que me permitirá desempeñarme como un buen profesional en el campo laboral y de esta manera ser una persona productiva para nuestra sociedad. Por lo tanto, agradezco a mis docentes y compañeros, ya que con la ayuda de todos logré cumplir con mi meta que me propuse al inicio de comenzar mi vida universitaria.

Franklin Díaz T.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	xiv
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema	4
1.3. Formulación del problema	5
1.4. Delimitación	5
1.4.1. Delimitación temporal	5
1.4.2. Delimitación espacial	5
1.5. Objetivos	6
1.5.1. Objetivo general	6
1.5.2. Objetivos específicos	6
1.6. Alcance	6
1.7. Justificación	7
1.8. Transporte terrestre de pasajeros	8
1.9. Características de las rutas	10
1.10. Vehículos híbridos	11
1.10.1. Híbrido paralelo	12
1.10.2. Híbridos en serie	13
1.10.3. Híbridos enchufables	14
1.11. Vehículos eléctricos	15
1.12. Motor eléctrico	17
1.12.1. Motor de imanes permanentes (DC)	17
1.12.2. Motor de Reluctancia conmutada (DC)	18
1.12.3. Motor de inducción asincrónica (AC)	19
1.12.4. Motor síncrono (AC)	20
1.13. Transmisiones automáticas	20
1.13.1. Transmisión Continuamente Variable CVT	21
1.13.2. CVT de poleas variables	22
1.13.3. CVT Toroidal	23

1.13.4.	Transmisión epicicloidal	24
1.13.5.	Cajas de cambios de doble embrague (DSG)	25
1.13.6.	Transmisión automática de 2 velocidades	26
1.14.	Baterías	27
1.14.1.	Batería Plomo-Ácido	27
1.14.2.	Batería de Níquel-Hidruro Metálico (NiMH)	28
1.14.3.	Batería de Ion-Litio	29
1.14.4.	Ventajas y desventajas entre las baterías de iones de litio y níquel hidruro metálico	30
1.14.5.	Ultra capacitor	31
1.14.6.	Comparación de las baterías de ion de litio y ultra capacitores	32
1.15.	Puntos de carga para vehículos híbridos y eléctricos	33
1.15.1.	Tipos de conectores	34
1.15.2.	Tipos de recarga	36
1.15.3.	Modos de carga	37
1.16.	Fuentes de generación de energía eléctrica en ecuador	39
1.15.1.	Fuentes renovables de energía eléctrica	40
1.15.2.	Fuentes no renovables de energía eléctrica	40
1.16.	Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	41
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	43
2.1.	Metodología	43
2.2.	Caracterización de las rutas de transporte urbano de la ciudad	44
2.2.1.	Descripción de las rutas	44
2.3.	Determinación de variables para el estudio	46
2.3.1.	Variables cinemáticas	46
2.4.	Descripción de dispositivos de posicionamiento global	47
2.4.1.	Selección de dispositivo electrónico	47
2.5.	Recolección de datos de las rutas	49
2.5.1.	Pruebas piloto	49
2.5.2.	Levantamiento de datos de las rutas	50
2.5.3.	Descarga de datos recolectados	51
2.5.4.	Gráfica de la ruta	51
2.6.	Procesamiento de la información	53
2.6.1.	Tiempos por ruta	53
2.6.2.	Frecuencia por ruta	54
2.6.3.	Distancia por ruta	56
2.6.4.	Velocidad máxima	57
2.6.5.	Pendiente	58

2.7.	Elaboración de mapas temáticos	61
2.7.1.	Selección de software	61
2.7.2.	Elaboración de capa de paradas de buses	61
2.7.3.	Creación de mapas en QGIS 3.0 GIRONA	62
2.8.	Metodología para el dimensionamiento del tren motriz	65
2.8.1.	Variables para el dimensionamiento del tren motriz	66
2.8.2.	Ficha técnica del autobús híbrido y eléctrico	66
2.9.	Dimensionamiento del tren de potencia	67
2.9.1.	Resistencia a la rodadura	68
2.9.2.	Resistencia gravitatoria	71
2.9.3.	Resistencia aerodinámica	72
2.9.4.	Resistencia por aceleración	75
2.9.5.	Resistencia total	76
2.10.	Selección del motor eléctrico	76
2.10.1	Cálculo de potencia requerida para el motor	76
2.10.2.	Determinación del grado de hibridación	77
2.10.3.	Potencia requerida para el autobús eléctrico	77
2.10.4.	Cálculo del torque requerido por el motor	78
2.10.5.	Capacidad de arranque en pendiente (Startability)	78
2.10.6.	Capacidad de ascenso en pendiente (Gradeability)	80
2.11.	Dimensionamiento del paquete de baterías	80
2.11.1.	Potencia de la batería	81
2.11.2.	Resistencia interna	81
2.11.3.	Voltaje del circuito abierto de la batería	82
2.11.4.	Intensidad de corriente	82
2.11.5.	Voltaje en los terminales de la batería	83
2.11.6.	Autonomía del autobús	83
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	85
3.1.	Diagrama de flujo de los análisis de resultados	85
3.2.	Análisis de las rutas de transporte urbano de la ciudad de Ibarra	86
3.2.1.	Distancia recorrida por ruta	86
3.2.2.	Tiempo recorrido por ruta	87
3.2.3.	Velocidad máxima experimentada por ruta	88
3.2.4.	Pendiente máxima por ruta	88
3.3.	Análisis de la selección del tren de potencia para el autobús híbrido	90
3.3.1.	Análisis de la resistencia a la rodadura	90
3.3.2.	Análisis de la resistencia gravitatoria	93
3.3.3.	Análisis de la resistencia aerodinámica	94
3.3.4.	Análisis de la resistencia por aceleración	95

3.3.5.	Análisis de la resistencia total	95
3.3.6.	Análisis del grado de hibridación	97
3.3.7.	Análisis de la potencia del motor diésel y eléctrico	98
3.3.8.	Análisis del torque del motor	98
3.3.9.	Análisis de la selección del motor diésel y eléctrico	99
3.3.10.	Análisis de la capacidad de arranque en pendiente (Startability)	101
3.3.11.	Análisis de la capacidad de ascenso en pendiente (Gradeability)	102
3.3.12.	Especificaciones técnicas del autobús híbrido	103
3.3.13.	Especificaciones técnicas del microbús híbrido	104
3.4.	Análisis de la selección del tren de potencia del autobús eléctrico	106
3.4.1.	Análisis de la resistencia a la rodadura	106
3.4.2.	Análisis de la resistencia gravitatoria	109
3.4.3.	Análisis de la resistencia aerodinámica	110
3.4.4.	Análisis de la resistencia por aceleración	111
3.4.5.	Análisis de la resistencia total	112
3.4.6.	Análisis de la potencia del motor eléctrico	113
3.4.7.	Análisis del torque del motor	114
3.4.8.	Análisis de la selección del motor eléctrico	115
3.4.9.	Análisis de la capacidad de arranque en pendiente (Startability)	116
3.4.10.	Análisis de la capacidad de ascenso en pendiente (Gradeability)	117
3.4.11.	Especificaciones técnicas del autobús eléctrico	118
3.4.12.	Especificaciones técnicas del microbús eléctrico	119
3.5.	Análisis del paquete de baterías para el autobús híbrido y eléctrico	120
3.5.1.	Selección del tipo de carga	121
3.5.2.	Selección del tipo de batería	122
3.5.3.	Características de la celda	123
3.5.4.	Tasa de carga y descarga	124
3.5.5.	Características del paquete de baterías del autobús híbrido	125
3.5.6.	Autonomía del autobús híbrido	126
3.5.7.	Características del paquete de baterías del autobús eléctrico	127
3.5.8.	Autonomía del autobús eléctrico	127
3.5.9.	Características de las baterías del autobús híbrido y eléctrico	128
2.5.10.	Características de las baterías del microbús híbrido y eléctrico	129
2.5.11.	Sistema de carga	131
3.5.12.	Reciclaje de las baterías	131
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	134
4.1.	Conclusiones	134

4.2. Recomendaciones	136
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138
ANEXOS	145

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NÚM.		PÁGINA
1.1	Clasificación de transporte de pasajeros, según la categoría M	9
1.2	Características del bus urbano y minibús urbano	9
1.3	Ventajas y desventajas del autobús híbrido.	12
1.4	Ventajas y desventajas del autobús eléctrico.	17
1.5	Ventajas y desventajas de las baterías para autobuses híbridos y eléctricos	30
2.1	Distribución de las rutas de transporte urbano entre Cooperativas	45
2.2	Características y unidades de medición para el dispositivo GPS	47
2.3	Tiempos de recorrido	53
2.4	Frecuencia y cantidad de unidades por ruta	55
2.5	Distancia de las rutas	56
2.6	Máxima velocidad desarrolladas en las rutas	57
2.7	Valores de las pendientes máximas de las rutas	60
2.8	Ficha técnica del autobús volvo 7 900 híbrido y eléctrico	67
2.9	Peso vehicular	71
2.10	Cálculo de áreas de la parte frontal del autobús	75
3.1	Coefficiente de rodadura a diferentes velocidades y presiones de inflado	91
3.2	Resistencia a la Rodadura a diferentes velocidades	92
3.3	Potencia para vencer la resistencia a la rodadura a diferentes velocidades	92
3.4	Resistencia gravitatoria en relación con la pendiente	93
3.5	Potencia para vencer la resistencia gravitatoria a diferente pendiente	94
3.6	Resistencia y potencia aerodinámica a diferentes velocidades	95
3.7	Resistencia total en plano y en pendiente máxima	96
3.8	Potencia requerida a diferentes velocidades y máxima pendiente	96
3.9	Determinación de diferentes grados de hibridación	97
3.10	Selección de la potencia de los motores	98
3.11	Torque del motor a diferentes RPM	99
3.12	Capacidad de arranque en pendiente para el autobús híbrido	101
3.13	Capacidad de ascenso en pendiente a distintas velocidades	102
3.14	Especificaciones técnica del autobús híbrido	104

3.15	Especificaciones técnica del microbús híbrido	105
3.16	Coefficiente de rodadura a diferentes velocidades y presiones de inflado	107
3.17	Resistencia a la rodadura a diferentes velocidades	108
3.18	Potencia para vencer la resistencia a la rodadura a diferentes velocidades	108
3.19	Resistencia gravitatoria a diferentes pendientes	109
3.20	Potencia para vencer la resistencia gravitatoria	110
3.21	Resistencia y potencia aerodinámica a diferentes velocidades	111
3.22	Resistencia total a diferentes velocidades y pendiente máxima	112
3.23	Potencia requerida para iniciar el movimiento a diferentes velocidades	113
3.24	Potencia del motor a diferentes velocidades	114
3.25	Torque del motor a diferentes RPM	115
3.26	Capacidad de arranque en pendiente para el autobús eléctrico	117
3.27	Capacidad de ascenso en pendiente a diferentes velocidades	117
3.28	Especificaciones técnica del autobús eléctrico.	119
3.29	Especificaciones técnica del microbús eléctrico	120
3.30	Análisis de las celdas de las baterías para aplicaciones en HEV - EV	122
3.31	Especificaciones técnicas de la celda SINOPOLY LFP300 AH	123
3.32	Tasa de carga y descarga C	124
3.33	Especificaciones del paquete de baterías para el autobús híbrido	125
3.34	Autonomía del autobús híbrido	126
3.35	Especificaciones del paquete de baterías para el autobús eléctrico	127
3.36	Autonomía del autobús eléctrico	128
3.37	Características de las baterías del autobús híbrido	129
3.38	Características de las baterías del autobús eléctrico	129
3.39	Características de las baterías del microbús híbrido	130
3.40	Características de las baterías del microbús eléctrico	130
3.41	Sistema de carga	131

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM.		PÁGINA
1.1	Comparación de emisiones de CO ₂	3
1.2	Estructura de transmisión híbrida	11
1.3	Circuito híbrido en paralelo	13
1.4	Circuito híbrido en serie	14
1.5	Configuración del híbrido enchufable	15
1.6	Circuito eléctrico	16
1.7	Estructura del motor de imanes permanentes	18
1.8	Motor de reluctancia conmutada	19
1.9	Motor de inducción: (a) rotor y estator, (b) rotor, y (c) estator	20
1.10	Transmisión CVT: (a) Configuración básica; (b) Estructura de la correa	21
1.11	Transmisión CVT con poleas de diámetro variable	22
1.12	Configuración de la transmisión toroidal a bajas y altas velocidades	23
1.13	Partes de la caja automática de trenes epicicloidales	24
1.14	Partes de la caja automática de doble embrague	25
1.15	Diagrama del tren motriz con transmisión de 2 velocidades	26
1.16	Partes de las baterías Pb-Ácido	27
1.17	Módulo de la batería NiMH, (a) Caja plástica y (b) Caja metálica	28
1.18	Configuración de las celdas de Ion-Litio	29
1.19	Comparación de la densidad de potencia y la densidad de energía	32
1.20	Infraestructura de carga eléctrica para vehículos eléctricos	33
1.21	Conector CHaDeMO (Tipo 4)	35
1.22	Infraestructura de carga mediante pantógrafo invertido	36
1.23	Producción de energía e importaciones en Ecuador	39
1.24	Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	41
2.1	Metodología para determinar las características cinemáticas de las rutas	43
2.2	Dispositivo GPS GL-770	48
2.3	Gráfica de la ruta Colinas del Sur – Aduana	52
2.4	Componentes para determinar la pendiente en terrenos inclinados	59
2.5	Capa de las paradas de buses	62

2.6	Mapa temático de la ruta del Naranjito	64
2.7	Dimensionamiento del tren de potencia para el autobús híbrido y eléctrico	65
2.8	Fuerzas de resistencia al movimiento	68
2.9	Nomenclatura del neumático	69
2.10	Puntos de alta y baja presión con respecto al aire	73
2.11	Coefficientes de resistencia aerodinámica para diferentes vehículos	74
3.1	Diagrama de flujo de análisis de resultados	85
3.2	Distancia de las rutas de transporte urbano	86
3.3	Tiempo de recorrido por ruta	87
3.4	Velocidad máxima experimentada por el transporte urbano de Ibarra	88
3.5	Pendiente máxima experimentada por ruta	89
3.6	Perfil de altura de la ruta El Naranjito	89
3.7	Variación del coeficiente de rodadura a diferente velocidad y presión de inflado	91
3.8	Motor eléctrico SUMO MD HV 1500-3P	100
3.9	Torque de motor SUMO MD HV 1500-3P	100
3.10	Capacidad de ascenso en pendiente	102
3.11	Variación del coeficiente de rodadura a diferente velocidad y presión de inflado	107
3.12	Motor eléctrico SUMO MD HV2600-6P	115
3.13	Torque del motor eléctrico SUMO MD HV2600-6P	116
3.14	Capacidad de ascenso en pendiente	118
3.15	Porcentaje de los costos de la vida útil de diferentes tipos de tecnología	121
3.16	Tasa de carga y descarga C	124
3.17	Tasa de carga y descarga en relación con el tiempo	125
3.18	Conexión del circuito para aparcamientos solares	132
3.19	Conexión del circuito para almacenamiento de energía en lugares aislados	133

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN NÚM.		PÁGINA
2.1	Pendiente	59
2.2	Resistencia a la rodadura	70
2.3	Coefficiente de resistencia a la rodadura	71
2.4	Ángulo de inclinación	72
2.5	Resistencia gravitatoria	72
2.6	Resistencia aerodinámica	73
2.7	Resistencia por aceleración	75
2.8	Fuerza de impulsión	76
2.9	Potencia requerida para el motor	77
2.10	Grado de hibridación	77
2.11	Potencia del motor	78
2.12	Torque	78
2.13	Capacidad de arranque (Startability)	79
2.14	Revoluciones por kilómetro de la llanta	79
2.15	Relación de paso del diferencial	80
2.16	Capacidad de ascenso en pendiente (Gradeability)	80
2.17	Potencia de la batería	81
2.18	Resistencia interna de la batería	82
2.19	Voltaje del circuito abierto	82
2.20	Intensidad de corriente	83
2.21	Voltaje de los terminales	83
2.22	Autonomía	84

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO NÚM.		PÁGINA
1	Ruta 1. La Esperanza – Hospital del Seguro	146
2	Ruta 2. Chugchupungo – La Florida	147
3	Ruta 3. Odilas – 19 de Enero	148
4	Ruta 4. Colinas del Norte – Aduana	149
5	Ruta 5. Ejido de Caranqui – Miravalle	150
6	Ruta 7. Santa Lucia – La Victoria	151
7	Ruta 8. Santo Domingo – Universidades	152
8	Ruta 10. Santa Isabel – Huertos Familiares	153
9	Ruta 11. Tanguarín – Aduana	154
10	Ruta 12. Chorlavi – La Victoria	155
11	Ruta 13. Milagro – Yahuarcocha	156
12	Ruta 14. Pugacho – Santa Teresita	157
13	Ruta 15. Palmas – Ceibos	158
14	Ruta 16. San Miguel Arcángel – San Cristóbal de Caranqui	159
15	Ruta 17. Católica – Alpachaca	160
16	Ruta 18. Azaya la Campiña	161
17	Ruta 20. Caranqui – Aduana	162
18	Ruta 21. Santa Rosa - Ceibos	163
19	Ruta 22. El Carmen – Bellavista	164
20	Ruta 23. El Naranjito	165
21	Ficha Técnica del Autobús Híbrido	166
22	Ficha Técnica del Autobús Eléctrico	167
23	Ficha Técnica del Microbús Híbrido	168
24	Ficha Técnica del Microbús Eléctrico	169

RESUMEN

El presente tema de estudio que consiste en la “Caracterización de las rutas de buses de transporte público de la ciudad de Ibarra para la implementación de buses híbridos y eléctricos GPS”, el cual pertenece al Grupo de Investigación Sistema de Transporte y Automoción (GISTA). Este estudio está enfocado a determinar las características técnicas del tren motriz y paquete de baterías para el autobús híbrido y eléctrico. Para ello, la recolección de datos se la realizó de lunes a viernes en 20 rutas: 8 de la Cooperativa San Miguel de Ibarra y 12 de la Cooperativa 28 de Septiembre. En donde, se instaló 5 Dispositivos de Posicionamiento Global (GPS) GL-770 de lunes a viernes en cada ruta, con una frecuencia de muestreo de 1 Hz y 14 horas diarias de grabación. Para ello, los dispositivos son instalados al inicio de su jornada laboral y son retirados la final de su jornada laboral, logrando recolectar 50 400 datos. La base de datos muestra que la ruta de El Naranjito cuenta con una máxima pendiente del 21 %, la cual es ejecutada por parte de la Cooperativa 28 de Septiembre y la ruta Santa Isabel – Huertos Familiares que cuenta con la máxima distancia de 39,10 km, la cual es cumplida por la Cooperativa 28 de Septiembre y la Cooperativa San Miguel de Ibarra. Durante la investigación se determinó que la trayectoria de ciertas rutas ha cambiado con el pasar del tiempo. La potencia total considerada para el dimensionamiento del tren motriz está calculada para una pendiente del 21 %, en plena carga y la velocidad máxima experimentada es de 20 km/h. Por lo tanto, la potencia total requerida aumenta si alguna de estas variables incrementa. Cabe mencionar, la potencia del motor puede variar según su eficiencia, pero en este caso se ha utilizado una eficiencia del 80 % para el motor eléctrico y una eficiencia del 37 % para el motor diésel. Para el autobús híbrido se requiere un motor eléctrico de 162 kW y un motor diésel de 230, 25 kW, tomando en cuenta que estos valores son para un grado de hibridación del 40%. En cambio, para el autobús eléctrico se requiere una potencia de 265 kW. Una vez establecido el tren de potencia se procede a dimensionar el paquete de baterías del autobús híbrido, el cual cuenta con 100 celdas, potencia de 205,25 kW, capacidad de 300 Ah, voltaje de 320 V, intensidad de corriente de 641,75 A, peso de 950 kg y cuenta con una autonomía de 42,07 km. En cambio, el paquete de baterías para el autobús eléctrico cuenta con 180 celdas, potencia de 308,25 kW, capacidad de 300 Ah, voltaje de 576 V, intensidad de corriente de 535,4 A, peso de 1710 kg y cuenta con una autonomía de 50,43 km. Para determinar las especificaciones técnicas del paquete de baterías, se procede a seleccionar el tipo de bus eléctrico. En donde, la mejor tecnología para el sistema de carga, con relación a costos es la carga al final de la estación. La relación de costos de las baterías entre el autobús de carga durante la noche es del 3,2 % y la carga al final de la estación es de 1,3 %.

ABSTRACT

The following study consists of the "Characterization of the bus routes of public transport of the city of Ibarra for the implementation of hybrid buses and electrical GPS", which belongs to the research Group of Transport Systems and Automotive (GISTA). This study is focused on determining the technical characteristics of the powertrain and battery pack for the hybrid and electric buses. For this, data collection was carried out from Monday to Friday in 20 routes: 8 from the San Miguel de Ibarra Cooperative and 12 from the 28 de Septiembre Cooperative. Where, it was installed 5 Global Positioning Devices (GPS) GL-770 from Monday to Friday in each route, with a sampling frequency of 1 Hz and 14 hours of recording daily. For this, the devices are installed at the beginning of their working day and is removed at the end of their working day, managing to collect 50 400 data. The database shows that the El Naranjito route has a maximum slope of 21 %, which is executed by the Cooperativa 28 de Septiembre and the route Santa Isabel - Huertos Familiares has the maximum distance of 39.10. km, which is fulfilled by the Cooperativa 28 de Septiembre and the Cooperativa San Miguel de Ibarra. It was determined that the trajectory of certain routes has changed over time. The total power considered for the sizing of the powertrain is calculated for a slope of 21 %, in full load and the maximum speed experienced is 20 km / h. Therefore, the total power required increases if any of these variables increases. It should be mentioned that the power of the engine can vary according to its efficiency, but in this case an efficiency of 80 % has been used for the electric motor and an efficiency of 37 % for the diesel engine. For the hybrid bus, an electric motor of 162 kW and a diesel engine of 230, 25 kW are required, considering that these values are for a degree of hybridization of 40 %. On the other hand, a power of 265 kW is required for the electric bus. Once the power train is established, the battery pack of the hybrid bus is dimensioned, which has a power of 205.25 kW, capacity of 300 Ah, voltage of 320 V, current intensity of 641.75 A, weight of 950 kg and has a range of 42.07 km. In contrast, the battery pack for the electric bus has a power of 308.25 kW, capacity of 300 Ah, voltage of 576 V, current intensity of 535.4 A, weight of 1 710 kg and has a range of 50.43 km. The technical specifications of the battery pack were determined for the electric bus. Where, the best technology found out to be the recharge at the bus station, at the end of the working day. The cost ratio of the batteries between recharges is during the night is 3.2 % and recharging at the station at the end of the working day is 1.3 %.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto está centrado en la caracterización de rutas de la ciudad de Ibarra, para ello se deberá realizar la adquisición de datos, los cuales se procederá a procesarlos de una forma selectiva. De esta manera, se logrará establecer ciertas características de los autobuses híbridos y eléctricos que permita proceder a su implementación en la localidad, siempre y cuando los propietarios de las unidades de transporte urbano logren contar con el presupuesto necesario. Este estudio se lo ha hecho por la siguiente razón, en la actualidad el parque automotor se ha ido incrementando notablemente y esto representa mayor contaminación ambiental. Entonces, con esto se pretende que las personas de la localidad gocen de un aire más puro y saludable.

Para la ejecución de este proyecto de investigación se empezó por la elección del mejor dispositivo de Sistema de Posicionamiento Global (GPS), mediante el cual se procede a realizar la adquisición de datos de todas las rutas de la ciudad de Ibarra. Para ello se ha establecido horarios para la realización de las pruebas, las cuales serán ejecutadas en un determinado tiempo, tomando en cuenta ciertos parámetros que permitan obtener los mejores resultados.

Una vez adquirida la información se empezó a procesarla de una forma selectiva y para ello se realizó una base de datos con todas las características cinemáticas y topográficas de las rutas de la ciudad. Estos valores son determinantes para la investigación, ya que son variables que se harán uso para realizar la selección del tren motriz más adecuado para las unidades de transporte.

Las unidades de transporte público brindan servicio a la sociedad, ya que ayudan con el traslado de las personas. Para lograr este objetivo, las cooperativas de transporte público tienen establecidas rutas, las cuales son recorridas en un límite de tiempo establecido, sin importar la cantidad de kilómetros. Entonces, para este estudio se procede a elaborar mapas temáticos de las rutas de autobuses urbanos de la ciudad de Ibarra.

Luego de procesar toda la información mencionada anteriormente, se procede a realizar cálculos mediante el uso de ciertas fórmulas que permitan realizar la mejor elección del tren motriz, ya que de esta manera se logrará satisfacer todas las necesidades de los usuarios del sector. Además, esto permite garantizar la llegada de todas las personas a su lugar de destino sin ningún inconveniente.

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. ANTECEDENTES

El incremento del parque automotor es visible a nivel nacional e internacional, como consecuencia, el aumento de las emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero. “La combustión de combustibles fósiles, ya sea en aplicaciones industriales y centrales eléctricas o de escape de vehículos de motor (aviones, coches, camiones o buques) representan la mayor parte de la contaminación al menos en los países desarrollados” (Mishra, 2017, pág. 426). Todo esto se lo observa en los centros urbanos, donde existe la mayor concentración de flujo vehicular, lo cual genera una mayor cantidad de emisiones contaminantes hacia la atmósfera. Esto es un factor negativo que afecta a la sociedad sin importar género o estrato social. De acuerdo, con la Organización Mundial de Salud (OMS) en un artículo del 2018 establece que durante los últimos 50 años, la actividad humana y en particular el consumo de combustibles fósiles ha liberado cantidades de CO₂, generando otros gases de efecto invernadero suficientes para retener más calor en las capas inferiores de la atmósfera y alterar el clima mundial. Una consecuencia que afecta al cambio climático en el planeta es la emisión de gases de efecto invernadero y los seres humanos son las principales víctimas. Un claro ejemplo son las olas de calor, agua ácida, lluvias intensas, sequías extremas, temperatura de lagos elevadas, etc. La industria automotriz se encuentra preocupada por la conservación del medio ambiente y para ello se busca soluciones con el fin de disminuir las emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero. Siendo una buena opción los autobuses híbrido y eléctricos

“En 1821 Michael Faraday, ya fabricó los elementos que permitían realizar la rotación electromagnética y a esto en la actualidad se lo conoce como motor eléctrico” (Boronat & García, 2011, pág. 18). Cabe mencionar, el primer vehículo eléctrico fabricado fue 1881 y así este tipo de tecnología ha ido evolucionando con el pasar del tiempo y a inicios del siglo XX llegó a ser uno de los vehículos más vendidos de la época, pero por ciertos motivos desistieron de ser comercializados. En la actualidad, el uso de transporte eléctrico es una solución para la sociedad, ya que “Los autobuses híbridos tienen emisiones de dióxido de carbono moderadamente inferiores durante la vida de servicio, mientras que los autobuses

totalmente eléctricos pueden reducir las emisiones de dióxido de carbono, hasta en un 75 %” (Lajunen & Lipman, 2016, pág. 329).

El transporte público es el encargado de brindar servicio a la sociedad, para ello debe conservarse en óptimas condiciones para garantizar la integridad física de los usuarios que hacen uso de este medio de transporte. El inconveniente es que los usuarios deben acoplarse a los horarios y rutas establecidas por las empresas que brindan dicho servicio.

En lo que se refiere a proyectos internacionales, existe el proyecto llamado ZeEUS (Zero Emission Urban Bus System), el cual va a funcionar en la ciudad de Barcelona dando comienzo a la movilidad eléctrica y para lograr cumplir este objetivo se necesita de la eléctrica española Endesa y una de las dos representantes del sector eléctrico europeo (Movilidad Eléctrica, 2014). Para cumplir con la meta de dicho proyecto europeo, se cuenta con un consorcio de 40 socios, ciertas instituciones y algunas empresas prestigiosas del continente europeo como: Eurelectric, Vatenfall, Volvo, Skoda, UITP (Union Internationale Des Transports Publics), IDIADA, Bus Transport For London, Universita Degli Studi Di Roma La Sapienza, ASSTRA (Associazione Trasporti). Transportes Metropolitanos de Barcelona (TMB) y la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Irizar, GMV y Enide (Movilidad Eléctrica, 2014). Dicho proyecto abarca 8 ciudades de Europa y al mismo tiempo se está realizando infraestructura para la recarga de las unidades eléctricas.

Por otro lado, localmente el trolebús de la ciudad de Quito, para su época fue un claro ejemplo de la movilidad sostenible en el Ecuador, siendo un medio de transporte alimentado por la energía eléctrica y de esta manera logramos reducir las emisiones contaminantes. “Cabe mencionar, que la Unidad Operadora del Sistema Trolebús (UOST) fue inaugurada el 5 de diciembre de 1995, con el objetivo de modernizar el transporte público de la ciudad de Quito” (Villalba, 2014, pág. 4). Así es como empezó el proyecto más grande de transporte de pasajeros en el Ecuador, manteniéndose en circulación hasta el día de hoy. Este proyecto, en su época facilitó el traslado de las personas, reduciendo los tiempos de traslado al momento de movilizarse de un lugar a otro dentro de la ciudad. En la actualidad, la población ha incrementado y este medio de transporte no abastece para movilizar a todos los ciudadanos que residen en la ciudad de Quito.

Del mismo modo, el tranvía de Cuenca es un proyecto ejemplar relacionado con la movilidad sostenible. Así se ayuda a conservar el medio ambiente para las generaciones futuras y al mismo tiempo se logra satisfacer las necesidades de la generación actual. El Tranvía de Cuenca será el mayor sistema de transporte masivo de la ciudad, brindando servicio a 272

personas en horas normales y 300 personas en horas pico, cuenta con una frecuencia de 6 minutos y recorre una ruta de 21.4 km (Montesdeoca & Vásconez, 2015, pág. 46).

En vista que los motores de combustión interna resultan una fuente de contaminación para las urbes del país, el Ministerio de Coordinación, Empleo y Competitividad (MCPEC) ha realizado el Convenio Marco para la Promoción, Comercialización, y Perspectivas de Fabricación de Baterías y Vehículos Eléctricos en la República del Ecuador. Así se pretende mejorar la calidad del aire y disminuir las emisiones contaminantes. Por este motivo, se pretende tener ciertos privilegios para este tipo de tecnología. Se bajaron los aranceles al 0 % para la importación de vehículos eléctricos terminados, del mismo modo esto aplica para la fabricación de sus respectivas piezas, para ello se tiene 0 % de IVA, 0 % de aranceles y para concluir se establece que no existe límites para la importación de vehículos eléctricos (Viera & Arévalo , 2017, pág. 2).

Recorrido anual		Vehículo de uso privado 20.000 kilómetros		Vehículo de servicio público y comercial 100.000 kilómetros	
Tipo de vehículo	Mayor de 30 años (kg CO ₂ /año)	Actual (kg CO ₂ /año)	Híbrido (kg CO ₂ /año)	Eléctrico (kg CO ₂ /año)	
Privado	4.000	46	37	0	
De servicio público o comercial	2.000	230	186	0	
Tributos Ecuador	Arancel	35% - 40%	0% hasta 2000cc	No paga Si (SI FOB < 40.000)	
	IVA	12%	No paga Si (PVP <35.000)	No paga Si (SI FOB < 35.000)	
	ICE	5% - 35%	No paga Si (PVP <35.000)	No paga Si (SI FOB < 35.000)	

Figura 1.1 Comparación de emisiones de CO₂

Fuente: (AEADE, 2016, pág. 23)

En la Figura 1.1 muestra la comparación de emisiones contaminantes anuales de CO₂, entre vehículos de uso privado y vehículos de servicio público y comercial. En donde, se analiza los valores de (kg CO₂ /año) de vehículos mayores de 30 años, actuales, híbridos y eléctricos, tomando como la mejor alternativa a los vehículos eléctricos siempre y cuando su fuente de generación eléctrica sea renovable. Este análisis es realizado durante la etapa de uso del

automotor. Los vehículos de servicio público o comercial en la actualidad contaminan más que los vehículos privados. Del mismo modo, los tributos como el IVA, ICE y aranceles tienen un valor del 0 % para vehículos híbridos y eléctricos, siempre que cumplan con ciertos parámetros.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años son notables los efectos que produce la contaminación ambiental a nivel mundial. Esto es consecuencia del incremento del parque automotor generando mayor cantidad de emisiones contaminantes que afectan a la atmósfera. Por este motivo, el estudio tiene como principal objetivo caracterizar las rutas de autobuses de transporte público para la implementación de autobuses híbridos y eléctricos, para ello se tomará en cuenta las características cinemáticas y topográficas de las rutas. Sin embargo, las vías deben cumplir con cierta tipología para la carga y descarga de las baterías. De esta manera, los vehículos híbridos llegan a ser más eficientes y amigables con el medio ambiente. Por otro lado, mediante el uso de este tipo de autobuses se reduce las emisiones contaminantes, pero la mejor opción que ayudará a conservar el medio ambiente son los autobuses eléctricos. Por esta razón, se debe determinar todas las características que poseen las vías de la ciudad y así elegir el mejor tipo de autobús híbrido que logre adaptarse a los tipos de vías que existen en la ciudad de Ibarra.

La contaminación del aire en las ciudades es producido por los gases contaminantes, residuos sólidos y residuos líquidos, que se han incrementado notablemente. Uno de los contaminantes más comunes en nuestro medio son los expulsados por los motores que hacen uso de los combustibles de origen fósil y entre ellos tenemos: el monóxido de carbón, los hidrocarburos no quemados y los óxidos de nitrógeno.

El presente proyecto ayudará a la conservación del medio ambiente, mediante la caracterización de las rutas de autobuses de transporte público de la ciudad de Ibarra para implementación de autobuses híbridos y eléctricos. El uso de este tipo de autobuses deberá ayudar a reducir las emisiones contaminantes, esto podrá ser posible siempre y cuando se haga uso de energía proveniente de fuentes renovables.

Todo tipo de batería tiene un tiempo de vida útil, sin importar el tamaño o del dispositivo que hizo uso de ella. Esto significa que las baterías de los vehículos híbridos y eléctricos

deben ser recicladas de forma adecuada para garantizar la conservación del medio ambiente. Esto significa que las baterías una vez terminada su vida útil en el sector del transporte, mantendrían capacidad de almacenamiento suficiente para ser usadas en aparcamientos solares, optimizar el consumo de energía dentro de los hogares y en hogares aislados, siendo alternativas en donde no se necesita de altos costos de inversión para el reciclaje (Mora, 2015, pág. 38).

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo realizar la selección de tren motriz para autobuses híbridos y eléctricos de transporte urbano en la ciudad de Ibarra, con las características técnicas más óptimas de funcionamiento?

1.4. DELIMITACIÓN

La delimitación permite determinar el tiempo que va a llevar la investigación y delimitar el área en donde se realizará el estudio, de esta manera se facilita la investigación.

1.4.1. DELIMITACIÓN TEMPORAL

El estudio se encuentra enfocado a encontrar las características técnicas para la selección del tren motriz de los autobuses híbridos y eléctricos. Por lo tanto, para el desarrollo de este proyecto se establece un tiempo estimado de 12 meses, empezando con su ejecución desde octubre del 2017 hasta enero del 2019.

1.4.2. DELEMITACIÓN ESPACIAL

El estudio se realizará en la zona urbana y rural de la ciudad de Ibarra. En base al levantamiento de datos de todas las rutas que cubren las Cooperativas San Miguel de Ibarra

y 28 de septiembre, se pretende realizar una base de datos que permita determinar las características técnicas del tren motriz para autobuses híbridos y eléctricos.

1.5. OBJETIVOS

En los trabajos de titulación se establecen objetivos que permiten llegar a cumplir un propósito y para ello se debe realizar una serie de actividades.

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar las rutas de autobuses de transporte público de la ciudad de Ibarra para la implementación de autobuses híbridos y eléctricos.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el levantamiento de información de las trayectorias de las rutas de autobuses urbanos mediante el uso de datalogger-GPS.
- Elaborar una base de datos de los recorridos en función de las características cinemáticas y topográficas, además de frecuencia de viaje por ruta.
- Elaborar mapas temáticos en función de las trayectorias de las rutas de autobuses urbanos.
- Determinar las especificaciones técnicas que se requieren del bus híbrido o eléctrico para el funcionamiento de una ruta de la ciudad.

1.6. ALCANCE

El siguiente trabajo de titulación tiene el objetivo de caracterizar las rutas de transporte urbano de la ciudad de Ibarra para implementar buses híbridos y eléctricos, para ello se

necesita de la recolección de datos de las rutas para luego determinar sus respectivas pendientes, frecuencias, distancia, cambios de ruta, velocidad y tiempos de recorrido.

Para la recolección de datos se procederá a colocar dispositivos GPS (Sistema de Posicionamiento Global) dentro de las unidades de las cooperativas 28 de Septiembre y San Miguel de Ibarra, las cuales prestan el servicio de transporte dentro de la ciudad. Estos dispositivos arrojan datos de velocidad, distancia, tiempo, altitud y la gráfica de la ruta ejecutada por la unidad de transporte urbano, todos estos datos son tomados desde el inicio de su jornada laboral hasta el final.

Mediante el uso de Excel se procederá a realizar los cálculos para determinar las pendientes, velocidades y las distancias de las rutas. Del mismo modo, mediante el uso de QGIS se pretende determinar los cambios que se han realizado en las trayectorias con el paso de los años.

1.7. JUSTIFICACIÓN

La contaminación ambiental es un problema que afecta a la salud de los seres humanos, pero las personas que resultan más afectas son las personas que residen en la zona urbana. Según (Grütter, 2014, pág. 5), el sector de transporte es la segunda fuente más grande de emisiones de CO₂ proveniente del uso de energía. El sector de transporte emitió en el año 2012 alrededor de 10 giga toneladas de CO₂ y consumió la mitad del consumo mundial de petróleo. Las emisiones de CO₂ del sector de transporte aumentaron más rápidamente que las emisiones de otras fuentes en las últimas dos décadas, encaminando a los científicos en buscar nuevas tecnologías que reduzcan las emisiones contaminantes y de esta manera garantizar el bienestar humano.

Por este motivo, mediante la caracterización de las rutas de autobuses de transporte público de la ciudad de Ibarra para la implementación de autobuses híbridos y eléctricos se pretende disminuir las emisiones contaminantes que son provenientes del uso de los motores gasolina y diésel, que provocan la contaminación del medio ambiente. Entonces, la implementación de autobuses híbridos y eléctricos son la mejor opción, ya que son muy amigables con el medio ambiente. De esta manera, la población de la ciudad de Ibarra logrará obtener un aire más limpio y puro. Otra ventaja importante, "el uso de autobuses eléctricos disminuye las emisiones contaminantes hasta un 75 %" (Lajunen & Lipman, 2016, pág. 329). También,

esta tecnología se caracteriza por ser más silenciosa que los autobuses actuales que circulan dentro de la ciudad de Ibarra.

Esta información puede ser útil para los propietarios de las unidades de autobuses públicos de la ciudad de Ibarra, sirviendo de guía para la adquisición de autobuses híbridos y eléctricos. El estudio determina las características y especificaciones técnicas que deben cumplir los autobuses híbridos y eléctricos para lograr adquirir la mejor eficiencia de este tipo de tecnología. La importancia de este estudio es satisfacer las necesidades de los usuarios de autobuses urbanos de la ciudad y al mismo tiempo incentivar el uso de este tipo de transporte, ayudando así a la conservación del medio ambiente.

La implementación de este tipo de unidades va a generar nuevas fuentes de empleo para personal capacitado en el mantenimiento de autobuses híbridos y eléctricos, personal administrativo, personal técnico en electricidad y personal para las obras de infraestructura. Todo esto generará desarrollo para la ciudad, mejorando la economía de los habitantes de la ciudad de Ibarra.

1.8. TRANSPORTE TERRESTRE DE PASAJEROS

En la actualidad, los medios de transporte desempeñan una función importante en la sociedad, permitiendo movilizar personas con facilidad hacia otros barrios, parroquias, cantones, provincias y países. El transporte urbano es utilizado por estudios, trámites legales, viajes de negocios, trabajo y entre otras actividades. Para hacer uso de los medios de transporte se necesita realizar el pago de una tarifa que es variable, según la distancia de recorrido. “Con el pasar de los años, los medios de transporte han ido evolucionando, siendo el primer ómnibus de tracción animal y se movilizó en la ciudad de París en 1662” (Flores, 2014, pág. 17). Por lo tanto, los medios de transporte existieron desde hace mucho tiempo y mediante el mejoramiento del transporte, en la actualidad se puede contar con autobuses híbrido y eléctrico. En nuestro país, la clasificación del transporte está dada por el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), en donde están establecidas ciertas normas que deben cumplir las unidades de transporte y de esta manera brindar un servicio de calidad a la sociedad.

En la Tabla 1.1 se muestra la clasificación del transporte de pasajero. En donde, la categoría M está comprendida por los vehículos que se encuentran conformados por 4 ruedas o más.

Para la clasificación del transporte de pasajeros se toma en cuenta la normativa NTE INEN 2656 del año 2016, que manifiesta los siguiente:

Tabla 1.1 Clasificación de transporte de pasajeros, según la categoría M

Categoría	Descripción	Tipo
M1	Automotor máximo de 8 asientos, sin el asiento del conductor.	Sedan, coupé, convertible, hatchback, station wagon, minivan, limosina y vehículo deportivo utilitario.
M2	Automotor de 8 asientos en adelante, sin el asiento del conductor y peso bruto vehicular menos de 5 toneladas.	Furgoneta de pasajeros y microbús.
M3	Automotor de 8 asientos en adelante, sin el asiento del conductor y peso bruto vehicular mayor a 5 toneladas.	Minibús, bus, bus de 2 pisos, piso y medio, articulado, biarticulado y trolebús.
Clase I: Automotor de pasajeros con área para pasajeros de pie.		
Clase II: Automotor para transportar pasajeros sentados y también permite llevar personas de pie en el pasillo, o un espacio que no exceda a 2 asientos dobles.		
Clase III: Automotor diseñado para transportar solo personas sentadas.		

En la actualidad, el transporte urbano brinda servicio a la sociedad, mediante el pago de una tarifa, que permite trasladarse de un lugar a otro. Las personas que hacen uso de este tipo de servicio deben acoplarse a las frecuencias y rutas que ejecutan las cooperativas de transporte urbano, por lo tanto, representa tiempos más largos de traslado con relación a trasladarse en vehículo propio.

De acuerdo con la Tabla 1.2 se muestra que el transporte urbano puede ser brindado por autobuses o microbuses. Dando a conocer que la categoría M3 está conformada por automotores de ocho asientos en adelante, además del asiento del conductor y con PBV superior a 5 000 kg” (INEN, 2016, pág. 6). La normativa NTE INEN 2205 del 2010 clasifica de la siguiente manera al transporte urbano:

Tabla 1.2 Características del bus urbano y minibús urbano

Denominación	Capacidad de pasajeros
Bus urbano	Igual o mayor a 60
Minibús urbano	Menor a 60

En el Ecuador, el bus urbano debe contar con ciertas características que le permitan conservar la integridad física de las personas que hacen uso de este medio de transporte y de antemano la carrocería del autobús debe garantizar la comodidad de los ocupantes, permitiendo así brindar un servicio de calidad. Para la construcción de carrocerías se debe tomar en cuenta la normativa NTE INEN 2205 del 2010, en donde están establecidos los requisitos de construcción del bus de transporte urbano.

1.9. CARACTERÍSTICAS DE LAS RUTAS

Las rutas de transporte urbano se clasifican de acuerdo con las necesidades de la sociedad y para ello una caracterización preliminar de las rutas en una red de autobuses debería permitir identificar las rutas típicas, las condiciones de conducción y las emisiones de contaminantes (Michel André & André, 2004, pág. 85). Aquí, se establece ciertos factores como son: la ecología urbana (interacción entre las personas y el medio ambiente) y las condiciones de tráfico dentro del lugar de estudio.

- Ruta. - Es la trayectoria ejecutada por los medios de transporte de personas o carga, con el objetivo de trasladar personas o carga de un lugar a otro y entre ellos tenemos los autobuses, tráileres, camiones, camionetas, taxis, etc. Una ruta está centrada en satisfacer las necesidades de la sociedad, siempre y cuando esta cumpla con la rentabilidad que permita realizar los mantenimientos adecuados de las unidades para garantizar su movilidad. También debe existir un salario para el conductor y propietario de la unidad.
- Ruta exclusiva. - Son rutas de acceso limitado para los vehículos privados y son utilizadas por un solo tipo de transporte durante las 24 horas del día, permitiendo obtener tiempos más cortos de traslado. Un claro ejemplo en la ciudad de Quito es el metro, trole y eco vía. En nuestro lugar de estudio no contamos con este tipo de vías, pero es una buena alternativa para aplicarla en el futuro.
- Frecuencia. - Es la repetición del recorrido de un automotor por la misma ruta durante todo el día. “Un aumento en la frecuencia reducirá el tiempo de espera y el aglomeración en el autobús, pero aumentará el costo del suministro de vehículos extra: conductor, combustible, mantenimiento y gastos de capital” (Börjesson , Man Fung, & Proost, 2017, pág. 6).

Para finalizar, toda ruta está diseñada en relación con los centros de atracción como: instituciones educativas, instituciones públicas, lugares de trabajo, centros de salud pública, vivienda y parques recreacionales.

1.10. VEHÍCULOS HÍBRIDOS

En la actualidad, los científicos buscan tecnologías que permitan reducir las emisiones contaminantes producidas por el uso de combustibles fósiles. Para ello, se crearon los vehículos híbridos que permite reducir el uso de combustible fósiles.

Los accionamientos de los circuitos híbridos poseen ciertos componentes que se detallan a continuación: las baterías eléctricas permiten el funcionamiento del autobús sin la necesidad de utilizar el motor diésel, el freno regenerativo tiene la función de recargar las baterías y por otra parte el motor eléctrico está encargado de movilizar las ruedas y también tiene la función de trabajar como auto generador para recargar las baterías. Este tipo de tecnología se caracteriza por poseer un embrague que permite cambiar la fuente de alimentación sin experimentar movimientos bruscos, manteniendo la velocidad constante entre el motor eléctrico y el motor diésel. “Cabe mencionar que este tipo de tecnología reduce del (20 al 40) % las emisiones de CO₂” (Miles & Potter, 2014, pág. 358).

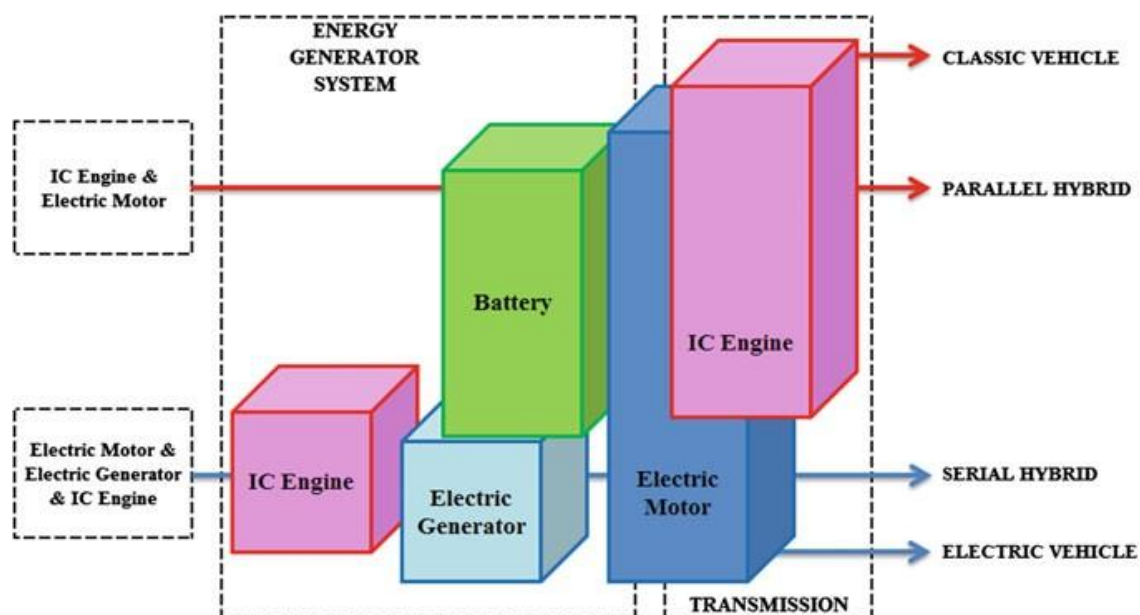


Figura 1.2 Estructura de transmisión híbrida
 Fuente: (Varga, Iclodean, & Mariasiu, 2016, pág. 13)

En la Figura 1.2 se presenta la estructura de la transmisión híbrida compuesta por un motor diésel, motor eléctrico, paquete de baterías y el generador eléctrico. Todo este conjunto de elementos permite generar el movimiento de los neumáticos y de esta manera trasladar carga o personas a diferentes lugares de la región.

Es necesario mencionar, la implementación de nuevas tecnologías en el mercado trae ciertos beneficios que favorecen a ciertas personas y del mismo modo generan inconvenientes. Por esta razón, de acuerdo a la Tabla 1.3 se presenta las ventajas y desventajas que causan la implementación de este tipo de tecnología en la ciudad.

Tabla 1.3 Ventajas y desventajas del autobús híbrido.

Ventajas	Desventajas
Reducción de las emisiones contaminantes.	Sistemas más complejos.
Autobuses más silenciosos que los convencionales.	Poca mano de obra calificada.
Autobuses con mejor autonomía que los eléctricos.	Baterías con precios muy elevados.
Reducción de costos en consumo de combustible.	Baterías muy dañinas con el medio ambiente después de su periodo de vida útil.

Fuente: (Harlow, 2005, pág. 244)

Mediante el análisis de este tipo de tecnología se logrará tomar medidas acerca de la adquisición de baterías, reciclaje de las baterías, capacitación de personal que brinde servicio de mantenimiento y así permitir que las unidades nunca dejen de prestar servicio a la sociedad.

1.10.1. HÍBRIDO PARALELO

Un circuito de propulsión en paralelo se caracteriza por trabajar conjuntamente el motor de combustión interna y el motor eléctrico mediante un embrague que existe entre los dos componentes, permitiendo tener un estilo de conducción suave y esto puede ser experimentado por los pasajeros. Este tipo de configuración, al momento de recargar las baterías, el motor eléctrico funciona como un generador o se puede recargar mediante el freno regenerativo y de esta manera se reduce el consumo de combustible de fuentes fósiles. Cabe mencionar que este tipo de tecnología dispone de mayor eficiencia de energía en velocidades altas y velocidades promedio (Lajunen, 2014, pág. 2). Estos criterios mencionados ayudan a seleccionar el mejor sistema híbrido que pueda prestar servicio de una forma eficiente a nuestro medio.

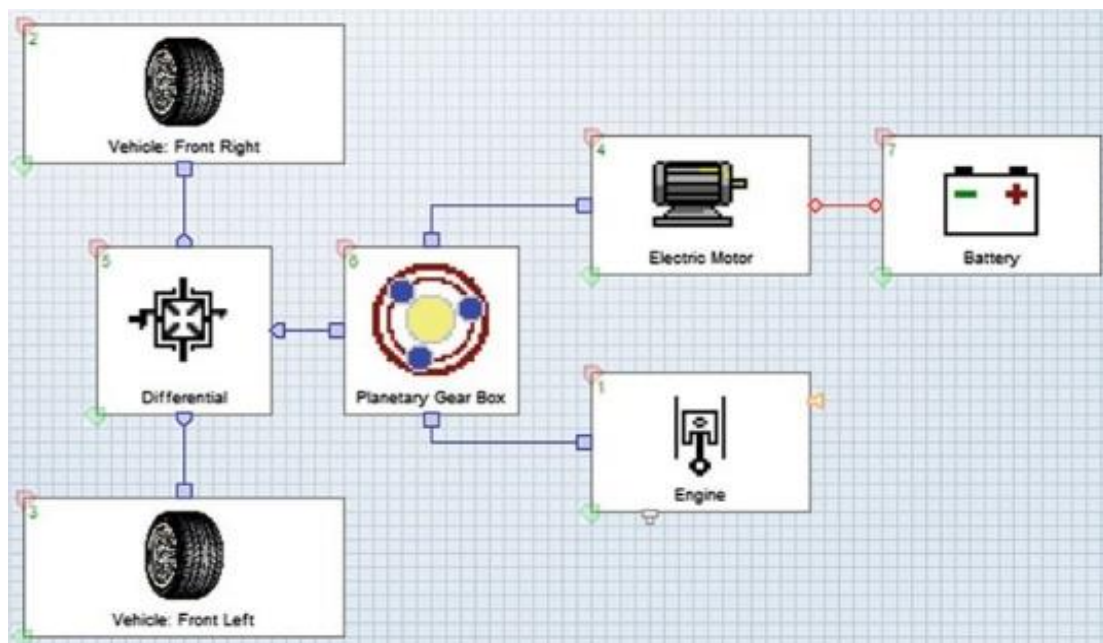


Figura 1.3 Circuito híbrido en paralelo
Fuente: (Varga, Iclodean, & Mariasiu, 2016, pág. 15)

En la Figura 1.3 se presenta el circuito híbrido en paralelo. Mostrando sus respectivos componentes que se detallarán a continuación: neumáticos, diferencial, caja de engranes planetarios, motor diésel, motor eléctrico y el paquete de baterías.

1.10.2. HÍBRIDOS EN SERIE

El movimiento generado por el motor diésel pasa hacia el generador para luego pasar al motor eléctrico, pero todos los procesos van a reducir la eficiencia del sistema. “El motor convencional debe compensar las pérdidas de energía, por lo que el sistema híbrido en serie cuenta con el (20 - 30) % menos de eficiencia que el sistema híbrido paralelo” (Varga, Iclodean, & Mariasiu, 2016, pág. 14). Del mismo modo, el encargado de transmitir el movimiento a las ruedas motrices es el motor eléctrico, al carecer de una conexión mecánica entre el motor convencional y el motor eléctrico. Existen dos modos de cargar las baterías: el primero se lo realiza mediante el motor de combustión interna y el segundo mediante el freno regenerativo que entra en funcionamiento siempre y cuando se frene suavemente, de lo contrario entra en funcionamiento el sistema de frenos ABS. “Un circuito en serie se caracteriza por tener una mejor eficiencia energética al momento de estar en velocidades bajas y medias” (Lajunen, 2014, pág. 2).

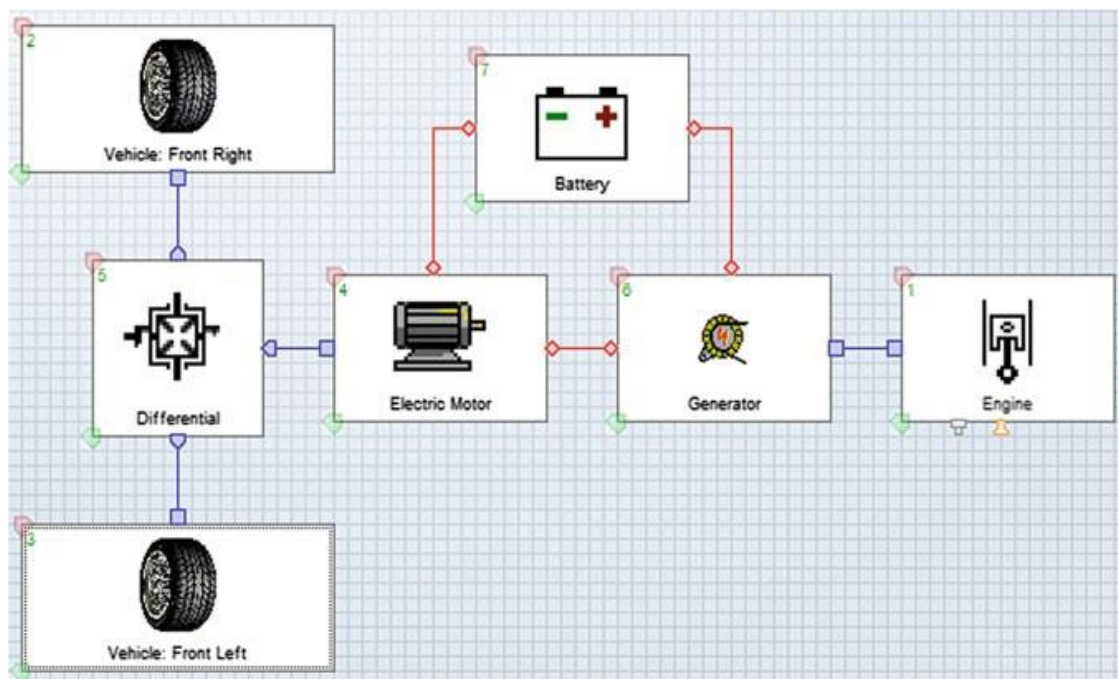


Figura 1.4 Circuito híbrido en serie
Fuente: (Varga, Iclodean, & Mariasiu, 2016, pág. 14)

En la Figura 1.4 se presenta los componentes del circuito en serie. Enumerando sus partes a continuación: neumáticos, diferencial, motor eléctrico, paquete de baterías, caja de cambios y el motor diésel. Todo este conjunto de elementos en funcionamiento permite la reducción de emisiones contaminantes.

1.10.3. HÍBRIDOS ENCHUFABLES

Este tipo de tecnología está relacionada con los híbridos convencionales, con la única diferencia que pueden ser recargados desde una red eléctrica, pero también pueden ser cargados mediante el motor convencional o mediante el uso del freno regenerativo. Otra característica representativa es que el tamaño de sus baterías es mayor al de un híbrido convencional y por esta razón tiene menor cantidad de emisiones contaminantes, pero se requiere mayor inversión para la creación de estaciones de carga. “Este tipo de tecnología es silenciosa y libre de emisiones en las paradas de autobús, ” (Charters, 2016, pág. 74). Estos beneficios son llamativos, pero para ello el paquete de baterías debe ser reciclado de manera correcta.

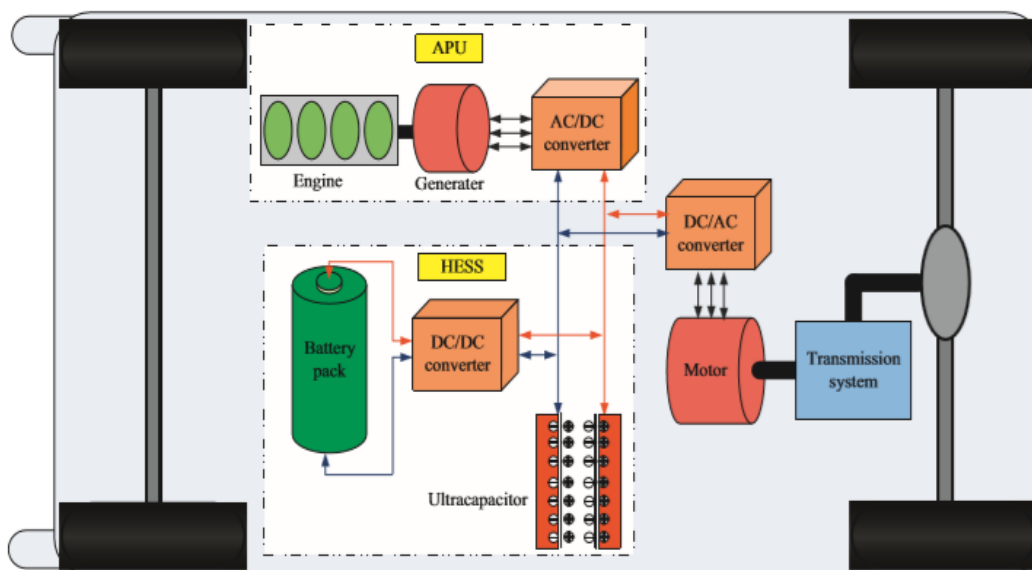


Figura 1.5 Configuración del híbrido enchufable

Fuente: (Zhang & Xiong, 2018, pág. 108)

En la Figura 1.5 se muestran los componentes que conforman el circuito del autobús híbrido enchufable. Siendo una mejor opción que los híbridos convencionales, pero cabe mencionar que para ello se necesita de infraestructura que permita recargar el paquete de baterías estas unidades.

1.11. VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Dicha tecnología se caracteriza por el uso de un motor eléctrico que es alimentado por la energía del paquete de baterías recargables, permitiendo ser un medio de transporte amigable con el medio ambiente y reduciendo así las emisiones contaminantes. “Los autobuses eléctricos pueden reducir hasta un 75 % las emisiones de dióxido de carbono” (Lajunen & Lipman, 2016, pág. 329). Los resultados mencionados pueden cumplirse si las obtenciones de la energía eléctrica son de fuentes renovables como: eólica, hidroeléctrica, solar y entre otras que se obtengan de fuentes naturales.

Las estaciones de carga dependen de la autonomía que dispongan las baterías eléctricas. Mediante estas consideraciones, los autobuses eléctricos pueden clasificarse en autobuses de carga de oportunidad que tienen puntos de carga estratégicos en la trayectoria de la ruta, los autobuses de carga nocturna, autobuses de carga al final de la estación y los autobuses combinados que pueden ser cargados en la noche y durante el día.

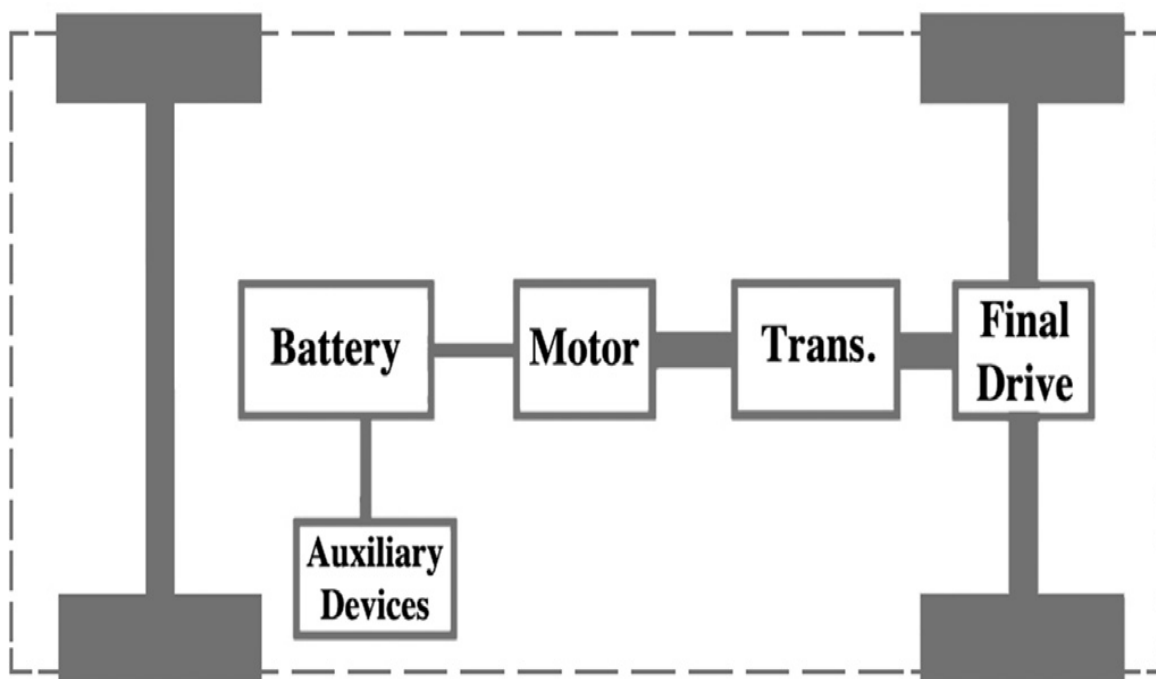


Figura 1.6 Circuito eléctrico

Fuente: (Mahmoud, Garnett, Ferguson, & Kanaroglou, 2016, pág. 676)

En la Figura 1.6 se presenta el tren de potencia que está conformado por los siguientes elementos: el motor eléctrico que le reemplaza al motor convencional, transmisión, generador para cargar las baterías y el paquete baterías que suministra la energía al motor eléctrico. Determinando que el autobús eléctrico es la mejor opción para la reducción de emisiones contaminantes, sin embargo, sus baterías deben ser tratadas de una forma adecuada al final de su vida útil en el sector del transporte. En lo que se refiere al reciclaje de las baterías existen varias opciones como: el uso en viviendas aisladas que carecen del servicio de la electricidad y en los centros comerciales para brindar electricidad a los vehículos que hacen uso del parqueadero.

Para un mejor entendimiento de los beneficios y contras que genera la implementación de este tipo de tecnología. Cabe mencionar que los científicos trabajan día a día en el mejoramiento de la autonomía, tratamiento de las baterías de segundo uso, tiempos de carga y puntos de carga. A continuación, en la Tabla 1.4 se presentan las ventajas y desventajas de los autobuses eléctricos.

Tabla 1.4 Ventajas y desventajas del autobús eléctrico.

Ventajas	Desventajas
Son medios de transporte más amigables con el medio ambiente.	Autonomía reducida.
Son más silenciosos en s funcionamiento.	Tiempos de carga muy alargados.
Periodos de mantenimiento más alargados.	Precios elevados de las baterías.
Reducción de vibraciones	Punto o estaciones para recargar las baterías.
Mejor eficiencia energética en el funcionamiento.	Poca mano de obra calificada.
Menor uso de repuestos y lubricantes.	Final de la vida útil de las baterías.

Fuente: (Harlow, 2005, pág. 9)

Por último, para mejorar la autonomía de los autobuses eléctricos, se ha creado los auto generados que permiten recargar las baterías al momento de frenar o disminuir la velocidad y de esta manera el autobús puede recorrer mayor distancia con energía limpia, sin sufrir percances durante la ejecución de su ruta.

1.12. MOTOR ELÉCTRICO

En los sistemas de propulsión eléctrica el motor eléctrico esta encargada de transformar la energía eléctrica en energía mecánica para luego ser transmitida a las ruedas motrices y de esta manera realizar el movimiento del autobús eléctrico. Los motores eléctricos cuentan con pares elevados a bajas velocidades, en cambio a altas velocidades su par es reducido.

Los motores eléctricos introducidos en el campo automotrices en la actualidad pueden ser de corriente alterna (AC) o corriente continua (DC).

1.12.1. MOTOR DE IMANES PERMANENTES (DC)

Este tipo de motor cuenta con un rotor con imanes permanentes y gracias a ello se elimina la necesidad de tener un bobinado y escobillas en el rotor. Mediante el campo magnético generado entre el bobinado del estator y el rotor se genera el par de rotación. Las ventajas de este tipo de motor son las siguientes: alta densidad de potencia, bajo costo de mantenimiento, disipación térmica adecuada, peso reducido y potencia constante. Del mismo modo, las desventajas están presentes y son las siguientes: costos de fabricación elevados, no permite altas velocidades y las altas velocidades reducen la eficiencia.

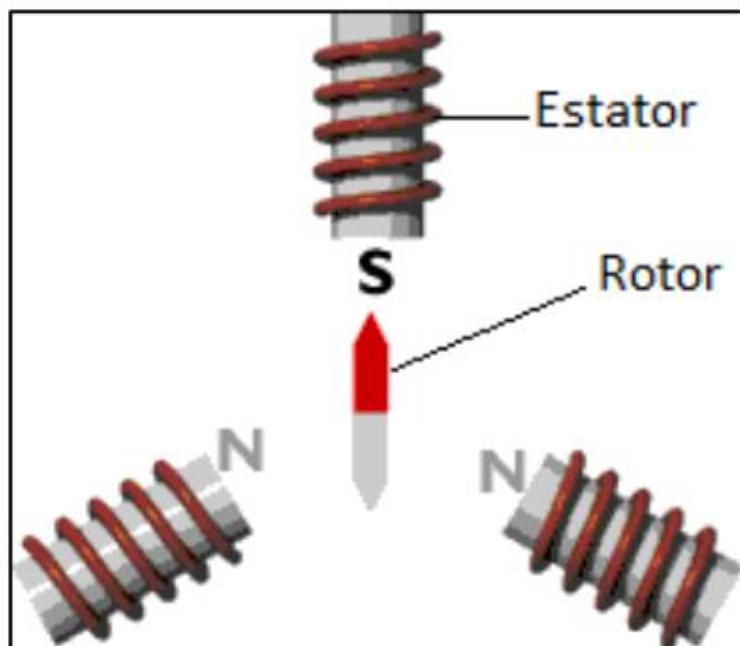


Figura 1.7 Estructura del motor de imanes permanentes

Fuente: (Chuquiana, 2014, pág. 33)

En la Figura 1.7 se presenta la estructura interna de los motores de imanes permanentes y está conformado por el rotor y estator. Siendo el estator como el elemento fijo y el rotor es el elemento que se encuentra en movimiento. Mediante estos elementos se genera el movimiento que va a movilizar los neumáticos.

1.12.2. MOTOR DE RELUCTANCIA CONMUTADA (DC)

El rotor del motor de reluctancia conmutada es ferromagnético (hierro), por ende, carece de un imán. Este motor cuenta con alta densidad de potencia, tolerancia a las fallas, diseño robusto y alcanza altas velocidades. Sin embargo, la onda de torsión genera vibraciones y por esta razón se produce ruido. “Su sistema está compuesto por motor de reluctancia conmutada, un inversor de potencia, sensores tales como sensores de voltaje, corriente y posición, y circuitos de control como el DSP controlador y sus periféricos” (Ehsani, Gao, Gay, & Emadi, 2005, pág. 204). A continuación, se presenta una gráfica con sus respectivas partes.

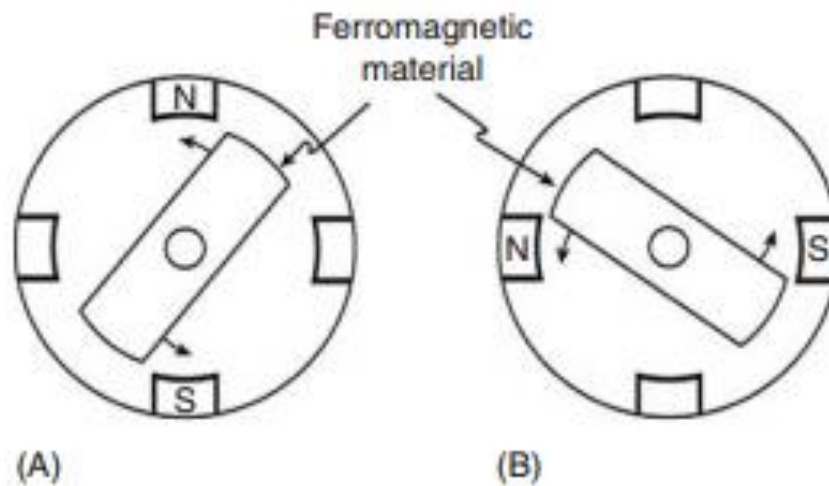


Figura 1.8 Motor de reluctancia conmutada

Fuente: (Fuhs, 2009, pág. 331)

En la Figura 1.8 se presenta el rotor y el estator del motor de reluctancia conmutada. En donde, el estator es de material ferromagnético y con ello se elimina la necesidad de utilizar imanes en este motor. Este tipo de tecnología se caracteriza por brindar un pequeño momento de inercia y se desempeña de una mejor manera a bajas revoluciones.

1.12.3. MOTOR DE INDUCCIÓN ASINCRÓNICA (AC)

El paso de corriente entre el devanado primario (entrada) y secundario (salida) se lo realiza mediante la inducción electromagnética. Aquí, el estator es considerado como el devanado primario y secundario es el rotor. Cabe mencionar que este tipo de motor carece de escobillas o conmutadores, por esta razón son de bajo mantenimiento y son los más utilizados en el mercado. El motor de inducción es similar a un transformador y son utilizados para velocidades constantes, pero para el uso en vehículos híbridos y eléctricos se necesita de velocidad variable y para ello se hace uso de un dispositivo que permita la variación de velocidad. En este caso, toca convertir la DC de las baterías en AC mediante un conversor de corriente o inversor. Para una mejor apreciación del motor eléctrico de inducción asincrónica se presenta una gráfica que permite identificar sus elementos principales que se encuentran en su interior.

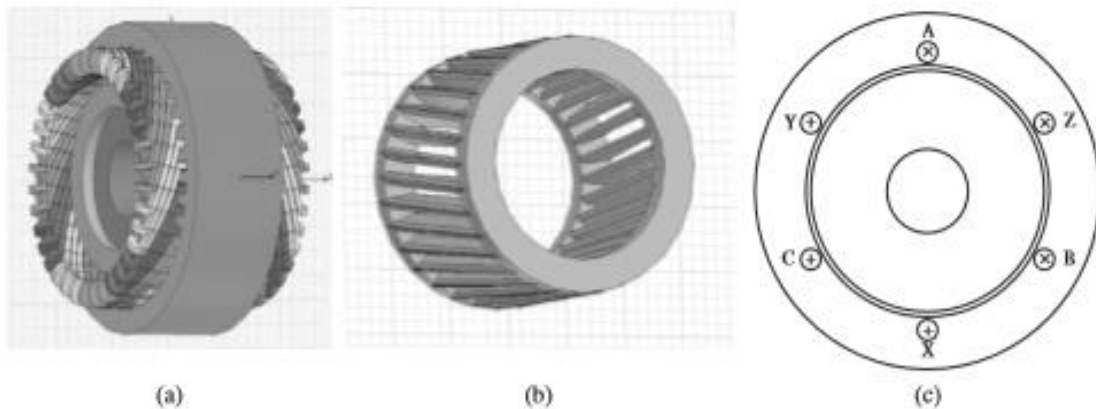


Figura 1.9 Motor de inducción: (a) rotor y estator, (b) rotor, y (c) estator
Fuente: (Mi, Masrur, & Wenzhong, 2011, pág. 247)

En la Figura 1.9 se presenta las partes que conforman el motor de inducción. Aquí se observa el rotor y estator, siendo los encargados de generar el movimiento para movilizar las ruedas motrices del autobús. Mediante la investigación de científicos se puede crear nuevas tecnologías que permitan la conservación del medio ambiente.

1.12.4. MOTOR SÍNCRONO (AC)

Cuenta con un imán en el rotor y sus bobinados son desfasados cada 120° . Estos motores pueden ser de flujo axial o radial, pero los más utilizados son los de flujo radial. En cambio, los motores de flujo axial pueden ser instalados en cada rueda y de esta manera se transmite de forma directa el movimiento del motor hacia los neumáticos del autobús híbrido eléctrico. Se puede manifestar que los motores asíncronos y síncronos son utilizados en los vehículos híbridos y eléctricos.

1.13. TRANSMISIONES AUTOMÁTICAS

Las transmisiones automáticas se caracterizan por tener varias relaciones de transmisión que se acoplan a la velocidad que va el vehículo. Permitiendo de esta manera obtener un mejor desempeño que las transmisiones convencionales, sin embargo, la mano obra para el mantenimiento de este tipo de cajas es escasa. En la actualidad, existen varios tipos de cajas automáticas como: la transmisión continuamente variable CVT, caja epicicloidial, cajas de doble embrague y caja de 2 velocidades.

1.13.1. TRANSMISIÓN CONTINUAMENTE VARIABLE (CVT)

La transmisión continuamente variable (CVT) se caracteriza por tener un sin número de relaciones de transmisión, además ya no existe la pérdida de torque al momento del cambio de velocidad. Dando como resultado un funcionamiento más eficiente, por las relaciones de transmisión que se encuentran variando continuamente dentro de un rango. “Este tipo de transmisión permite mantener el par máximo del motor y de esta manera se logra eliminar la pérdida de eficiencia y rendimiento” (González, Pérez, Robles, & Rodríguez, 2016, pág. 14).

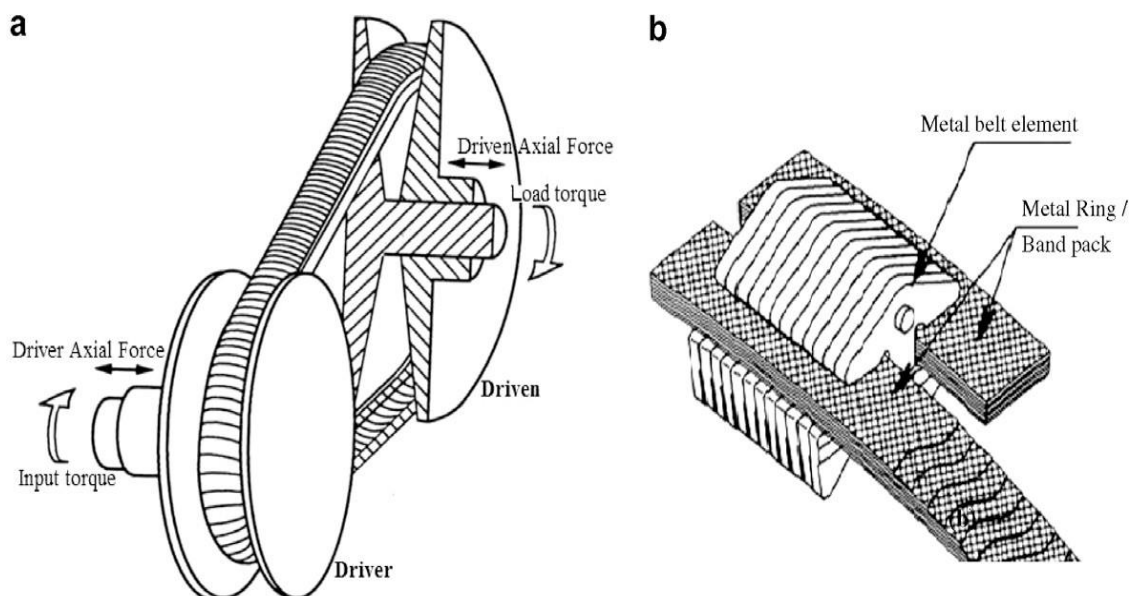


Figura 1.10 Transmisión CVT: (a) Configuración básica; (b) Estructura de la correa

Fuente: (Srivastava & Haque, 2009, pág. 20)

En la Figura 1.10 se puede observar que la polea con mayor diámetro es la polea conductora, en cambio la que cuenta con menor diámetro es una polea conducida, las cuales son accionadas mediante una correa metálica. Del mismo modo, este sistema proporciona la mejor relación de transmisión para cada velocidad que experimenta el automotor, lo cual ocasiona un menor consumo de combustible. La relación de transmisión adecuada se lo consigue por la variación de la anchura de la polea, lo cual se lo puede lograr por la presión del circuito hidráulico. Por esta razón se obtiene una relación perfecta entre el par y la velocidad del automotor. En cambio, para movilizar el automotor en la dirección de retro se necesita de un inversor y un conjunto planetario, con esto logramos obtener un autobús que se desempeñe de una forma eficiente en ambos sentidos.

1.13.2. CVT DE POLEAS VARIABLE

Este tipo de transmisión es la más utilizada por parte de los fabricantes de automóviles, ya que son de diseño sencillo, silenciosas y compactas. Esta transmisión está compuesta por dos poleas que varían su diámetro, al momento de acercar o alejar las caras de la polea y el movimiento entre poleas es transmitido mediante una banda en V.

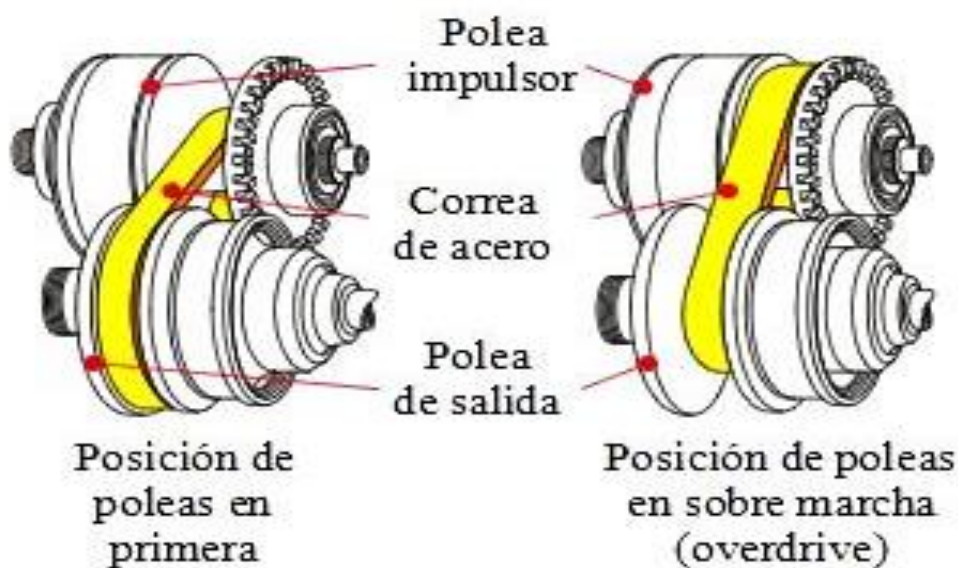


Figura 1.11 Transmisión CVT con poleas de diámetro variable

Fuente: (Widman, 2015, pág. 2)

Como se observa en la Figura 1.11, mientras la una polea aumenta el diámetro de la polea, en cambio el diámetro de la otra polea se va disminuyendo. Este proceso se lo puede lograr con la ayuda de la presión hidráulica que es generada por el convertidor que al mismo tiempo funciona como embrague entre la transmisión y el motor. Siendo un tipo de transmisión adecuada para vehículos de bajo tonelaje.

1.13.3. CVT TOROIDAL

Es el segundo tipo de transmisión más utilizado en el campo de la automoción. Se puede manifestar que es similar a la transmisión de poleas de diámetro variable, pero en este caso vamos a utilizar rodillos en vez de las correas y es controlado por el sistema hidráulico. En este caso, la transmisión toroidal cuenta con un torque alto e incluso se puede duplicar el

torque al utilizar dos unidades en línea con una carga máxima de 12 000 kg. “Tomar en cuenta, la lubricación de este sistema necesita de un lubricante especial que está compuesto de hidrógeno, base de benceno y carbón” (Rodríguez Martínez, 2014, pág. 15). De esta manera, los elementos internos de este tipo de caja automática se conservan y así se garantiza su durabilidad.

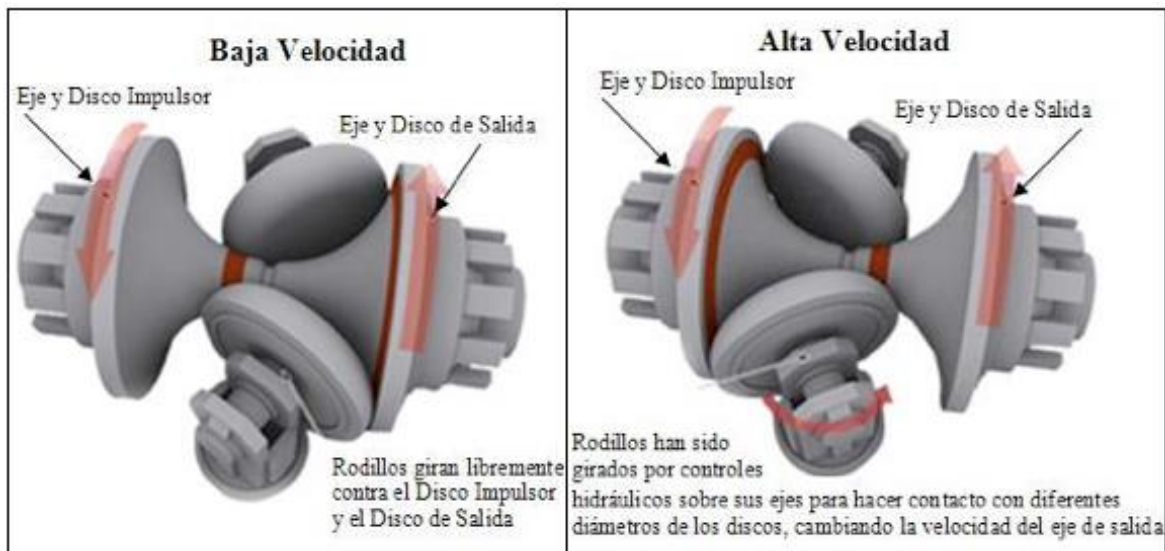


Figura 1.12 Configuración de la transmisión toroidal a bajas y altas velocidades

Fuente: (Widman, 2015, pág. 3)

Como se puede apreciar en la Figura 1.12, a bajas velocidades los rodillos se encuentran en contacto con el diámetro menor del disco impulsor y el diámetro mayor del disco de salida. En cambio, a altas velocidades el rodillo gira entre el diámetro mayor del disco impulsor y el diámetro menor del disco de salida. Cabe recalcar, si el disco impulsor gira a la derecha el disco de salida gira en sentido contrario. Mediante la explicación brindada se puede garantizar el funcionamiento adecuado de este tipo de transmisión, siendo idónea para aplicarlas en furgonetas.

1.13.4. TRANSMISIÓN EPICICLOIDAL

Esta transmisión se caracteriza por la selección adecuada de desmultiplicación y para el cambio de marcha se la realiza mediante la electrónica. Dentro de la electrónica tenemos los siguientes elementos que nos permiten el cambio de marcha: sensores de velocidad del vehículo, sensor de posición y velocidad con la que se pisa el pedal de aceleración. La

información recolectada por los sensores mencionados es enviada a la Unidad de Control Electrónico (UCE), en donde se procesa la información y es enviada hacia los actuadores.

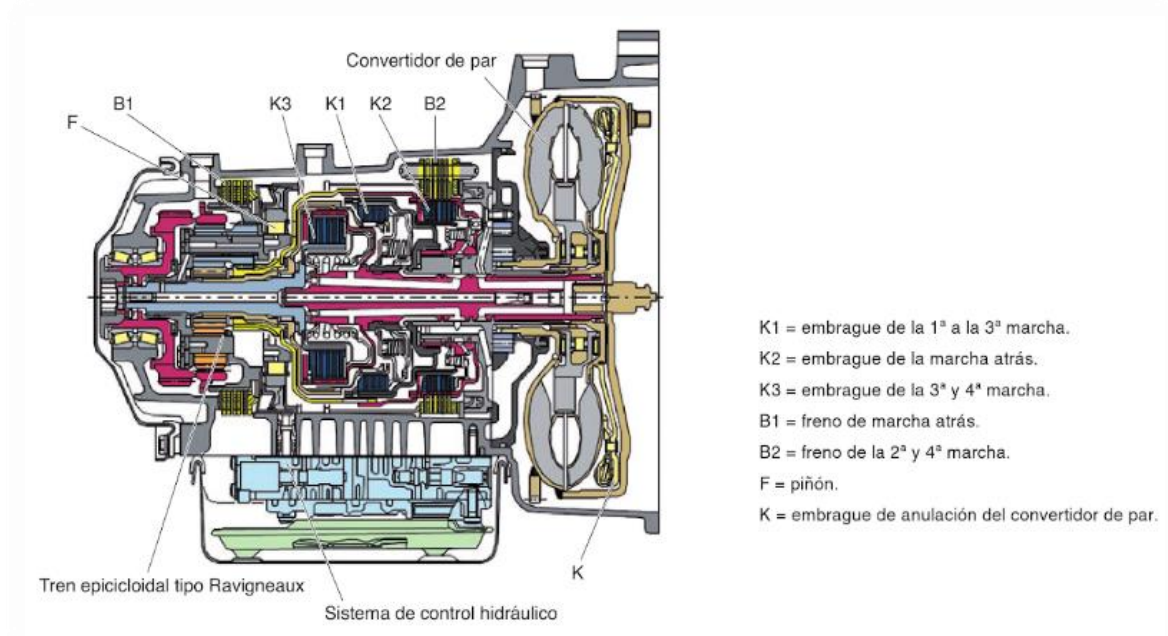


Figura 1.13 Partes de la caja automática de trenes epicicloidales

Fuente: (Ferrer & Checa, 2010, pág. 149)

En la Figura 1.13 se presenta las partes de la caja automática de trenes epicicloidales. Aquí, el tren epicicloidal es el encargado de generar un sin número de relaciones de transmisión, según la velocidad que experimenta el automotor. Dentro de este conjunto se encuentran los siguientes elementos: el piñón central, los satélites que están alrededor del piñón central, el porta satélites y la corona que está conectada con los satélites. El sistema de control hidráulico es un conjunto de canalizaciones y electroválvulas, que se encuentra ubicado en la parte inferior de la caja automática. Mediante la unión del control electrónico y el control hidráulico se logra obtener un funcionamiento eficiente de este tipo de transmisión.

1.13.5. CAJAS DE CAMBIOS DE DOBLE EMBRAGUE (DSG)

Este tipo de transmisión es conocida como Direkt Schalt Getriebe (DSG), formada por el conjunto de una caja automática secuencial y una caja manual, permitiendo que los cambios se realicen de una forma suave y esto lo pueden experimentar los pasajeros al momento de viajar. Del mismo modo, las marchas pueden ser cambiadas de una forma más rápida que las cajas convencionales y automáticas. Logrando obtener prestaciones apreciables y el ahorro de combustible.

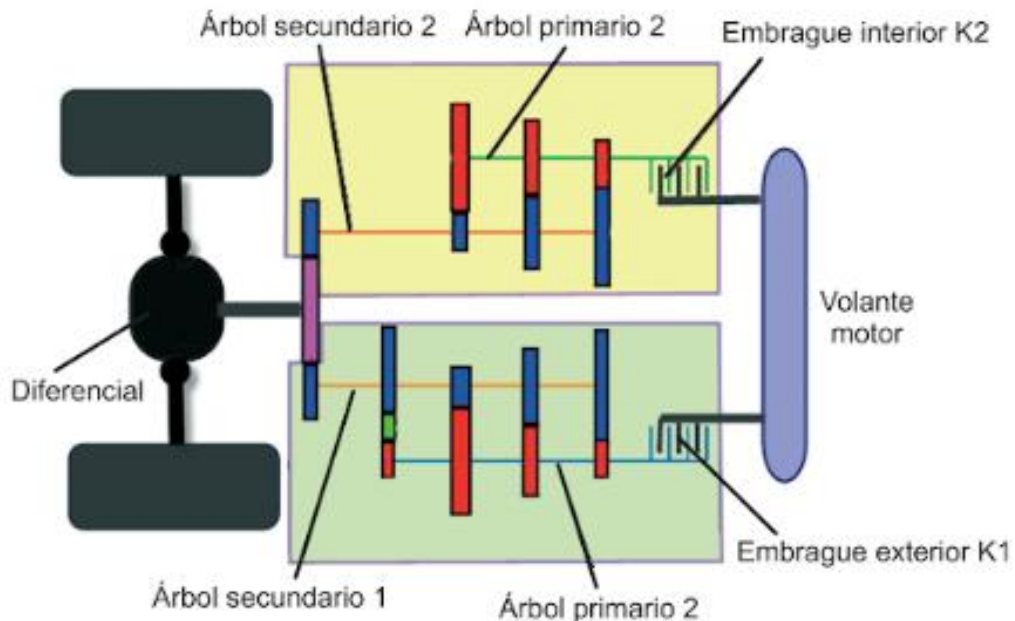


Figura 1.14 Partes de la caja automática de doble embrague

Fuente: (Águeda, Martín, & Gómez, 2011, pág. 158)

En la Figura 1.14 se presenta las partes de la caja automática de doble embrague. Se manifiesta que este tipo de transmisión se deja de utilizar el convertidor de par y en su lugar se utiliza dos embragues, en donde el embrague 1 se encarga de mover las marchas impares e incluso la marcha atrás y el embrague 2 está encargado de mover las marchas pares. Por esta razón, mientras una marcha se encuentra en funcionamiento, la siguiente se encuentra preparándose para entrar en funcionamiento, cabe mencionar que la siguiente marcha esta preseleccionada, pero no engranada. De esta manera, se elimina la perdida de potencia en este tipo de transmisión.

1.13.6. TRANSMISIÓN AUTOMÁTICA DE 2 VELOCIDADES

La transmisión de 2 velocidades cuenta con menor costo de producción, mayor eficiencia y buen rendimiento para tecnología eléctrica. En cambio, la transmisión CVT cuenta con una baja eficiencia y no son utilizadas en vehículos de alto tonelaje. Por esta razón, este tipo de tecnología se desempeña satisfactoriamente en el transporte urbano y además son utilizadas en ciertas unidades como el Volvo 7 900 eléctrico. A continuación, se muestra un diagrama con sus respectivas partes.

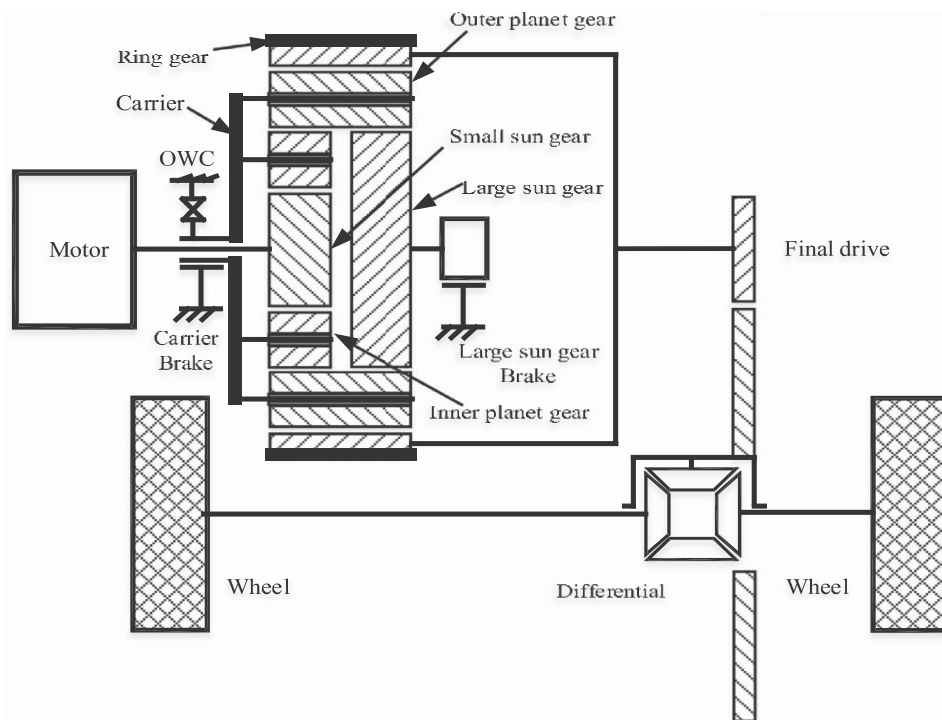


Figura 1.15 Diagrama del tren motriz con transmisión de 2 velocidades

Fuente: (Tian, Ruan, Zhang, Wu, & Walker , 2018, pág. 15)

En la Figura 1.15 se presenta las partes de la transmisión de 2 velocidades. Dicha transmisión está compuesta por un engranaje de anillo, en el interior se encuentran en contacto 2 engranajes planetario externo contra el engranaje de anillo, luego de ello se encuentran 2 engranajes planetarios internos y el gran engranaje solar con su respectivo freno y el elemento central es un pequeño engranaje solar. Cabe mencionar que los planetarios se encuentran conectados con el portador de planetarios que cuenta con un freno.

1.14. BATERÍA

En el campo de los autobuses híbridos y eléctricos, el tema de las baterías es esencial para la autonomía de los autobuses. También, existen otros factores que están asociados a las baterías como son: la vida útil, el precio y el tiempo de carga. De la misma manera, la batería es el elemento encargado de almacenar la energía eléctrica, que se obtiene de las reacciones químicas producidas dentro de ella. Es necesario mencionar que la autonomía representa la cantidad de kilómetros recorridos durante el ciclo de descarga de las baterías. “Desde los primeros automóviles eléctricos, en algo más de 100 años hemos visto una evolución notable de las baterías: desde las vetustas de plomo-ácido o níquel-hierro, hasta las actuales de iones de litio” (Ibáñez , 2017, pág. 58).

Las baterías utilizadas en el campo de la automoción se encuentran conformadas por los siguientes elementos: “electrodos (ánodo y cátodo), terminales, separadores, un recinto y el electrolito que es encargado de separar los dos electrodos” (Dhameja, 2001, pág. 4). Dichos elementos ayudan a generar la carga eléctrica necesaria para movilizar el autobús. Para formar un paquete de baterías se necesita de un conjunto de módulos que están formados por celdas agrupadas.

1.14.1. BATERÍA PLOMO-ÁCIDO

Las baterías de plomo ácido son las más comunes en el campo automotriz. Siendo utilizadas en los vehículos convencionales y eléctricos, brindando un voltaje de 6 a 12 voltios. Este tipo de tecnología sufre de ciertas falencias como: fuerte impacto ambiental, bajo período de vida útil, desprendimiento de gases hacia la atmósfera y baja energía específica. Por estas razones, los investigadores estudian otros tipos de tecnología que permita eliminar o disminuir estas falencias y de esta manera incentivar al uso de tecnologías híbridas y eléctricas.

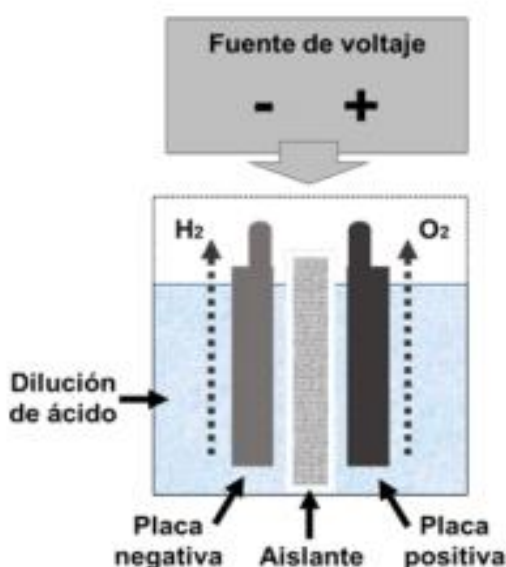


Figura 1.16 Partes de las baterías Pb-Ácido
Fuente: (Alba Padilla & Muñoz Guillen, 2017, pág. 24)

En la Figura 1.16 se muestran las partes de la batería de Plomo-Ácido. Compuesta por dos electrodos (ánodo y cátodo) sumergidos en una solución de agua destilada y ácido sulfúrico.

Según un estudio realizado por la Organización Mundial de la Salud en el 2017 se afirma: Que las baterías Pb-Ácido son perjudiciales para la salud humana, provocando problemas gastrointestinales, neurológicos, cardiovasculares, renales, endocrinos, hematológicos, al aparato reproductor y durante el embarazo Por esta razón se debe tener mucho cuidado con la manipulación de este tipo de baterías. Se recomienda utilizar la ropa adecuada de trabajo al momento de entrar en contacto con el electrolito, para ello se debe utilizar guantes, ropa de goma y botas.

1.14.2. BATERÍA DE NÍQUEL-HIDRURO METÁLICO (NIMH)

La batería de níquel-hidruro metálico (NiMH) tienen una alta densidad de energía en relación con las baterías de níquel-cadmio y son amigable con el medio ambiente. Su ánodo es fabricado de metal hidruro en donde se almacena el hidrógeno, en cambio su cátodo es de óxido de níquel. El concepto de baterías NiMH se basa en el hecho de que las partículas finas de ciertas aleaciones metálicas que entran en contacto con el hidrógeno a ciertas presiones y temperaturas absorben grandes cantidades del gas para formar los compuestos de hidruro metálico (Harlow, 2005, pág. 50).

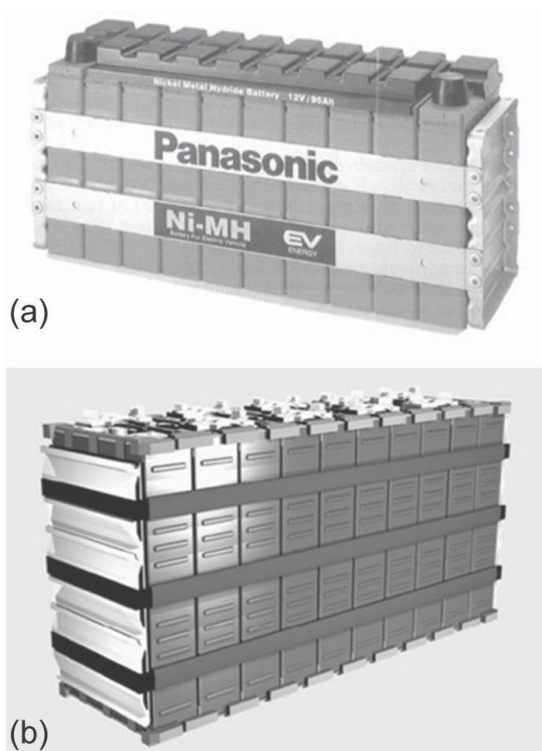


Figura 1.17 Módulo de la batería NiMH, (a) Caja plástica y (b) Caja metálica
Fuente: (Fetcenko, Koch, & Zelinsky, 2015, pág. 120)

Según la Figura 1.17 se presenta el paquete de baterías de Níquel Hidruro Metálico. Dicha tecnología se caracteriza por tener un bajo efecto memoria, componentes reciclables, vida útil mejor que las baterías de plomo-ácido y por último son baterías tolerantes al abuso. Así como existen ventajas a continuación detallaremos sus respectivas desventajas: el precio, alta tasa de auto descarga, a altas temperaturas existe baja aceptación de carga y baja eficiencia.

1.14.3. BATERÍA DE ION-LITIO

Las baterías de Ion-Litio son compactas con un alto grado de almacenamiento de energía eléctrica, obteniendo vehículos eléctricos prácticos. “Además, son eficientes, con alta potencia específica, alta densidad de energía, baja auto descarga, larga vida útil y pueden trabajar en un rango de (30 a 50) °C de temperatura sin afectar su vida útil” (Liu, 2013, pág. 22). Cabe mencionar que sus materiales de fabricación son reciclables siendo una buena opción para el uso en la automoción y así se ayuda a conservar el medio ambiente. “La mayoría de las baterías de iones de litio utilizan electrodos positivos de óxido de cobalto, con precio alto, en cambio el electrodo positivo alternativo se basa en el óxido de níquel LiNiO_2 , que es más barato y complejo” (Dhameja, 2001, pág. 12).

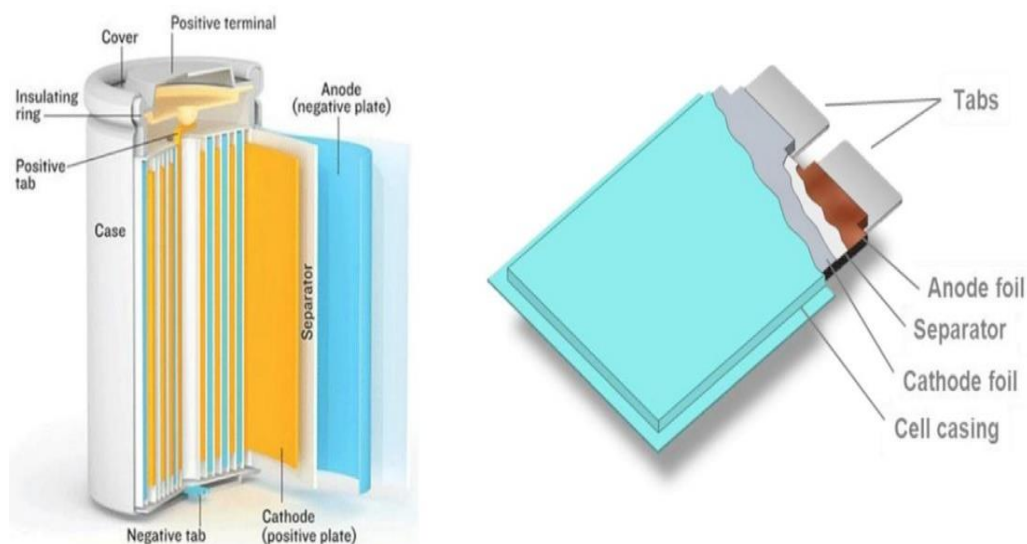


Figura 1.18 Configuración de las celdas de Ion-Litio
Fuente: (Zubi, Dufo-López, Carvalho, & Pasaoglu, 2018, pág. 295)

En la Figura 1.18 se presenta las celdas de iones de litio y sus respectivas partes. Este tipo de baterías tienen altos costos de producción y reaccionan de forma violenta al momento de entrar en contacto con el agua, por esta razón tener cuidado con la presencia de fugas o ruptura del elemento almacenador de energía eléctrica. Para la seguridad de las baterías es necesario contar con dispositivos de protección para: la sobrecarga, sobre descarga, sobre temperatura y sobre presión.

1.14.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS ENTRE LAS BATERÍAS DE IONES DE LITIO Y NÍQUEL HIDRURO METÁLICO

La selección se la realiza entre las baterías de iones de litio y níquel hidruro metálico, siendo las que se desempeñan de mejor manera en el área. Por lo tanto, para la selección del paquete de baterías para autobuses híbridos y eléctricos se tomará ciertos parámetros como: durabilidad, costos, efecto memoria, tipo de componentes, capacidad de reciclaje y entre otros. A continuación, en la Tabla 1.5 se presentan las ventajas y desventajas de las baterías de Níquel Hidruro Metálico y Iones de Litio y de esta manera se pretende realizar una selección de baterías que permita elegir la mejor opción para las unidades de transporte urbano.

Tabla 1.5 Ventajas y desventajas de las baterías para autobuses híbridos y eléctricos

Ventajas	
Iones de Litio	Níquel Hidruro Metálico
Alta densidad de energía	Bajos costos de producción
Bajo peso	Tolerantes al abuso
Carecen de efecto memoria	Bajo efecto memoria
Baja tasa de auto descarga	Baja tasa de auto descarga
Larga vida útil	Componentes reciclables
Componentes reciclables	
Desventajas	
Iones de Litio	Níquel Hidruro Metálico
Altos costos de producción	Bajo almacenamiento de energía
Baja capacidad de trabajo en frío	Baja vida útil
Sensibles a la humedad	Baja densidad de energía
Son inestables	

En el pasado, las baterías de iones de litio no eran utilizadas en los vehículos híbridos y esto se producía por sus altos costos de producción, pero en la actualidad estos costos se han reducido. Esto es una consecuencia de que este tipo de tecnología ya está madurando, por lo tanto, se concluye que la mejor opción de almacenamiento de energía para autobuses híbridos y eléctricos son las baterías de iones de litio.

1.14.5. ULTRA CAPACITOR

Es un acumulador de energía que cuenta con una alta densidad de potencia, pero una baja densidad de energía en comparación a las baterías de Ion-Litio. “Su temperatura de trabajo está comprendida entre los (-40 y 60) °C y tiene la capacidad de cargarse rápidamente” (Zhang L. , 2018, pág. 40). Por otra parte, esta tecnología puede llegar hasta 1 000 000 de ciclos con una profundidad de descarga del 75 %, lo cual es relativamente alto en comparación a las baterías de Ion-Litio que tiene hasta 2 000 ciclos (Miller, 2011, pág. 94). En el futuro, este tipo de tecnología va a permitir obtener autobuses eficientes y así ir disminuyendo el consumo de combustibles de origen fósil.

1.14.6. COMPARACIÓN DE LAS BATERÍAS DE ION DE LITIO Y ULTRA CAPACITORES

La tecnología en los últimos años está creciendo a pasos agigantados y esto se lo realiza con el objetivo de conservar el medio ambiente para el presente y las generaciones futuras. Para seleccionar la fuente de almacenamiento de energía, es necesario tomar en cuenta ciertos factores como: costos de fabricación, vida útil, efecto memoria, reciclaje de los elementos de fabricación de la fuente de almacenamiento y entre otros factores que son determinantes.

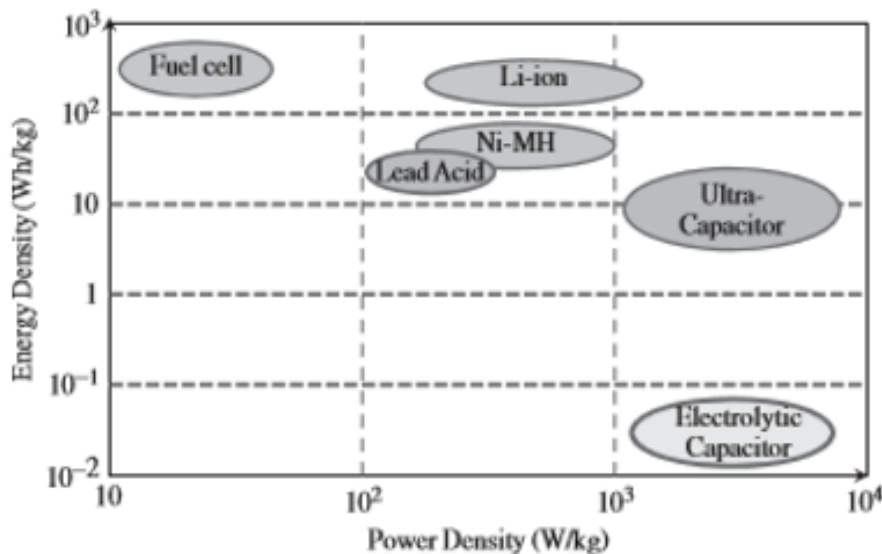


Figura 1.19 Comparación de la densidad de potencia y la densidad de energía
Fuente: (Mi, Abul Masrur, & Wenzhong Gao, 2011, pág. 325)

En la Figura 1.19 se demuestra que las baterías de iones de litio tienen una mejor densidad de potencia e incluso una mejor densidad de energía con relación a las baterías de plomo-ácido y la de níquel-hidruro metálico. Sin embargo, se puede apreciar que los ultra capacitores cuenta con densidad de potencia mayor que cualquier otro tipo de batería, pero carece de densidad de energía. Entonces, la densidad de energía representa la cantidad de energía que se puede almacenar en un sistema y por ello la mejor opción son las baterías de iones de litio.

Todo tipo de tecnología mediante su respectiva maduración va disminuyendo el costo de adquisición y de esta manera puede ser utilizada por toda la sociedad, mejorando su calidad de vida.

1.15. PUNTOS DE CARGA PARA VEHÍCULOS HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS

El sistema de carga para autobuses eléctricos es indispensables para la carga de sus baterías. “Un coche eléctrico llevará mucho más tiempo que el relleno de combustibles fósiles convencionales, para ello tenemos que equilibrar la velocidad y el alcance para elegir las paradas para cargar sabiamente” (Strehler , Merting , & Schwan, 2017, pág. 1). Por esta razón se realizan investigaciones acerca de los puntos de recarga de baterías. Siendo la infraestructura de las electrolineras el eje principal para recargar todo tipo de vehículo y así satisfacer la demanda de este tipo de tecnología. Para ello se requiere construir infraestructura en lugares estratégicos y así evitar que las unidades queden sin energía en la ruta o viaje.

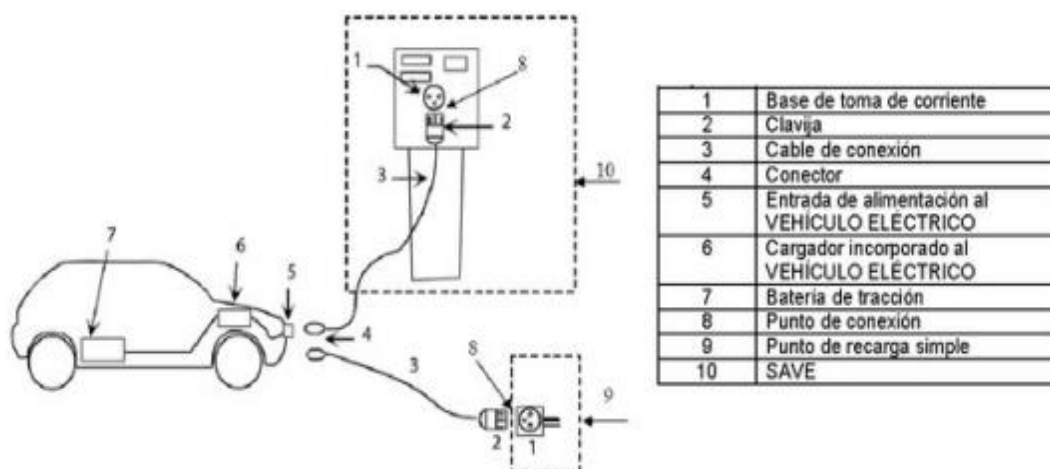


Figura 1.20 Infraestructura de carga eléctrica para vehículos eléctricos

Fuente: (Vélez Sánchez, 2017, pág. 54)

En la Figura 1.20 se presenta los elementos que se necesita para instalar la infraestructura de carga eléctrica para vehículos eléctricos. La estación de carga puede suministrar corriente alterna para vehículos que llevan un convertor en su interior, en cambio la carga de corriente continua viene con un convertor en el interior de la infraestructura de la estación de carga. Mediante estos sistemas de abastecimiento de energía se pretende utilizar vehículos que funciones con el consumo de energía limpia.

1.15.1. TIPOS DE CONECTORES

Los autobuses eléctricos necesitan de un elemento que permita la recarga de sus baterías y para ello se hará uso de los conectores que vienen como parte del vehículo y en ocasiones se encuentran en las estaciones de carga. Ellos están encargados de transmitir la energía eléctrica de una fuente de almacenamiento hacia las baterías. Cabe mencionar, los conectores tienen ciertas características para cada modo de carga y del mismo modo varían su tamaño. A continuación, se detalla los tipos de conectores más comunes.

- Conector doméstico schuko. - Este tipo de conector es utilizado en conexiones monofásicas, el cual es utilizado para realizar cargas lentas. Este tipo de conector consta de 2 pines (línea y neutro) y dos contactos que van a tierra. Se caracteriza por soportar corrientes de 16 A y tensiones menores a 250 V. Estos conectores sirven

para la carga de motocicletas y bicicletas eléctricas. Es decir, sirven para cargar transporte liviano.

- Conector SAE J1772 o tipo 1. - Este tipo de conector cuenta con 5 bornes (línea, neutro, tierra y complementarios), el diámetro del conector es de 43 mm y es el más utilizado por los vehículos eléctricos en Norteamérica. Cabe mencionar, este conector cuenta con dos tipos de carga: uno de carga lenta máxima de 16 A y otro de carga rápida máxima de 80 A.
- Conector Mennekes o tipo 2. - Este conector es considerado estandar para Europa, cuenta con un diámetro de 55 mm y se lo usa mediante conexiones monofásicas y trifásicas. Esta constituido por 7 bornes (4 para corriente trifasica, tierra y 2 de comunicación). Cuenta dos tipos de carga: carga lenta máxima de 16 A en conexión monofásica y carga rápida máxima de 63 A en conexión trifásica.
- Conector único combinado o CCS. - Este tipo de conector cuenta con 5 pines (2 de potencia, tierra y 2 de comunicación) y está siendo considerado con conector estándar entre Norteamérica y Europa. Cuenta con la función de realizar cargas lentas y cargas rápidas en corriente continua.
- Conector Scame o tipo 3. - Este tipo de conector es conocido como EV Plug-in Alliance, el número de bornes pueden ser de 5 o 7 y su instalación puede ser a red monofásica o trifásica. Estan diseñados para realizar cargas semi-rápidas máximas de 32 A.
- Conector CHadEMO. - Este tipo de conector es de fabricación japonesa y cuenta con 10 bornes (2 de potencia, sin asignación y 7 de señal). Son utilizados para cargas rápidas en donde se utiliza corriente continua y pueden soportar hasta 200 A. Su contextura en general se caracteriza por ser robusta.



Figura 1.21 Conector CHaDeMO (Tipo 4)

Fuente: (Cuervo, 2017, pág. 34)

En la Figura 1.21 se muestra el conector CHaDeMO que suministra una potencia de 62.5 kW, voltaje de 500 V e intensidad de corriente de 125 A. Este tipo de conectores son utilizados en los autobuses de carga al final de la estación. El objetivo es que las unidades de transporte urbano se puedan cargar al 100 % en sus hogares y con ello se pretende que las unidades puedan trasladarse de la parada final hacia sus hogares.

- Pantógrafo invertido. - Este tipo de conector es utilizado para realizar cargas ultrarrápidas en autobuses eléctricos y con ello se logra reducir el tamaño del paquete de baterías. Para su respectiva carga, el autobús eléctrico llegará a la última parada, en donde un pantógrafo invertido se conectará en la parte superior del autobús y allí se suministrará de energía a las baterías. “Con una carga se logrará recorrer una distancia comprendida de (32,18 a 48,27) km” (Mahmoud, Garnett, Ferguson, & Kanaroglou, 2016, pág. 675).

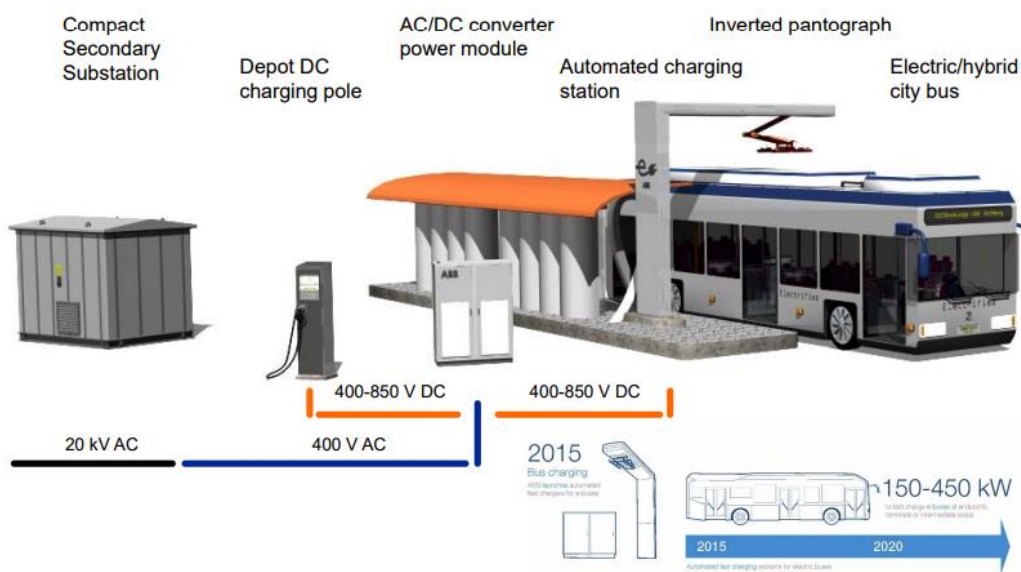


Figura 1.22 Infraestructura de carga mediante pantógrafo invertido

Fuente: (ABB, 2016, pág. 40)

En la Figura 1.22 se presenta la infraestructura para cargar autobuses eléctricos mediante el uso del pantógrafo invertido, permitiendo suministrar una potencia de (150 a 450) kW y voltaje de (400 a 850) V.

Para finalizar, el conector que mejor se acopla para este tipo de investigación es el conector ChHadeMO para cargar las unidades durante la noche y el pantógrafo invertido que es el encargado de realizar cargas ultra rápidas.

1.15.2. TIPOS DE RECARGA

El tipo de carga se clasifica según el tipo de conector que se utilice, así se consigue carga lenta, semi-rápida y rápida. Cabe mencionar que hay personas que dividen la carga lenta en super-lenta y lenta, en cambio a la carga rápida la dividen en rápida y super rápida. A continuación, se explicará cada uno de los tipos de carga utilizado en el medio.

- Lenta. - Para este tipo de carga se utiliza el conector Schuko, tomando un tiempo de carga que va de 5 a 8 horas. Cuenta con una intensidad de corriente máxima de 16 A y potencia de 3,6 kW. Su carga se la puede realizar en cualquier tomacorriente doméstico que tenga instalación monofásica de 230 V, pero tomar en cuenta que el cable debe estar seguro con toma a tierra. En este tipo de carga existe una variante

que cuenta con una conexión trifásica de 400 V, con intensidad de corriente de 16 A, potencia de 11 kW y logrando cargar una batería en un tiempo de 2 a 3 horas.

- Semi-rápida. - Este tipo de carga cuenta con conexión monofásica de 230 V, con tiempo de carga de 1,5 a 3 horas y potencia comprendida entre (8 a 14) kW. Su intensidad de corriente de 32 A y se necesita de corriente alterna. Por otra parte, contamos con las conexiones trifásicas de 400 V, con intensidad de corriente de 63 A y potencia comprendida de (22 a 43) kW. Este tipo de carga tarda 30 min y se la puede encontrar en centros comerciales, vías públicas, parqueaderos, etc.
- Rápida. - Este tipo de carga se las realiza fuera de las viviendas, es decir en electrolineras. Sus conexiones eléctricas son complejas por el uso de corriente continua. Para este tipo de carga se necesita intensidad de corriente de 400 A, que cuenta con tensión de 600 V y potencia de 240 kW. Además, el tiempo de carga puede llevar de 5 a 30 minutos para que la batería se cargue hasta el 80 %. Para ello se hace uso del conector CHadEMO.
- Ultra rápida. - Este tipo de tecnología se caracteriza por tener un paquete de baterías más pequeñas, que los autobuses que se cargan en toda la noche, también conocida como carga de oportunidad. “Cabe mencionar que la carga de oportunidad dispone de una potencia de 400 kW, voltaje de 775 V y una intensidad de corriente de 516 A” (Lajunen, 2018, pág. 12). Con estas características, la carga del (10 al 95) % se la alcanza en 10 min de carga.

La mejor opción de carga para el transporte urbano en la ciudad de Ibarra es la carga ultra rápida, permitiendo reducir notablemente el tamaño de las baterías.

1.15.3. MODOS DE CARGA

Según el sistema de carga se puede determinar el tiempo de carga, tipo de corriente, tipo de conector, intensidad de corriente y la tensión que se requiere para poder realizar su respectiva carga de las baterías. A continuación, se detallan los 4 diferentes modos de carga y sus respectivas características, en donde visualiza el voltaje de alimentación, potencia que suministra, intensidad de corriente y tiempo de carga.

- Modo 1. - El modo de carga 1 se caracteriza por tener una tensión no mayor a 250 V en conexión monofásica (230 V en España), potencia de 3.7 kW, intensidad de

corriente alterna de 16 A, hace uso de un conector de tipo Schuko y su tiempo de carga varía entre 6 a 8 horas. Existe una variante de conexión trifásica con tensión no mayor a 400 V, potencia de 11 kW y el conector viene con especificaciones del fabricante. Cabe mencionar que este modo de carga es recomendable para bicicletas, motocicletas y cuatriciclos. Este modo de carga se los encuentra en el garaje de las viviendas.

- Modo 2. - El modo de carga 2 se caracteriza por tener una conexión monofásica con tensión no mayor a los 250 V, potencia de 3.7 kW, intensidad de corriente continua habitual de 16 A, tipo de conector Schuko y tiempo de carga de 6 a 8 horas. Cabe mencionar que en este modo el cable de alimentación cuenta con un sistema de protección y control de comunicación entre el vehículo y la red. Cuenta con una variante de conexión trifásica, la cual cuenta con una tensión de 400 V y potencia de 22 kW. En esta variante, el conector de la pared es de tipo Schuko y en el coche contamos con un conector Mennekes (o tipo 2) o SAE J1772, y su intensidad de corriente teórica es de 32 A.
- Modo 3. - El modo de carga 3 se caracteriza por tener una conexión monofásica con tensión no mayor a 250 V, potencia de 7.4 kW, intensidad de corriente alterna de 32 A, cuenta con un hilo de comunicación entre la red y el coche, está ubicado en los terminales, estacionamientos y edificios, y SAE J1772 y un tiempo de carga de 3 a 4 horas. Cabe mencionar que se hace uso de conectores que vienen instalados en la propia infraestructura y entre ellos tenemos el Mennekes, combinado, Scame y SAE J1772 Por otra parte, este sistema cuenta con funciones de control y protección dentro de ella mismo. Existe una variante con intensidad de corriente alterna de 63 A y ya se están trabajando en sistemas con intensidad de corriente de 250 A para zonas industriales.
- Modo 4. - El modo 4 tiene tensión de 400 V, potencia de 125 kW, se distingue por brindar intensidad de corriente continua de 125 A, este modo se utiliza para las llamadas “electrolineras” y los conectores se encuentran instalados en la propia infraestructura. Al brindar corriente continua se necesita conversor que este instalado en la infraestructura que permita realizar el cambio de corriente alterna a corriente continua y así se elimina la pérdida de energía. Por otra parte, los cargadores más comunes para este modo de carga son: SAE J1772 con bornes adicionales para

corriente continua, CHadEMO,y CCS. Existe una variante con intensidad de corriente de 400 A y potencia de 240 kW.

El modo 4 es el adecuado para cargar las unidades de transporte urbano durante la noche, es decir, después de su jornada laboral. Permitiendo de esta manera que el autobús pueda cargarse en el tiempo menos posible.

1.16. FUENTES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ECUADOR

La energía eléctrica es producida de diferentes formas y entre ellas tenemos la energía producida por fuentes renovables y no renovables. Por ello, en este trabajo para la implementación de este tipo de tecnología se debe hacer un estudio acerca de la fuente de producción de energía dentro del Ecuador, porque no se obtiene ningún beneficio al obtener energía eléctrica mediante la combustión de combustibles fósiles.

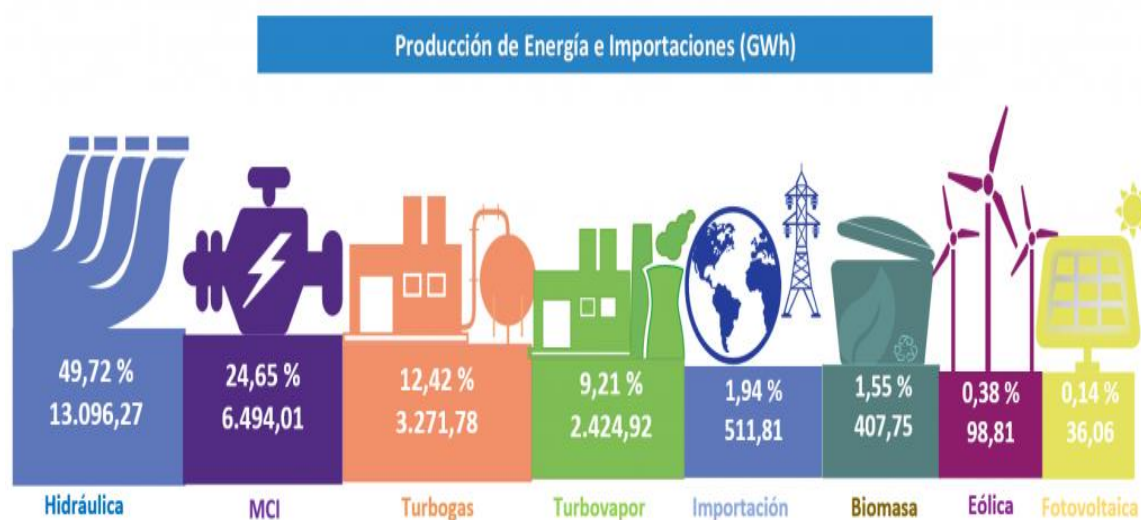


Figura 1.23 Producción de energía e importaciones en Ecuador

Fuente: (ARCONEL, 2016)

En la Figura 1.23 se muestra la matriz energética del Ecuador, en donde se puede apreciar las fuentes de producción de energía entre las que tenemos: 49,72 % de energía producida hidráulicamente, 12,42 % mediante turbo gas, 9,21 % generada por turbo vapor, 1,55 % producida por la biomasa, 0,14 % por el método fotovoltaico, 0,38 % de fuentes eólicas y 24,65 % recolectada de motores de combustión interna (MCI) con sus respectivos porcentajes.

1.16.1. FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En el país se pretende cambiar la matriz productiva de energía y de esta manera ayudar a conservar el medio ambiente. Por esta razón, se ha construido obras representativas para obtener energía de fuentes naturales y de esta manera reducir el uso de combustibles provenientes del petróleo. “En la actualidad, el 51,78 % es producción de energía renovable, esto da un resultado de 13 638,89 gigavatios hora (GWh) para Ecuador, pero se pretende alcanzar el 93 % de energía limpia y renovable” (ARCONEL, 2016).

Dentro de las fuentes renovables de energía se encuentra la biomasa, eólica, geotérmica, hidráulica y solar. Caracterizándose por ser reutilizadas sin perjudicar el equilibrio del ecosistema. De esta manera, se conserva el medio ambiente para las generaciones futuras.

La biomasa es una fuente de energía renovable que se centra en el uso de residuos orgánicos, que mediante procesos aplicados a la materia orgánica. La energía eólica se basa en el uso de turbinas eólicas instaladas en el océano y tierra aprovechando la velocidad del aire. la energía geotérmica se basa en el uso de la energía térmica proveniente del fondo de la tierra, para lograr esto se extrae el calor de estas fuentes. La energía hidráulica se basa en el uso del caudal de los ríos, para ello se debe realizar embalses de agua. Por último, la energía solar se basa en transformar los rayos del sol en energía eléctrica.

1.16.2. FUENTES NO RENOVABLES DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La energía eléctrica obtenida de fuentes no renovable se caracteriza por ser provenientes del uso de combustibles de origen fósil. En nuestro país, se obtiene energía eléctrica de las siguientes fuentes: motores de combustión interna, turbo gas y turbo vapor. Formando parte del 48.22 % de la producción de energía eléctrica en Ecuador. El uso de los combustibles de origen fósil ayuda al deterioro del medio ambiente. Por esta razón, se pretende disminuir el uso de este tipo de combustibles de origen fósil y así reducir las emisiones contaminantes. Logrando brindar una mejor calidad de aire y por esta razón se pretende reducir el uso de combustibles de origen fósil.

1.17. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

Es un sistema que permite establecer la ubicación de cualquier objeto o persona siempre y cuando cuente con un receptor de GPS. Este sistema, puesto en funcionamiento desde 1973, se desarrolló a partir de los satélites de la constelación NAVSTAR (NAVigation Satellite Timing And Ranging), fue desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD), y se lanzó el primer satélite el 22 de febrero de 1978 (Peñañiel & Zayas, 2001, pág. 25). Desde entonces, con la ayuda de un receptor GPS hemos logrado ubicar objetos en tiempo real, en cualquier lugar del mundo ya sea en el día o en la noche y sin contar con un número límite de usuarios. “En la actualidad, el uso civil de GPS ha sobrepasado largamente el uso militar, convirtiéndose de hecho en un servicio público de carácter mundial de enorme importancia y con innumerables aplicaciones” (Huerta, Mangiaterra, & Noguera, 2005, pág. 3). De esta manera, la tecnología avanza a pasos agigantados y todos podemos hacer uso de ella para realizar estudios, localizaciones de objetos y entre otras cosas.



Figura 1.24 Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Fuente: (Ramírez, 2018, pág. 56)

En la Figura 1.24 se presenta los dispositivos de posicionamiento global (GPS). En la actualidad, los dispositivos GPS son utilizados en varias ciencias, permitiendo posicionar cualquier punto en el espacio ya sea aéreo, marítimo o terrestre. Permitiendo obtener la

posición exacta del objeto, persona o vehículo, sin embargo, existen diferencias que depende del tamaño del dispositivo. El tamaño influye en las características y funciones que dispone el dispositivo.

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. METODOLOGÍA

La metodología establecida permite determinar las variantes que influyen para determinar las especificaciones técnicas del tren motriz y para ello se hace el uso de modelos matemáticos. Para determinar las especificaciones técnicas del tren motriz adecuado se ha realizado un diagrama de flujo que facilite cumplir el objetivo establecido.

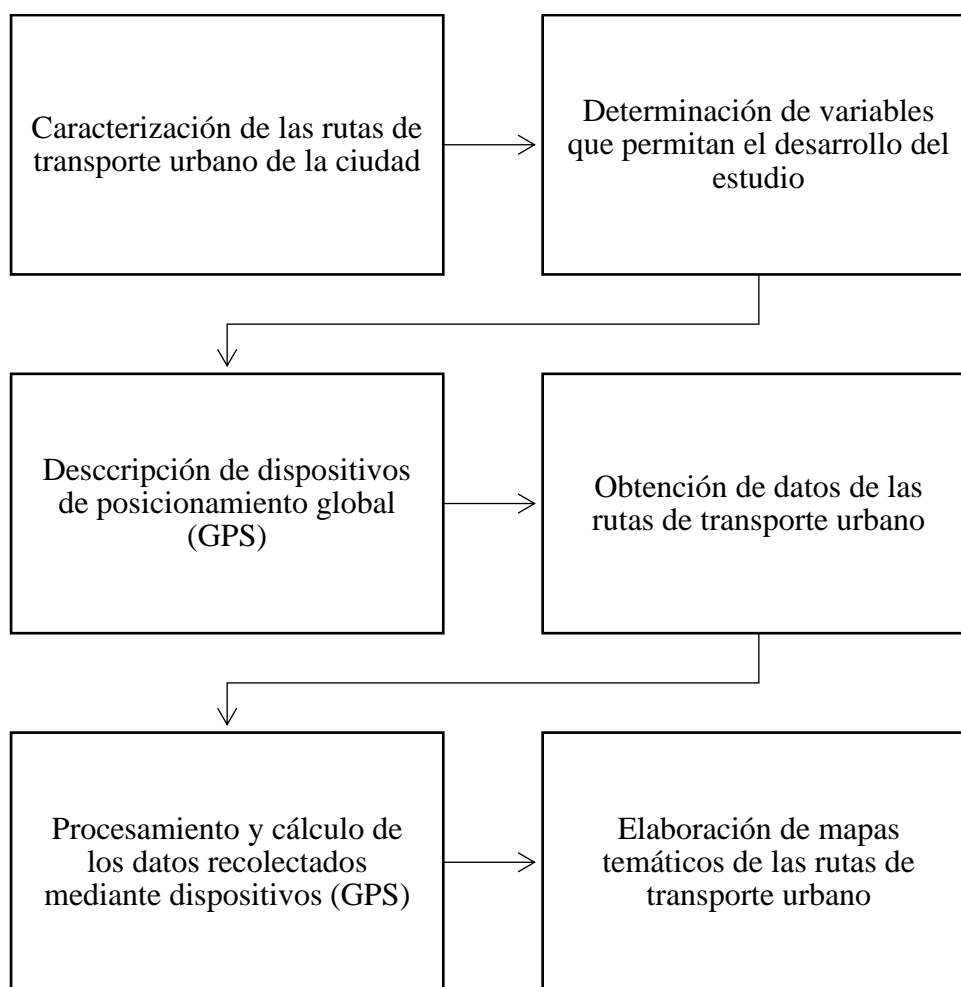


Figura 2.1 Metodología para determinar las características cinemáticas de las rutas

En la Figura 2.1 se indica los 6 pasos que se necesita para llevar a cabo este estudio y mediante la ejecución ordenada de estos pasos obtener resultados eficientes que permitan determinar las especificaciones técnicas adecuadas de este tipo de autobuses y de esta

manera ayudar a futuras investigaciones relacionadas al tema, permitiendo agilizar el proceso de determinación de variables.

2.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS RUTAS DE TRANSPORTE URBANO DE LA CIUDAD

Para realizar la caracterización del transporte urbano de la ciudad de Ibarra se procede a buscar información en el plan de movilidad, donde se manifiesta que Ibarra cuenta con dos Cooperativas: la Cooperativa 28 de Septiembre con 160 unidades y la Cooperativa San Miguel de Ibarra con 127 unidades que prestan el servicio de transporte dentro de la ciudad durante todo el año de domingo a domingo. Permitiendo de esta manera trasladar a las personas a diferentes centros de atracción de viaje como: trabajos, universidades, colegios, escuelas, centros turísticos, municipio, centros comerciales, mercados y entre otros lugares. Para llevar a cabo este objetivo se necesita que las unidades de transporte circulen por una ruta que pase por los centros de atracción dentro de la ciudad y así se logra obtener una buena rentabilidad económica para los propietarios de las unidades, pero satisfaciendo las necesidades de los usuarios.

2.2.1. DESCRIPCIÓN DE LAS RUTAS

El transporte urbano brinda servicio en 24 rutas repartidas en toda la ciudad. En donde, la distribución se la realiza de la siguiente manera: 9 rutas son cubiertas por la Cooperativa San Miguel de Ibarra, 14 rutas por la Cooperativa 28 de Septiembre y 1 ruta es cumplida por ambas Cooperativas. De esta manera, la ciudadanía cuenta con la facilidad de transportarse de un lugar a otro. Cabe mencionar que la ruta 9, Santo Domingo – Universidades por La Florida y la ruta 19, San Francisco dejaron de estar en funcionamiento, debido a la falta de demanda y esto representa pérdida para los propietarios. Por último, la ruta 10, Santa Isabel – Huertos Familiares se caracteriza por ser ejecutada por ambas Cooperativas, aquí la salida de las unidades es alternada. La salida alternada de unidades es una buena opción para terminar con la competencia de las unidades en las vías por coger pasajeros y de esta manera conservar la integridad de los pasajeros.

A continuación, en la Tabla 2.1 se presenta las rutas de transporte urbano de Ibarra.

Tabla 2.1 Distribución de las rutas de transporte urbano entre Cooperativas

Número	Ruta	Cooperativa
1	La Esperanza – Hospital del Seguro	San Miguel de Ibarra
2	Chugchupungo – La Florida	San Miguel de Ibarra
3	Odilas – 19 de Enero	San Miguel de Ibarra
4	Colinas del Sur – Aduana	San Miguel de Ibarra
5	Ejido de Caranqui – Miravalle	San Miguel de Ibarra
6	Caranqui – Universidades	San Miguel de Ibarra
7	Santa Lucía – La Victoria	San Miguel de Ibarra
8	Santo Domingo – Universidades	San Miguel de Ibarra
9	Santo Domingo – Universidades por la Florida	San Miguel de Ibarra
10	Santa Isabel – Huertos Familiares	San Miguel de Ibarra y 28 de Septiembre
11	Tanguarín – Aduana	28 de Septiembre
12	Chorlavi – La Victoria	28 de Septiembre
13	Milagro – Yahuarcocha	28 de Septiembre
14	Pugacho – Santa Teresita	28 de Septiembre
15	Palmas – Ceibos	28 de Septiembre
16	San Miguel Arcángel – San Cristóbal de Caranqui	28 de Septiembre
17	Católica – Alpachaca	28 de Septiembre
18	Azaya – La Campiña	28 de Septiembre
19	San Francisco	28 de Septiembre
20	Caranqui – Aduana	28 de Septiembre
21	Santa Rosa – Ceibos	28 de Septiembre
22	El Carmen – Bellavista	28 de Septiembre
23	Naranjito	28 de Septiembre
24	Aloburo	28 de Septiembre

Para finalizar, existen rutas con baja tasa ocupacional y esto no permite mejorar las unidades de transporte urbano de la ciudad. Los microbuses es una opción para ciertas rutas, siendo unidades diseñadas para menor capacidad de personas, por lo tanto, esto representa menor costo de adquisición de las unidades, menor costo de mantenimiento y del mismo modo esta encargada de satisfacer las necesidades de la sociedad. Cabe me mencionar que las unidades diseñadas para transportar menos de 60 personas son consideradas como microbuses. Además, al implementar microbuses en la ciudad, se puede realizar la adquisición de

unidades más modernas y de esta manera mejorar el servicio, pero dichas unidades pueden ser implementadas en ciertas rutas que no requieran transportar gran cantidad de personas.

2.3. DETERMINACIÓN DE VARIABLES PARA EL ESTUDIO

Para la ejecución de cualquier tipo de estudio, lo principal es establecer las variables que vamos a necesitar para lograr ejecutar con éxito la investigación. Para ello, se debe realizar una revisión bibliografía adecuada y de esta manera se logrará determinar los dispositivos, herramientas, fórmulas o materiales que se van a necesitar durante la ejecución de la investigación y así no recolectar datos que no tienen ningún beneficio para el estudio. A continuación, se detallará las variables que se necesitarán para nuestra investigación, permitiendo de esta manera obtener resultados confiables que ayuden al desarrollo de la ciudad

2.3.1. VARIABLES CINEMÁTICAS

La cinemática estudia el movimiento que provoca cualquier tipo de objeto que este propenso a cambiar de posición sin tomar en cuenta las fuerzas que lo originan. “La cinemática estudia únicamente la geometría del movimiento” (Velásquez, Quintero, & Fernández, 2010). Mediante cálculos matemáticos se pretende adquirir resultados que permitan establecer las características técnicas para el autobús híbrido y eléctrico, y así brindar un servicio de calidad a la ciudadanía. Esta es una de las varias aplicaciones que se puede dar a la cinemática, en este caso es aplicada al transporte.

Las variables de la cinemática son las siguientes: tiempo, distancia, velocidad máxima, longitud y altitud. En donde, las unidades del tiempo vienen dadas en segundos (s) y permite determinar el tiempo de la trayectoria, la distancia se mide en metros (m) y permite determinar la distancia entre 2 puntos, la velocidad se mide en metros sobre segundos (m/s) y la altitud que se la expresa en metros (m), la longitud es medida en metros (m) y mediante ella se puede determinar las pendientes que existen durante la trayectoria de la ruta. Se sugiere trabajar con las unidades establecidas por el sistema internacional de unidades y el de las fórmulas establecidas para este estudio, ya que así se logra obtener éxito en los resultados finales., logrando brindar un aporte para la sociedad.

2.4. DESCRIPCIÓN DE DISPOSITIVOS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

Los dispositivos de posicionamiento global (GPS) permiten obtener datos de: altitud, distancia, velocidad, trayectoria y tiempo de recorrido. Estos dispositivos son indispensables para la caracterización cinemática de la ruta, permitiendo obtener datos para determinar, la velocidad máxima, velocidad promedio, tiempo de recorrido y las pendientes que experimenta el autobús. Para obtener todo lo mencionado anteriormente, se necesita colocar el dispositivo dentro de las unidades de transporte urbano o del tipo de vehículo que se requiere estudiar.

2.4.1. SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO ELECTRÓNICO

El dispositivo de posicionamiento global (GPS) seleccionado debe cumplir con ciertos parámetros que ayuden a cumplir nuestro objetivo de recolección de datos. A continuación, en la Tabla 2.2 se presentan las características y unidades de medición que se requieren recolectar.

Tabla 2.2 Características y unidades de medición para el dispositivo GPS

Características del dispositivo	Unidades de medición
Dispositivo inalámbrico	Tiempo
Puntos de trazado de la ruta	Distancia
Duración de 14 horas mínimo de funcionamiento	Velocidad
Capacidad mínima de almacenamiento de 50 400 datos.	Altitud
Frecuencia mínima de muestreo de 1 Hz	longitud

El dispositivo GPS GL-770 cuenta con las siguientes características: funcionamiento durante 35 horas sin ningún inconveniente y gracias a esto se evita que se conecte el dispositivo al autobús, registra hasta 250 000 puntos de referencia, cuenta con Bluetooth inteligente (BT4.0), su frecuencia es de 5Hz adecuada para altas velocidades, su batería es recargable, IPX3 resistente al agua y registra velocidad, distancia y tiempo de las trayectorias. Sin embargo, su desventaja es que es sensible a la alta temperatura y esto puede ocasionar el sobrecalentamiento del dispositivo. El dispositivo no recolecta datos de forma eficiente en edificaciones altas, túneles, garajes, malas condiciones climáticas y cuando la batería

contiene baja carga. El dispositivo GPS GL-770 permite realizar la adquisición de datos de las rutas ejecutadas por cualquier objeto que se encuentre en movimiento, pero en esta ocasión será utilizado en el transporte terrestre y así obtener la trayectoria de las rutas.

El primer paso hacia la investigación se encuentra orientada a la recolección de datos de las rutas de las cooperativas de transporte urbano de la ciudad de Ibarra y entre ellas tenemos la Cooperativa 28 de Septiembre y la Cooperativa San Miguel de Ibarra. Estas Cooperativas prestan servicio de transporte en 24 rutas. Para descargar los datos de los dispositivos se utiliza el programa TSI LowView y se puede descargar los datos en formato GPX, NMEA, KML y CSV.

El dispositivo no debe permanecer en lugares con temperaturas elevadas, porque la batería puede sobrecalentarse y ocasionar daños a las personas que se encuentre cerca del dispositivo GPS. De esta manera, nosotros podemos garantizar el funcionamiento adecuado de nuestro dispositivo y así adquirir información útil para la investigación. Se recomienda leer el manual de usuario antes de hacer uso del dispositivo, esto permite realizar recolección de datos útiles.



Figura 2.2 Dispositivo GPS GL-770

Fuente: (GPS GL-770, 2015, pág. 1)

En la Figura 2.2 se presenta el dispositivo GPS GL-770 caracterizado por ser de fácil uso, dispositivo inalámbrico, larga duración de recolección de datos de la batería, económico y por su alta capacidad de almacenamiento de datos. Siendo el GPS idóneo para realizar esta

investigación y para ello se procedió a realizar la adquisición de los dispositivos que van a permitir iniciar la recolección de datos en la ciudad de Ibarra

Esta clase de dispositivos no se comercializaban en el mercado local y es por esta razón que procedió a realizar los procesos necesarios para iniciar con la importación de los dispositivos.

2.5. RECOLECCIÓN DE DATOS DE LAS RUTAS

Para proceder a la recolección de datos se debe establecer una fecha de inicio y en este caso se da inicio la segunda semana de noviembre y se finalizó la primera semana de diciembre. Se asignó este intervalo de tiempo, porque los autobuses se encuentran operando en las condiciones más exigentes y esto influye en la variación de velocidad y tiempos de traslado.

En la recolección de datos se logra determinar que existen 24 rutas y solo 20 rutas son ejecutadas de una forma regular, en cambio 2 rutas son ejecutadas irregularmente y 2 dejaron de estar en funcionamiento. Por esta razón, la Cooperativa 28 de Septiembre ya no cumple con la ruta San Francisco y la Cooperativa San Miguel de Ibarra ya no cumple la ruta Santo Domingo (Por la Florida) – Universidades. Dando como resultado que existen solo 22 rutas en la ciudad de Ibarra, cumplidas por las Cooperativas mencionadas.

El estudio se realiza en 20 rutas que son ejecutadas de una forma regular, pero cabe mencionar que todas las rutas no cumplen su trayectoria y esto se debe a que en ocasiones se encuentran realizando trabajos viales, y esto genera el cambio de trayectoria.

2.5.1. PRUEBAS PILOTO

Las pruebas piloto permiten tener un perfecto dominio de los dispositivos GPS y de esta manera no tener inconvenientes al momento de utilizarlos. Dichas pruebas fueron realizadas en el mes de agosto, recolectando datos de una sola vuelta. Para estas pruebas no existía un documento que respalde nuestros estudios dentro de los autobuses urbanos, por esta razón los dispositivos GPS fueron trasladados dentro de las unidades por nuestra persona. Así, se logra obtener buenos resultados al momento de realizar la recolección de datos. Una mala recolección de datos puede llevar al retraso de la investigación.

2.5.2. LEVANTAMIENTO DE DATOS DE LAS RUTAS

La recolección de datos se las realizó en las 22 rutas, para ello se procedió a enviar un oficio dirigido Cooperativa 28 de Septiembre y a la Cooperativa San Miguel de Ibarra, en donde se solicita la autorización de colocar los dispositivos GPS en sus respectivas unidades de transporte público. Luego de ello se procede a colocar el dispositivo GPS GL-770 en la parada principal de donde se origina el recorrido de la ruta. Las mediciones se empezaron a realizar de lunes a viernes desde el inicio al final de su jornada laboral, colocando 5 dispositivos GPS por ruta y recolectando datos de 2 rutas por día.

A continuación, se detalla los pasos a seguir para la puesta en marcha del dispositivo GPS para la recolección de datos:

- Cargar el dispositivo GPS GL-770 al 100 % mediante el cable USB, con ello se evita la interferencia de la recolección de datos.
- Configurar los dispositivos para recolectar datos cada segundo, durante su jornada laboral.
- Encender los dispositivos y para ello se presiona durante 3 segundos el botón de encendido. Luego esperar un intervalo de (40 a 90) segundos hasta generar la conexión entre el GPS y el satélite.
- Colocar el dispositivo desde el inicio de su jornada laboral, pero se recomienda colocarlos en el parabrisas delantero para evitar la interferencia de señal entre el GPS y el satélite. Cada dispositivo va colocado cada 1, 2 o 3 unidades, según el número de unidades que cumplen dicha ruta. Para ello se ha colocado 5 dispositivos GPS por ruta.
- Retirar y apagar los dispositivos al final de su jornada laboral.

La recolección de datos fue realizada durante 11 días laborables. Pero, durante la recolección de datos se presentaron inconvenientes de que los conductores no permitían colocar los dispositivos dentro de las unidades. Sin embargo, la mayoría de los conductores colaboraron sin ningún inconveniente y esto ayuda a facilitar la investigación, logrando recolectar datos confiables.

2.5.3. DESCARGA DE DATOS RECOLECTADOS

La descarga de los datos se la realiza en el programa TSI LowView y para ello se hace uso de un cable USB que permite la conexión entre el GPS y el computador. Luego se procede a descargar la información en formato MNEA, siendo este formato el que permite llevar la información a otros formatos y para luego procesar la información en Excel u otros programas. Por esta razón, se recomienda descargar en el formato idóneo para facilitar el procesamiento de información.

Para almacenar la información de las rutas en forma ordenada se procede a crear una carpeta para la Cooperativa 28 de Septiembre y otra para la Cooperativa San Miguel de Ibarra. Luego se procede a colocar la información de los 5 GPS en una carpeta con su respectivo nombre y número de la ruta, para luego ubicarlas en la carpeta de la Cooperativa que cumple dicha ruta. Una vez descargada la información se procede a eliminar la información del dispositivo para luego cargar los dispositivos al 100 % para el siguiente día. Al final del día, los datos recolectados son los siguientes: tiempo, latitud, altitud, longitud, velocidad y distancia. Mediante estos datos se puede determinar las pendientes, tiempos de recorrido, velocidad experimentada, frecuencia y distancias recorridas por las rutas.

2.5.4. GRÁFICA DE LA RUTA

El dispositivo GPS GL-770 tiene la función de graficar la ruta por donde circula el autobús durante su jornada laboral. Así, el dispositivo indica la frecuencia de la ruta, es decir, la cantidad de vueltas que da en la misma ruta. Pero, para la ejecución de los mapas temáticos se requiere de una herramienta que permita añadir paradas, datos técnicos y orientación. Los mapas temáticos son útiles para toda área de estudio, en donde se requiere añadir información específica y útil para la sociedad. Este estudio se lleva a cabo para determinar los cambios que se han producido con el pasar de los años y así determinar las especificaciones técnicas de las rutas.

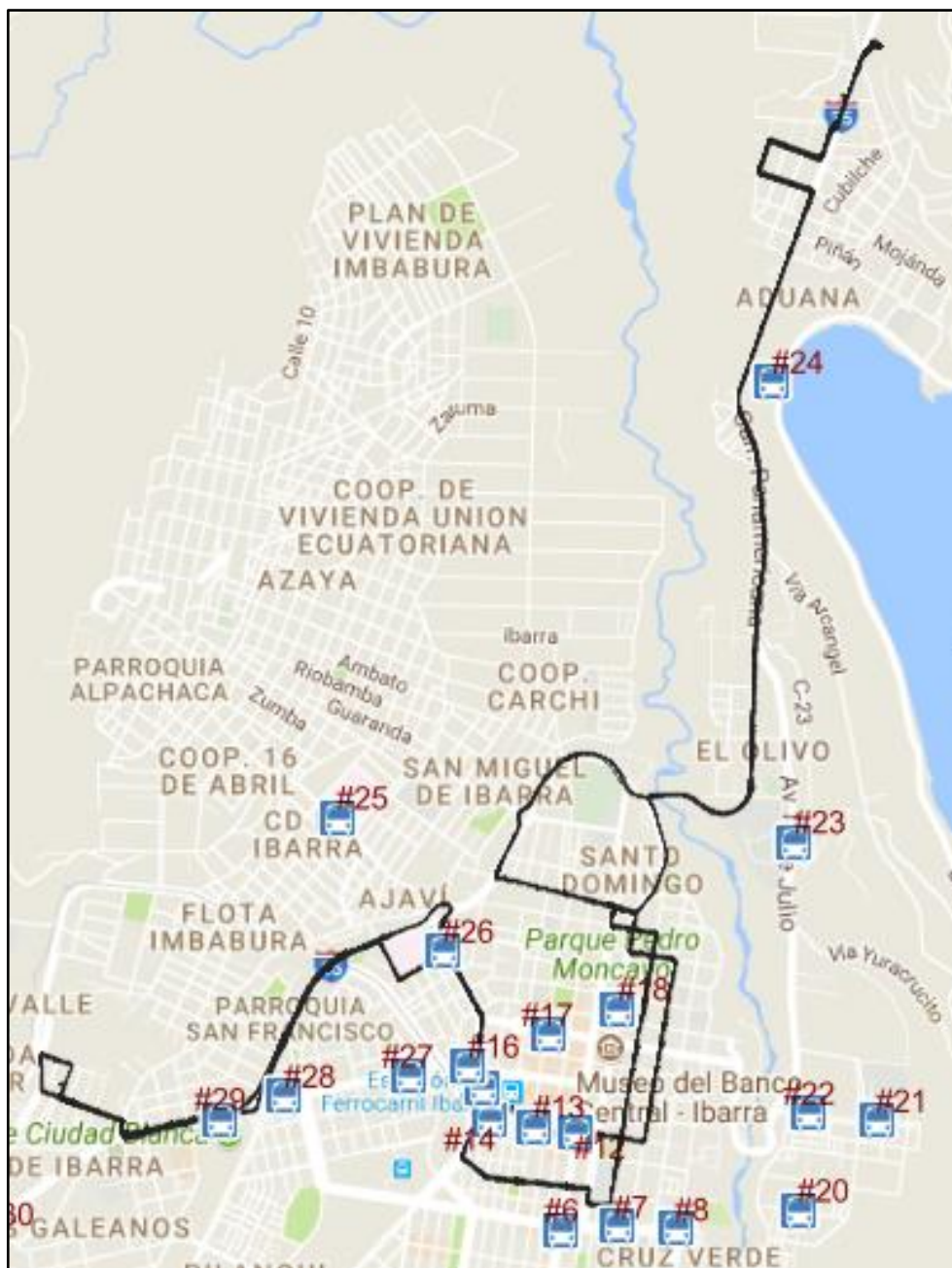


Figura 2.3 Gráfica de la ruta Colinas del Sur – Aduana

En la Figura 2.3 se presenta la trayectoria que cumple la ruta Colinas del Sur – Aduana y además se visualiza sus respectivas paradas. Además, la gráfica ayuda a desarrollar los mapas temáticos de las rutas, notándose ciertas modificaciones de las rutas que circulan en sentido norte – sur por la Av. Carchi. Este cambio se dio por modificaciones viales que se realizaron en la unión de la Panamericana Norte y la Av. Carchi y un claro ejemplo del cambio de trayectoria es la ruta 4, Colinas del Sur – Aduana.

2.6. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

En el procesamiento de la información se procede a determinar los valores de distancia, velocidad máxima y la pendiente. Para ello, se hace uso de fórmulas que son aplicadas en Excel, permitiendo obtener resultados de las rutas.

Descargar la información en formato CVS, para luego abrir desde Microsoft Excel y seleccionar la información de un GPS que cuente con la menor variación en su trayectoria. El siguiente paso es seleccionar los datos de la segunda vuelta, debido a que la primera vuelta cuenta con datos erróneos para el cálculo de la pendiente. Este problema puede ocasionarse por las nubes que existen en la mañana y por lo tanto existe la pérdida de conexión entre el dispositivo y el satélite. Por esta razón, para la recolección de datos se debe mantenerse el cielo despejado.

2.6.1. TIEMPOS POR RUTA

El transporte urbano logra cumplir el recorrido de la ruta en un determinado tiempo. Los tiempos son establecidos por las cooperativas que prestan servicio a la ciudad de Ibarra, obteniendo horarios de salida y llegada. Por esta razón, los usuarios realizan una planificación de viaje, tomando en cuenta el tiempo que necesitan para llegar puntuales a su destino.

Los tiempos de recorrido están relacionados con la distancia de la ruta, tráfico durante el transcurso de la ruta, estado y geometría de la calzada. Por estas razones, existen rutas con menos kilómetros y mayor tiempo de recorrido. Como se puede apreciar, la ruta 11 Tanguarín – Aduana necesita de 2 horas con 29 minutos para cumplir con este recorrido, siendo la ruta con mayor tiempo de circulación. Dentro de la Tabla 2.3 se presentan los tiempos estimados que tardan las unidades de transporte urbano en volver a su punto de partida.

Tabla 2.3 Tiempos de recorrido

Número	Ruta	Duración [horas]
1	La Esperanza – Hospital del Seguro	1:48:52
2	Chugchupungo – La Florida	1:43:51
3	Odilas – 19 de Enero	2:10:27
4	Colinas del Sur - Aduana	1:31:05
5	Ejido de Caranqui - Miravalle	2:03:36

6	Caranqui – Universidades	n/a
7	Santa Lucía – La Victoria	1:45:14
8	Santo Domingo – Universidades	2:00:05
9	Santo Domingo – Universidades por la Florida	n/a
10	Santa Isabel – Huertos Familiares	2:22:09
11	Tanguarín – Aduana	2:29:34
12	Chorlavi – La Victoria	2:20:34
13	Milagro – Yahuarcocha	2:13:56
14	Pugacho – Santa Teresita	1:36:51
15	Palmas – Ceibos	1:34:05
16	San Miguel Arcángel – San Cristóbal de Caranqui	2:14:15
17	Católica – Alpachaca	1:27:50
18	Azaya – La Campiña	1:42:29
19	San Francisco	n/a
20	Caranqui – Aduana	1:47:44
21	Santa Rosa – Ceibos	1:52:03
22	El Carmen - Bellavista	1:08:18
23	Naranjito	1:34:51
24	Aloburo	n/a

Para finalizar, los tiempos cambian durante su jornada laboral en la misma ruta y por esta razón existen cambios de velocidad notables. Esto se produce por los tiempos establecidos estratégicamente en el trayecto de toda la ruta y con ello se pretende que todas las unidades dispongan de pasajeros para trasladar.

2.6.2. FRECUENCIA POR RUTA

La frecuencia en el transporte urbano se define como el tiempo que está establecido para la salida de unidades de la parada principal. Es decir, son los horarios de salida de las unidades y para ello se debe realizar el estudio en donde las unidades tengan la cantidad necesaria de usuarios que hagan uso de este servicio, porque de lo contrario representa pérdidas para los propietarios de las unidades.

A continuación, en la Tabla 2.4 se muestran las frecuencias de las rutas. Apreciando rutas que van a necesitar de 1 sola unidad, encargada de brindar servicio durante todo el día. Pero

del mismo modo, existen rutas que necesitan de 20 unidades para brindar un servicio de calidad a la sociedad.

Tabla 2.4 Frecuencia y cantidad de unidades por ruta

Número	Ruta	Frecuencia	Cantidad de unidades
1	La Esperanza – Hospital del Seguro	8 min	20
2	Chugchupungo – La Florida	10 min	12
3	Odilas – 19 de Enero	10 min	14
4	Colinas del Sur - Aduana	10 min	11
5	Ejido de Caranqui - Miravalle	8 min	17
6	Caranqui – Universidades	10 min	7
7	Santa Lucia – La Victoria	8 min	13
8	Santo Domingo – Universidades	10 min	12
9	Santo Domingo – Universidades por la Florida	10 min	12
10	Santa Isabel – Huertos Familiares	8 min	15
11	Tanguarín – Aduana	10 min	14
12	Chorlavi – La Victoria	8 min	15
13	Milagro – Yahuarcocha	10 min	12
14	Pugacho – Santa Teresita	10 min	13
15	Palmas – Ceibos	6 min	15
16	San Miguel Arcángel – San Cristóbal de Caranqui	25 min	5
17	Católica – Alpachaca	6 min	14
18	Azaya – La Campiña	7 min	19
19	San Francisco	10 min	11
20	Caranqui – Aduana	10 min	13
21	Santa Rosa – Ceibos	15 min	8
22	El Carmen - Bellavista	Turnos	1
23	Naranjito	Turnos	1
24	Aloburo	Turnos	1

Fuente: (Castillo, 2015, pág. 110 y 111)

La frecuencia puede variar en relación con la tasa ocupacional. Para ello, se necesita realizar un estudio previo que permita analizar si es necesario incrementar o disminuir la frecuencia de ciertas rutas. De esta manera, la sociedad cuenta con un servicio de calidad y los propietarios de las unidades logran obtener su respectiva rentabilidad, por lo tanto, es posible mejorar los autobuses.

2.6.3. DISTANCIA POR RUTA

La distancia está establecida por la longitud generada entre dos puntos en el espacio. Es el recorrido para trasladarse de un lugar a otro. En este estudio, cumple la función de determinar la distancia de las rutas. Es necesario establecer la distancia recorrida de la ruta, para seleccionar el mejor tipo de autobús eléctrico que se desempeñe sin inconvenientes durante su jornada laboral. De esta manera, se evita que el autobús se quede descargado en la trayectoria de la ruta.

A continuación, en la Tabla 2.5 se presenta la distancia de cada ruta. En donde, la máxima distancia es de 39,10 km para la ruta Santa Isabel – Huertos Familiares y por lo tanto se requiere de un autobús de igual o mayor autonomía, permitiendo así cumplir con todas las rutas sin inconvenientes. En cambio, la distancia mínima recorrida es de 17,15 km para la ruta Católica – Alpachaca.

Tabla 2.5 Distancia de las rutas

Número	Ruta	Distancia [km]
1	La Esperanza – Hospital del Seguro	25,10
2	Chugchupungo – La Florida	24,25
3	Odilas – 19 de Enero	28,90
4	Colinas del Sur - Aduana	22,58
5	Ejido de Caranqui - Miravalle	28,60
6	Caranqui – Universidades	n/a
7	Santa Lucia – La Victoria	23,93
8	Santo Domingo – Universidades	30,13
9	Santo Domingo – Universidades por la Florida	n/a
10	Santa Isabel – Huertos Familiares	39,10
11	Tanguarín – Aduana	36,44
12	Chorlavi – La Victoria	33,15

Tabla 2.5 Distancia de las rutas (**Continuación...**)

13	Milagro – Yahuarcocha	35,98
14	Pugacho – Santa Teresita	18,41
15	Palmas – Ceibos	19,11
16	San Miguel Arcángel – San Cristóbal de Caranqui	31,47
17	Católica – Alpachaca	17,15
18	Azaya – La Campiña	19,34
19	San Francisco	n/a

20	Caranqui – Aduana	26,68
21	Santa Rosa – Ceibos	22,74
22	El Carmen - Bellavista	23,35
23	Naranjito	21,47
24	Aloburo	n/a

Para finalizar, con el pasar del tiempo la mayoría de estas rutas han cambiado la distancia de recorrido y su respectiva trayectoria. Determinando que el cambio es producido por los trabajos realizados en las vías de la ciudad y en ocasiones por manifestaciones o eventos que se realizan en las vías. Por estas razones, la autonomía establecida para estas unidades debe ser mayor a 39,10 km.

2.6.4. VELOCIDAD MÁXIMA

La velocidad máxima es el mayor valor de metros sobre segundos que experimenta el autobús de transporte urbano durante la ejecución de su ruta, pero sin sobrepasar los límites de velocidad establecidos. Estas velocidades son aceptables siempre y cuando el autobús se encuentre en perfectas condiciones de funcionamiento. Si el autobús está con fallas en su funcionamiento se adquiere valores erróneos que no sirven para la investigación.

De acuerdo con la Tabla 2.6 se presenta la máxima velocidad de cada ruta, en donde la máxima velocidad experimentada es de 81 km/h en la ruta Milagro – Yahuarcocha y la velocidad mínima es de 33.23 km/h en la ruta Santa Rosa – Ceibos, siendo las 2 rutas de la Cooperativa 28 de Septiembre. Para finalizar, la máxima velocidad experimentada por una unidad de la Cooperativa San Miguel de Ibarra es de 64,25 km/h en la ruta Odilas – 19 de Enero y la velocidad mínima de 45,17 km/h en la ruta La Esperanza – Hospital del Seguro.

Tabla 2.6 Máxima velocidad desarrolladas en las rutas

Número	Ruta	Velocidad [km/h]
1	La Esperanza – Hospital del Seguro	45,17
2	Chugchupungo – La Florida	49,32
3	Odilas – 19 de Enero	64,25
4	Colinas del Sur - Aduana	58,39
5	Ejido de Caranqui - Miravalle	51,47

6	Caranqui – Universidades	n/a
7	Santa Lucía – La Victoria	50,75
8	Santo Domingo – Universidades	63,82
9	Santo Domingo – Universidades por la Florida	n/a
10	Santa Isabel – Huertos Familiares	53,30
11	Tanguarín – Aduana	70,52
12	Chorlavi – La Victoria	63,89
13	Milagro – Yahuarcocha	81,01
14	Pugacho – Santa Teresita	55,21
15	Palmas – Ceibos	47,45
16	San Miguel Arcángel – San Cristóbal de Caranqui	47,82
17	Católica – Alpachaca	55,97
18	Azaya – La Campiña	39,37
19	San Francisco	n/a
20	Caranqui – Aduana	57,13
21	Santa Rosa – Ceibos	33,23
22	El Carmen - Bellavista	58,63
23	Naranjito	42,52
24	Aloburo	n/a

Para esta investigación se considera la velocidad máxima de 90 km/h permitida en carretera. La velocidad mencionada permite que el autobús pueda realizar maniobras para adelantar a otros vehículos sin sobrepasar los límites de velocidad establecidos por la Agencia Nacional de Tránsito (ANT).

2.6.5. PENDIENTE

La altitud esta encargada de determinar el cambio de altura que experimenta el automotor en un intervalo de distancia recorrida. Mediante la variación de altura se puede determinar las pendientes que existen durante el recorrido de la ruta. Siendo la pendiente un factor primordial al momento de determinar las especificaciones técnicas del autobús.

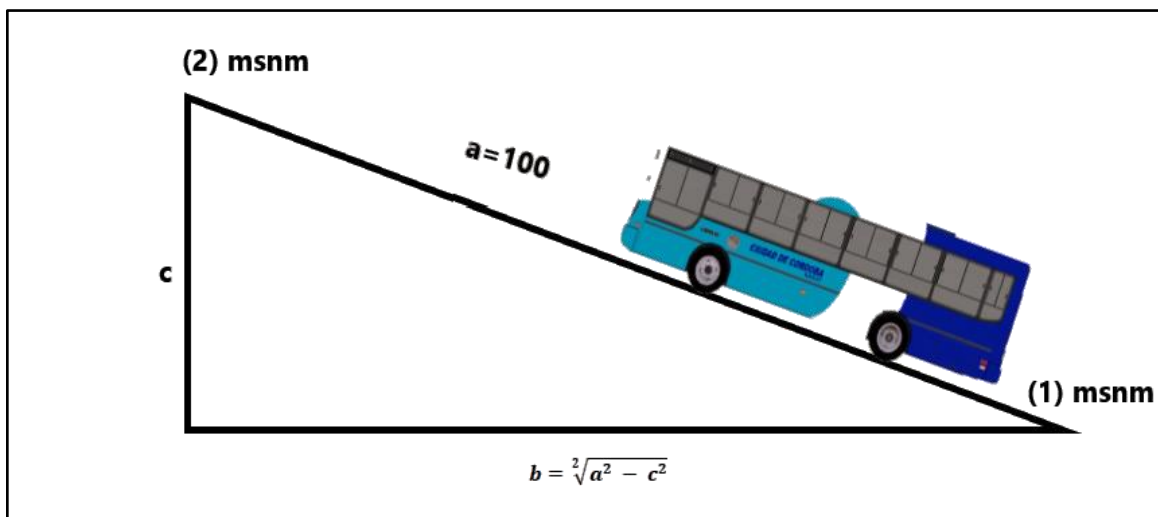


Figura 2.4 Componentes para determinar la pendiente en terrenos inclinados

En la Figura 2.4 se presentan los puntos indispensables para determinar la altura, en este caso sería el punto 1 y 2 y son medidos en metros sobre el nivel del mar (msnm). Luego, se procede a realizar el cálculo de la pendiente cada 100 metros de recorrido aproximadamente. A continuación, se expresa la ecuación de la pendiente en donde “c” es la altura entre los puntos 1 y 2, dividido para “b” que es un cateto y se lo determina mediante la ecuación de Pitágoras.

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

Para la adquisición de estos datos se utilizó el dispositivo GPS GL-770, permitiendo determinar la altura mediante la altitud y la distancia de cada una de las rutas. Para el estudio se utilizaron datos de las pruebas piloto, porque no existía variación en su trayectoria.

A continuación, en la Tabla 2.7 se presenta las pendientes máximas experimentadas en cada ruta. Para ello, los cálculos se realizaron cada 100 metros de distancia durante todo el trayecto de la ruta. Siendo la mayor pendiente ejecutada por las unidades de transporte urbano de la ciudad de Ibarra es del 21 % y se encuentra en la ruta del Naranjito a la altura de (2656 a 2677) msnm

Tabla 2.7 Valores de las pendientes máximas de las rutas

Número	Ruta	msnm [máx.]	msnm [mín]	c [m]	a [m]	Pendiente [%]
1	La Esperanza – Hospital del Seguro	2 514	2 496	18	96,11	19
2	Chugchupungo – La Florida	2 344	2 331	13	95,83	14
3	Odilas – 19 de Enero	2 474	2 457	17	101,83	17
4	Colinas del Sur - Aduana	2 240	2 229	11	105,22	11
5	Ejido de Caranqui - Miravalle	2 248	2 235	13	102,39	13
6	Caranqui – Universidades	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
7	Santa Lucia – La Victoria	2 400	2 390	10	98,80	10
8	Santo Domingo – Universidades	2 390	2 377	13	98,73	13
9	Santo Domingo – Universidades por la Florida	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
10	Santa Isabel – Huertos Familiares	2 434	2 419	15	104,54	15
11	Tanguarín – Aduana	2 287	2 269	18	101	18
12	Chorlavi – La Victoria	2 268	2 255	13	98,41	13
13	Milagro – Yahuarcocha	2 231	2 222	9	100,24	9
14	Pugacho – Santa Teresita	2 259	2 252	7	97,89	7
15	Palmas – Ceibos	2 306	2 295	11	95,86	12
16	San Miguel Arcángel – San Cristóbal de Caranqui	2 500	2 481	19	95,66	20
17	Católica – Alpachaca	2 195	2 185	10	90,94	11
18	Azaya – La Campiña	2 302	2 286	16	97,56	17
19	San Francisco	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
20	Caranqui – Aduana	2 332	2 320	12	101,67	12
21	Santa Rosa – Ceibos	2 398	2 384	14	96,33	15
22	El Carmen - Bellavista	2 362	2 349	13	102,86	13
23	Naranjito	2 677	2 656	21	101,92	21
24	Aloburo	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Por último, la pendiente es un factor determinante para calcular la potencia requerida por parte del motor eléctrico y diésel.

Por esta razón, la pendiente debe ser calculada con el debido cuidado, porque de lo contrario el tren de potencia puede tener falencias al momento de entrar en funcionamiento dentro de la ciudad.

2.7. ELABORACIÓN DE MAPAS TEMÁTICOS

Los mapas temáticos permiten añadir ciertos elementos como: el recorrido de la ruta, paradas de buses, nombres de las paradas, nombre de la ruta, imágenes de orientación y características de las rutas. Por lo tanto, para la elaboración de un mapa temático es necesario determinar un programa que permita editar y mediante la aplicación de una serie de pasos permiten cumplir el objetivo sin inconvenientes. Estos mapas deben ser elaborados con información fiable, permitiendo ser utilizada para otras investigaciones.

2.7.1. SELECCIÓN DEL SOFTWARE

Para la elaboración de mapas temáticos se va a utilizar un Sistema de Información Geográfica (SIG), llamado QGIS 3.0 Girona que es de código abierto y permite editar los mapas. QGIS 3.0 Girona permite editar, visualizar, crear y analizar datos, también es un software adecuado para utilizarlo en la plataforma de Windows y es fácil aprender su uso. Este software permite trabajar con datos separados por comas CSV, formato kml, shp, dbf y shx. Mediante estos formatos mencionados anteriormente se puede visualizar la trayectoria de las rutas.

2.7.2. ELABORACIÓN DE CAPA DE PARADAS DE BUSES

Para la elaboración de los mapas temáticos es necesario crear una capa con las paradas de buses de las dos Cooperativas de transporte urbano. Para ello, se hace uso de la información otorgada por la Empresa Pública de Movilidad (MEP), permitiendo obtener el siguiente resultado y así visualizar la ubicación de todas las paradas de transporte urbano que existen dentro de la ciudad.

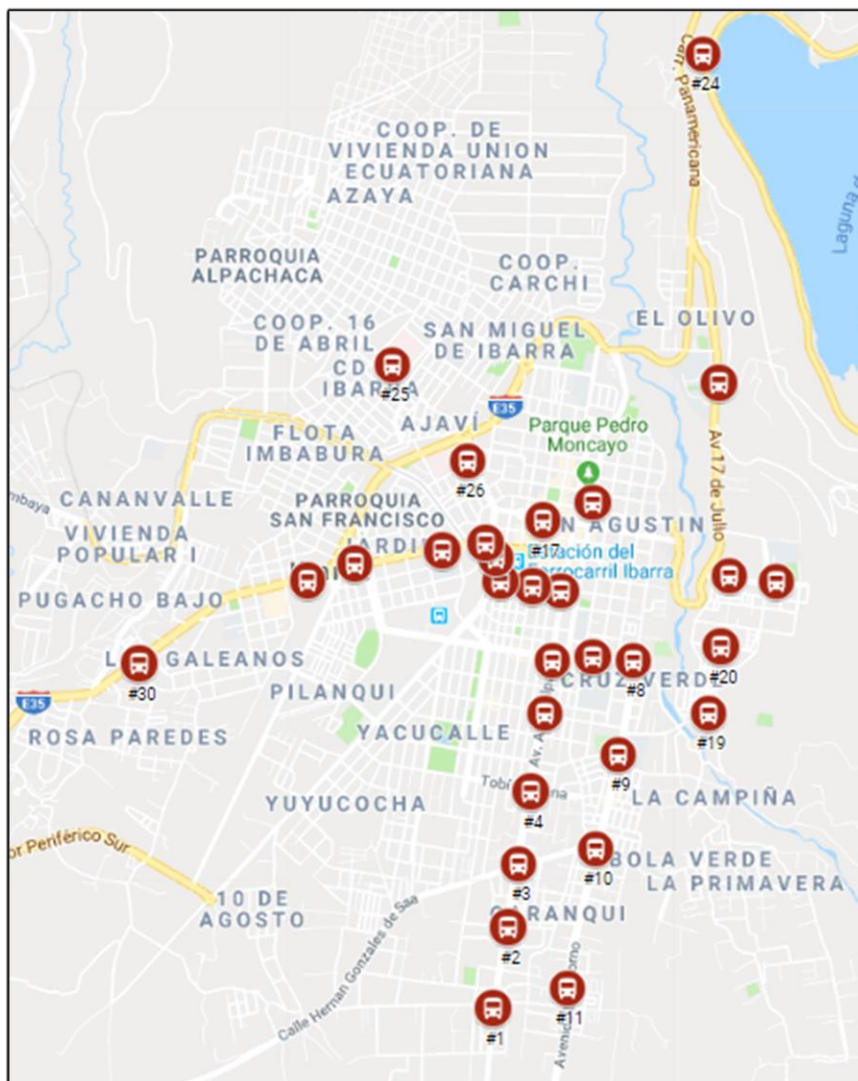


Figura 2.5 Capa de las paradas de buses

En la Figura 2.5 se presentan las 30 paradas de buses que se encuentra dentro de la ciudad de Ibarra. Para ello, la capa de las paradas se la realiza en Google My Maps, en donde se ubican las 30 paradas enumeradas en orden ascendente. Una vez ubicadas todas las paradas se procede a exportar a formato KML/KMZ, para luego hacer uso de ella en el software de Sistema de Información Geográfica QGIS y así permitir la creación de los mapas temáticos.

2.7.3. CREACIÓN DE MAPAS EN QGIS 3.0 GIRONA

Para la creación de mapas en QGIS 3.0 GIRONA se procede a realizar de una forma ordenada los siguientes pasos:

- Descargar e instalar la versión más actual de Sistema de Información Geográfica QGIS.

- Aprender el manejo adecuado de QGIS, mediante la lectura de manuales y la visualización de videos tutoriales en YouTube.
- Crear la capa de las paradas de buses del transporte urbano de la ciudad de Ibarra en Google My Maps, para luego exportar a formato KML.
- Añadir Google Maps a QGIS 3.0 GIRONA.
- Transformar los datos de las rutas que se encuentran en formato NMEA a formato CSV y así lograr trabajar en QGIS.
- Añadir desde el navegador la capa de Google Maps.
- Añadir desde capa de texto delimitado los datos obtenidos del GPS GL-770 en formato CSV (valores separados por comas).
- Añadir capa de paradas de buses mediante capa vectorial en formato KML.
- Modificar la simbología y el tamaño de la parada de bus.
- Modificar el tamaño de los puntos que grafican la trayectoria de la ruta y para ello reducir el tamaño de los puntos de (2 a 0.1) mm, de diámetro.
- Crear título de diseño de impresión para añadir información adicional al mapa.
- Crear hoja en formato A4 y su orientación puede ser horizontal o vertical, según la forma de la trayectoria de la ruta.
- Añadir mapa de composición y así se logra añadir el mapa realizado.
- Crear mapa de composición que va a ser de 190 mm de ancho y 277 mm de altura.
- Añadir etiqueta de (190 o 277) mm de ancho por 10 mm de altura para escribir información acerca del nombre y número de la ruta con letra Arial Black tamaño 14.
- Añadir etiqueta de 80 mm de ancho por 40 mm de altura para detallar la distancia, altura máxima, altura mínima, velocidad promedio y la pendiente. Estos datos son escritos en letra Arial tamaño 12.
- Añadir etiqueta para las paradas de buses y una imagen de (25X25) mm, en donde se indica la orientación.
- Guardar el mapa temático en formato PDF y en formato QGIS Project.

Mediante la aplicación correcta de los pasos indicados se pueden adquirir resultados como se muestra a continuación, en donde se visualiza las paradas de buses, distancia, velocidad promedio, altitud y la pendiente máxima experimenta durante la ruta.

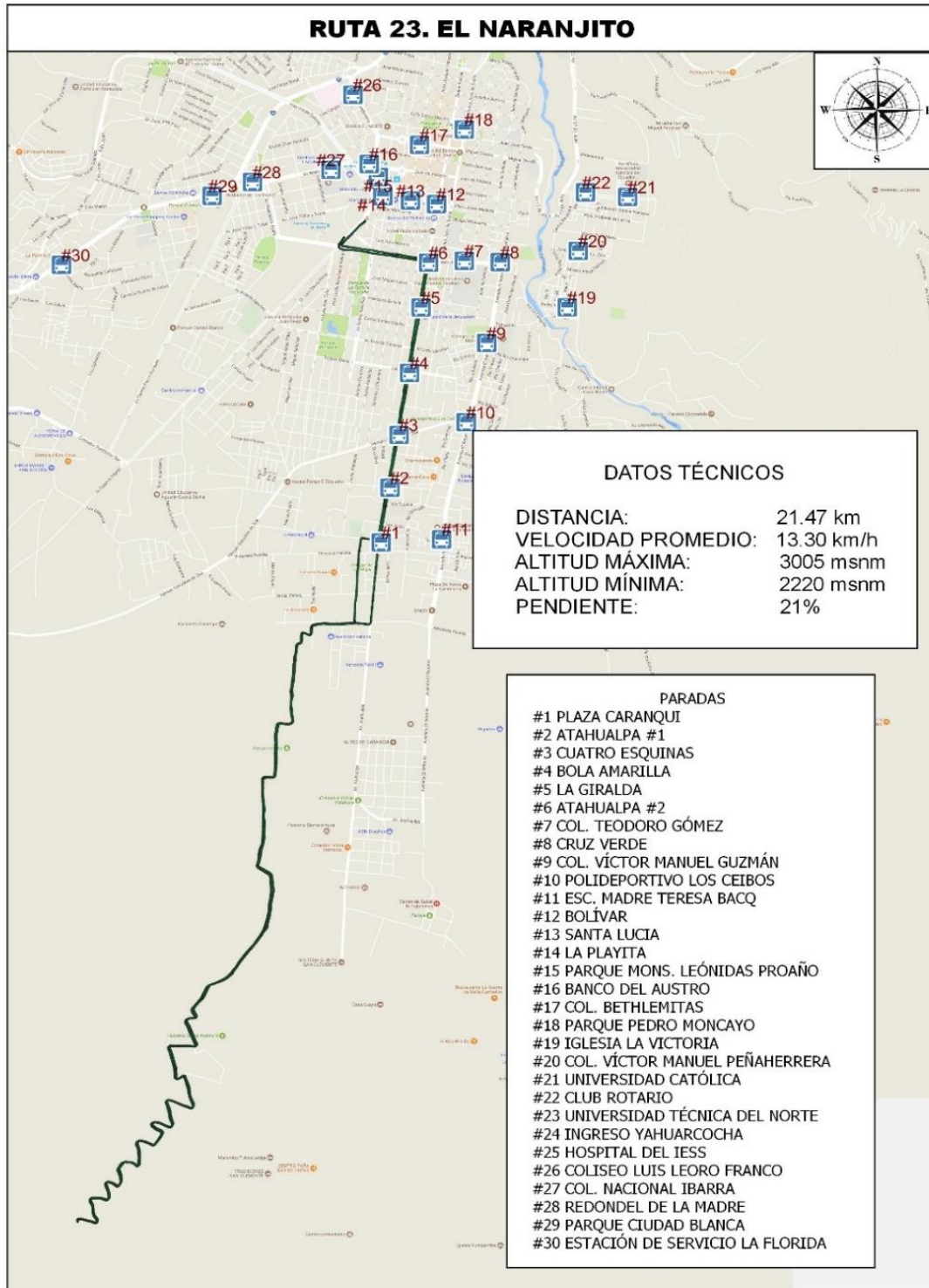


Figura 2.6 Mapa temático de la ruta del Naranjito

En la Figura 2.6, se presenta el mapa temático terminado de la ruta 23 – El Naranjito. Esta ruta cuenta con 21.47 km de distancia, velocidad promedio de 13.30 km/h, altitud máxima de 3 005 msnm, altitud mínima de 2 220 msnm, pendiente del 21 % y es ejecutado por turnos.

La ejecución de turnos es por su baja tasa ocupacional y se encuentra en la zona rural de la ciudad.

2.8. METODOLOGÍA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL TREN MOTRIZ

Mediante la aplicación de una metodología se pretende obtener un cálculo estimado de la potencia que requiere el motor eléctrico y el motor diésel para movilizar el autobús híbrido y eléctrico. Del mismo modo, se requiere de una fuente de energía que suministre energía al motor para su correcto funcionamiento y en este caso se trata del paquete de baterías.

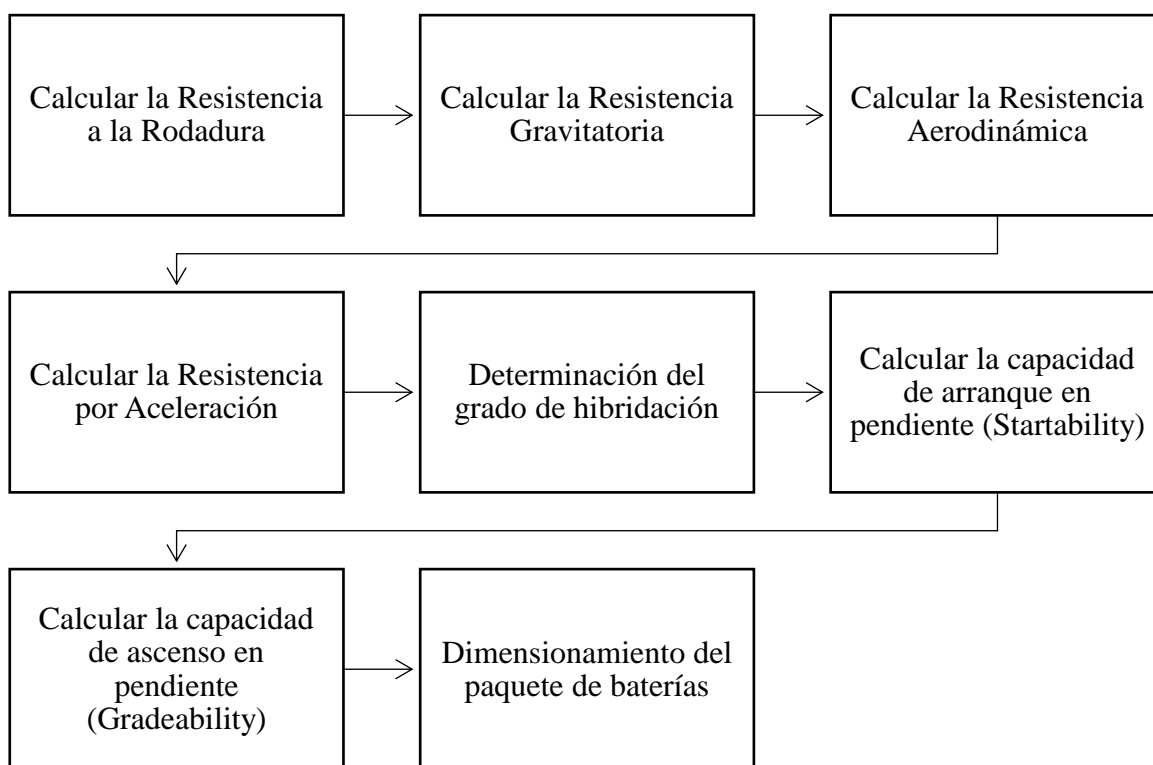


Figura 2.7 Dimensionamiento del tren de potencia para el autobús híbrido y eléctrico

En la Figura 2.7 se presentan 8 pasos que permiten calcular la potencia estimada del motor y el tamaño del paquete de baterías. Mediante la ejecución de los pasos mencionados anteriormente, se pretende facilitar el dimensionamiento del tren de potencia para vehículos híbridos y eléctricos que sean de alto o bajo tonelaje. Permitiendo obtener la potencia del motor, relación de transmisión y peso del paquete de baterías.

2.8.1. VARIABLES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL TREN MOTRIZ

Para realizar el dimensionamiento del tren motriz de un autobús híbrido y eléctrico, se necesita de la fórmula del coeficiente de fricción para superficies duras a distintas velocidades, el Peso Bruto Vehicular (PBV) que permite determinar la resistencia a la rodadura y viene dado en kilogramos (kg), la gravedad y la aceleración son otras variables que viene en (m/s^2), entonces, mediante la multiplicación de la masa con la gravedad se obtiene la fuerza (N), la potencia en vatios (W) que se obtiene de la multiplicación de la fuerza obtenida en plena carga por la velocidad, la densidad del aire (kg/m^3) permite determinar la resistencia al avance y el coeficiente de resistencia al avance.

En cambio, para la resistencia por aceleración se procede a multiplicar el peso bruto vehicular (kg) por la aceleración (m/s^2). Estas variables permiten determinar la resistencia total del autobús y de esta manera se determina las especificaciones técnicas.

En el caso de realizar los cálculos de Startability y Gradeability se necesita el torque máximo del motor (Nm), revoluciones del neumático por kilómetro (min^{-1}/km), peso bruto vehicular (kg), velocidad aparente (m/s) y la potencia de máxima (kW).

Por último, para el dimensionamiento de las baterías se procede a realizar cálculos con el voltaje (V), la capacidad que viene dada en kilowatts hora (kWh) y amperios hora (Ah), resistencia interna en ohms (Ω), intensidad de corriente de descarga en amperios (A) y la potencia de la batería (kW).

2.8.2. FICHA TÉCNICA DEL AUTOBÚS HÍBRIDO Y ELÉCTRICO

Para el dimensionamiento del tren de potencia se requiere de un modelo de autobús híbrido y eléctrico, para determinar el peso bruto vehicular, dimensiones para calcular el área frontal y tipo de neumáticos. De esta manera, el cálculo de la potencia del motor y el dimensionamiento del paquete de baterías va a estar cerca de lo real. Para ello, se ha seleccionado los autobuses Volvo 7 900 híbrido y el 7 900 eléctrico. A continuación, en la Tabla 2.8 se presenta la ficha técnica del autobús híbrido y eléctrico. En donde, se establece los datos que se tomaron para realizar los respectivos cálculos de resistencia aerodinámica, gravitatoria y por aceleración.

Tabla 2.8 Ficha técnica del autobús volvo 7 900 híbrido y eléctrico

Especificaciones	Volvo 7 900 híbrido	Volvo 7 900 eléctrico
Longitud [m]	12	12
Anchura [m]	2,55	2,55
Altura [m]	3,28	3,28
Peso en vacío [kg]	11 860	11 650

Fuente: (Volvo, 2018, pág. 15)

El área del autobús se ha tomado en cuenta para calcular la resistencia aerodinámica y el peso bruto vehicular para determinar la resistencia a la rodadura, resistencia gravitatoria y resistencia por aceleración. Por lo tanto, el autobús que deben adquirir los miembros de ambas cooperativas de transporte urbano de la ciudad de Ibarra debe cumplir con algunas características similares al Volvo 7900. Con esto, se garantiza el correcto funcionamiento de las unidades en la ciudad.

2.9. DIMENSIONAMIENTO DEL TREN DE POTENCIA

Para el dimensionamiento del tren motriz se toma en cuenta ciertas fuerzas que influyen al momento de poner en marcha el autobús híbrido y eléctrico, para ello se realizará un análisis minucioso de cada una de ellas y según los resultados que se obtengan poder dimensionar el tren motriz que satisfaga las especificaciones de la ruta y así garantizar el cumplimiento de toda la ruta durante su jornada laboral. Las fuerzas que se oponen al movimiento de un autobús son las siguientes:

- Resistencia a la Rodadura (F_{Ro})
- Resistencia Gravitatoria (F_G)
- Resistencia Aerodinámica (F_{Ae})
- Resistencia por aceleración (F_{la})

A continuación, se presenta gráficamente las fuerzas ejercidas sobre un vehículo que se encuentra circulando sobre una pendiente.

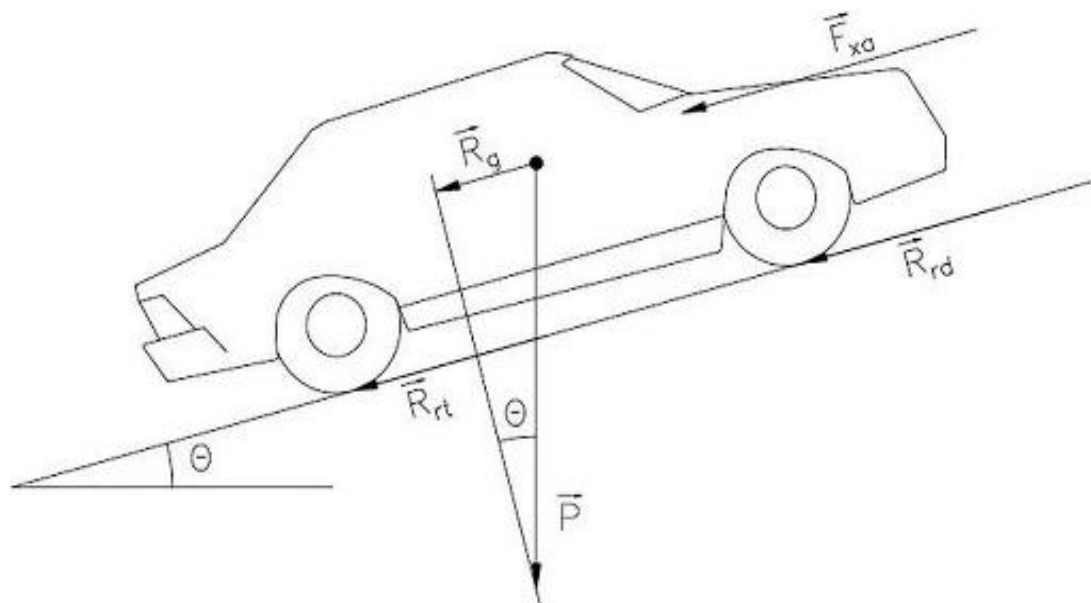


Figura 2.8 Fuerzas de resistencia al movimiento
Fuente: (Aguilar , Caldas, Rivera, & Tapia, 2017, pág. 9)

En la Figura 2.8 se muestra las fuerzas que se oponen al movimiento. Mediante el cálculo de dichas fuerzas se determina la potencia requerida para el motor eléctrico, la autonomía y entre otras características que se necesita establecer para el dimensionamiento del tren motriz, tomando en cuenta que el grado de inclinación influye en la resistencia a la rodadura y gravitatoria. Cabe mencionar que todo dato recolectado para el estudio debe ser de fuentes confiables que garanticen la veracidad de la información y así se garantiza un estudio de calidad.

2.9.1. RESISTENCIA A LA RODADURA

La resistencia a la rodadura estudia la resistencia que se genera al momento de entrar 2 cuerpos en contacto. Para ello, se necesita conocer el significado de cada una de las siglas que van suscritas en el costado del neumático, por lo tanto, se procede a investigar los tipos de neumáticos y sus respectivas variaciones en catálogos. En este caso se procede a utilizar el manual de Goodyear entendiendo su neumático del 2015. Para esta investigación se procede a utilizar la presión de inflado establecida por el fabricante, de lo contrario el neumático sufre desgastes prematuros en el centro y costados del neumático, y así se reduce la vida útil del mismo. Además, se requiere encontrar el coeficiente de rodadura para autobuses.

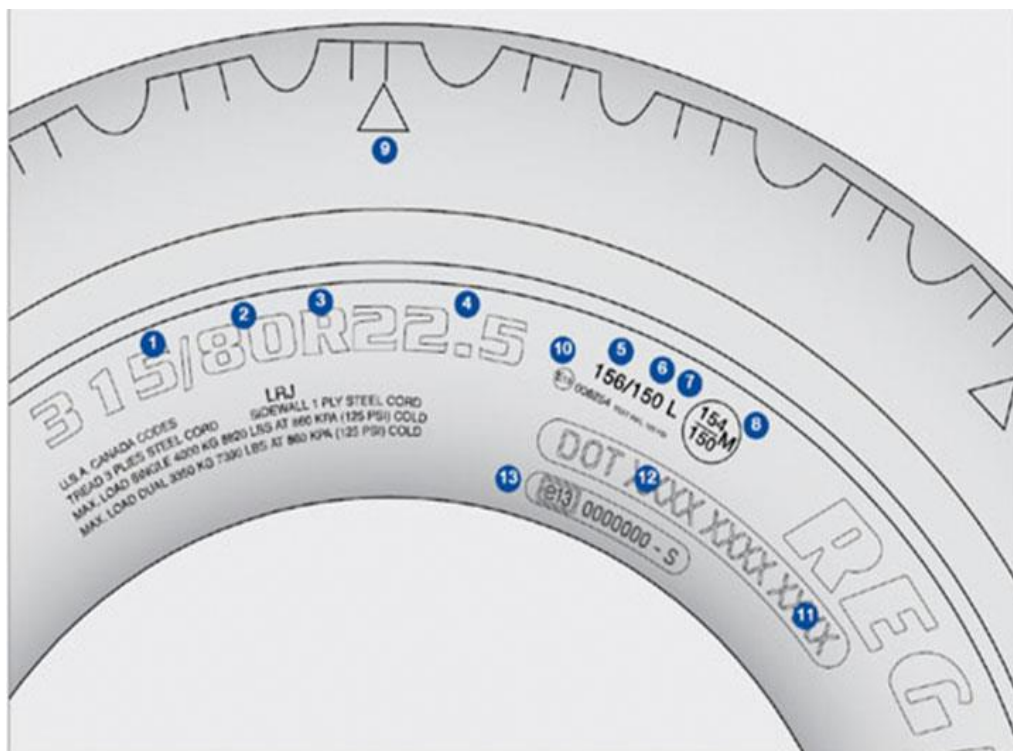


Figura 2.9 Nomenclatura del neumático

En la Figura 2.9 se presenta la nomenclatura del neumático. Determinando el ancho, altura, diámetro, índice de carga, código de velocidad, número de homologación y entre otros que permiten realizar la selección del mejor neumático para las condiciones de trabajo que se requiere en el medio. A continuación, se describe cada uno de ellos.

1. Ancho del neumático [mm].
2. Representa la relación entre la altura y el ancho del neumático.
3. Radial es la construcción del neumático.
4. Significa el diámetro del rin [pulgadas].
5. Carga máxima del neumático.
6. Carga máxima del neumático en gemelo.
7. Rango de velocidad
8. Índice de carga y velocidad alternativa.
9. Línea de garantía del neumático.
10. Número de homologación.
11. Representa la fecha [semana año].
12. Representa la fabricación.
13. Indica si el neumático cumple con las respectivas normativas.

Para este estudio se ha seleccionado el neumático 275/70R22.5, siendo neumáticos que cuentan con las características necesarias para ser utilizados en el transporte urbano y trabajan con una presión máxima de 130 psi (896 423 Pa). Por otra parte, este neumático es de fácil acceso en el mercado local. A continuación, se procede a detallar el significado de la nomenclatura del neumático:

- Ancho (A) = 275 mm
- Altura (H) = $275 * 0.7 = 192.5$ mm
- Rin (D) = $22.5 * 25.4 = 571.5$ mm
- Diámetro exterior (DE) = $2H + D = 956.5$ mm
- Velocidad = J (100) km/h
- Capacidad de carga = (3 150/2 900) kg

Para el dimensionamiento de tren motriz es necesario establecer fórmulas que nos permitan determinar las especificaciones técnicas adecuadas de los autobuses híbridos y eléctricos, los cuales deben desempeñarse de una manera eficiente y por esta razón se ha tomado en cuenta los valores más críticos. De esta manera, el tren motriz debe estar acto para implementarlo en otras rutas. Para ello, hacer uso de la ecuación 2.2 que permite determinar la resistencia a la rodadura.

$$F_{Ro} = m * g * fr \quad [2.2]$$

Donde:

F_{ro} : Resistencia a la rodadura [kg]

m : Masa [kg]

g : Gravedad [m/s^2]

fr : Coeficiente de resistencia a la rodadura [-]

Para este estudio se considera que el coeficiente de rodadura delantero es igual con el trasero. Esta fuerza es proyectada verticalmente hacia el centro de la rueda. Para ello, se debe determinar el peso en vacío y su peso bruto vehicular.

En el cálculo del PBV se toma en cuenta la máxima carga y tomando en cuenta que el peso de una persona es de 70 kg, según la Norma NTE INEN 1323 del 2009 que detalla los requisitos para carrocerías de buses y para el peso en vacío se toman como referencia los

autobuses híbrido y eléctrico Volvo 7 900. La cantidad de pasajeros es de 80 personas y para ello se ha hecho referencia al estudio de la tasa ocupacional de la ciudad de Ibarra e incluso se ha tomado en cuenta los datos de la dirección de regulación de transporte terrestre, tránsito y seguridad vial. En la Tabla 2.9 se presentan los valores de peso en vacío y peso bruto vehicular de los autobuses.

Tabla 2.9 Peso vehicular

Estado de Carga	Peso del bus eléctrico [kg]	Peso del bus híbrido [kg]
Vacío	11 650	11 860
PBV para 80 pasajeros	17 250	17 460

“Para el cálculo del coeficiente de resistencia a la rodadura (f_r) se va a utilizar la velocidad, el peso y la presión de los neumáticos del autobús” (Jazar, 2008, pág. 122). Demostrando la variación del coeficiente de resistencia a la rodadura que experimenta con el cambio de peso, presión de inflado y la velocidad del autobús. Para demostrar lo mencionado se procede a utilizar la ecuación 2.3.

$$f_r = \frac{K}{1\,000} \left(5.1 + \frac{5.5 * 10^5 + 90F_z}{P} + \frac{1\,100 + 0.0388F_z}{P} \right) V_x^2 \quad [2.3]$$

Donde:

K : 0.8 para neumáticos radiales y 1.0 para no radiales

P : Presión del neumático [Pa]

F_z : Fuerza ejercida sobre el neumático [N]

V_x^2 : Velocidad del autobús [m/s]

2.9.2. RESISTENCIA GRAVITATORIA

La resistencia gravitatoria se caracteriza porque el autobús es atraído hacia el centro de la tierra, lo cual genera una resistencia negativa al momento de estar circulando en una pendiente, por lo tanto, se necesita de una fuerza que ayude a compensar esta fuerza negativa para la circulación del autobús y de esta manera lograr el movimiento a una velocidad

determinada. La pendiente viene dada en porcentaje y para realizar los cálculos se necesita transformar a grados mediante la ecuación 2.4.

$$\phi = \arctg^{-1} \frac{\phi \%}{100} \quad [2.4]$$

Donde:

ϕ : Ángulo de inclinación [°]

$\phi \%$: Ángulo de inclinación [%]

Con la obtención de estos valores se procede a realizar los respectivos cálculos de la resistencia gravitatoria con la ecuación 2.5.

$$R_g = m * g * \text{sen}(\phi) \quad [2.5]$$

Donde:

R_g : Resistencia gravitatoria [N]

m : Masa del vehículo [kg]

g : Gravedad [m/s²]

ϕ : Ángulo de la pendiente [rad]

2.9.3. RESISTENCIA AERODINÁMICA

La resistencia aerodinámica es un factor que influye al momento de poner un vehículo en marcha. Se considera que los vehículos de carreras (fórmula 1) necesitan de una baja resistencia aerodinámica, pero eso no significa que un autobús urbano no esté propenso a dicha resistencia. Este fenómeno se produce por la resistencia que pone el aire al movimiento y como consecuencia se obtiene un mayor consumo de combustible. Por esta razón, los investigadores trabajan en el diseño del área frontal de todo tipo de vehículo y esto se lo realiza con el objetivo de disminuir el valor de la resistencia

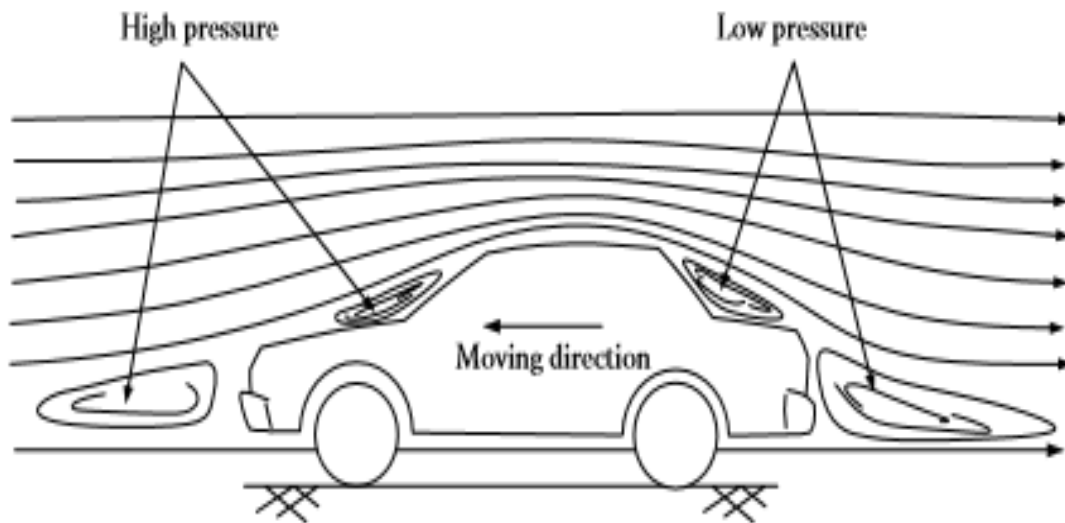


Figura 2.10 Puntos de alta y baja presión con respecto al aire

Fuente: (Ehsani, Gao, & Emadi, 2009, pág. 24)

En la Figura 2.10 se muestra la resistencia aerodinámica, en donde se señalan los puntos de alta y baja presión que experimenta el vehículo al momento de circular a una determinada velocidad. Cabe aclarar que la resistencia aerodinámica va incrementando conforme se incrementa la velocidad, por esta razón los ingenieros pretenden buscar el diseño más adecuado que permite obtener la menor resistencia aerodinámica.

A continuación, se presenta la ecuación 2.6 que permite determinar las variaciones que están relacionados con el coeficiente aerodinámico, Sección transversal, densidad del aire y la velocidad.

$$R_{ae} = \frac{1}{2} * c_w * A * \rho * v^2 \quad [2.6]$$

Donde:

R_{ae} : Resistencia aerodinámica [N]

c_w : Coeficiente aerodinámico [adimensional]

A : Sección transversal [m²]

ρ : Densidad del aire [kg/m³]

v^2 : Velocidad [m/s]

El coeficiente aerodinámico es un factor que influye al poner en marcha un vehículo y sus unidades son adimensionales. Este valor va aumentando con el aumento de la velocidad y es diferente para cada tipo de automotor

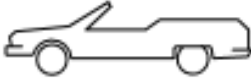
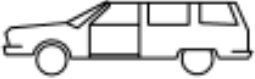





Vehicle type	Coefficient of aerodynamic resistance
 Open convertible	0.5...0.7
 Van body	0.5...0.7
 Ponton body	0.4...0.55
 Wedged-shaped body; headlamps and bumpers are integrated into the body, covered underbody, optimized cooling air flow	0.3...0.4
 Headlamp and all wheels in body, covered underbody	0.2...0.25
 K-shaped (small breakaway section)	0.23
 Optimum streamlined design	0.15...0.20
Trucks, road trains	0.8...1.5
Buses	0.6...0.7
Streamlined buses	0.3...0.4
Motorcycles	0.6...0.7

Figura 2.11 Coeficientes de resistencia aerodinámica para diferentes vehículos

Fuente: (Ehsani, Gao, & Emadi, 2009, pág. 25)

En la Figura 2.11 se presentan los coeficientes de resistencia aerodinámica para diferentes tipos de vehículos. Aquí, se presenta un coeficiente aerodinámico para autobuses que está comprendido de 0.6 a 0.7. Para el estudio se ha tomado el valor máximo de 0.7.

Para efectuar esta investigación se ha procedido a sacar el área frontal del autobús y para ello se necesita saber el área frontal de la carrocería y el área de los neumáticos que tienen contacto directo con el aire. Cabe mencionar, las dimensiones de la parte frontal del autobús híbrido y eléctrico son iguales.

En la Tabla 2.10 se presenta los resultados del área frontal de autobús híbrido y eléctrico. En donde, se determina el área frontal para la carrocería y de todos los neumáticos, este valor es un estimado que puede variar de forma leve. El valor para el área frontal que va a estar en

contacto con el aire es de 7,76 m². Dicho valor se utilizó en el cálculo de los dos tipos de tecnología.

Tabla 2.10 Cálculo de áreas de la parte frontal del autobús

Descripción	Altura [m]	Ancho [m]	Área [m ²]
Parte frontal de la carrocería	2,86	2,55	7,29
Neumático delantero derecho	0,42	0,28	0,12
Neumático delantero izquierdo	0,42	0,28	0,12
Neumático trasero derecha	0,42	0,28	0,12
Neumático trasero izquierdo	0,42	0,28	0,12
Área Total			7,76

Para concluir, el área del neumático depende de la superficie de contacto por el alto que se encuentra en contacto directo con el aire. Además, el cálculo del área de los neumáticos de la parte posterior se toma en cuenta 2 de 4. De esta manera se pretende obtener el menor margen de error.

2.9.4. RESISTENCIA POR ACELERACIÓN

Si la velocidad del autobús cambia durante el cumplimiento de la ruta se debe tomar en cuenta la aceleración que experimenta el autobús. Entonces, mediante el uso de la aceleración y la masa del autobús se obtiene la resistencia ocasionada por la aceleración. Para la obtención de este resultado se hace uso de la ecuación 2.7. “Tomado en cuenta la aceleración promedio de 0,158 m/s²” (Ramírez, 2018, pág. 156).

$$F_{la} = ma \quad [2.7]$$

Donde:

F_{la} : Resistencia por aceleración [N]

m : Masa [kg]

a : Aceleración lineal [m/s²]

2.9.5. RESISTENCIA TOTAL

La resistencia total es conocida como la fuerza de impulsión necesaria y para determinar este valor se necesita realizar la suma de todas fuerzas que se oponen al desplazamiento. A continuación, se presenta la ecuación 2.8 que va a permitir obtener la fuerza de impulsión para diferentes velocidades y ángulos de pendiente.

$$F_i = R_r + R_g + R_{ae} + R_{la} \quad [2.8]$$

Donde:

F_i : Fuerza de impulsión [N]

R_r : Resistencia a la rodadura [N]

R_g : Resistencia gravitatoria [N]

R_{ae} : Resistencia aerodinámica [N]

R_{la} : Resistencia por aceleración [N]

2.10. SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO

Los motores más utilizados en autobús híbridos y eléctricos son los motores de corriente continua (DC) y esto es posible gracias a que cuentan con alta potencia y torque, se caracteriza por ser un motor de imanes permanentes. Gracias a este tipo de tecnología existente en el mercado se puede reducir las emisiones contaminantes que generan los motores diésel y gasolina.

2.10.1. CÁLCULO DE POTENCIA REQUERIDA PARA EL MOTOR

La ecuación 2.9 permite calcular el valor de la potencia requerida por el motor para la pendiente máxima, ya que en estas condiciones se requiere que el motor se desempeñe de una forma eficiente.

$$P_c = F_i * V_{max} \quad [2.9]$$

Donde:

P_c : Potencia requerida para el motor [W]

F_i : Fuerza resistente al avance [N]

V_{max} : Velocidad máxima [m/s]

Aquí, la velocidad es un factor determinante para determinar la potencia que requiere el motor.

2.10.2. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE HIBRIDACIÓN

Para el dimensionamiento del motor Diésel y el motor eléctrico en autobuses híbridos depende del grado de hibridación. Para determinar el grado de hibridación se hace uso de la siguiente ecuación 2.10:

$$H = \frac{P_{me}}{P_{me} + P_{mc}} \quad [2.10]$$

Donde:

H : Grado de hibridación

P_{me} : Potencia del motor eléctrico [W]

P_{mc} : Potencia del motor de combustión [W]

2.10.3. POTENCIA REQUERIDA PARA EL AUTOBÚS ELÉCTRICO

Para determinar la potencia requerida del motor eléctrico se requiere de la eficiencia energética del motor y de ello depende el peso tamaño del mismo. Para este estudio, “los motores diésel tienen una eficiencia energética del 37 %” (Ramírez Ante, 2018, pág. 2). “En cambio, los motores eléctricos cuentan con una eficiencia del 80 %” (Chuquiana Cunalata,

2014, pág. 40). A continuación, se presenta la ecuación 2.11 que va a permitir obtener dicha potencia.

$$P_{mr} = \frac{P_c}{e} \quad [2.11]$$

Donde:

P_{mr} : Potencia del motor [W]

P_c : Potencia requerida para el motor [W]

E : Eficiencia energética [%]

2.10.4. CÁLCULO DEL TORQUE REQUERIDO POR EL MOTOR

Una vez obtenida la potencia requerida del motor se procede a calcular el torque y para ello se hace uso de la ecuación 2.12. Tomando el valor de 1 000 rpm para determinar la velocidad angular.

$$T = \frac{P_{mr}}{\omega} \quad [2.12]$$

Donde:

T : Torque [N.m]

P_{mr} : Potencia del motor [W]

ω : Velocidad angular [rad/s]

Cabe mencionar, el torque a bajas revoluciones es alto y con el incremento de las revoluciones el torque va disminuyendo.

2.10.5. CAPACIDAD DE ARRANQUE EN PENDIENTE (STARTABILITY)

La capacidad de arranque en pendiente (Startability), es la máxima pendiente sobre la que el autobús híbrido y eléctrico puede arrancar y se satisface si la relación de las primeras

velocidades tiene un valor numéricamente bajo. Los valores obtenidos de esta ecuación están obtenidos en porcentaje. A continuación, la ecuación 2.13 permite obtener el valor de Startability:

$$S = \left(\frac{T_m P_d P_{t1} R_v}{P_{BV}} \times 0,503 \right) - 1,75 \quad [2.13]$$

Donde:

S : Capacidad de arranque [%]

T_m : Torque máximo del motor [Nm]

P_d : Relación de paso del diferencial [-]

P_{t1} : Relación de paso de la primera velocidad [-]

R_v : Revoluciones por kilómetro de la llanta [$\text{min}^{-1}/\text{km}$]

P_{BV} : Peso bruto vehicular [kg]

Cabe mencionar que el resultado obtenido de la capacidad de arranque en pendiente es del motor seleccionado. Por otra parte, para obtener las revoluciones por kilómetro de la llanta ($\text{min}^{-1}/\text{km}$), se procede a utilizar la ecuación 2.14:

$$R_v = \frac{1\,000}{3,14 \times d_r} \quad [2.14]$$

Donde:

R_v : Revoluciones por kilómetro de la llanta [$\text{min}^{-1}/\text{km}$]

d_r : Diámetro de la llanta [m]

En cambio, para obtener la relación de paso del diferencial (-) se hace uso de la ecuación 2.15, dando como resultado un valor adimensional. En donde se requiere la velocidad máxima que va a experimentar el autobús. Para este estudio se toma en cuenta la velocidad máxima de 90 km/h. Aclarando que para la aplicación de la ecuación 2.15 se requiere efectuar el cálculo de la ecuación 2.14 y así se garantiza obtener datos confiables para este trabajo de titulación.

$$P_d = \frac{RPM \times 60}{V_{max} \times R_v} \quad [2.15]$$

Donde:

P_d : Relación de paso del diferencial [-]

RPM : Revoluciones por minuto [min^{-1}]

V_{max} : Velocidad máxima [km/h]

R_v : Revoluciones por kilómetro de la llanta [$\text{min}^{-1}/\text{km}$]

2.10.6. CAPACIDAD DE ASCENSO EN PENDIENTE (GRADEABILITY)

Capacidad de ascenso del vehículo en pendiente, (Gradeability), define la capacidad de un vehículo para subir una pendiente, por lo tanto, una transmisión mal seleccionada cuando la unidad se encuentra a su máxima capacidad de carga puede provocar que el régimen del motor disminuya al grado de no permitir el avance del vehículo (Samaniego & Silva, 2009, pág. 62). A continuación, se presenta la ecuación 2.16, que permitir obtener los resultados del estudio:

$$G = \frac{37,5 \times P_v}{PBV \times 10^{-3} \times V_a} \quad [2.16]$$

Donde:

G : Capacidad de ascenso en pendiente [%]

P_v : Potencia de reserva [kW]

PBV : Peso bruto vehicular [kg]

V_a : Velocidad aparente [km/h]

2.11. DIMENSIONAMIENTO DEL PAQUETE DE BATERÍAS

El dimensionamiento de las baterías en un autobús híbrido y eléctrico es para determinar el peso del paquete de baterías, número de celdas que van a ser utilizadas y la autonomía que

va a brindar las baterías. De esta manera se pretende determinar las especificaciones técnicas que debe cumplir el paquete de baterías. Cabe mencionar que para el dimensionamiento del paquete de baterías se va a utilizar ciertas fórmulas para calcular la resistencia interna, el voltaje nominal y la intensidad de corriente (Larminie & Lowry, 2003, págs. 38, 56, 57, 62 y 202).

2.11.1. POTENCIA DE LA BATERÍA

Para determinar el tamaño de las baterías se necesita obtener la potencia total del motor más la potencia requerida por los accesorios del autobús híbrido y eléctrico. “Entonces, la potencia añadida por el uso de accesorios es de 43,25 kW” (López, Jiménez, Flores, & Resino, 2011, pág. 186). Dentro de los accesorios contamos con el aire acondicionado, frenos, alumbrado, radio, frenos, dirección y sistema de audio. Para obtener el resultado de la potencia de la batería se hace uso de la ecuación 2.17:

$$P_{bat} = P_{mr} + P_{ac} \quad [2.17]$$

Donde:

P_{bat} : Potencia de la batería [kW]

P_{mr} : Potencia del motor [kW]

P_{ac} : Potencia de accesorios [kW]

La potencia de la batería está relacionada con la potencia del motor eléctrico, peso bruto vehicular del automotor y la autonomía que se requiere.

2.11.2. RESISTENCIA INTERNA

La resistencia interna de las baterías tiende a deducir por el comportamiento de la batería, más no se la puede ver. Cabe mencionar que este valor se lo encuentra en las especificaciones de la celda seleccionada, entonces mediante una ecuación se puede determinar la resistencia

interna del paquete de baterías. A continuación, en la ecuación 2.18 se presentan los términos que se necesitan para lograr obtener este valor mencionado.

$$R_{ib} = \frac{R_{ic}}{C} \times n \quad [2.18]$$

Donde:

R_b : Resistencia interna de la batería [Ω]

R_c : Resistencia interna de la celda [Ω]

C : Capacidad [-]

n : Número de celdas [-]

2.11.3. VOLTAJE DEL CIRCUITO ABIERTO DE LA BATERÍA

El voltaje del circuito abierto de la batería permite determinar el voltaje de la batería, según la variación de voltaje de la celda. El voltaje puede variar por la temperatura de trabajo de la batería. A continuación, se presenta la ecuación 2.19, que permite obtener datos de diferentes voltajes de la batería.

$$E = n \times V_c \quad [2.19]$$

Donde:

E : Voltaje del circuito abierto [V]

n : Número de celdas [-]

V_c : Voltaje de la celda [V]

2.11.4. INTENSIDAD DE CORRIENTE

La intensidad de corriente es la cantidad de corriente que circula en un circuito. Las unidades que se utiliza para la intensidad de corriente son en amperios [A]. Cabe mencionar que la

entrega amperios varía según el tiempo de funcionamiento. A continuación, se presenta la ecuación 2.20 que permite obtener la intensidad de la batería.

$$I = \frac{E - \sqrt{E^2 - 4R_{ib}P_{bat}}}{2R_{ib}} \quad [2.20]$$

Donde:

I : Intensidad de corriente [A]

E : Voltaje del circuito abierto [V]

R_{ib} : Resistencia interna de la batería [Ω]

P_{bat} : Potencia de la batería [W]

2.11.5. VOLTAJE EN LOS TERMINALES DE LA BATERÍA

Mediante el uso de la ecuación 2.21 se logra determinar el voltaje brindado por los terminales de la batería. Dicho voltaje puede variar según la resistencia interna de la batería. Cabe mencionar que las baterías de iones de litio poseen una baja resistencia interna en relación con los otros tipos de baterías que son utilizadas en el campo automotriz.

$$V = E - IR_{ib} \quad [2.21]$$

Donde:

V : Voltaje de los terminales [V]

E : Voltaje del circuito abierto [V]

I : Intensidad de corriente [A]

R_{ib} : Resistencia interna de la batería [Ω]

2.11.6. AUTONOMÍA DEL AUTOBÚS

Mediante la ecuación 2.22 se logra determinar la autonomía del autobús híbrido y eléctrico. Para ello, se requiere la velocidad máxima experimentada por el automotor. “Con la

ecuación 2.22 se especifica la cantidad de kilómetros que va a recorrer el automotor con una carga del 100 %” (Vázquez Peña , Valenzuela Nájera , & Ponce Corral, 2015, pág. 313).

$$A = \frac{C \times V_{max}}{I} \quad [2.22]$$

Donde:

A : Autonomía [km]

C : Capacidad [Ah]

V_{max} : Velocidad máxima [km/h]

I : Intensidad de corriente [A]

Mediante el uso adecuado de esta metodología se determina las características técnicas del motor, relación de transmisión del diferencial, el peso de las baterías y la autonomía del autobús.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS ANÁLISIS DE RESULTADOS

El diagrama de flujo nos permite obtener una forma ordenada del proceso que se ha realizado para obtener los resultados que permitan que los autobuses híbridos y eléctricos que van a ser implementados dentro de la ciudad de Ibarra, que no presenten ningún inconveniente al momento de entrar en circulación.

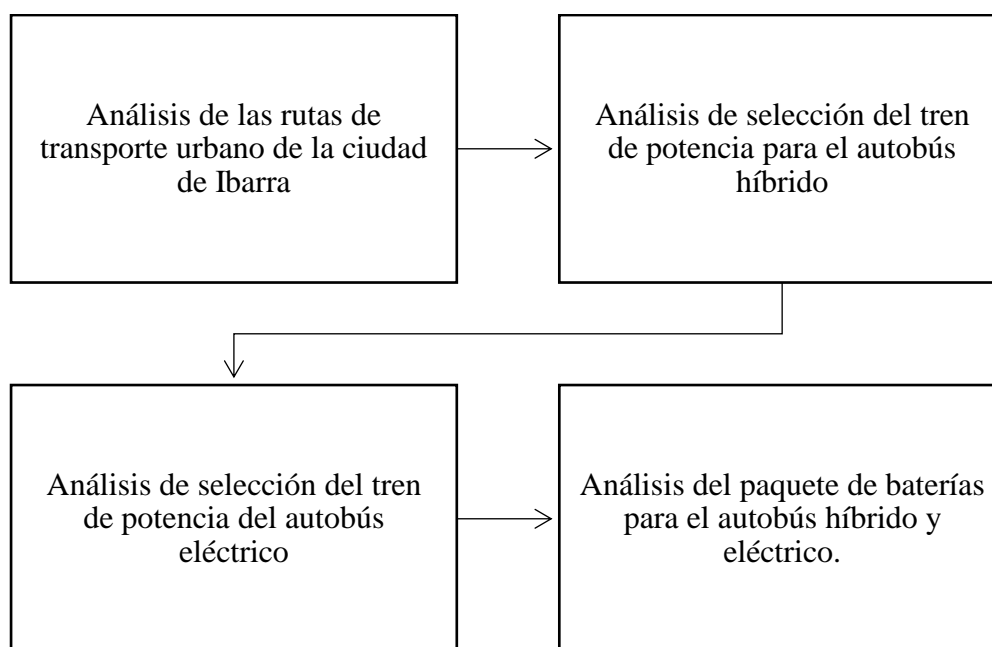


Figura 3.1 Diagrama de flujo de análisis de resultados

Mediante los temas establecidos en la Figura 3.1 se procede a realizar el análisis minucioso de todos los resultados obtenidos en el estudio y para ello se obtuvo datos de distancia, pendiente, tiempo y velocidad. Las fórmulas del capítulo 2 permiten obtener los resultados de las fuerzas que se oponen a la resistencia y de esta manera se logra determinar la potencia que necesita el motor Diésel y el motor eléctrico para movilizar el autobús. Por último, mediante el uso de un cierto número de fórmulas se logra determinar el peso, autonomía, voltaje, resistencia interna y la intensidad de corriente de las baterías. De esta manera, se establece las especificaciones técnicas que requieren los autobuses de transporte urbano para la ciudad.

3.2. ANÁLISIS DE LAS RUTAS DE TRANSPORTE URBANO DE LA CIUDAD DE IBARRA

En la primera parte se realizó un estudio de todas las rutas de transporte urbano y para ello se utilizó dispositivos GPS. Estos dispositivos permitieron obtener datos de distancia, frecuencia, velocidad máxima, altitud mínima, altitud máxima y tiempo de recorrido por vuelta. Logrando determinar que ciertas rutas de la ciudad han cambiado su trayectoria y distancia.

3.2.1. DISTANCIA RECORRIDA POR RUTA

La distancia de las rutas con el pasar del tiempo han cambiado y esto es producto de trabajos viales que ya no permiten la circulación del transporte urbano en cierta dirección. Del mismo modo, durante la jornada laboral los autobuses suelen cambiar de ruta por el motivo de trabajos viales y de esta manera se alarga la distancia de recorrido de la ruta.

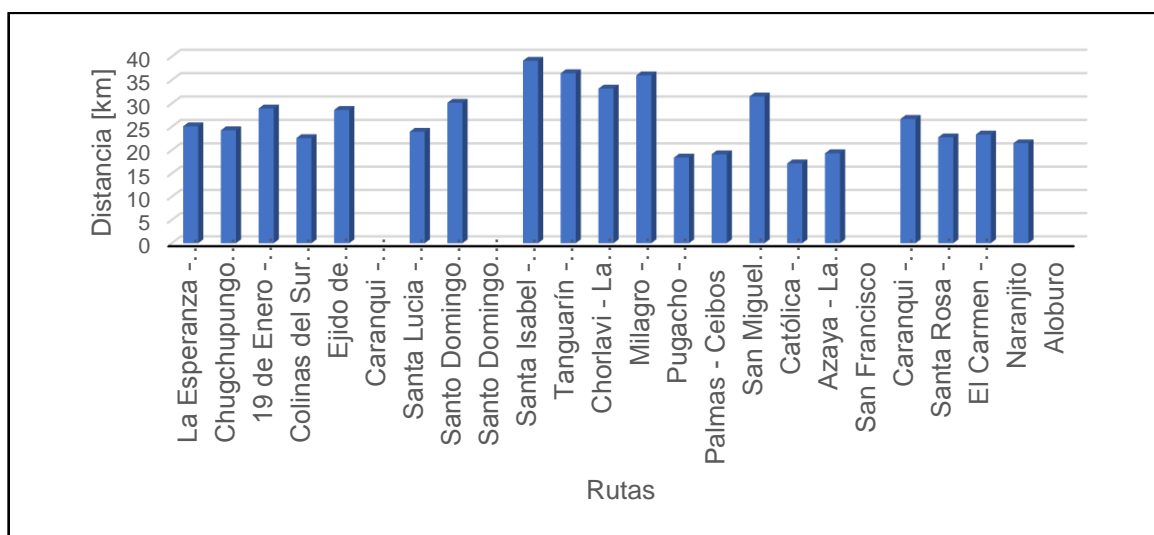


Figura 3.2 Distancia de las rutas de transporte urbano

En la Figura 3.2 se presentan 24 rutas de transporte urbano con su respectiva distancia de recorrido, pero solo 20 de ellas fueron utilizadas para nuestro estudio. La ruta Caranqui – Universidades no funciona de una manera eficiente debido a su baja tasa ocupacional, en cambio la ruta Aloburo solo es ejecutado en turnos. Mientras que las rutas Santo Domingo

(Por la florida) – Universidades y San Francisco han dejado de estar en funcionamiento debido a su baja tasa ocupacional. En este estudio se necesita determinar la distancia máxima. Dando como resultado una distancia de 39,10 km en la ruta Santa Isabel – Huertos Familiares, la cual es ejecutada por ambas cooperativas. Con este resultado se puede realizar el cálculo de la autonomía para el autobús híbrido y eléctrico.

3.2.2. TIEMPO DE RECORRIDO POR RUTA

El tiempo para recorrer una ruta depende de varios factores y algunos de ellos pueden ser los centros de atracción, flujo vehicular, velocidad del automotor y entre otros factores que influyen para el tiempo de llegada.

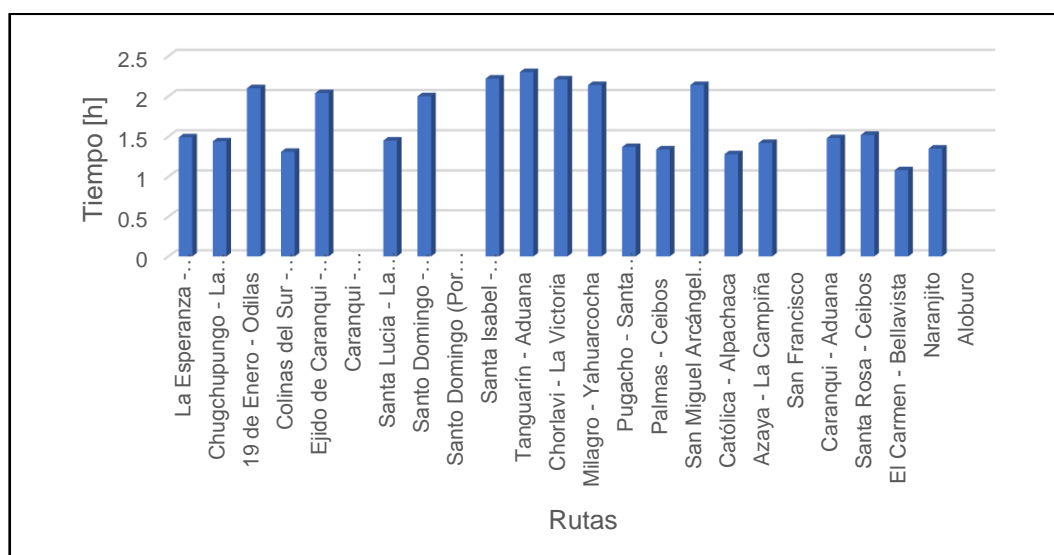


Figura 3.3 Tiempo de recorrido por ruta

En la Figura 3.3 se presenta el tiempo de recorrido que experimenta cada ruta al momento de dar una vuelta de su jornada laboral. Mediante el estudio se logra determinar que la ruta Tanguarín – Aduana de la Cooperativa 28 de Septiembre cuenta con el mayor tiempo de circulación que es equivalente a 2 horas con 30 minutos, y esto no concuerda con la ruta de máxima distancia Santa Isabel – Huertos familiares. Concluyendo que los centros de atracción influyen al momento de brindar servicio de transporte en ciertas rutas y esto representa tiempos largos de viaje.

3.2.3. VELOCIDAD MÁXIMA EXPERIMENTADA POR RUTA

La velocidad máxima es un factor que influye para la resistencia a la rodadura, relación de paso del diferencial, potencia del motor eléctrico y diésel. La velocidad cambia según la zona por donde va circular y de los tiempos que están establecidos dentro de las cooperativas.

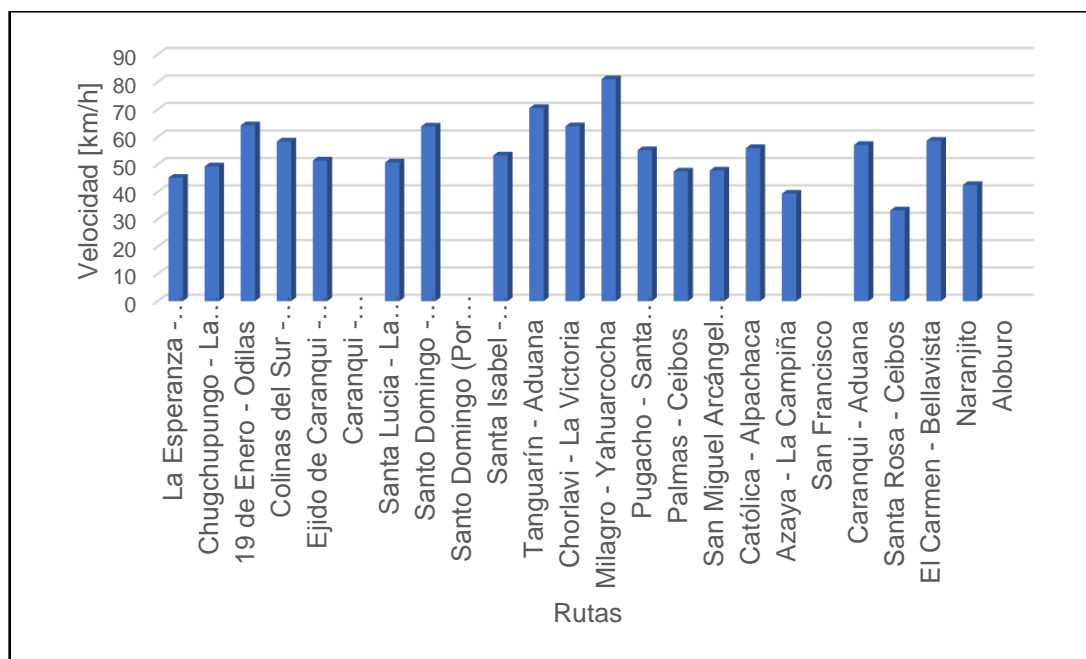


Figura 3.4 Velocidad máxima experimentada por el transporte urbano de Ibarra

En la Figura 3.4 se presentan los resultados obtenidos de la investigación, en donde se puede apreciar que la velocidad máxima que experimenta el autobús urbano es de 81,01 km/h en la ruta Milagro – Yahuarcocha. Dicha ruta es ejecutada por la Cooperativa 28 de Septiembre. Pero, para seleccionar la velocidad máxima se eligió el valor de 90 km/h, siendo la velocidad máxima permitida en carretera. De esta manera se pretende que el autobús híbrido y eléctrico no exceda los límites de velocidad establecidos por la Agencia Nacional de Tránsito (ANT).

3.2.4. PENDIENTE MÁXIMA POR RUTA

La pendiente es un factor primordial para el dimensionamiento de la potencia del motor eléctrico. Determinando que a mayor grado inclinación se requiere mayor potencia en el motor. Para calcular la pendiente se debe recolectar datos en cielo abierto, para luego aplicar

la fórmula 2.1 y para ello la ruta se divide en tramos de 100 m. De esta manera, se pretende obtener resultados confiables para el estudio.

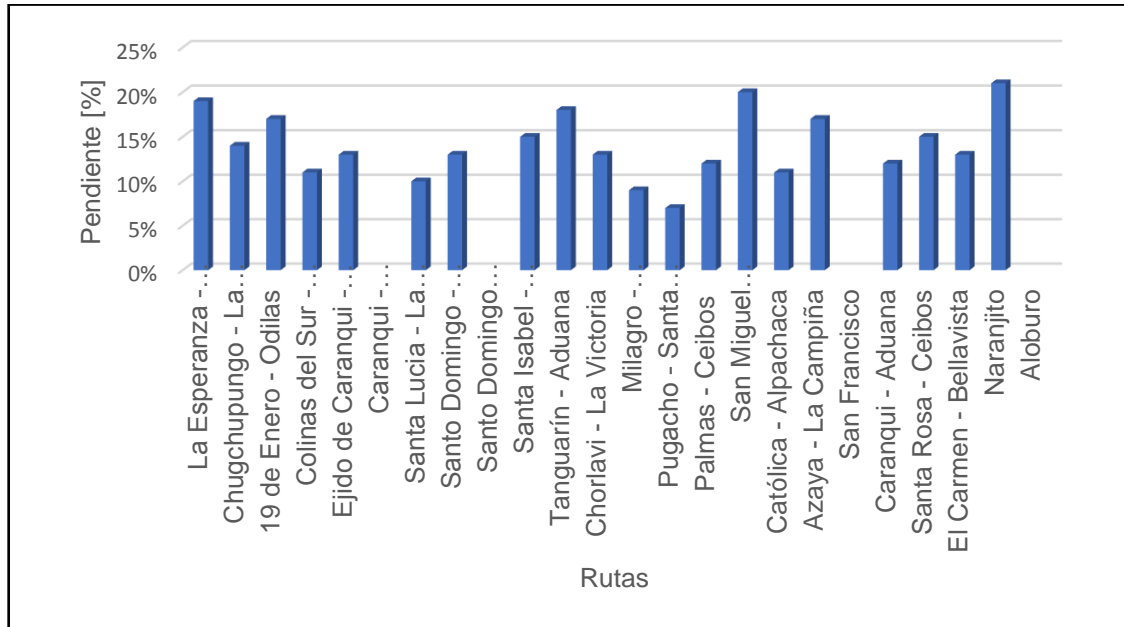


Figura 3.5 Pendiente máxima experimental por ruta

En la Figura 3.5 se presenta la pendiente máxima que experimenta cada ruta. Por parte de la Cooperativa San Miguel de Ibarra, la ruta La Esperanza – Hospital del Seguro cuenta con una pendiente del 19 %. En cambio, la ruta de la Cooperativa 28 de Septiembre El Naranjito cuenta con una pendiente máxima del 21 %.

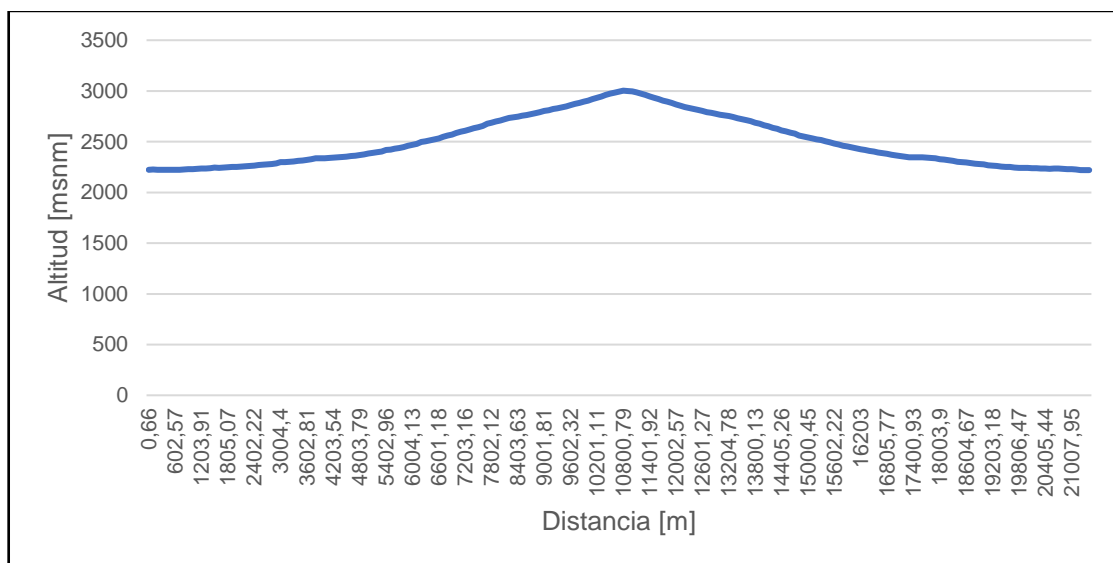


Figura 3.6 Perfil de altura de la ruta El Naranjito

En la Figura 3.6 se presenta el perfil de altura de la ruta El Naranjito. Aquí se puede apreciar el cambio de altura que está comprendido entre los (2 220 – 3 005) msnm en una distancia de recorrido de 21,47 km. Además, se puede concluir que es la ruta que cubre la altura más alta en metros sobre el nivel del mar. Para finalizar, se puede mencionar que la ruta con la pendiente mínima es del 7 % en la ruta Pugacho – Santa Teresita.

3.3. ANÁLISIS DE LA SELECCIÓN DEL TREN DE POTENCIA PARA EL AUTOBÚS HÍBRIDO

Para la selección del tren de potencia se debe realizar cálculos de la resistencia a la rodadura, resistencia gravitatoria, resistencia aerodinámica, resistencia por aceleración, resistencia total, cálculo de la potencia, selección de motor, grado de hibridación, cálculo del torque, capacidad de arranque en pendiente (Startability) y Capacidad de ascenso en pendiente (Gradeability). Mediante la aplicación de la metodología adecuada se pretende obtener datos confiables para la investigación. Para la adquisición de ciertos valores se requiere buscar en fuentes fiables, para ello se hace uso de herramientas de investigación como: Librería Génesis, ScienceDirect y E-Book. A continuación, se detallará los resultados que se obtuvo y los factores que determinan la variación de todas las fuerzas.

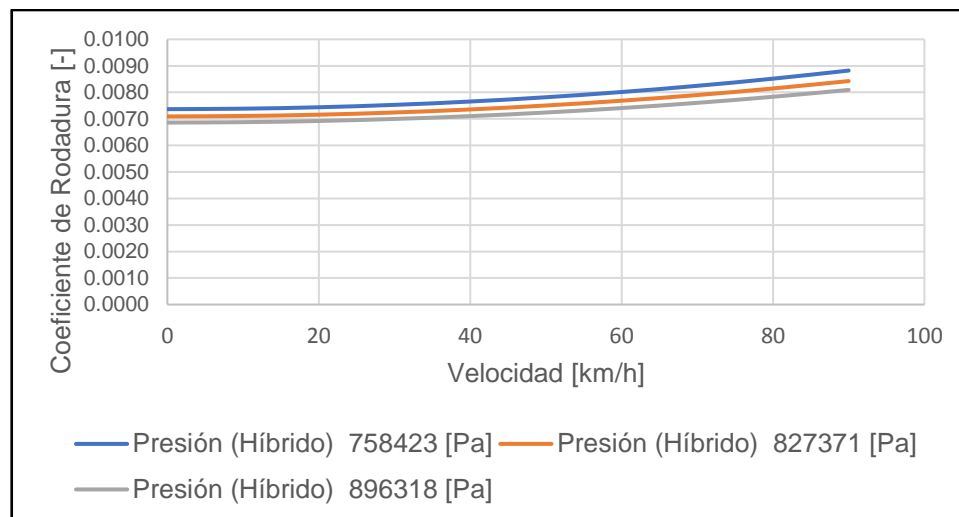
3.3.1. ANÁLISIS DEL COEFICIENTE Y RESISTENCIA A LA RODADURA

El coeficiente de rodadura aumenta por las siguientes razones: aumento de velocidad, incremento del peso bruto vehicular y cuando la presión de los neumáticos es baja. Dentro de la Tabla 3.1 se presentan los resultados del coeficiente de rodadura a diferentes velocidades, en donde se puede apreciar el cambio ocasionado por los factores mencionados. Para la ecuación 2.3 se hace uso el valor de 0,8 para k, siendo el valor utilizado para neumáticos radiales. En donde, la presión utilizada es de 896 318 Pa y así se obtiene resultados desde 0,0069 hasta 0,0081. Para finalizar, la velocidad utilizada es en m/s y para ello se hace uso del factor de conversión de 0,28.

Tabla 3.1 Coeficiente de rodadura a diferentes velocidades y presiones de inflado

Autobús	Presión (Híbrido)		
Velocidad [km/h]	758423 [Pa]	827371 [Pa]	896318 [Pa]
0	0,0074	0,0071	0,0069
10	0,0074	0,0071	0,0069
20	0,0074	0,0072	0,0069
30	0,0075	0,0072	0,0070
40	0,0077	0,0074	0,0071
50	0,0078	0,0075	0,0072
60	0,0080	0,0077	0,0074
70	0,0082	0,0079	0,0076
80	0,0085	0,0081	0,0078
90	0,0088	0,0084	0,0081

Para concluir, el valor de coeficiente que se va a utilizar para el estudio es de 0,0069 para la máxima velocidad de 20 km/h y para una presión de inflado de 896 318 Pa, siendo la reglamentaria para este tipo de neumático.

**Figura 3.7** Variación del coeficiente de rodadura a diferente velocidad y presión de inflado

En la Figura 3.7 se presenta la variación del coeficiente de rodadura. De esta manera se pretende obtener un mejor entendimiento acerca del fenómeno que produce la presión de inflado y la velocidad.

A continuación, en la Tabla 3.2 se presenta la resistencia a la rodadura del autobús híbrido en diferentes velocidades. Tomando el valor de 1 184,49 N para vencer la resistencia a la rodadura a 20 km/h en las condiciones más precarias

Tabla 3.2 Resistencia a la Rodadura a diferentes velocidades

Autobús	Híbrido			
velocidad [km/h]	Coefficiente [896 318 Pa]	Masa [kg]	Gravedad [m/s²]	R. Rodadura [N]
0	0,0069	17 460	9,8	1 174,09
10	0,0069	17 460	9,8	1 176,69
20	0,0069	17 460	9,8	1 184,49
30	0,0070	17 460	9,8	1 197,49
40	0,0071	17 460	9,8	1 215,70
50	0,0072	17 460	9,8	1 239,10
60	0,0074	17 460	9,8	1 267,70
70	0,0076	17 460	9,8	1 301,50
80	0,0078	17 460	9,8	1 340,50
90	0,0081	17 460	9,8	1 384,70

En la siguiente Tabla 3.3 se presenta los valores de la potencia a diferentes velocidades requeridos para vencer la resistencia a la rodadura. Aquí, la potencia necesaria para vencer la resistencia a la rodadura es de 6,58 kW para movilizarse a una velocidad de 20 km/h.

Tabla 3.3 Potencia para vencer la resistencia a la rodadura a diferentes velocidades

Autobús	Híbrido	
Velocidad [km/h]	R. Rodadura [N]	P. Rodadura [kW]
0	1 174,09	0,00
10	1 176,69	3,27
20	1 184,49	6,58
30	1 197,49	9,98
40	1 215,70	13,51
50	1 239,10	17,21
60	1 267,70	21,13
70	1 301,50	25,31
80	1 340,50	29,79
90	1 384,70	34,62

En conclusión, la resistencia a la rodadura va incrementando con el aumento de la velocidad y del mismo modo la potencia requerida. Además, el peso bruto vehicular del autobús es para 80 personas de 70 kg.

3.3.2. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA GRAVITATORIA

De acuerdo con la Tabla 3.4 donde se presenta la resistencia gravitatoria para diferentes ángulos de inclinación. En donde, la pendiente máxima de nuestro estudio es del 21 %, la cual fue experimentada por unidades de la Cooperativa 28 de Septiembre, en la ruta de El Naranjito. De esta manera, se puede apreciar que a mayor pendiente la resistencia aumenta. Siendo del 21 % la pendiente máxima encontrada en la investigación, generando una fuerza de 35 201,53 N.

Tabla 3.4 Resistencia gravitatoria en relación con la pendiente

Autobús			Híbrido Rg [N]
ϕ [%]	ϕ [rad]	ϕ [°]	
3	0,03	1,72	5 136,17
6	0,06	3,43	10 258,51
9	0,09	5,14	15 353,38
12	0,12	6,84	20 407,50
15	0,15	8,53	25 408,14
18	0,18	10,20	30 343,23
21	0,21	11,86	35 201,53

El porcentaje de las pendientes están seleccionadas en intervalos de 3 para apreciar el aumento de la resistencia gravitatoria. Para calcular estos valores se necesita transformar el porcentaje de la pendiente en grados.

Dentro de la Tabla 3.5 se presenta potencia que se requiere para vencer la resistencia gravitatoria a diferentes velocidades y grados de inclinación. Para este estudio, el valor seleccionado es 195,56 kW, para una velocidad máxima de 20 km/h. Dicha velocidad se experimentó en la ruta del Naranjito con una pendiente del 21 %. En cambio, para movilizar

a una velocidad de 30 km/h sobre la misma pendiente se requiere de 293,35 kW. Obteniendo un incremento de 97,79 kW de potencia.

Tabla 3.5 Potencia para vencer la resistencia gravitatoria a diferente pendiente

Velocidad [km/h]	Pg [kW] con pendiente del 3 %	Pg [kW] con pendiente del 12 %	Pg [kW] con pendiente del 21 %
0	0,00	0,00	0,00
10	14,27	56,69	97,78
20	28,53	113,38	195,56
30	42,80	170,06	293,35
40	57,07	226,75	391,13
50	71,34	283,44	488,91
60	85,60	340,13	586,69
70	99,87	396,81	684,47
80	114,14	453,50	782,26
90	128,40	510,19	880,04

Por último, para circular a mayor velocidad sobre una pendiente del 21 % se requiere mayor inversión al momento de incrementar este tipo de tecnología a las vías. Por esta razón, las especificaciones técnicas están relacionadas con la recolección de datos.

3.3.3. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA AERODINÁMICA

De acuerdo con la Tabla 3.6 donde se presenta la resistencia aerodinámica y la potencia requerida para vencer la resistencia. En donde, para determinar el área frontal del autobús se ha tomado en cuenta el autobús híbrido Volvo 7900, siendo un autobús que se encuentra dentro de los parámetros establecidos en la norma NTE INEN 2205 del 2010. En esta norma se estable todos los requisitos que debe tener los buses de transporte urbano. Por último, se debe aclarar que el coeficiente de resistencia aerodinámica cambia según el tipo de vehículo. Para este estudio, la potencia requerida es de 0,57 kW, siendo la adecuada para vencer la resistencia de 102,62 N, estos resultados son para movilizarse a una velocidad de 20 km/h en una pendiente del 21 %. Para encontrar la resistencia aerodinámica se utilizó el área frontal de 7,76 m², densidad del aire de 1,225 kg/m³ y el coeficiente aerodinámico de 0,7 para autobuses y camiones.

Tabla 3.6 Resistencia y potencia aerodinámica a diferentes velocidades

Velocidad [km/h]	Densidad [Kg/m ³]	Factor [-]	Área [m ²]	Resistencia Rae [N]	Potencia Pae [kW]
0	1,225	0,7	7,76	0,00	0,00
10	1,225	0,7	7,76	25,66	0,07
20	1,225	0,7	7,76	102,62	0,57
30	1,225	0,7	7,76	230,90	1,92
40	1,225	0,7	7,76	410,49	4,56
50	1,225	0,7	7,76	641,39	8,91
60	1,225	0,7	7,76	923,60	15,39
70	1,225	0,7	7,76	1 257,12	24,44
80	1,225	0,7	7,76	1 641,95	36,49
90	1,225	0,7	7,76	2 078,10	51,95

Para concluir, la potencia para vencer la resistencia aerodinámica va incrementado con el aumento de velocidad, pero para este caso de estudio este valor es relativamente bajo. Este fenómeno se produce porque la velocidad máxima experimentada en condiciones extremas es de 20 km/h.

3.3.4. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA POR ACELERACIÓN

La resistencia por aceleración utilizada para este estudio es de 2 758,68 N. Pero dicho valor esta propenso a variar en caso de cambiar la aceleración o el peso bruto vehicular del autobús. La aceleración del autobús permite el cambio de velocidad y el peso bruto vehicular está relacionado con la cantidad de personas que va a transportar dentro de las unidades de transporte urbano.

3.3.5. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA TOTAL

En la Tabla 3.7 se presenta el cálculo de la resistencia total en newton [N] para una pendiente del 0 % y para la pendiente máxima del 21 %. La resistencia total para la pendiente máxima se la ha realizado a distintas velocidades, con el objetivo de dimensionar el tren motriz para

distintas velocidades. Pero, para este estudio la velocidad máxima registra es de 20 km/h, dando como resultado una resistencia total 38 306,26 N.

Tabla 3.7 Resistencia total en plano y en pendiente máxima

Velocidad [km/h]	Rr [N]	Rae [N]	Rg ϕ 21 % [N]	Rla [N]	Pendiente 0 % [N]	Pendiente 21 % [N]
0	1 174,09	0,00	35 201,53	2 758,68	3 932,77	38 201,50
10	1 176,69	25,66	35 201,53	2 758,68	3 961,03	38 227,69
20	1 184,49	102,62	35 201,53	2 758,68	4 045,80	38 306,26
30	1 197,49	230,90	35 201,53	2 758,68	4 187,07	38 437,21
40	1 215,70	410,49	35 201,53	2 758,68	4 384,86	38 620,54
50	1 239,10	641,39	35 201,53	2 758,68	4 639,17	38 856,25
60	1 267,70	923,60	35 201,53	2 758,68	4 949,98	39 144,34
70	1 301,50	1 257,12	35 201,53	2 758,68	5 317,30	39 484,81
80	1 340,50	1 641,95	35 201,53	2 758,68	5 741,14	39 877,66
90	1 384,70	2 078,10	35 201,53	2 758,68	6 221,48	40 322,88

Una vez determinada la resistencia total se procede a realizar el cálculo de la potencia total. En la Tabla 3.8 se presentan los valores de la potencia en [kW] para vencer la resistencia al movimiento individual y total. Los valores obtenidos están relacionados con la variación de la velocidad. Pero, en esta investigación la potencia total requerida es de 212,81 kW para movilizarse a una velocidad de 20 km/h en una pendiente del 21 %. Para movilizarse a mayor velocidad en la pendiente del 21 %.

Tabla 3.8 Potencia requerida a diferentes velocidades y máxima pendiente

Velocidad [km/h]	Pr [kW]	Pae [kW]	Pg ϕ 21 % [kW]	Pla [kW]	P. Pendiente 0 % [kW]	P. Pendiente 21 % [kW]
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	3,27	0,07	97,78	7,66	11,00	106,19
20	6,58	0,57	195,56	15,33	22,48	212,81
30	9,98	1,92	293,35	22,99	34,89	320,31
40	13,51	4,56	391,13	30,65	48,72	429,12
50	17,21	8,91	488,91	38,32	64,43	539,67
60	21,13	15,39	586,69	45,98	82,50	652,41
70	25,31	24,44	684,47	53,64	103,39	767,76
80	29,79	36,49	782,26	61,30	127,58	886,17
90	34,62	51,95	880,04	68,97	155,54	1 008,07

Para finalizar, el dimensionamiento del tren motriz se lo debe realizar para la pendiente máxima y de esta manera se pretende no tener inconvenientes al momento de movilizarse por estas rutas. Con ello se pretende brindar un servicio de calidad para la ciudadanía.

3.3.6. ANÁLISIS DEL GRADO DE HIBRIDACIÓN

Para este estudio se utilizó un grado de hibridación del 40 %, ya que el autobús híbrido volvo 7900 cuenta con este grado de hibridación y de esta manera se pretende que no cambie de manera brusca el peso en vacío del automotor.

En la Tabla 3.9 se presenta los cálculos para determinar el grado de hibridación. En donde, el 60 % de la potencia calculada es generada por el motor eléctrico y el 40 % de la potencia calculada es generada por el motor diésel. Estos cálculos se los realizaron para una eficiencia energética del 80 % para el motor eléctrico y una eficiencia energética del 37 % para el motor diésel. Logrando obtener un grado de hibridación del 41 %, siendo el valor más cercano al 40 %.

Tabla 3.9 Determinación de diferentes grados de hibridación

Porcentaje [%]	P. total [W]	P. Calculada [W]	P. Motor Eléctrico [kW]	P. Calculada [W]	P. Motor Diésel [kW]	Grado de hibridación [%]
20	212 812,57	42 562,51	53,20	170 250,05	460,14	10
30	212 812,57	63 843,77	79,80	148 968,80	402,62	17
40	212 812,57	85 125,03	106,41	127 687,54	345,10	24
50	212 812,57	106 406,28	133,01	106 406,28	287,58	32
60	212 812,57	127 687,54	159,61	85 125,03	230,07	41
70	212 812,57	148 968,80	186,21	63 843,77	172,55	52
80	212 812,57	170 250,05	212,81	42 562,51	115,03	65
90	212 812,57	191 531,31	239,41	21 281,26	57,52	81

En conclusión, el grado de hibridación depende de la potencia brindada por el motor eléctrico y diésel, y del mismo modo esta propenso a cambiar el peso bruto vehicular del autobús.

3.3.7. ANÁLISIS DE LA POTENCIA DEL MOTOR DIÉSEL Y ELÉCTRICO

Dentro de la Tabla 3.10 se presenta los valores de la potencia requerida para el motor diésel y eléctrico, permitiendo movilizar el autobús híbrido a diferentes velocidades con una pendiente del 21 % en plena carga. Determinando que el motor diésel debe tener una potencia de 230,07 kW y el motor eléctrico debe poseer una potencia de 159,61 kW. Además, cabe manifestar que los motores eléctricos desperdician menos cantidad de energía que los motores diésel.

Tabla 3.10 Selección de la potencia de los motores

Velocidad [km/h]	P. Pendiente 21 % [kW]	P. del motor eléctrico Pmr [kW]	P. del motor diésel Pmr [kW]
0	0,00	0,00	0,00
10	106,19	79,64	114,80
20	212,81	159,61	230,07
30	320,31	240,23	346,28
40	429,12	321,84	463,91
50	539,67	404,75	583,43
60	652,41	489,30	705,30
70	767,76	575,82	830,01
80	886,17	664,63	958,02
90	1 008,07	756,05	1 089,81

Finalmente, se muestra la potencia requerida a distintas velocidades para el motor eléctrico y diésel. Esta potencia puede variar según la eficiencia energética que disponga y de esto depende la energía útil para movilizar el tren motriz. Determinando que a mayor eficiencia energética se requiere un motor de menor potencia y viceversa. Con ello, el peso del autobús se puede reducir.

3.3.8. ANÁLISIS DEL TORQUE DEL MOTOR

En la Tabla 3.11 se presenta el torque a diferentes RPM. Por lo tanto, aquí se puede apreciar que a bajas revoluciones se obtiene un torque alto y el torque baja con el incremento de las revoluciones. Generando el máximo torque de 1 524,93 N para el motor eléctrico a 1 000 rpm y 1 373,81 N para el motor diésel a 1 600 rpm. Del mismo modo se puede apreciar que

el régimen de trabajo está comprendido desde 1 000 rpm hasta 3 250 rpm y para una mejor apreciación se presenta los cálculos cada 300 rpm.

Tabla 3.11 Torque del motor a diferentes RPM

Rev. [RPM]	V. angular [rad/s]	T. Eléctrico [Nm]	T. M. Diésel [Nm]	T. total [Nm]
1000	104,67	1 524,93	2198,10	3 723,03
1300	136,07	1 173,02	1690,84	2 863,87
1600	167,47	953,08	1373,81	2 326,89
1900	198,87	802,60	1156,89	1 959,49
2200	230,27	693,15	999,14	1 692,29
2500	261,67	609,97	879,24	1 489,21
2800	293,07	544,62	785,04	1 329,65
3100	324,47	491,91	709,06	1 200,98
3250	340,17	469,21	676,34	1 145,55

Para realizar los respectivos cálculos se precede a establecer un rango de revoluciones que están relacionadas con el régimen de trabajo del motor eléctrico. Determinando que el torque es la fuerza ejercida del motor sobre el eje de transmisión y de esta manera se genera el movimiento de las ruedas. Por ende, el motor seleccionado debe contar con el torque igual o mayor al calculado y así se garantiza el correcto funcionamiento de las unidades dentro de la ciudad de Ibarra.

3.3.9. ANÁLISIS DE LA SELECCIÓN DEL MOTOR DIÉSEL Y ELÉCTRICO

Según los datos obtenidos durante el estudio se ha determinado que el motor eléctrico requiere una potencia de 159,61 kW, torque de 1 524,93 Nm a 1 000 revoluciones por minuto. Para ello se debe buscar motores eléctricos que cumplan con la potencia igual o mayor a la calculada en el estudio.



Figura 3.8 Motor eléctrico SUMO MD HV 1500-3P

Fuente: (Bernatchez, 2016)

El motor eléctrico que satisface los requerimientos establecidos de potencia y torque para el autobús híbrido es el SUMO MD HV1500-3P presentado en la Figura 3.8. Dotado con una potencia de 162 kW, velocidad de operación de (0 a 3 250) rpm y con el torque de 1 590 Nm a 1 000 rpm. Además, trabaja con tensiones que se encuentran de (450 a 750) V.

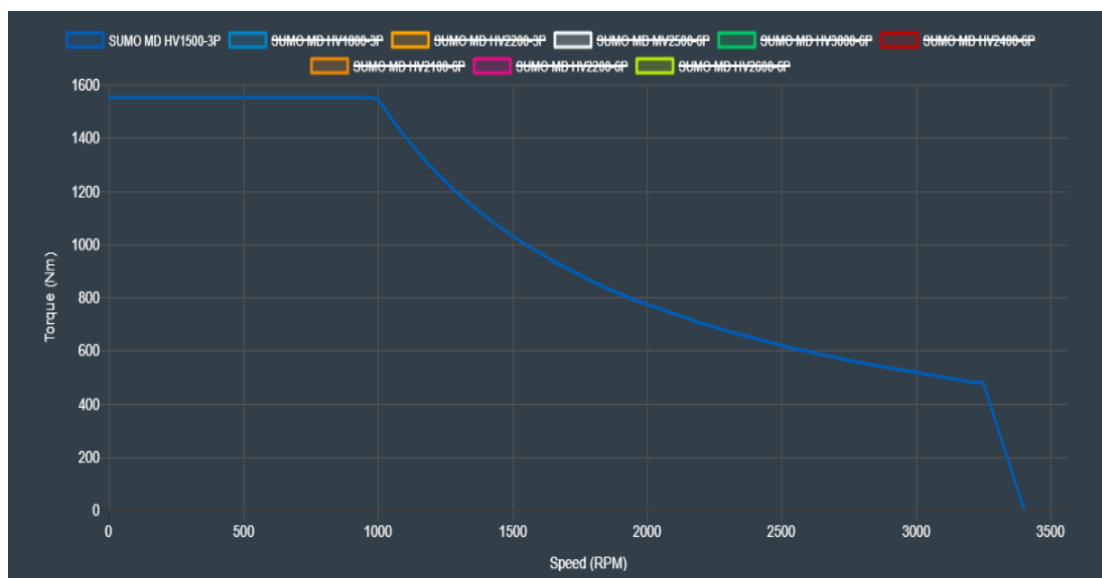


Figura 3.9 Torque de motor SUMO MD HV 1500-3P

Fuente: (Sumo, 2018)

En la Figura 3.9 se presenta la curvatura del torque a distintas RPM. Apreciando que a bajas revoluciones por minuto se obtiene un alto torque, obteniendo torques de 1 590 Nm a 1 000 rpm y 440 Nm a 3 250 rpm.

En cambio, en lo referido al motor diésel, se debe encontrar un motor que cuente con una potencia igual o mayor a 230 251,68 W y debe brindar un torque igual o mayor a 1 374,23 Nm a un rango de 1 600 rpm. Mediante el cumplimiento de estas especificaciones técnicas se pretende que el autobús híbrido y eléctrico funcionen de forma eficiente en la ruta del Naranjito.

3.3.10. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE ARRANQUE EN PENDIENTE (STARTABILITY)

En la Tabla 3.12 se presenta la capacidad de ascenso en pendiente para el autobús híbrido. En donde, la capacidad de arranque en pendiente es del 48 %. Este valor está dentro de los parámetros establecidos en la norma NTE INEN 2205 del 2010. Aquí se indica que la capacidad de arranque en pendiente mínima para autobuses urbanos es del 25 %. A continuación, se puede apreciar el torque máximo de 2 326 Nm, relación de paso del diferencial de 6,53 para la velocidad de 90 km/h, relación de primera de 3:1, revoluciones por kilómetro de la llanta de 331,74 $\text{min}^{-1}/\text{km}$ y el peso bruto vehicular de 17 460 kg, dando el resultado de 43 % de capacidad de arranque en pendiente. Determinando que la capacidad de arranque en pendiente es aceptable en relación con el bus convencional.

Tabla 3.12 Capacidad de arranque en pendiente para el autobús híbrido

Datos	Híbrido	Convencional
Torque máximo del motor [Nm]	2326	667
Relación de paso del diferencial [-]	6,53	7,03
Relación del paso de primera velocidad [-]	3	6,14
Revoluciones por kilómetro de la llanta [$\text{min}^{-1}/\text{km}$]	331,74	331,74
Peso bruto vehicular [kg]	17 460	14 200
Capacidad de arranque en pendiente [%]	43	34

Para finalizar, la relación del paso de primera marcha tiene una variación notable entre el autobús convencional y el autobús híbrido, la cual es por el torque que brinda cada uno de ellos. Entonces, si el torque es alto se requiere de una baja relación de transmisión de primera y en este caso se establece una diferencia de 2 a 1.

3.3.11. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE ASCENSO EN PENDIENTE (GRADEABILITY)

En la Tabla 3.13 se presenta la capacidad de ascenso en pendiente a diferentes velocidades. En donde, con el aumento de la velocidad va disminuyendo la capacidad de ascenso. En este caso, la capacidad de ascenso que se obtendrá a una velocidad 20 km/h es del 42,10 %. Siendo aceptable en relación con el Isuzu FTR que cuenta con una capacidad de ascenso del 55,09 % a 10 km/h

Tabla 3.13 Capacidad de ascenso en pendiente a distintas velocidades

Velocidad [km/h]	Gradeability [%]
10	84,21
20	42,10
30	28,07
40	21,05
50	16,84
60	14,03
70	12,03
80	10,53
90	9,36

En la siguiente gráfica se muestra la capacidad de ascenso en pendiente a diferentes velocidades.

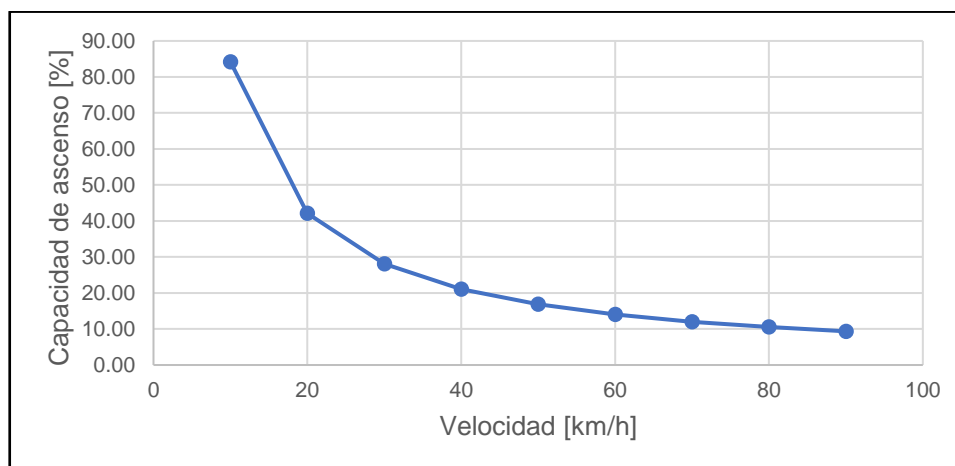


Figura 3.10 Capacidad de ascenso en pendiente

En la Figura 3.10 se muestra el cambio de la capacidad de ascenso cada 10 km/h. Obteniendo capacidades de ascenso del 84,2 % a 10 km/h y del 9,36 % a 90 km/h. Por tanto, los valores encontrados están dentro de los límites establecidos por el Chevrolet Isuzu FTR y así obtener resultados alentadores para el estudio.

3.3.12. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL AUTOBÚS HÍBRIDO

El dimensionamiento del tren motriz para el autobús híbrido es necesario establecer un tipo de autobús y para ello se ha seleccionado el Volvo 7 900 Híbrido, que tiene las siguientes dimensiones y características: 12 m de largo, 2,55 m de ancho, 3,28 m de altura, 11 860 kg de peso en vacío y 17 460 kg de peso bruto vehicular, obteniendo una capacidad de carga de 80 pasajeros de 70 kg. Además, este autobús va a utilizar neumáticos 275/70R22.5 para una capacidad de carga máxima de 3 150 kg por neumático. Una vez, ya establecidos los parámetros del autobús, iniciar con los cálculos respectivos de resistencia a la rodadura, resistencia aerodinámica, resistencia gravitatoria y resistencia por aceleración.

Mediante la suma de estas resistencias se puede determinar la potencia del motor eléctrico es equivalente a 162 kW y torque de 1 590 Nm a 1 000 rpm. En cambio, la potencia del motor diésel es de 230,25 kW, torque de 1 372,23 Nm a 1 600 rpm. La potencia calculada de los dos motores es para vencer movilizarse a 20 km/h en una pendiente del 21 %. Mediante el funcionamiento de los 2 motores se obtiene capacidad de arranque en pendiente del 43 % y capacidad de ascenso en pendiente del 84,21 % a 10 km/h. En lo relacionado a la transmisión se requiere 6,53 de relación del diferencial y una relación de primera marcha de 3:1. Gracias al torque elevado que puede brindar el motor eléctrico se requiere de bajas relaciones de transmisión para primera marcha.

Para finalizar, la aplicación correcta de la metodología permite obtener buenos resultados para el dimensionamiento del tren motriz. Además, el autobús que va a implementar debe contar con características similares a la establecidas en este estudio, de lo contrario se requiere realizar otro estudio que ayuden a elegir la potencia necesaria.

Para un mejor entendimiento se presenta la Tabla 3.14 con las especificaciones técnicas que requiere la transmisión, el motor diésel, el motor eléctrico y sus respectivas dimensiones y pesos.

Tabla 3.14 Especificaciones técnica del autobús híbrido

Pesos y Dimensiones	
Altura [m]	3,28
Ancho [m]	2,55
Largo [m]	12
Peso en vacío [kg]	11 860
Peso bruto vehicular [kg]	17 460
Motor eléctrico	
Tipo	DC
Potencia máx. [kW]	162
Torque máx. [Nm]	1 590
Starbality [%]	43
Gradeability [%]	84,21
Neumáticos	275/70R22.5
Motor Diésel	
Potencia máx. [kW]	230,25
Torque máx. [Nm]	1 374,23
RPM [min ⁻¹]	1 600
Transmisión	
Relación del diferencial	6,53
Relación de primera	3

Mediante una tabla se facilita demostrar los datos obtenidos del estudio. Logrando determinar que la velocidad es una variable que se encuentra en relación con la potencia requerida para el motor. Esta tabla, permite a los accionistas de ambas cooperativas disponer del conocimiento previo para la adquisición de este tipo de tecnología.

3.3.13. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MICROBÚS HÍBRIDO

Para brindar el servicio de transporte urbano, en ciertas ciudades se implementan microbuses que se caracterizan por llevar máximo 59 personas. Siendo una buena opción para implementar en las zonas con baja tasa ocupacional. A continuación, se presenta las características técnicas para un microbús híbrido con las siguientes dimensiones: 10 m de largo, 2,40 m de ancho, 3,28 m de altura, 10 000 kg de peso en vacío y 14 130 kg de peso

bruto vehicular. Mediante la aplicación de fórmulas se determina la potencia del motor eléctrico es equivalente a 130 kW y torque de 1 235 Nm a 1 000 rpm. En cambio, la potencia del motor diésel es de 186,33 kW, torque de 1 113 Nm a 1 600 rpm. Mediante el funcionamiento de los 2 motores se obtiene capacidad de arranque en pendiente del 43 % y capacidad de ascenso en pendiente del 83,76 % a 10 km/h. En lo relacionado a la transmisión se requiere 5,92 de relación del diferencial y una relación de primera marcha de 3:1.

Para un mejor entendimiento se presenta la Tabla 3.15 con las especificaciones técnicas como: el motor eléctrico, el motor diésel, transmisión, dimensiones y pesos que debe disponer el microbús híbrido.

Tabla 3.15 Especificaciones técnica del microbús híbrido

Pesos y Dimensiones	
Altura [m]	3,28
Ancho [m]	2,40
Largo [m]	10
Peso en vacío [kg]	10 000
Peso bruto vehicular [kg]	14 130
Motor eléctrico	
Tipo	DC
Potencia máx. [kW]	130
Torque máx. [Nm]	1 235
Starbality [%]	43
Gradeability [%]	83,76
Neumáticos	265/70R19.5
Motor Diésel	
Potencia máx. [kW]	186,33
Torque máx. [Nm]	1 113
RPM [min ⁻¹]	1 600
Transmisión	
Relación del diferencial	5,92
Relación de primera	3

En conclusión, los microbuses híbridos son una buena opción para implementarlos en rutas que cuentan con baja tasa ocupacional y de esta manera brindar servicio a toda la sociedad. Esto conlleva a tener una mejor rentabilidad para los propietarios del transporte urbano, siendo menor el valor de adquisición para este tipo de unidades y por ende representa menos

costos de mantenimiento de las unidades. Para implementar microbuses en rutas con alta tasa ocupacional, se puede incrementar la frecuencia y de esta manera suplir la demanda del servicio de transporte urbano en la ruta.

3.4. ANÁLISIS DE LA SELECCIÓN DEL TREN DE POTENCIA DEL AUTOBÚS ELÉCTRICO

Para la selección del tren de potencia realizar cálculos de la resistencia a la rodadura, resistencia gravitatoria, resistencia aerodinámica, resistencia por aceleración, resistencia total, cálculo de la potencia, selección de motor, cálculo del torque, capacidad de arranque en pendiente (Startability) y Capacidad de ascenso en pendiente (Gradeability). Todo lo mencionado se describe a continuación, dando a conocer los resultados que se obtuvo y de que depende la variación de estos. Logrando adquirir resultados fiables y así permitir que los propietarios cuenten con unidades que se desempeñen eficientemente dentro de la ciudad de Ibarra.

3.4.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA RODADURA

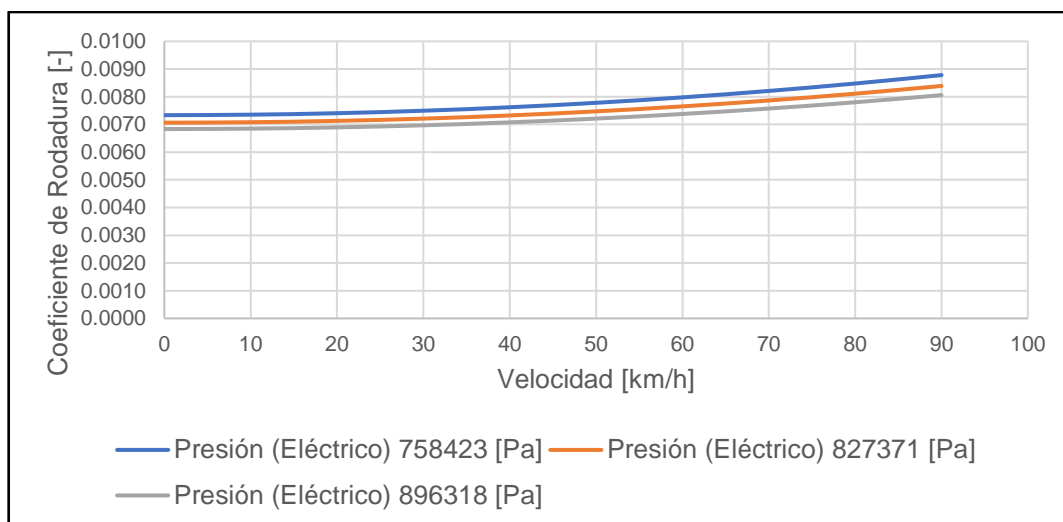
El coeficiente de rodadura aumenta por las siguientes razones: aumento de velocidad, incremento del peso bruto vehicular y cuando la presión de los neumáticos es baja. Dentro de la Tabla 3.16 se presentan los resultados del coeficiente de rodadura a diferentes velocidades, en donde se puede apreciar el cambio ocasionado por los factores mencionados. Para la ecuación 2.3 se hace uso el valor de 0,8 para k , siendo el valor utilizado para neumáticos radiales. En donde, la presión utilizada es de 896 318 Pa y así se obtiene resultados desde 0,0068 hasta 0,0081. Para finalizar, la velocidad utilizada es en m/s y para ello se hace uso del factor de conversión de 0,28, en donde se ha trabajado con velocidades de (0 a 90) km/h.

Mediante el análisis de todas estas variables, se logra determinar el valor máximo del coeficiente a la rodadura de 0,0068 para una velocidad de 20 km/h, en una pendiente máxima del 21 %

Tabla 3.16 Coeficiente de rodadura a diferentes velocidades y presiones de inflado

Autobús	Presión (Eléctrico)		
	758 423 [Pa]	827 371 [Pa]	896 318 [Pa]
Velocidad [km/h]			
0	0,0073	0,0071	0,0068
10	0,0074	0,0071	0,0068
20	0,0074	0,0071	0,0069
30	0,0075	0,0072	0,0070
40	0,0076	0,0073	0,0071
50	0,0078	0,0075	0,0072
60	0,0080	0,0077	0,0074
70	0,0082	0,0079	0,0076
80	0,0085	0,0081	0,0078
90	0,0088	0,0084	0,0081

En la siguiente gráfica se presenta las curvaturas de la resistencia a la rodadura, en donde el valor de coeficiente que se va a utilizar para el estudio es de 0,0069 para la máxima velocidad de 20 km/h y para una presión de inflado de 896 318 Pa.

**Figura 3.11** Variación del coeficiente de rodadura a diferente velocidad y presión de inflado

En la Figura 3.11 se puede determinar que el coeficiente de resistencia a la rodadura es mayor cuando: la velocidad va aumentando, cuando aumenta la fuerza ejercida sobre las ruedas y cuando la presión de inflado va bajando. Por esta razón, en ocasiones los neumáticos tienen un desgaste prematuro y esto significa menor vida útil del mismo, representando mayores costos de mantenimiento para el propietario.

La resistencia a la rodadura que será calculada para la máxima carga de 17 250 kg, se muestra en la Tabla 3.17. En donde, la resistencia está calculada para superficies duras, dando como resultado 1 165,53 N de resistencia a una velocidad de 20 km/h.

Tabla 3.17 Resistencia a la rodadura a diferentes velocidades

Autobús	Eléctrico			
velocidad [km/h]	Coefficiente 896 318 [Pa]	Masa [kg]	Gravedad [m/s²]	R. Rodadura [N]
0	0,0068	17 250	9,8	1 155,31
10	0,0068	17 250	9,8	1 157,87
20	0,0069	17 250	9,8	1 165,53
30	0,0070	17 250	9,8	1 178,29
40	0,0071	17 250	9,8	1 196,17
50	0,0072	17 250	9,8	1 219,15
60	0,0074	17 250	9,8	1 247,24
70	0,0076	17 250	9,8	1 280,43
80	0,0078	17 250	9,8	1 318,73
90	0,0081	17 250	9,8	1 362,14

A continuación, en la tabla 3.18 se presentan los valores de la potencia a diferentes velocidades. Para este caso de estudio, la potencia requerida es de 6,48 kW para circular en una pendiente del 21 % a velocidad de 20 km/h.

Tabla 3.18 Potencia para vencer la resistencia a la rodadura a diferentes velocidades

Autobús	Eléctrico	
Velocidad [km/h]	R. Rodadura [N]	P. Rodadura [kW]
0	1 155,31	0,00
10	1 157,87	3,22
20	1 165,53	6,48
30	1 178,29	9,82
40	1 196,17	13,29
50	1 219,15	16,93
60	1 247,24	20,79
70	1 280,43	24,90
80	1 318,73	29,31
90	1 362,14	34,05

Determinando que la potencia requerida va aumentando con el aumento de la velocidad y esto representa mayor costo de inversión para la adquisición de las unidades híbridas y eléctricas. Por esta razón, es necesario realizar un previo estudio al momento de realizar la implementación de cualquier tipo de tecnología.

3.4.2. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA GRAVITATORIA

A continuación, en la Tabla 3.19 se presenta la resistencia gravitatoria para el autobús eléctrico en plena carga y a diferentes ángulos de inclinación. Tomando el valor de la pendiente del 21 % para este estudio. Mediante este análisis, el valor de resistencia gravitatoria es de 34 778,14 N. Para realizar el cálculo de una forma eficiente se procede a cambiar el porcentaje de la pendiente a grados de inclinación. Para llevar a cabo este propósito de cambiar el porcentaje a grados se procede a utilizar la ecuación 2.4.

Tabla 3.19 Resistencia gravitatoria a diferentes pendientes

Autobús			Eléctrico Rg [N]
ϕ [%]	ϕ [rad]	ϕ [°]	
3	0,03	1,72	5074,39
6	0,06	3,43	10 135,12
9	0,09	5,14	15 168,72
12	0,12	6,84	20 162,05
15	0,15	8,53	25 102,54
18	0,18	10,20	29 978,27
21	0,21	11,86	34 778,14

Para la determinación de la potencia gravitatoria se debe multiplicar la resistencia gravitatoria por la velocidad. Para demostrar la variación de la potencia se ha procedido a seleccionar 3 pendientes diferentes de (3, 12 y 21) %, la cuales están sometidas a la máxima carga. A continuación, en la Tabla 3.20 se presenta los resultados, obteniendo 193,21 kW de potencia para una pendiente del 21 % a 20 km/h. Dicha potencia esta propensa a cambia con el aumento de velocidad

Tabla 3.20 Potencia para vencer la resistencia gravitatoria

Eléctrico			
Velocidad [km/h]	Pg [kW] con pendiente del 3 %	Pg [kW] con pendiente del 12 %	Pg [kW] con pendiente del 21 %
0	0	0	0
10	14,10	56,01	96,61
20	28,19	112,01	193,21
30	42,29	168,02	289,82
40	56,38	224,02	386,42
50	70,48	280,03	483,03
60	84,57	336,03	579,64
70	98,67	392,04	676,24
80	112,76	448,05	772,85
90	126,86	504,05	869,45

Para resumir, la potencia incrementa al momento de viajar a 30 km/h en una pendiente del 21 %, dando como resultado 289,82 kW de potencia y así sucesivamente si se desea que automotor desarrolle mayor velocidad en las pendientes. Se establece que la potencia más importante en el dimensionamiento del tren motriz es la requerida para vencer la resistencia gravitatoria y para ello se requiere realizar mediciones cada 100 metros de recorrido, logrando determinar la máxima pendiente.

3.4.3. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA AERODINÁMICA

En la Tabla 3.21 se presenta los valores de la resistencia y potencia aerodinámica. Para obtener el dato de la resistencia se ha empleado el valor de 0.7 para el coeficiente aerodinámico, 1,225 kg/g³ para la densidad de aire, 7,76 m² de área frontal y para una variación de velocidad de (0 a 90) km/h. Obteniendo resistencias de (0 a 2 078,10) N y potencias de (0 a 51,95) kW. Entonces, para determinar el área frontal del autobús se ha tomado en cuenta el autobús eléctrico Volvo 7 900, el cual se encuentra dentro de los parámetros establecidos en la norma NTE INEN 2205 del 2010. Para este estudio, el valor que será tomado en cuenta para la resistencia aerodinámica es de 102,62 N y para vencer esta resistencia se requiere de 0,57 kW de potencia, siendo los valores que requieren para

movilizarse a 20 km/h en una pendiente del 21 %. Cabe mencionar que el aumento de potencia es notable al momento de pretender subir la misma pendiente a 30 km/h se requiere de 1,92 kW de potencia.

Tabla 3.21 Resistencia y potencia aerodinámica a diferentes velocidades

Velocidad [km/h]	Densidad [Kg/m ³]	Factor [-]	Área [m ²]	Resistencia Rae [N]	Potencia Pae [kW]
0	1,225	0,7	7,76	0,00	0,00
10	1,225	0,7	7,76	25,66	0,07
20	1,225	0,7	7,76	102,62	0,57
30	1,225	0,7	7,76	230,90	1,92
40	1,225	0,7	7,76	410,49	4,56
50	1,225	0,7	7,76	641,39	8,91
60	1,225	0,7	7,76	923,60	15,39
70	1,225	0,7	7,76	1 257,12	24,44
80	1,225	0,7	7,76	1 641,95	36,49
90	1,225	0,7	7,76	2 078,10	51,95

Por último, el factor aerodinámico seleccionado es para las condiciones más precarias, dando como resultado 0,7 para autobuses y camiones. Pero, en cierto modo este valor puede cambiar según el tipo de carrocería. Dicha resistencia va aumentando con el incremento de la velocidad y por ende se requiere de mayor potencia para movilizar el autobús. Para este cálculo se requiere tomar en cuenta la velocidad ejercida por el viento, la cual puede ser a favor o en contra del movimiento del autobús.

3.4.4. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA POR ACELERACIÓN

Para calcular la resistencia por aceleración de autobús eléctrico se procede a multiplicar el peso bruto vehicular por la aceleración promedio. Ahora bien, el valor a tomar en cuenta para este estudio es la resistencia de 2 725,5 N. Cabe mencionar que la aceleración del autobús permite el cambio de velocidad y el peso bruto vehicular está relacionado con la cantidad de personas que va a transportar dentro de las unidades de transporte urbano.

3.4.5. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA TOTAL

De acuerdo con la Tabla 3.22 los resultados obtenidos de las resistencias al movimiento para un autobús eléctrico cambian, según el grado de inclinación. Las resistencias que se han tomado en cuenta son: la resistencia a la rodadura, resistencia gravitatoria, resistencia aerodinámica, resistencia por aceleración, resistencia en plano y la resistencia con la máxima pendiente, pero a distintas velocidades. Todas las unidades de medida para la resistencia al movimiento son en Newton [N]. La resistencia total elegida es de 37 845,80 N, generándose en una pendiente del 21 % para una velocidad de 20 km/h. Pero, la variación es notable para circular en plano a la misma velocidad, dando como resultado 3 993,65 N de resistencia total.

Tabla 3.22 Resistencia total a diferentes velocidades y pendiente máxima

Velocidad [km/h]	Rr [N]	Rae [N]	Rg ϕ 21 % [N]	Rla [N]	Pendiente 0 % [N]	Pendiente 21 % [N]
0	1 155,31	0,00	34 778,14	2 725,50	3 880,81	37 741,08
10	1 157,87	25,66	34 778,14	2 725,50	3 909,02	37 767,26
20	1 165,53	102,62	34 778,14	2 725,50	3 993,65	37 845,80
30	1 178,29	230,90	34 778,14	2 725,50	4 134,69	37 976,70
40	1 196,17	410,49	34 778,14	2 725,50	4 332,16	38 159,96
50	1 219,15	641,39	34 778,14	2 725,50	4 586,04	38 395,58
60	1 247,24	923,60	34 778,14	2 725,50	4 896,33	38 683,57
70	1 280,43	1257,12	34 778,14	2 725,50	5 263,05	39 023,91
80	1 318,73	1641,95	34 778,14	2 725,50	5 686,18	39 416,62
90	1 362,14	2078,10	34 778,14	2 725,50	6 165,74	39 861,68

Para finalizar, la resistencia a la pendiente cuenta con el valor más alto, en relación con las otras resistencias tomadas en cuenta para el dimensionamiento del tren de potencia, por esta razón se recomienda verificar minuciosamente los resultados obtenidos del cálculo de esta fuerza.

En la Tabla 3.23 se presentan los valores de la potencia en [kW]. La potencia resultante es para vencer la resistencia al movimiento individual y total. Los valores obtenidos están relacionados con la variación de la velocidad. Entonces, la potencia total para vencer la resistencia total en una pendiente del 21 % a 20 km/h es de 210,25 kW. Pero, la potencia

requerida para vencer la resistencia total en plano a la misma velocidad es de 22,19 kW, generándose un incremento de potencia de 188,06 kW.

Tabla 3.23 Potencia requerida para iniciar el movimiento a diferentes velocidades

Velocidad [km/h]	Pr [kW]	Pae [kW]	Pg ϕ 21 % [kW]	Pla [kW]	P. Pendiente 0 % [kW]	P. Pendiente 21 % [kW]
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	3,22	0,07	96,61	7,57	10,86	104,91
20	6,48	0,57	193,21	15,14	22,19	210,25
30	9,82	1,92	289,82	22,71	34,46	316,47
40	13,29	4,56	386,42	30,28	48,14	424,00
50	16,93	8,91	483,03	37,85	63,69	533,27
60	20,79	15,39	579,64	45,43	81,61	644,73
70	24,90	24,44	676,24	53,00	102,34	758,80
80	29,31	36,49	772,85	60,57	126,36	875,92
90	34,05	51,95	869,45	68,14	154,14	996,54

Para finalizar, el dimensionamiento del tren motriz se lo debe realizar para la pendiente máxima y de esta manera se pretende no tener inconvenientes al momento de movilizarse por estas rutas. Con ello se pretende brindar un servicio de calidad para movilizar personas de sus hogares a sus trabajos o viceversa. La geometría del terreno en la Sierra del Ecuador es muy variante y esto hace experimentar pendientes pronunciadas, en donde se puede experimentar un cambio de altura de 21 metros en una distancia de 100 metros recorridos y esto genera una pendiente del 21 %.

3.4.6. ANÁLISIS DE LA POTENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO

En la Tabla 3.24 se presenta los valores de la potencia necesaria para que el motor eléctrico pueda movilizar el autobús eléctrico a diferentes velocidades con una pendiente del 21 % en plena carga. Para determinar la potencia del motor eléctrico se ha seleccionado una eficiencia energética del 80 %, significando que solo el 20 % de la energía total es desperdiciada. En cambio, en los motores diésel se desperdicia el 63 % de la energía producida, por esta razón los vehículos eléctricos son la mejor opción para ingresar a las vías de la ciudad y así reducir las enfermedades causadas por la contaminación ambiental. Por lo tanto, para este estudio

se requiere de un motor que disponga de 262,82 kW de potencia y debe movilizarse a 20 km/h en un pendiente de 21 %.

Tabla 3.24 Potencia del motor a diferentes velocidades

Velocidad [km/h]	P. Pendiente 21 % [kW]	Potencia del motor Pmr [kW]
0	0,00	0,00
10	104,91	131,14
20	210,25	262,82
30	316,47	395,59
40	424,00	530,00
50	533,27	666,59
60	644,73	805,91
70	758,80	948,50
80	875,92	1 094,91
90	996,54	1 245,68

Para finalizar, la potencia del motor eléctrico puede disminuir si la eficiencia energética aumenta, siendo beneficioso para reducir el peso del autobús y del mismo modo se reduce el tamaño de las baterías. Entonces, al momento de reducir el tamaño de las baterías significa que va a disminuir la contaminación ambiental, logrando proteger el medio ambiente y mejorando la calidad del aire. De esta manera, las enfermedades respiratorias en los niños serán reducidas.

3.4.7. ANÁLISIS DEL TORQUE DEL MOTOR

De acuerdo con la Tabla 3.25 se presenta el torque a diferentes RPM. Para ello, se procede a transformar las RPM a velocidad angular. A continuación, se manifiesta que el torque máximo del motor eléctrico es de 2 511 Nm a 1 000 rpm y de 717,43 Nm a 3 500 rpm, por lo tanto, al momento de elegir el motor eléctrico para el autobús eléctrico debe cumplir con los datos establecidos con anterioridad. De lo contrario, el autobús no va a funcionar de forma eficiente y esto genera pérdidas para los propietarios de las unidades de transporte urbano.

Tabla 3.25 Torque del motor a diferentes RPM

Rev. [RPM]	V. angular [rad/s]	Torque [Nm]
1 000	104,67	2 511,00
1 300	136,07	1 931,54
1 600	167,47	1 569,38
1 900	198,87	1 321,58
2 200	230,27	1 141,36
2 500	261,67	1 004,40
2 800	293,07	896,79
3 100	324,47	810,00
3 400	355,87	738,53
3 500	366,33	717,43

Los motores eléctricos tienen la capacidad de entregar un alto torque a bajas revoluciones y su mantenimiento es reducido en relación con los motores diésel que requieren cambios de aceite, filtros, bujías de incandescencia y entre otros elementos.

3.4.8. ANÁLISIS DE LA SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO

Una vez, determinado los valores de la potencia y torque requerido se proceden a seleccionar el motor eléctrico adecuado para este tipo de autobús eléctrico. En el mercado existen gran variedad de motores eléctricos, pero para este estudio el motor SUMO MD HV2600-6P de 265 kW de potencia es el más cercano a la potencia requerida de 262,82 kW.

**Figura 3.12** Motor eléctrico SUMO MD HV2600-6P

Fuente: (Bernatchez, 2016)

En la Figura 3.12 se presenta el motor SUMO MD HV2600-6P, disponiendo con 265 kW de potencia, con velocidad de operación de (0 a 3 500) rpm, par continuo de 970 Nm y un torque máximo de 2 760 Nm. Este tipo de motor va ubicado en la parte trasera del autobús y transmite el movimiento a las ruedas sin la necesidad de una caja de cambios, pero para este estudio se requiere adicionar una caja de cambios que brinde una relación de primera de 3:1.

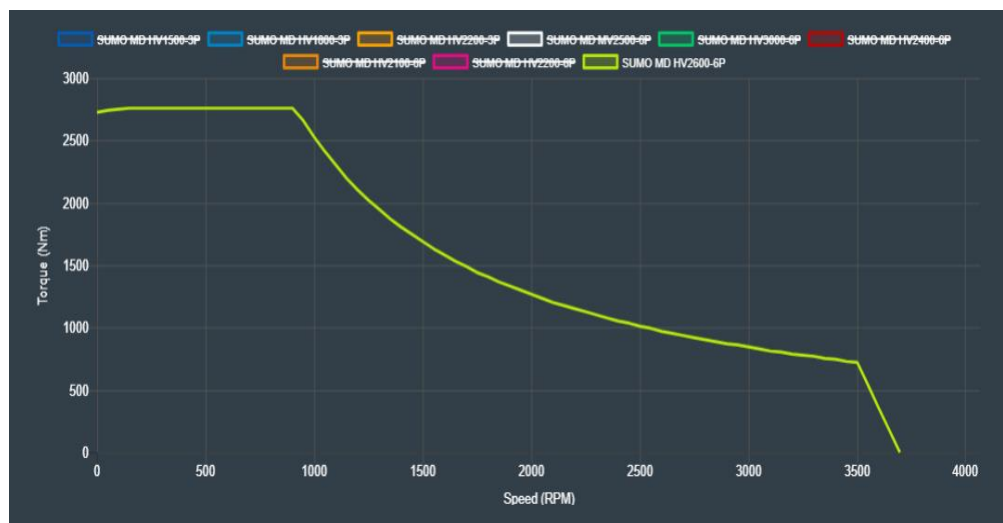


Figura 3.13 Torque del motor eléctrico SUMO MD HV2600-6P
Fuente: (Sumo, 2018)

En la Figura 3.13 se presenta la curvatura del torque a distintas RPM. Apreciando que a bajas RPM se obtiene 2 760 Nm de torque y a 3 500 rpm cuenta con un torque de 750 Nm. Mediante el cumplimiento de estas especificaciones técnicas se pretende que el autobús eléctrico funcione de forma eficiente en la ruta del Naranjito.

3.4.9. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE ARRANQUE EN PENDIENTE (STARTABILITY)

En la Tabla 3.26 se presenta la capacidad de ascenso en pendiente para el autobús eléctrico. En donde, la capacidad de arranque en pendiente es del 37 %. Este valor está dentro de los parámetros establecidos en la norma NTE INEN 2205 del 2010, donde indica que la capacidad de arranque en pendiente mínima para autobuses urbanos es del 25 %. A continuación, se determina la capacidad de ascenso en pendiente equivalente al 37 % y para ello se requiere una relación de primera de 2:1.

Tabla 3.26 Capacidad de arranque en pendiente para el autobús eléctrico

Datos	Eléctrico	Convencional
Torque máximo del motor [Nm]	2 760	667
Relación de paso del diferencial [-]	7,03	7,03
Relación del paso de primera velocidad [-]	2	6,14
Revoluciones por kilómetro de la llanta [$\text{min}^{-1}/\text{km}$]	331,74	331,74
Peso bruto vehicular [kg]	17 250	14 200
Capacidad de arranque en pendiente [%]	37	34

Para finalizar, el torque es la causante de la diferencia de relación del paso de primera marcha entre el autobús convencional y el autobús eléctrico. La variación para la relación de primera es notable y esto se produce por el torque elevado que brinda el motor eléctrico.

3.4.10. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE ASCENSO EN PENDIENTE (GRADEABILITY)

Dentro de la Tabla 3.27 se presenta la capacidad de ascenso en pendiente a diferentes velocidades. En este caso, la capacidad de ascenso que se obtiene a una velocidad 20 km/h es del 42,10 %.

Tabla 3.27 Capacidad de ascenso en pendiente a diferentes velocidades

Velocidad [km/h]	Gradeability [%]
10	57,61
20	28,80
30	19,20
40	14,40
50	11,52
60	9,60
70	8,23
80	7,20
90	6,40

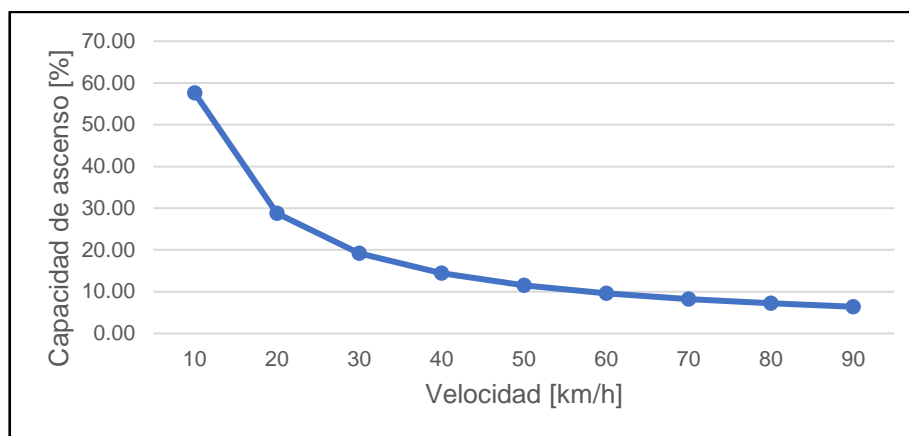


Figura 3.14 Capacidad de ascenso en pendiente

Dentro de la Figura 3.14, se puede apreciar que la capacidad de ascenso en pendiente va disminuyendo con el aumento de velocidad. Obteniendo resultados de 57,61 % a 10 km/h y del 6,40 % a 90 km/h. Determinando que el autobús eléctrico no puede circular en una pendiente pronunciada a altas velocidades, por lo general los vehículos no alcanzan velocidades superiores a los 20 km/h en las pendientes pronunciadas.

3.4.11. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL AUTOBÚS ELÉCTRICO

El autobús eléctrico tiene las siguientes dimensiones: 12 m de largo, 2,55 m de ancho, 3,28 m de altura, 11 650 kg de peso en vacío y 17 250 kg de peso bruto vehicular. Mediante la aplicación de fórmulas se determina la potencia del motor eléctrico, siendo equivalente a 265 kW y torque de 2 760 Nm a 900 rpm. Además, este motor dispone de una capacidad de arranque en pendiente del 37 % y capacidad de ascenso en pendiente del 57,61 % a 10 km/h. En lo relacionado a la transmisión se requiere 7,03 de relación del diferencial y una relación de primera marcha de 3:1. Demostrando que la relación de primera para el autobús eléctrico es baja en relación con 6,14:1 del bus convencional y esto es provocado por el alto torque que brinda el motor eléctrico. Este tipo de autobús está diseñado para transportar 80 pasajeros de 70 kg cada uno.

Para un mejor entendimiento de los resultados obtenidos durante la investigación, se presenta la Tabla 3.28 con las especificaciones técnicas del motor, transmisión y dimensiones del automotor.

Tabla 3.28 Especificaciones técnica del autobús eléctrico.

Pesos y Dimensiones	
Altura [m]	3,28
Ancho [m]	2,55
Largo [m]	12
Peso en vacío [kg]	11 650
Peso bruto vehicular [kg]	17 250
Motor eléctrico	
Tipo	DC
Potencia máx. [kW]	265
Torque máx. [Nm]	2 760
Startability [%]	37
Gradeability [%]	57,61
Neumáticos	275/70R22.5
Transmisión	
Relación del diferencial	7,03
Relación de primera	2

De esta manera, estos resultados ayudarán a la compra de las unidades de transporte urbano en la ciudad de Ibarra. Estas unidades van a permitir conservar el medio ambiente de Ibarra y es por esta razón se están implementando en otros países. Dichas unidades se caracterizan por ser de bajo mantenimiento en relación con los autobuses convencionales y no utilizar combustibles de origen fósil.

3.4.12. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MICROBÚS HÍBRIDO

El microbús híbrido tiene las siguientes dimensiones: 10 m de largo, 2,40 m de ancho, 3,28 m de altura, 9 790 kg de peso en vacío y 13 920 kg de peso bruto vehicular. Mediante la aplicación de fórmulas se determina la potencia del motor eléctrico es equivalente a 215 kW y torque de 2 027 Nm a 1 000 rpm. Además, este motor dispone de una capacidad de arranque en pendiente del 37 % y capacidad de ascenso en pendiente del 57,92 % a 10 km/h. En lo relacionado a la transmisión se requiere 6,37 de relación del diferencial y una relación de primera marcha de 2:1. El dimensionamiento esta realizado para 59 personas.

Para un mejor entendimiento se presenta la Tabla 3.15 con las especificaciones técnicas del motor, transmisión y dimensiones del automotor.

Tabla 3.29 Especificaciones técnica del microbús eléctrico

Pesos y Dimensiones	
Altura [m]	3,28
Ancho [m]	2,40
Largo [m]	10
Peso en vacío [kg]	9 790
Peso bruto vehicular [kg]	13 920
Motor eléctrico	
Tipo	DC
Potencia máx. [kW]	215
Torque máx. [Nm]	2 027
Starbality [%]	37
Gradeability [%]	57,92
Neumáticos	265/70R19.5
Transmisión	
Relación del diferencial	6,37
Relación de primera	2

En conclusión, los microbuses eléctricos son una buena opción para implementarlos en rutas que cuentan con baja tasa ocupacional y de esta manera brindar servicio a toda la sociedad. Esto conlleva a tener una mejor rentabilidad para los propietarios del transporte urbano, siendo menor el valor de adquisición para este tipo de unidades y por ende representa menos costos de mantenimiento de las unidades. Para implementar microbuses en rutas con alta tasa ocupacional, se puede incrementar la frecuencia y de esta manera suplir la demanda del servicio de transporte urbano en la ruta.

3.5. ANÁLISIS DEL PAQUETE DE BATERÍAS PARA EL AUTOBÚS HÍBRIDO Y ELÉCTRICO.

El paquete de baterías es la fuente que va a brindar energía al motor eléctrico y depende de su tamaño para determinar la autonomía que nos puede brindar. A continuación, se presenta la metodología utilizada para determinar el tamaño del paquete de baterías y cuáles fueron los parámetros que fueron utilizados para su selección.

3.5.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE CARGA

En la actualidad, los investigadores buscan soluciones para reducir las emisiones contaminantes generadas por los autobuses convencionales y por esta razón se han creado los autobuses híbridos y eléctricos. A continuación, se realiza la selección del tipo de carga para el autobús eléctrico, permitiendo así determinar el tamaño del paquete de las baterías y su respectiva autonomía.

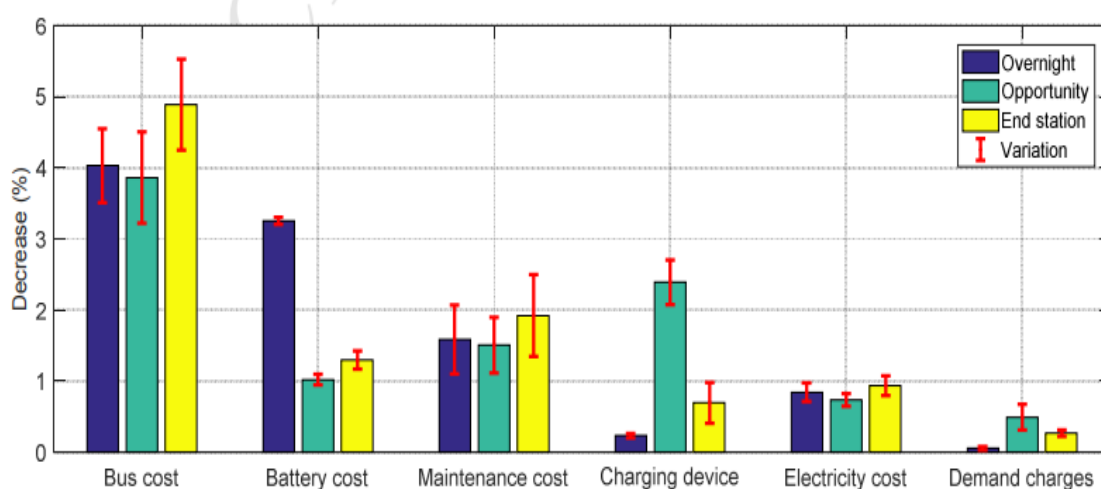


Figura 3.15 Porcentaje de los costos de la vida útil de diferentes tipos de tecnología

Fuente: (Lajunen, 2018, pág. 25)

En la Figura 3.15 se presenta los tres tipos de carga: carga durante la noche, carga de oportunidad y carga al final de la estación. En donde, se realiza un análisis de costo del autobús, costo del paquete de baterías, costo de mantenimiento, costo de dispositivos de carga, costo de la electricidad y demanda de carga. Entonces, una vez realizado un análisis de los factores ya mencionados, se concluye que la mejor opción de tecnología es la carga al final de la estación.

La selección realizada es por el tamaño del paquete de baterías, siendo el peso de las baterías para la carga durante la noche de 4 500 kg, y 1 500 kg para el de carga al final de la estación. El peso del paquete de baterías es un factor determinante al final de la vida útil de las mismas, ya que al no contar con el correcto reciclaje pueden ocasionar un alto grado de contaminación ambiental.

3.5.2. SELECCIÓN DE TIPO DE BATERÍA

En la Tabla 3.30 se presenta el análisis de los datos técnicos de las baterías de plomo-ácido, níquel-hidruro metálico y ion de litio. De esta manera, se pretende determinar la batería que mejores beneficios nos brinda en relación con la energía específica, densidad de energía, potencia específica, eficacia de carga - descarga, tasa de auto descarga, ciclos de durabilidad y el voltaje nominal de la celda. En donde, la batería con mejores prestaciones para el campo de la automoción son las baterías de iones de litio y en futuro se pretende que los ultra capacitores sean una mejor fuente de almacenamiento de energía en relación con los costos de adquisición.

Tabla 3.30 Análisis de las celdas de las baterías para aplicaciones en HEV - EV

Batería	Pb-Ácido	NiMH	Ion-Litio
Energía específica (Wh/kg)	30 – 40	40 – 80	130 – 200
Densidad de energía (Wh/L)	60 – 90	90 – 160	180 – 320
Potencia específica (W/kg)	250 – 600	900 – 1 600	1 200 – 4 000
Eficacia de carga / descarga (%)	75 – 90	80 – 95	85/96
Tasa de auto descarga (%/mes)	5 – 15	8 – 15	<5
Ciclos de durabilidad (ciclos)	500 – 800	800 – 1 200	1 500 – 2 000
Voltaje de la celda nominal (V)	2.1	1.2	3.75

Fuente: (Liu, 2013, pág. 19 y 21)

Por otra parte, este tipo de batería tiene bajo impacto ambiental gracias a que sus elementos de fabricación son reciclables, sin embargo, su costo es elevado en relación con los otros tipos de baterías. En cambio, las baterías de níquel-hidruro metálico se encuentra en un nivel intermedio, las cuales pueden desempeñarse de una forma eficiente en los vehículos eléctricos e híbridos. Por último, las baterías de plomo-ácido son las que presentan características desfavorables para su uso en la automoción y su ventaja radica en el bajo costo de fabricación, pero tiene un alto impacto ambiental. Para finalizar, las baterías seleccionadas deben contar con alta capacidad de almacenamiento de energía y así brindar una buena autonomía para el autobús híbrido y eléctrico

3.5.3. CARACTERÍSTICAS DE LA CELDA

Para determinar el tamaño del paquete de baterías, se procede a realizar la selección de un tipo de celda. En este caso, se procede a realizar la selección de una celda de marca SINOPOLY LFP300 AH. En la Tabla 3.31 se presentan las especificaciones técnicas de la celda de iones de litio. Me gustaría dejar claro, que las celdas de iones de litio pueden variar todas las especificaciones técnicas, de acuerdo con el fabricante. En este caso, la celda cuenta con 9,5 kg de peso, capacidad de 0,96 kWh, capacidad de 300 Ah, voltaje nominal de 3,2 V, resistencia interna de 0,8 mΩ, corriente de carga máxima de 600 A, y corriente de descarga máxima de 900 A.

Tabla 3.31 Especificaciones técnicas de la celda SINOPOLY LFP300 AH

Especificaciones de la celda	Valor
Voltaje nominal [V]	3,2
Voltaje máximo [V]	3,6
Voltaje mínimo [V]	2,5
Capacidad [kWh]	0,96
Capacidad [Ah]	300
Resistencia interna [mΩ]	0,8
Corriente de carga y descarga recomendada [A]	99
Corriente de carga máxima [A]	600
Corriente máxima de descarga [A]	900
Peso [kg]	9,5

Fuente: (Arora & Kapoor, 2018, pág. 190)

El voltaje de la celda puede variar por el cambio de temperatura. Obteniendo, un voltaje nominal de 3,2 V en condiciones regulares, 2,5 V en condiciones precarias y en óptimas condiciones se puede contar con un voltaje de 3,6 V. Para este estudio se ha tomado en cuenta el voltaje nominal, ya que se encuentra entre el voltaje mínimo y máximo.

3.5.4. TASA DE CARGA Y DESCARGA

La tasa de carga y descarga es la cantidad de amperios [A] que puede brindar durante un intervalo de tiempo [h]. En la tabla 3.34 se presenta la tasa de carga y descarga de la batería.

En donde, se puede brindar 30 A por 10 horas o 900 A en 20 minutos. Conviene subrayar que el estado de carga y descarga recomendado por el fabricante es de 90 A durante 3 horas con 20 minutos.

Tabla 3.32 Tasa de carga y descarga C

Tasa de descarga y carga C										
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	2	3
[A]	30	60	90	120	150	180	240	300	600	900
[h]	10,00	5,00	3,33	2,50	2,00	1,67	1,25	1,00	0,50	0,33

La tasa de carga y descarga establece el tiempo de duración de la batería en relación con la cantidad de amperios brindados. A continuación, se presenta la gráfica del estado de carga y descarga C.

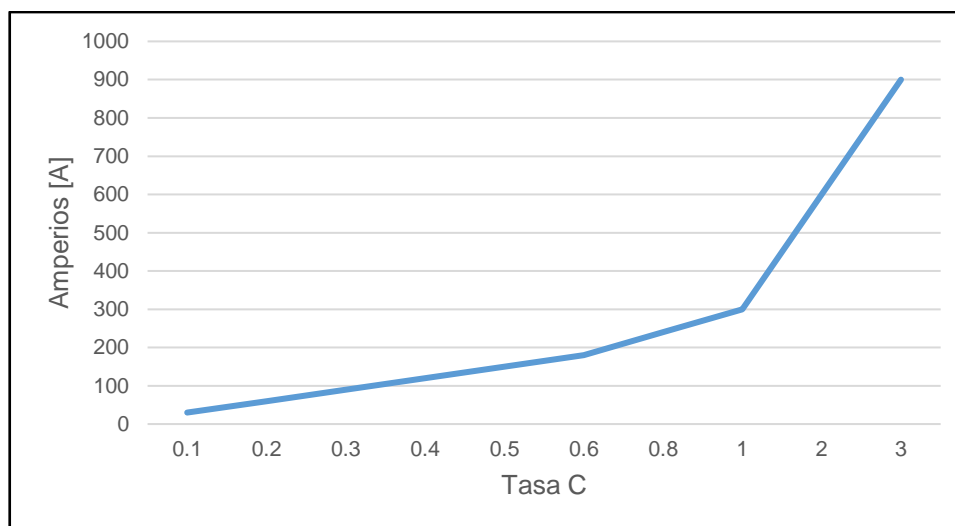


Figura 3.16 Tasa de carga y descarga C

Dentro de la Figura 3.16 se presenta el amperaje que puede brindar en relación con la tasa de descarga C. Aquí, se puede determinar que 3C es equivalente a 20 minutos y 0,1C es equivalente a 10 horas.

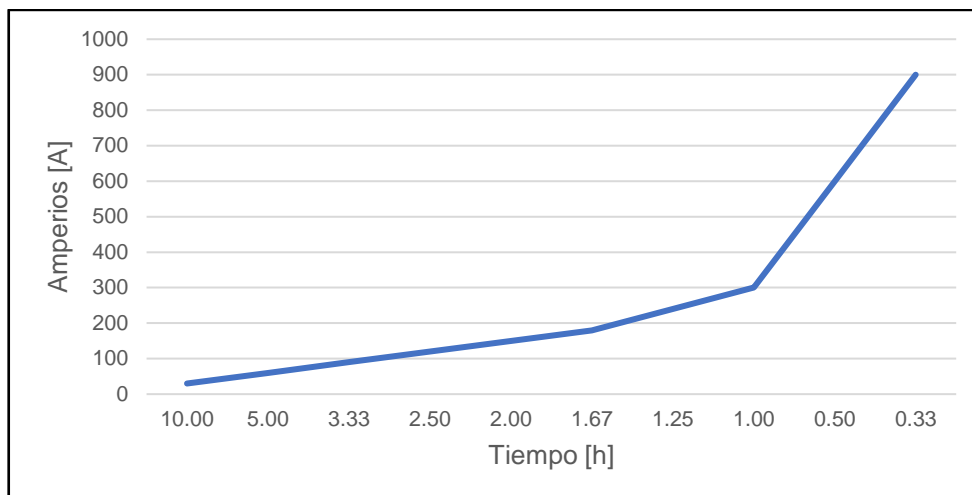


Figura 3.17 Tasa de carga y descarga en relación con el tiempo

En cambio, en la Figura 3.17 se presenta la tasa de carga y descarga en relación con el tiempo de descarga que se requiera. Por ejemplo, se puede brindar 30 A durante 10 horas y así mismo 900 A en 20 minutos.

3.5.5. CARACTERÍSTICAS DEL PAQUETE DE BATERÍAS DEL AUTOBÚS HÍBRIDO

En la Tabla 3.33 se presenta las características del paquete de baterías del autobús híbrido. El peso de la batería influye en la autonomía del autobús. Por lo tanto, a mayor tamaño de baterías se cuenta con una mayor autonomía. El paquete cuenta con 100 celdas en serie y 1 en paralelo, obteniendo un resultado de 100 celdas y un peso de 950 kg.

Tabla 3.33 Especificaciones del paquete de baterías para el autobús híbrido

Datos del paquete de baterías	Valor
Número de celdas en serie	100
Número de celdas en paralelo	1
Número total de celdas	100
Voltaje nominal del paquete [V]	320
Voltaje máximo del paquete [V]	360
Voltaje mínimo del paquete [V]	250
Capacidad del paquete [kWh]	96
Peso de la batería [kg]	950

Para finalizar, el número de celdas utilizada en el paquete de baterías depende de la potencia que se requiera y de la autonomía. El peso es un aproximado, tendiendo a variar por otros elementos que son añadidos al momento de ensamblar las baterías. Para determinar el número total de celdas es necesario multiplicar las celdas conectadas en paralelo por las celdas conectadas en serie.

3.5.6. AUTONOMÍA DEL AUTOBÚS HÍBRIDO

En la Tabla 3.34 se presenta la autonomía del autobús híbrido. Mostrando que para una potencia total de 205,25 kW y autonomía de 42,07 km se necesita de un paquete de baterías de 950 kg. Determinando que la potencia total es el resultado de la suma de la potencia requerida por el motor eléctrico más la potencia requerida por los accesorios que necesita el autobús.

Tabla 3.34 Autonomía del autobús híbrido

Especificaciones	Datos
Potencia del motor [kW]	162
Potencia de accesorios [kW]	43,25
Potencia de la batería [kW]	205,25
Potencia de la batería [W]	205 250
Resistencia interna [Ω]	0,00027
Intensidad de corriente nominal [A]	641,75
Intensidad de corriente máximo [A]	570,38
Intensidad de corriente mínimo [A]	821,72
Tensión nominal en los terminales [V]	265,27
Tensión máxima en los terminales [V]	305,27
Tensión mínima en los terminales [V]	195,27
Autonomía [km]	42,07

La autonomía está relacionada con la capacidad de la batería [Ah], velocidad máxima experimentada en [km/h] y la intensidad de corriente del paquete de baterías [A]. Al momento brindar una mayor autonomía para el autobús híbrido, se disminuye el uso del motor diésel y de esta manera se colabora con el medio ambiente.

3.5.7. CARACTERÍSTICAS DEL PAQUETE DE BATERÍAS DEL AUTOBÚS ELÉCTRICO

En la Tabla 3.35 se presenta las características del paquete de baterías del autobús eléctrico. El peso de la batería influye en la autonomía del autobús. Por lo tanto, a mayor tamaño de baterías se cuenta con una mayor autonomía. Para este estudio se va a utilizar una batería de 180 celdas, siendo 180 conectadas celdas conectas en serie y una en paralelo, adquiriendo un peso total de 1 710 kg.

Tabla 3.35 Especificaciones del paquete de baterías para el autobús eléctrico

Datos del paquete de baterías	Valor
Número de celdas en serie	180
Número de celdas en paralelo	1
Número total de celdas	180
Voltaje nominal del paquete [V]	576
Voltaje máximo del paquete [V]	648
Voltaje mínimo del paquete [V]	450
Capacidad del paquete [kWh]	172,8
Peso de la batería [kg]	1710

Para finalizar, las celdas de litio tienden a cambiar sus especificaciones técnicas, según el fabricante. Además, para llegar a adquirir el voltaje y amperaje necesario de la batería, se requiere conectar celdas en paralelo y otras en serie. Estas configuraciones permiten obtener el paquete requerido para el autobús de transporte urbano.

3.5.8. AUTONOMÍA DEL AUTOBÚS ELÉCTRICO

Dentro de la Tabla 3.36 se presenta la autonomía del autobús híbrido. La autonomía está relacionada con la potencia de la batería. Es decir, si la potencia aumenta la autonomía disminuye. Por último, la suma de la potencia del motor y accesorios, permite obtener la potencia total de 308,25 kW, brindando una autonomía de 50,43 km y adquiriendo un peso de 1 710 kg. Por lo tanto, para el incremento de la autonomía se requiere de un paquete de mayor peso.

Tabla 3.36 Autonomía del autobús eléctrico

Especificaciones	Valor
Potencia del motor [kW]	265
Potencia de accesorios [kW]	43,25
Potencia de la batería [kW]	308,25
Potencia de la batería [W]	308250
Resistencia interna [Ω]	0,00048
Intensidad de corriente nominal [A]	535,40
Intensidad de corriente máximo [A]	475,86
Intensidad de corriente mínimo [A]	685,50
Tensión nominal en los terminales [V]	575,74
Tensión máxima en los terminales [V]	647,74
Tensión mínima en los terminales [V]	449,74
Autonomía [km]	50,43

Para finalizar, la autonomía brindada por el autobús eléctrico debe ser mayor a la del híbrido, porque el autobús eléctrico no cuenta con dos fuentes de alimentación y genera la posibilidad de que el autobús eléctrico no cumpla con el recorrido total de la ruta. El dimensionamiento del paquete de baterías permite almacenar la cantidad de energía requerida para movilizar el autobús.

3.5.9. CARACTERÍSTICAS DE LAS BATERÍAS DEL AUTOBÚS HÍBRIDO Y ELÉCTRICO

En la Tabla 3.37 se presentan las características técnicas que requiere la batería del autobús híbrido. En donde, las baterías seleccionadas de iones de litio, brindando una potencia de 205,25 kW, capacidad de 300 Ah, voltaje de 320 V, intensidad de corriente de 641,75 A, peso de 950 kg y con estas características permite circular una distancia de 42,07 km. Luego de esta distancia entra en funcionamiento el motor diésel y así se puede recargar nuevamente las baterías. Cabe mencionar, el paquete de baterías incrementa con el aumento de autonomía requerida por parte del propietario. Además, las características varían según las especificaciones brindadas por la celda.

Tabla 3.37 Características de las baterías del autobús híbrido

Tipo de baterías	Litio-Ion
Potencia [kW]	205,25
Capacidad [Ah]	300
Voltaje [V]	320
Intensidad de corriente [A]	641,75
Peso [kg]	950
Autonomía [km]	42,07

A continuación, en la Tabla 3.38 se presentan las características técnicas que requiere la batería del autobús híbrido. En donde, las baterías seleccionadas de iones de litio, brindando una potencia de 308,25 kW, capacidad de 300 Ah, voltaje de 576 V, intensidad de corriente de 535,4 A, peso de 1 750 kg y con estas características permite circular una distancia de 50,43 km.

Tabla 3.38 Características de las baterías del autobús eléctrico

Tipo de baterías	Litio-Ion
Potencia [kW]	308,25
Capacidad [Ah]	300
Voltaje [V]	576
Intensidad de corriente [A]	535,4
Peso [kg]	1 710
Autonomía [km]	50,43

Mediante estas especificaciones se pretende brindar la autonomía adecuada para circular dentro de la ciudad en la ruta más larga. En donde, la autonomía está sobredimensionada por causas de cambios de ruta. De esta manera, el autobús está destinado a cumplir con el recorrido de la ruta.

3.5.10. CARACTERÍSTICAS DE LAS BATERÍAS DEL MICROBÚS HÍBRIDO Y ELÉCTRICO

En la Tabla 3.39 se presentan las características técnicas que requiere la batería del autobús híbrido. En donde, las baterías seleccionadas de iones de litio, brindando una potencia de

173,25 kW, capacidad de 300 Ah, voltaje de 272 V, intensidad de corriente de 637,29 A, peso de 807,5 kg y con estas características permite circular una distancia de 42,37 km. Luego de esta distancia entra en funcionamiento el motor diésel y así se puede recargar nuevamente las baterías. Cabe mencionar, el paquete de baterías incrementa con el aumento de autonomía requerida por parte del propietario. Además, las características varían según las especificaciones brindadas por la celda.

Tabla 3.39 Características de las baterías del microbús híbrido

Tipo de baterías	Litio-Ion
Potencia [kW]	173,25
Capacidad [Ah]	300
Voltaje [V]	272
Intensidad de corriente [A]	637,29
Peso [kg]	807,5
Autonomía [km]	42,37

A continuación, en la Tabla 3.40 se presentan las características técnicas que requiere la batería del autobús híbrido. En donde, las baterías seleccionadas de iones de litio, brindando una potencia de 263,25 kW, capacidad de 300 Ah, voltaje de 480 V, intensidad de corriente de 548,69 A, peso de 1 425 kg y con estas características permite circular una distancia de 50,43 km.

Tabla 3.40 Características de las baterías del microbús eléctrico

Tipo de baterías	Litio-Ion
Potencia [kW]	263,25
Capacidad [Ah]	300
Voltaje [V]	480
Intensidad de corriente [A]	548,69
Peso [kg]	1 425
Autonomía [km]	49,21

Mediante estas especificaciones se pretende brindar la autonomía adecuada para circular dentro de la ciudad en la ruta más larga. En donde, la autonomía está sobredimensionada por causas de cambios de ruta. De esta manera, el autobús está destinado a cumplir con el recorrido de la ruta.

3.5.11. SISTEMA DE CARGA

Dentro de la Tabla 3.41 se presenta la intensidad de corriente requerida, tiempo de carga, potencia de carga, voltaje de carga y se conecta a una fuente de corriente continua. La batería se carga en 10 minutos y para ello se requiere 775 V.

Tabla 3.41 Sistema de carga

Tipo de carga	Ultrarrápida
Tipo de corriente	DC
Tiempo de carga [min]	10
Potencia [kW]	400
Voltaje [V]	775
Intensidad de corriente [A]	516

Mediante estas especificaciones se garantiza el desempeño eficiente de las unidades y así prestar un servicio de calidad a la sociedad. Para realizar este tipo de instalaciones se requiere la unión de varias empresas para la creación de las electrolineras que permitan cargar las baterías de estas unidades.

3.5.12. RECICLAJE DE LAS BATERÍAS

A continuación, se presentan alternativas para reciclar las baterías de iones de litio. En donde, el objetivo principal es darles un segundo uso después de su vida útil en la automoción. Estas baterías pueden ser utilizadas para aparcamientos solares y para almacenar energía en lugares aislados.

3.5.12.1. Aparcamientos solares

Los aparcamientos solares en los centros comerciales es una buena solución, ya que para ello se hace uso del techo de este para la instalación de paneles solares y solo se necesita de un pequeño espacio para colocar las baterías de segundo uso. Este tipo de reciclaje es 100 % amigable con el medio ambiente y una forma más económica de cargar los vehículos eléctricos.

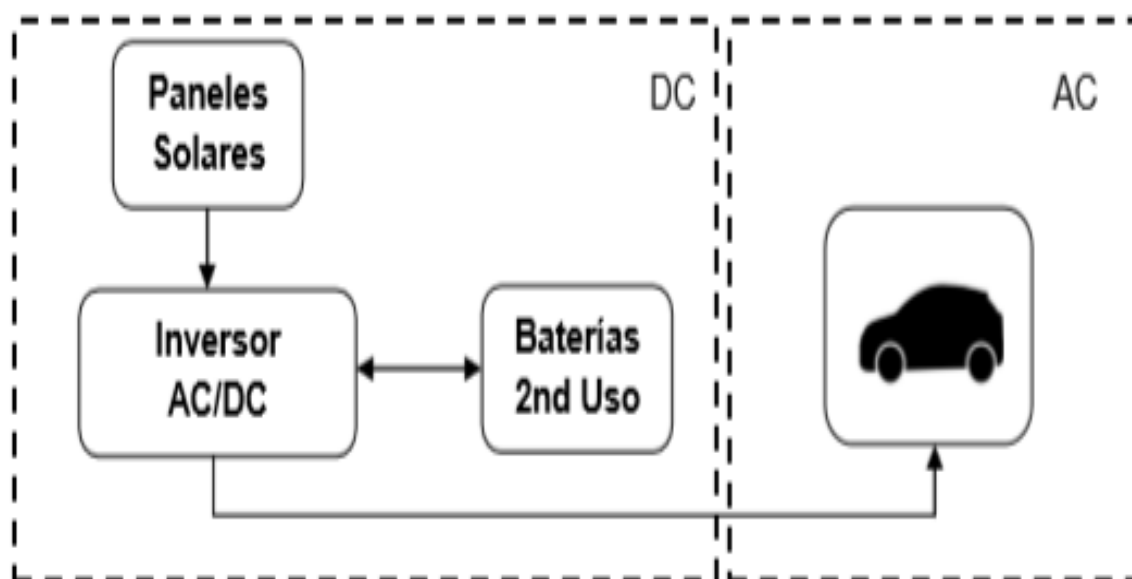


Figura 3.18 Conexión del circuito para aparcamientos solares

Fuente: (Mora , 2015, pág. 39)

En la Figura 3.18 se presenta los elementos y el circuito que se va a necesitar para realizar un aparcamiento solar. Para llevar a cabo este tipo de reciclaje se requiere de paneles solares, inversor de corriente alterna a corriente continua, baterías de segundo uso para el almacenamiento de la energía y el conector que suministre corriente alterna para cargar el vehículo.

3.5.12.2. Almacenamiento de energía en lugares aislados

El almacenamiento de energía en lugares aislados es otra opción que ayudaría a las personas que no tienen acceso a este servicio básico. Por lo tanto, es una opción más económica que la instalación eléctrica por postes. Del mismo modo, este tipo de reciclaje es 100 % amigable con el medio ambiente, ya que la energía recolectada es generada por paneles solares. Este tipo de uso se lo puede hacer en el área rural, brindando una mejor calidad de vida a las personas que carecen de este servicio básico.

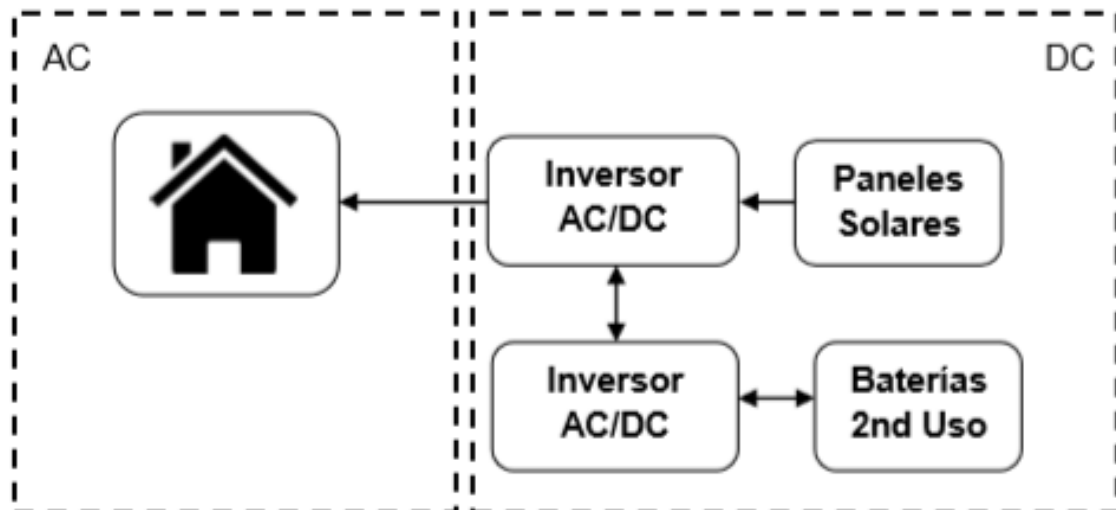


Figura 3.19 Conexión del circuito para almacenamiento de energía en lugares aislados

Fuente: (Mora , 2015, pág. 53)

En la Figura 3.31 se presenta los elementos que se va a utilizar para realizar la conexión y su respectivo circuito de instalación. Para ello, se necesita de 2 inversores de corriente alterna a corriente continua, paneles solares, baterías de segundo uso y el conector que suministre corriente alterna para los hogares aislados.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.1. CONCLUSIONES

- Para la recolección de datos se adquirió 10 Dispositivos de Posicionamiento Global (GPS) GL-770 que permiten medir la altitud, distancia de recorrido, velocidad, frecuencia y muestra los trazados de la ruta. Brindando una frecuencia de muestreo de 1 Hz y 14 horas diarias de grabación.
- Para el levantamiento de información se monitorea 40 unidades de ambas cooperativas. Las mediciones se las realizó en 20 rutas que circulan dentro de la ciudad de Ibarra y para ello se instaló de lunes a viernes 2 dispositivos por ruta.
- La recolección de datos se la realizó cada segundo, obteniendo un total de 3 600 datos garbados en 1 hora. Al final de día se recolectó 100 800 datos por ruta, dando un total de 2 016 000 datos de las 20 rutas. Para procesar la información se utilizó el programa Microsoft Excel.
- La base de datos se las realizó de 20 rutas que se encuentra en circulación continua. Pero, la ruta que cuenta con la máxima pendiente del 21 % es la ruta de El Naranjito, la cual es ejecutada por parte de la Cooperativa 28 de Septiembre y la ruta Santa Isabel – Huertos Familiares que cuenta con la máxima distancia de 39,10 km, siendo cumplida por ambas cooperativas.
- La potencia total considerada para el dimensionamiento del tren motriz está calculada para una pendiente del 21 %, en plena carga y la velocidad máxima experimentada es de 20 km/h. Por lo tanto, la potencia total requerida aumenta si alguna de estas variables incrementa.

- La potencia del motor seleccionado puede variar según su eficiencia, pero en este caso se ha utilizado una eficiencia del 80 % para el motor eléctrico y una eficiencia del 37 % para el motor diésel. Para el autobús híbrido se requiere un motor eléctrico de 162 kW y un motor diésel de 230,25 kW, tomando en cuenta que estos valores son para un grado de hibridación del 40 %. En cambio, para el autobús eléctrico se requiere una potencia de 265 kW.
- El paquete de baterías del autobús híbrido cuenta con una potencia de 205,25 kW, capacidad de 300 Ah, voltaje de 320 V, intensidad de corriente de 641,75 A, peso de 950 kg y cuenta con una autonomía de 42,07 km. Para ello, la configuración requerida es de 100 celdas en serie y una en paralelo.
- El paquete de baterías para el autobús eléctrico cuenta con una potencia de 308,25 kW, capacidad de 300 Ah, voltaje de 576 V, intensidad de corriente de 535,4 A, peso de 1 710 kg y cuenta con una autonomía de 50,43 km. Para ello, la configuración requerida es de 180 celdas en serie y una en paralelo.
- Existen tres tipos de tecnologías en buses eléctricos, los autobuses de carga durante la noche, carga de oportunidad y carga al final de la estación. En donde, la mejor tecnología para este estudio, con relación a costos es la carga al final de la estación. La relación de costos de las baterías entre el autobús de carga durante la noche es del 3,2 % y la carga al final de la estación es de 1,3 %.

1.2. RECOMENDACIONES

- Los dispositivos GPS GL-770 se desempeñan de una manera eficiente, lo cual favorece para la utilización en futuras investigaciones que se necesite realizar mediciones de velocidad, tiempo, distancia, altitud y gráfica de mapas.
- Para la recolección de datos se recomienda que el cielo este despejado, ya que de lo contrario existe dificultad de conexión entre el satélite y el dispositivo, y esto representa una recolección de datos erróneos que afectarán a los resultados finales de la investigación.
- Para el procesamiento de información se ha utilizado Microsoft Excel, ya que cuenta con los requerimientos necesarios para realizar los cálculos de nuestra investigación e incluso es de fácil acceso, permitiendo agilizar la adquisición de los resultados finales.
- Para determinar las pendientes de las 20 rutas se ha dividido la distancia de recorrido en tramos de 100 metros. Logrando determinar la pendiente máxima de cada ruta, pero aquí se recomienda utilizar los datos de la segunda vuelta de recorrido.
- Para determinar las especificaciones técnicas del tren de potencia, trabajar con la velocidad máxima que se requiere circular en la máxima pendiente y así garantizar el desempeño eficiente de las unidades de transporte híbrido y eléctrico.
- Para calcular la potencia del motor se requiere encontrar la eficiencia energética, siendo la encargada de determinar la cantidad de energía útil e inservible que brinda el motor. Siendo un factor determinante para su tamaño.
- Para el dimensionamiento del paquete de baterías del autobús híbrido se necesita elegir una celda con sus respectivas características técnicas. En donde, el peso de las

baterías tiende a variar con el grado de hibridación que disponga el autobús y esto también está relacionado con la autonomía,

- Para dimensionar el paquete de baterías del autobús eléctrico, se necesita establecer la autonomía requerida para circular en la ruta de mayor distancia. En donde, se recomienda sobre dimensionar la autonomía por motivos de cambio de ruta ocasionados por diferentes factores que obstaculizan las vías y no permiten la circulación en ciertos sentidos. De esta manera, el autobús tiene la capacidad de llegar a su destino final.
- Para establecer el tamaño del paquete de baterías para el autobús híbrido y eléctrico, se requiere elegir el sistema de carga que permita obtener el menor peso para las baterías. De esta manera, el impacto ambiental es menor al momento de llegar al final de su vida útil. Además, para su reciclaje puede ser usada en el almacenamiento de electricidad en comunidades rurales y en parqueaderos solares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABB. (2016). Why buses are a very interesting application of electrification of transportation? Tampere University of Technology. Obtenido de http://www.tut.fi/eee/opetus/kurssit/DEE_26006/Slides%20Jukka%20A.%20M%C3%A4kinen%20130416.pdf
2. AEADE. (2016). Anuario 2016. Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. Obtenido de <http://www.aeade.net/anuario-2016/anuario2016.pdf>
3. Águeda, E., Martín, J., & Gómez, T. (2011). Sistemas de Transmisión y Frenado. Madrid <https://books.google.com.ec/books?id=01JGOFW9WBMC&lpg=PA24&dq=cajas%20de%20cambios%20de%20doble%20embrague&pg=PA114#v=onepage&q&f=false>
4. Aguilar , Y., Caldas, I., Rivera, A., & Tapia, E. (2017). Estudio de la Influencia de la Apertura de las Ventanas y la Velocidad de Circulación en la Aerodinámica de un Vehículo de Turismo. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 7-13.
5. Alba Padilla, C. A., & Muñoz Guillen, M. G. (2017). Estudio y fabricación de una batería ácido plomo. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 23-28.
6. ARCONEL. (2016, Marzo 23). Ecuador posee un 51,78% de energía renovable. Obtenido de Agencia de Regulación y Control de Electricidad: <http://www.regulacion electrica.gob.ec/ecuador-posee-un-5155-de-energia-renovable/>
7. Arora, S., & Kapoor, A. (2018). Mechanical Design and Packaging of Battery Packs for Electric Vehicles. In G. Pistoia, & B. Liaw, *Behaviour of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles: Battery Health, Performance, Safety, and Cost* (pp. 175-200).
8. Bernatchez, O. (2016, 10 14). tm4. Obtenido de <https://www.tm4.com/blog/benefits-removing-transmission-commercial-vehicle/>
9. Börjesson , M., Man Fung, C., & Proost, S. (2017). Optimal prices and frequencies for buses in Stockholm. *Economics of Transportation*, 20 - 36.
10. Castillo, Á. (2015). Actualización del Plan de Movilidad. Ibarra: Sigetrans.
11. Cevallos, V. (2017). Análisis del Rendimiento del Tren de Potencia para el Servicio de Táxis Urbanos de la Ciudad de Ibarra. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
12. Charters, D. (2016). A comparison of energy vectors in powering hybrid buses. *Renewable Energy Focus*, 73 - 74. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ref.2016.02.011>

13. Chuquiana, 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.
14. Cuervo, E. J. (2017, 06 27). El vehículo eléctrico, su infraestructura y los retos de las empresas distribuidoras. Obtenido de cecacier: <http://www.cecacier.org/docs/evento5/1-Curso-Vehiculo-Elctrico-Edwin-Cuervo.pdf>
15. Dhameja, S. (2001). Electric Vehicle Battery Systems. (Newnes, Ed.) Obtenido de <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=D61185A764B4D7594EAB32D12E1B7137>
16. Ehsani, M., Gao, Y., & Emadi, A. (2009). Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Desing, Second Edition (Power Electronics and Applications Series). CRC Press. Obtenido de <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=0050B97C4D62EBE9181CF27406FBEC0F>
17. Ferrer, j., & Checa, G. (2010). Mantenimiento mecánico preventivo del vehículo. Editex. <https://books.google.com.ec/books?id=SwnFAwAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
18. Fetcenko, M., Koch, J., & Zelinsky, M. (2015). Nickel–metal hydride and nickel–zinc batteries for hybrid electric vehicles an battery electric vehicles. In B. Scrosati, J. Garche, & W. Tillmetz, *Advances in Battery Technologies for Electric Vehicles* (pp. 103-126). doi:10.1016/B978-1-78242-377-5.00006-6
19. Flores, S. (2014). Análisis y Diagnóstico del Transporte Urbano en ek Municipio de Toluca. México: Universidad Autónoma del Estado de México.
20. Fuhs, A. (2009). *Hybrid Vehicles and the Future of Personal Transportation*. Francia: CRC.
21. González Pérez, J. F., Pérez Gil, A., Robles López, O. I., & Rodríguez Vega, J. A. (2016). *Transmisiones*. Guanajuato: Instituto Politécnico Nacional Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Guanajuato. Obtenido de <https://www.academia.edu/28971190/Transmisiones.pdf>
22. Goodyear. (2015). Entendiendo su neumático. Obtenido de Goodyear: https://www.goodyear.eu/es_es/truck/goodyear-quality/understanding-your-tyre/
23. GPS GL-770. (2015). User´s MAnnual.
24. Grütter, J. (2014, Diciembre). Rendimiento Real de los Buses Eléctricos e Híbridos. Obtenido de *Förderung der erneuerbaren Energien, der Energie- und*

- Ressourceneffizienz in Entwicklungs- und Transitionsländern: http://www.repic.ch/files/4414/4126/7584/Grutter_FinalReport_esp_web.pdf
25. Habitec. (2017). Guía de Infraestructuras de Carga de Vehículos Eléctricos. Málaga.
 26. Harlow, J. H. (2005). Electric and Hybrid Vehicles Design Fundamentals. Obtenido de <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=463B4F257E10C772FBCBEB68DED3DF89>
 27. Huerta, E., Mangiaterra, A., & Noguera, G. (2005). GPS Posicionamiento satelital. Universidad Nacional de Rosario. Obtenido de http://www.fceia.unr.edu.ar/gps/GGSR/libro_gps.pdf
 28. Ibáñez, P. (2017, 07 31). Esto será lo próximo en baterías para coches eléctricos: más de 650 km de autonomía real. Obtenido de xataka: <https://www.xataka.com/automovil/esto-sera-lo-proximo-en-baterias-para-coches-electricos-mas-de-650-km-de-autonomia-real>
 29. INEN . (2017, 03 20). Proyectos de Reglamentos Técnicos Ecuatorianos asociados a Vehículos Eléctricos. Obtenido de Servicio Ecuatoriano De Normalización: <https://inenreglamentacion.blogspot.com/2017/03/>
 30. INEN. (2010). Vehículos Automotores, urbano, requisitos. NTE INEN 2 205. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización. Obtenido de <http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/01/2205-2.pdf>
 31. INEN. (2016). Clasificación vehicular NTE INEN 2656. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización.
 32. Jazar, G. N. (2008). Vehicle Dynamics. Theory and Application (3 ed.). Springer. <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=AB9FDDAD3B8DE40575FDB5EB7B1D5A0F>
 33. Lajunen, A. (2014). Energy consumption and cost-benefit analysis of hybrid and electric city buses. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 1 - 15. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.10.008>
 34. Lajunen, A. (2018). Lifecycle costs and charging requirements of electric buses with different charging methods. *Journal of Cleaner Production*, 56-67. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.066>
 35. Lajunen, A., & Lipman, T. (2016). Lifecycle cost assessment and carbon dioxide emissions of diesel, natural gas, hybrid electric, fuel cell hybrid and electric transit buses. *Energy*, 329 - 342.

36. Larminie, J., & Lowry, J. (2003). *Electric Vehicle Technology Explained*. England: Oxford Brookes University.
37. Liu, W. (2013). *Introduction to Hybrid Vehicle System Modeling and Control*. Obtenido de <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=c8ca60ea1e1bb0451588e5a17d37120>
38. López-Martínez, J. M., Jiménez-Alonso, F., Flores-Holgado, N., & Resino-Zamora, D. (2011). Requerimientos Energéticos de los Vehículos Híbridos de Transporte Urbano de Alto Tonelaje. *Dyna*, 182-189.
39. Mahmoud, M., Garnett, R., Ferguson, M., & Kanaroglou, P. (2016). Electric buses: A review of alternative powertrains. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 673 - 684. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.019>
40. Mi, C., Abul Masrur, M., & Wenzhong Gao, D. (2011). *Hybrid Electric Vehicles Principles and Applications with Practical Perspectives*. Obtenido de <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=DD63226792850ACE71F172A07C0374FA>
41. Mi, C., Masrur, A., & Wenzhong Gao, D. (2011). *Electric Machines and Drives in HEVs*. United States of America: WILEY.
42. Michel André, & André, V. (2004). Characterisation of an urban bus network for environmental purposes. *Science of The Total Environment*, 85 - 99. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.04.071>
43. Miles , J., & Potter, S. (2014). Developing a viable electric bus service: The Milton Keynes demonstration project. *Research in Transportation Economics*, 357-363. doi:<https://doi.org/10.1016/j.retrec.2014.09.063>
44. Miller, J. M. (2011). *Ultracapacitor Applications*. London. Obtenido de <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=68d70add26c0133e7521ef61b8eaaa7>
45. Mishra, s. (2017). Is smog innocuous? Air pollution and cardiovascular disease. *Indian Heart Journal*, 69(4), 425-429. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ihj.2017.07.016>
46. Montesdeoca, R. W., & Vásquez, E. J. (2015). "Análisis de los Niveles de Servicio Mediante la Implementación del Tranvía en la Ciudad de Cuenca". Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
47. Mora , A. (2015). *Estudio para la reutilización de baterías de coches electricos en segunda vida para nuevas funciones*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
48. MovilidadEléctrica. (2014, Enero 27). El proyecto ZeEUS, iniciativa pionera en Europa para implantar autobuseseléctricos urbanos. Obtenido de movilidadeléctrica.com:

- <http://movilidadelectricacom/el-proyecto-zeeus-iniciativa-pionera-en-europa-para-implantar-autobuses-electricos-urbanos/>
49. OMS. (2017). Reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas: consideraciones sanitarias. Switzerland. Obtenido de <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/259445/9789243512853-spa.pdf;jsessionid=831A4CF5421527EDED176AE6D95A3A19?sequence=1>
 50. OMS. (2018, Febrero 01). Cambio climático y salud. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/es/>
 51. Payá, A. (2014, Febrero 01). Los orígenes del coche eléctrico. Obtenido de 20 minutos: <https://blogs.20minutos.es/coches-electricos-hibridos/2014/02/01/los-origenes-del-coche-electrico/>
 52. Peñafiel, J., & Zayas, J. (2001). Fundamentos del sistema GPS y aplicaciones en la topografía. Colegio oficial de ingenieros técnicos en topografía delegación territorial de Madrid-Castilla-La Mancha. Obtenido de <http://www.rutasnavarra.com/GPS/Teoria/GPSavanzado.pdf>
 53. Puerta Tuesta, R., Rengifo Trigozo, J., & Bravo Morales, N. (2011). ArcGIS Básico 10. Tingo María - Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
 54. Ramírez Ante, D. J. (2018). Análisis de eficiencia energética del ciclo diésel. Ibarra : Universidad Técnica del Norte.
 55. Ramírez, J. (2018). Análisis de las Características Cinemáticas de las Rutas de Autobuses Urbanos de Ibarra. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
 56. Rodríguez Martínez, H. (2014). Diseño y Construcción del Prototipo de una Transmisión CVT y Diferencial Automotriz. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
 57. Samaniego, R. E., & Silva, Á. V. (2009). Análisis de Fuerzas del Tren Motriz en Vehículos Pesados. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
 58. Srivastava, N., & Haque, I. (2009). A review o belt and chain continuously variable transmissions (CVT): Dynamics and control. *Mechanics and Machine Theory*, 19-41.
 59. Strehler, M., Merting, S., & Schwan, C. (2017). Energy-efficient shortest routes for electric and hybrid vehicles. *Transportation Research Part B: Methodological*, 1-25. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.03.007>

60. Sumo. (2018, 11 11). Tm4 Sumo tm md. Obtenido de tm4: <https://www.tm4.com/products/direct-drive-electric-powertrain/sumo-md/>
61. Tian, Y., Ruan, J., Zhang, N., Wu, J., & Walker , P. (2018). Modelling and control of a novel two-speed transmission for electric vehicles. *Mechanism and Machine Theory*, 127, 13 - 32. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2018.04.023>
62. Varga, B., Iclodean, C., & Mariasiu, F. (2016). *Electric and hybrid buses for public transport*. Springer .
63. Vázquez Peña , E. J., Valenzuela Nájera , R. A., & Ponce Corral, C. (2015). Diseño de un tren de potencia de vehículo eléctrico para su aplicación a un taxi. *Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura* , 309-320.
64. Velásquez Medrano , G., Quintero Miranda, A., & Fernández Luna, G. (2010). *Cinemática y dinámica de la partícula* . México: Instituto Politécnico Nacional.
65. Vélez Sánchez, J. G. (2017). "Análisis y Estimación de la Demanda Eléctrica con la Implementación de Vehículos Eléctricos conectados a una Red de Distribución en Cuenca y El Ecuador". Cuenca: Universidad de Cuenca.
66. Viera, D., & Arévalo , D. (2017). *Estudio y Normativas para la implementación de Automóviles Eléctricos en el Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: Universidad Internacional Del Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/1851/1/T-UIDE-1380.pdf>
67. Villalba , R. (2014). *Empres Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros Quito*. Quito. Obtenido de http://www.trolebus.gob.ec/images/pdf/Informe_Rendicion_de_Cuentas.pdf
68. Volvo. (2018). Volvo 7900 híbrido.
69. Widman, R. (2015). *El Funcionamiento y Cuidado de la Transmisión CVT*. Obtenido de Widman Internacional SRL: <http://www.widman.biz/boletines/73.html>
70. Zhang, L. (2018). Chapter 2 - High-Power Energy Storage: Ultracapacitors. In H. Du, D. Cao, & H. Zhang , *Modeling, Dynamics and Control of Electrified Vehicles* (pp. 39-75). Ana Claudia Garcia . doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-8127865.00002-1>
71. Zhang, S., & Xiong, R. (2018). Chapter 3 hess and Its Application in Series Hybrid Electric Vehicles. In H. Zhang , D. Cao, & H. Du, *Modeling, Dynamics, and Control of Electrified Vehicles* (pp. 77-119).

72. 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*, 292-308. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.002>

ANEXOS

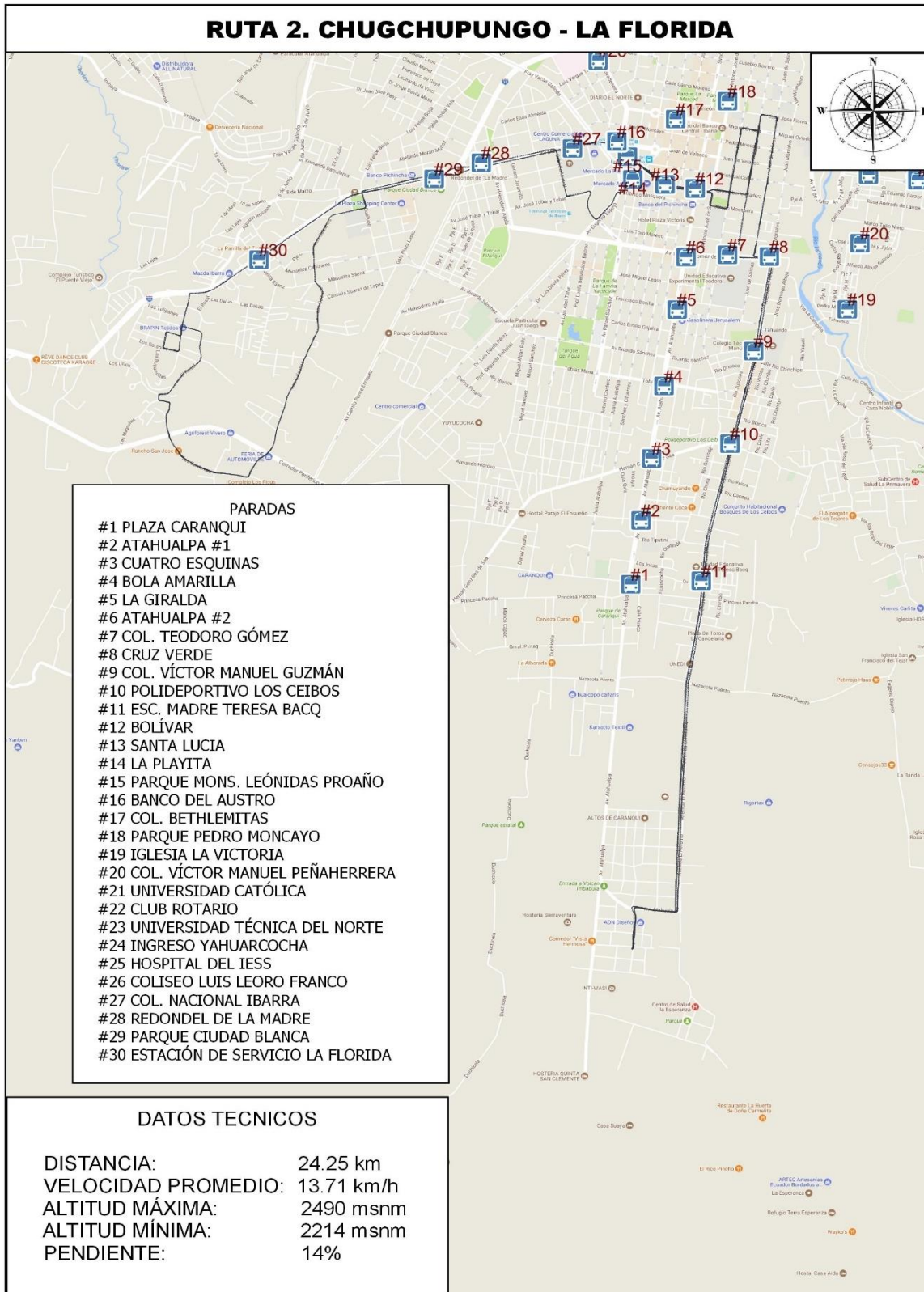
ANEXO I

RUTA 1. LA ESPERANZA – HOSPITAL DEL SEGURO



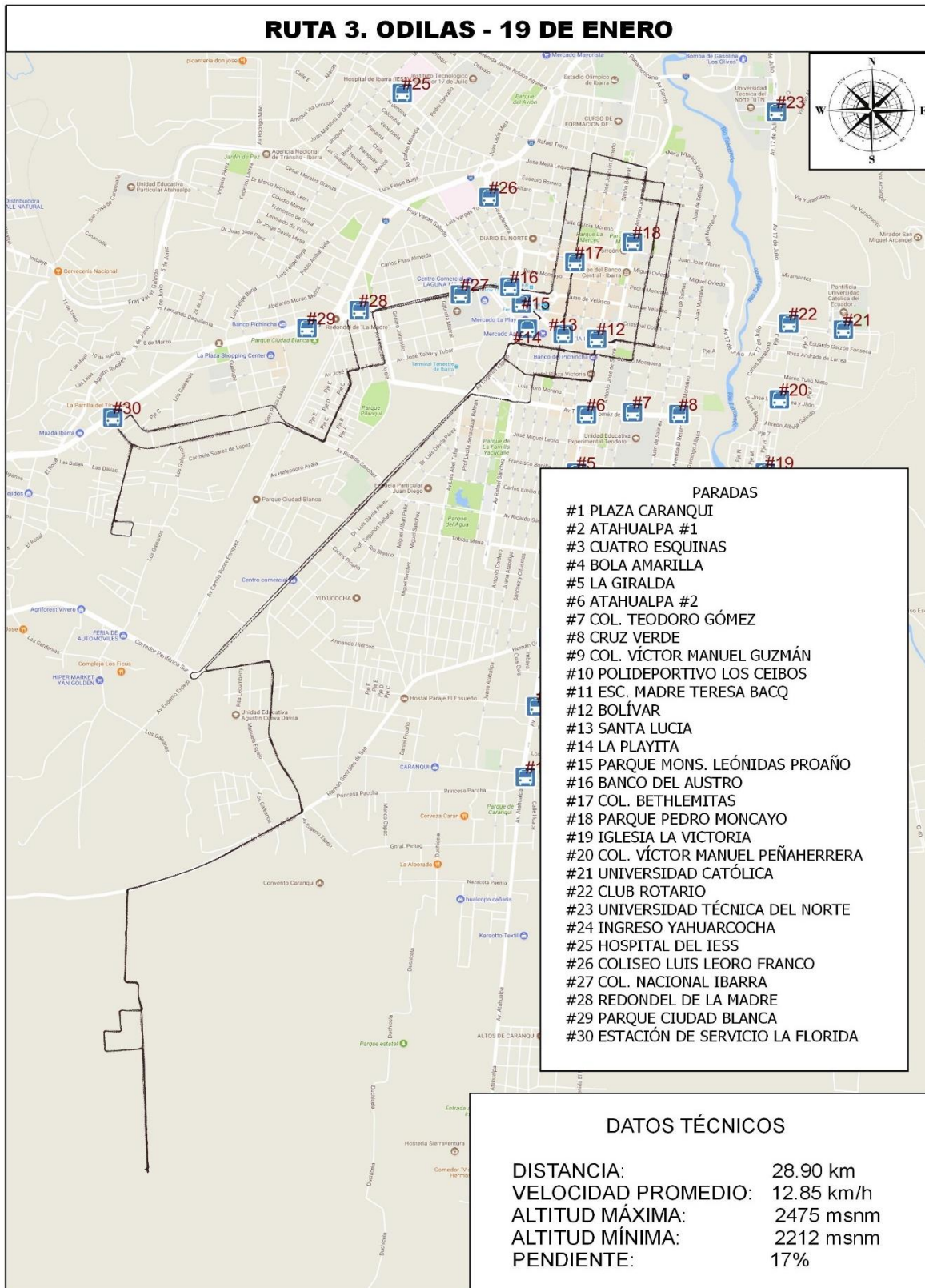
ANEXO II

RUTA 2. CHUGCHUPUNGO – LA FLORIDA



ANEXO III

RUTA 3. ODILAS – 19 DE ENERO



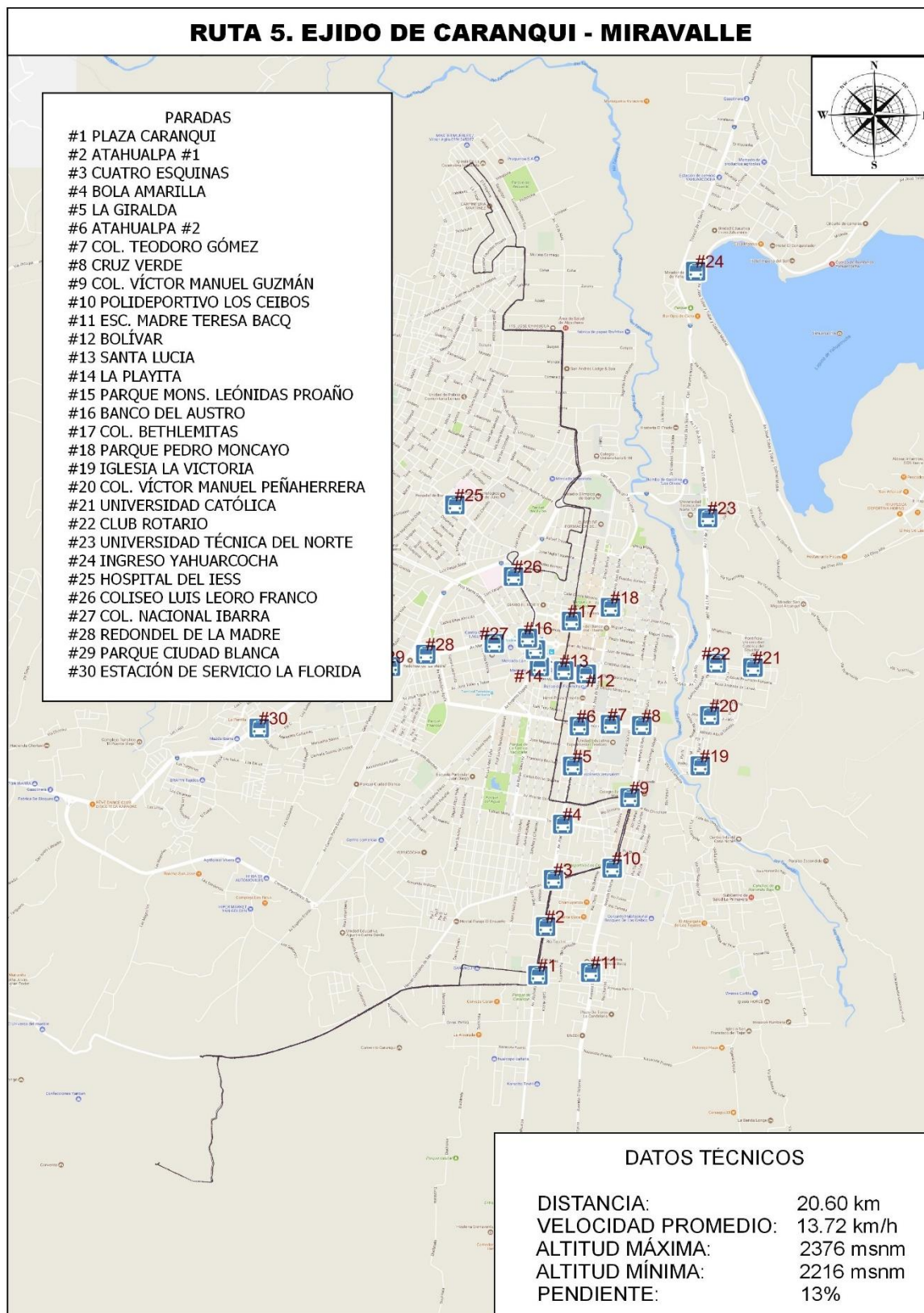
ANEXO IV

RUTA 4. COLINAS DEL NORTE - ADUANA



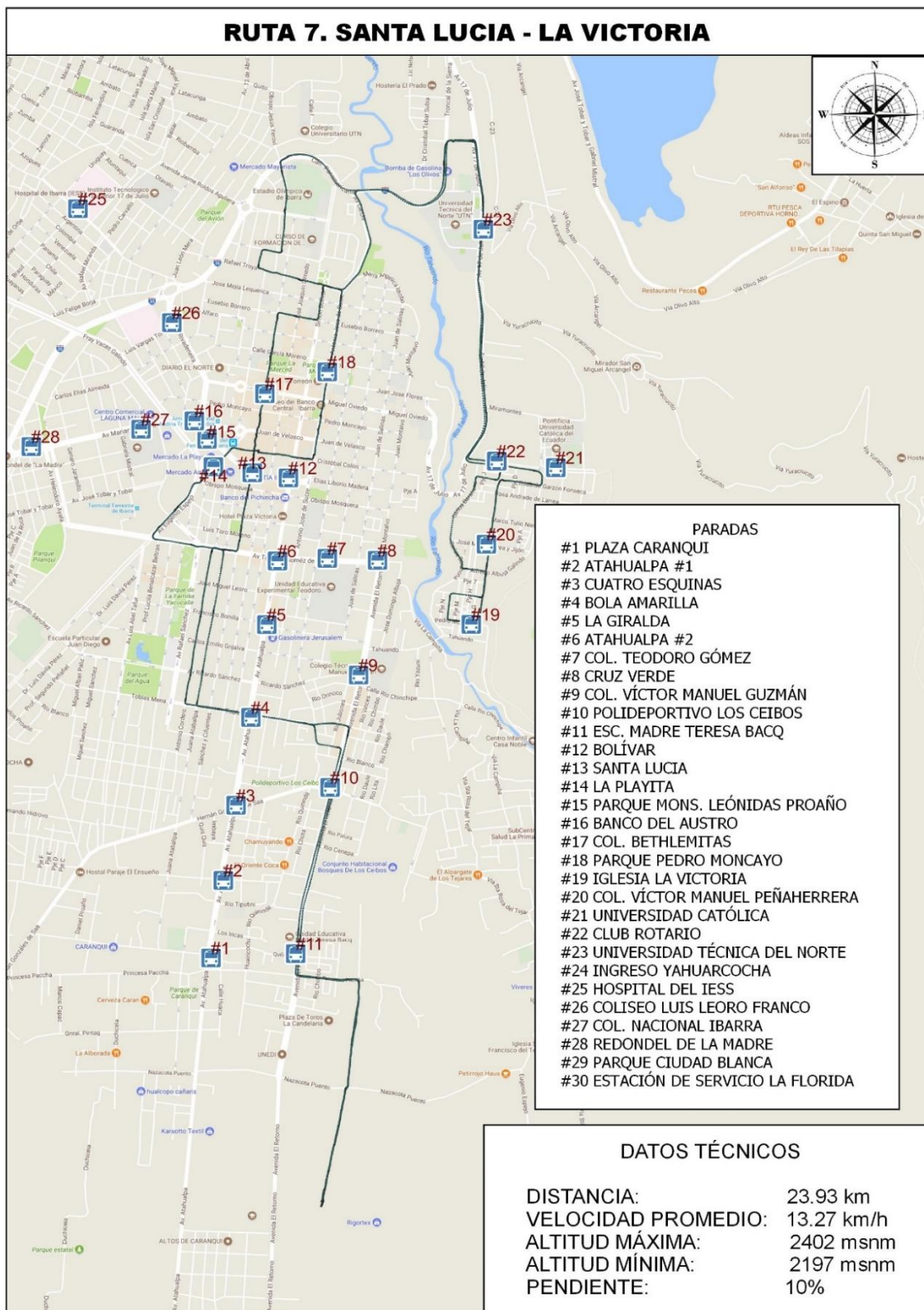
ANEXO V

RUTA 5. EJIDO DE CARANQUI – MIRAVALLE



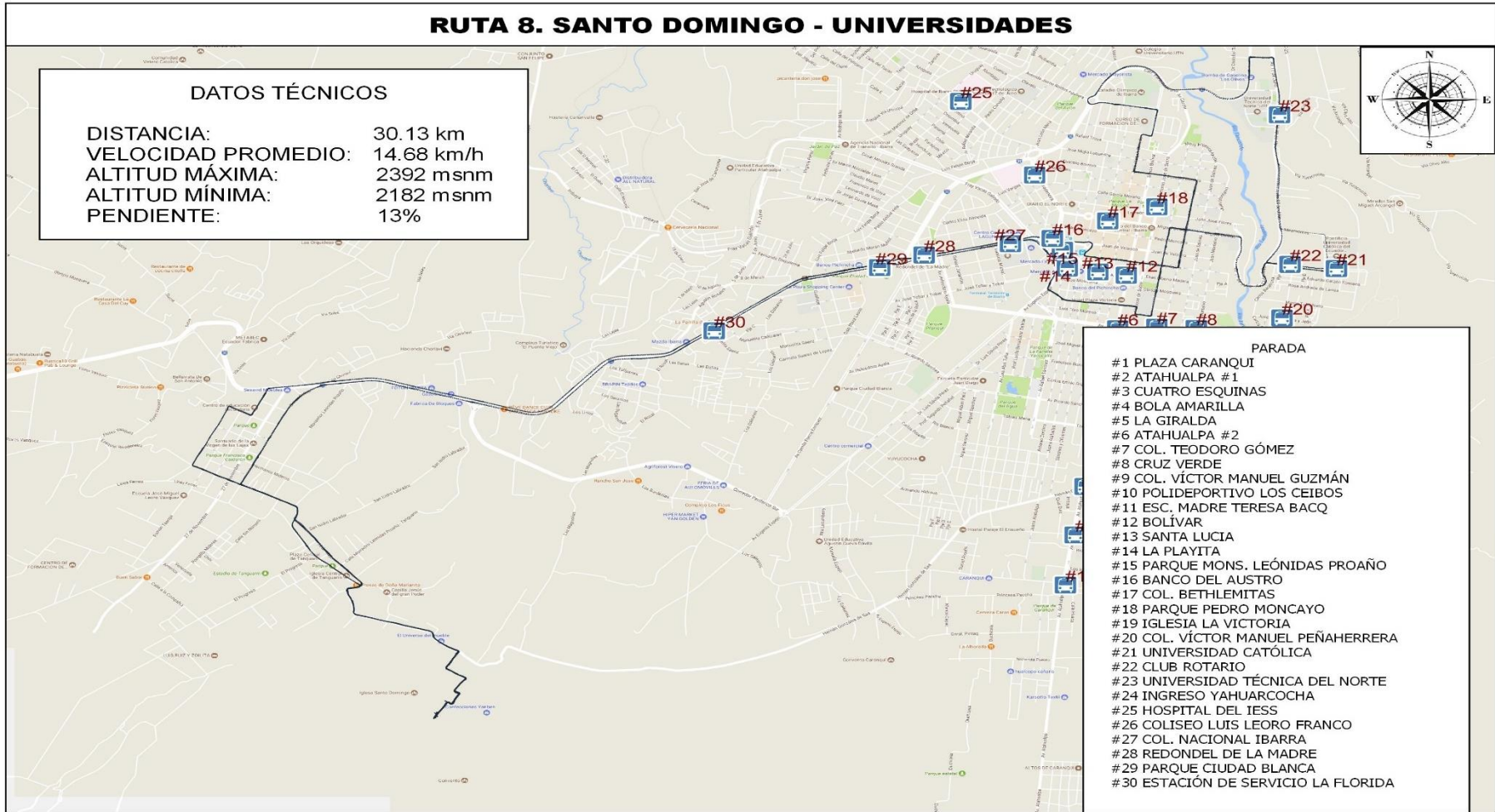
ANEXO VI

RUTA 7. SANTA LUCIA – LA VICTORIA



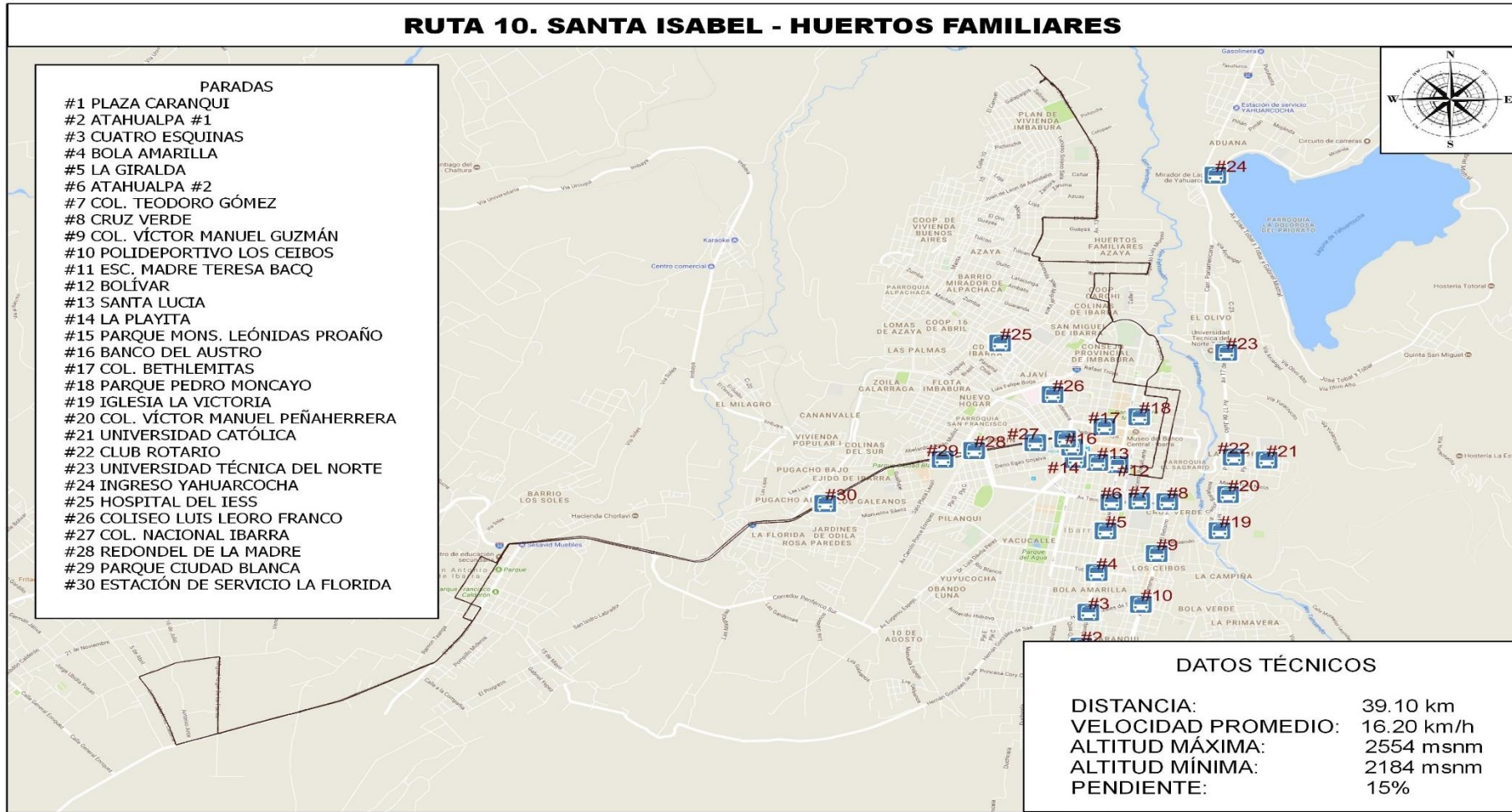
ANEXO VII

RUTA 8. SANTO DOMINGO - UNIVERSIDADES



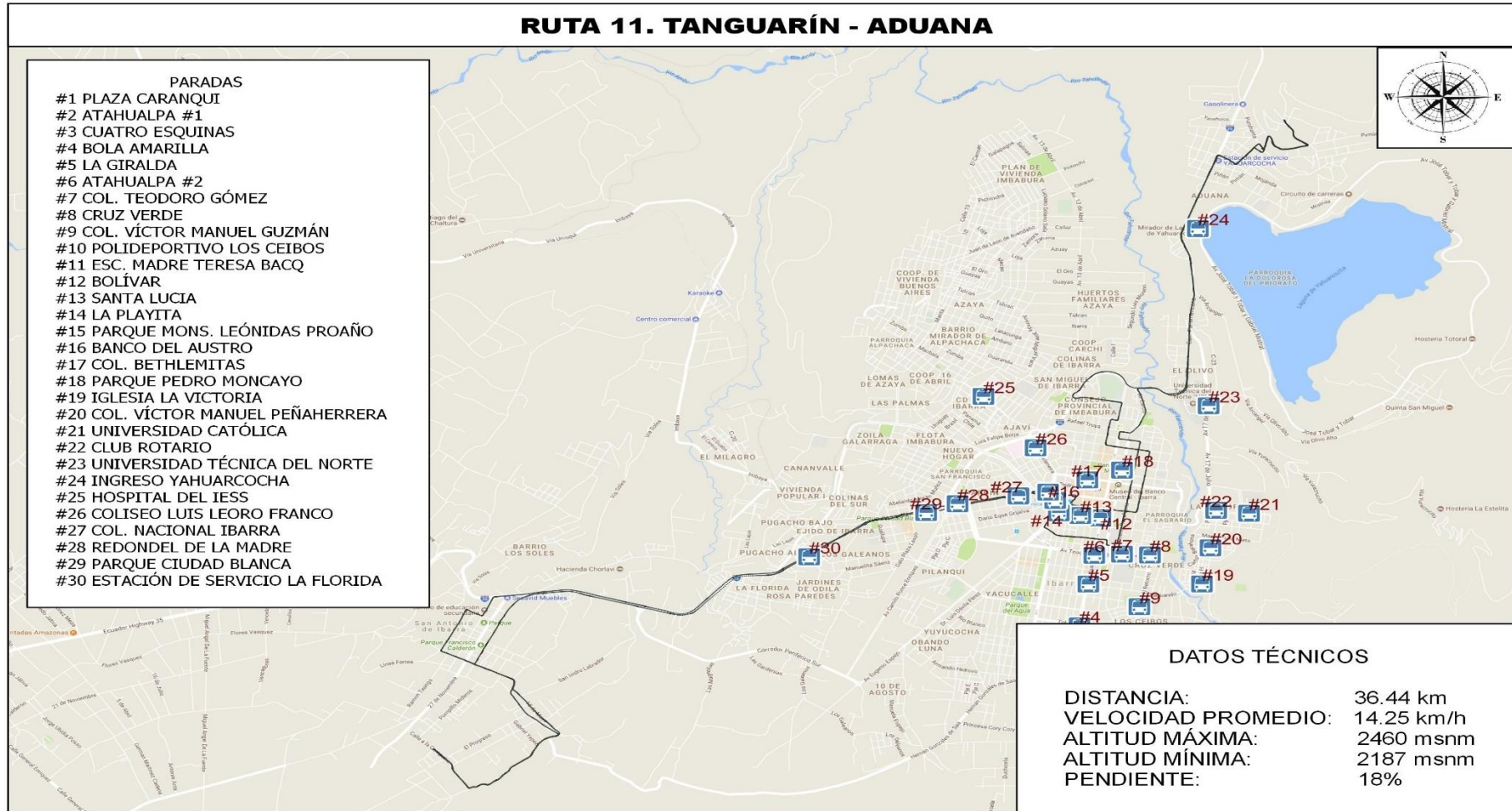
ANEXO VIII

RUTA 10. SANTA ISABEL – HUERTOS FAMILIARES



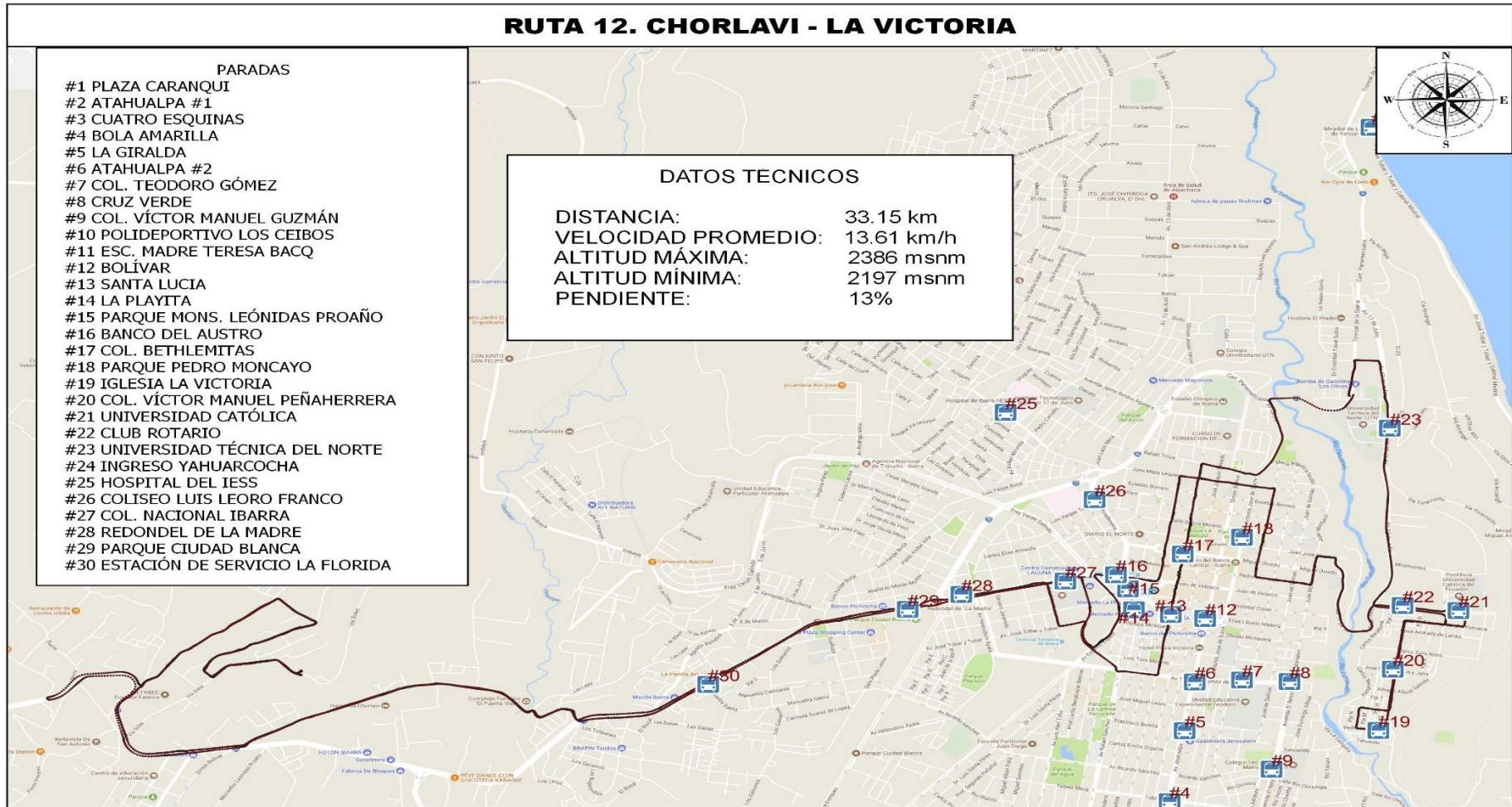
ANEXO IX

RUTA 11. TANGUARÍN – ADUANA



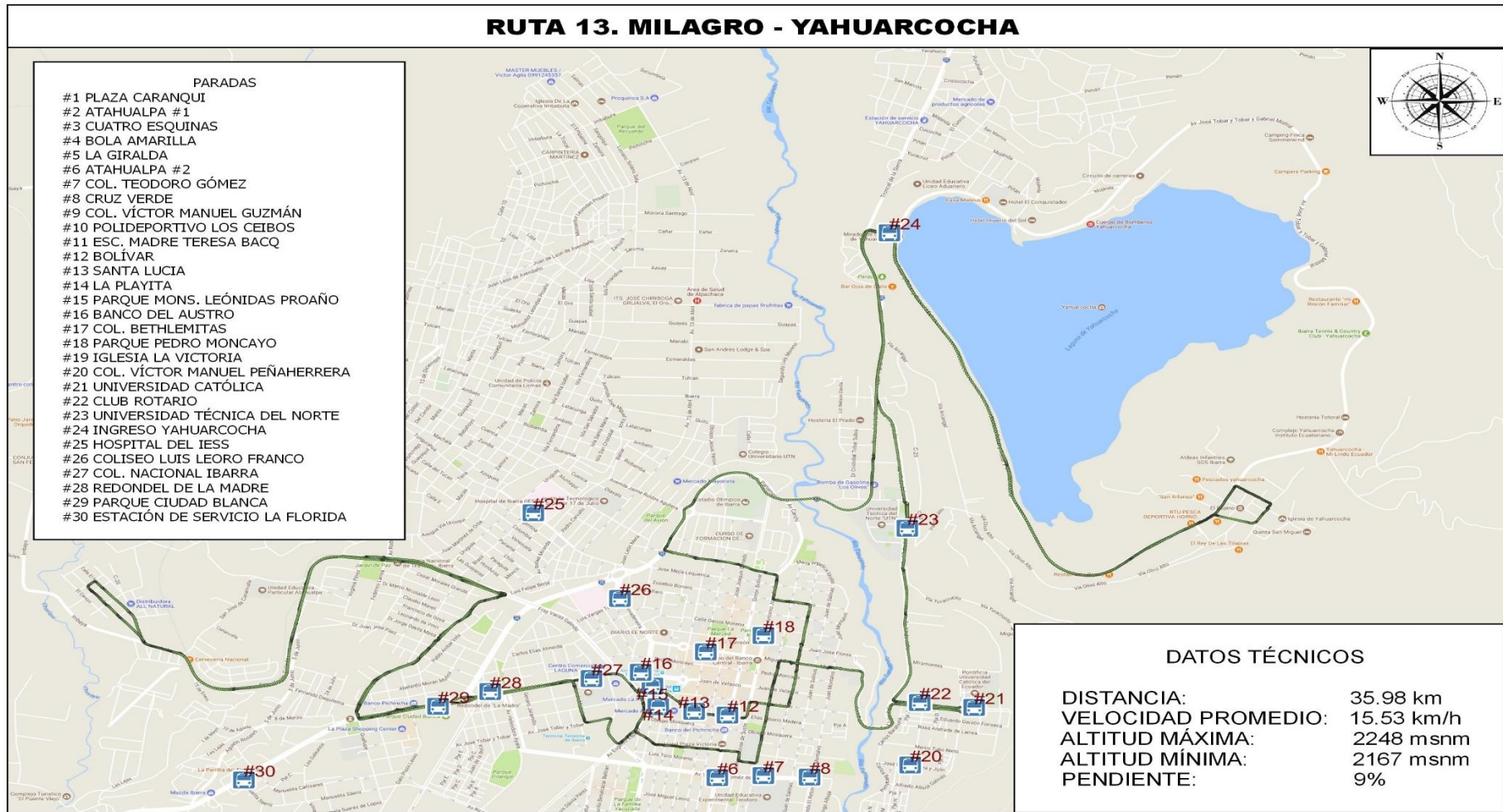
ANEXO X

RUTA 12. CHORLAVI – LA VICTORIA



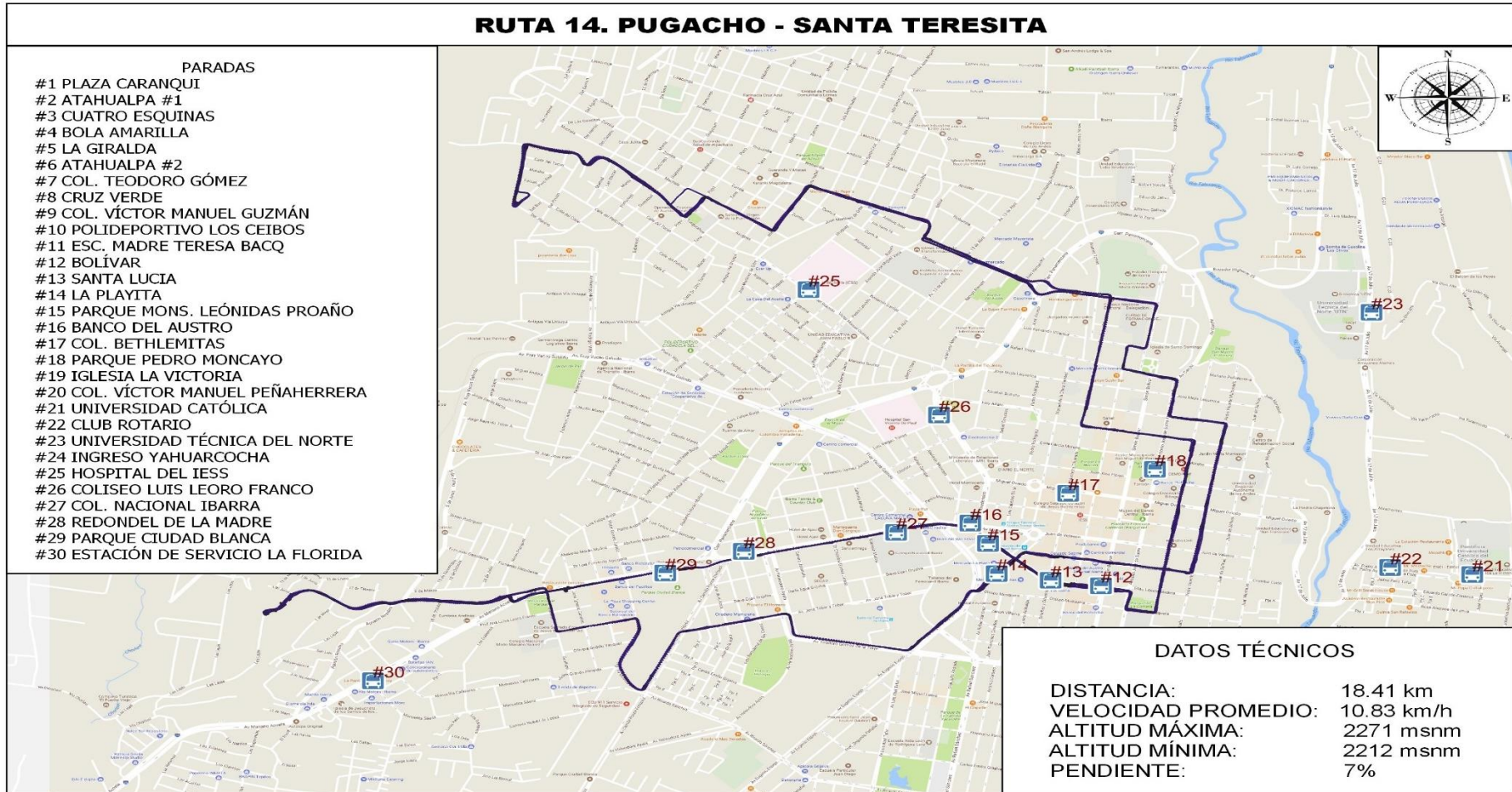
ANEXO XI

RUTA 13. MILAGRO – YAHUARCOCHA



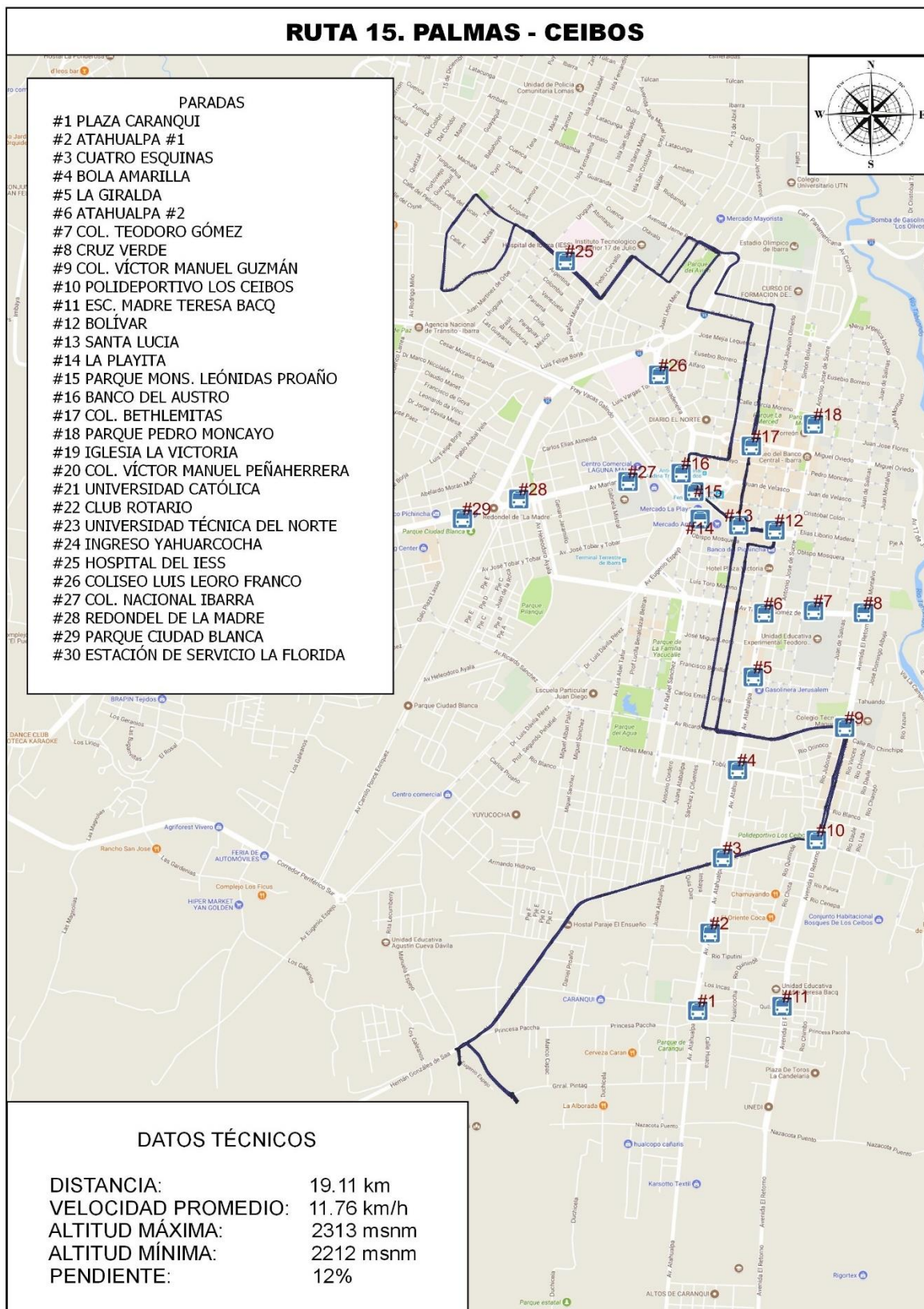
ANEXO XII

RUTA 14. PUGACHO – SANTA TERESITA



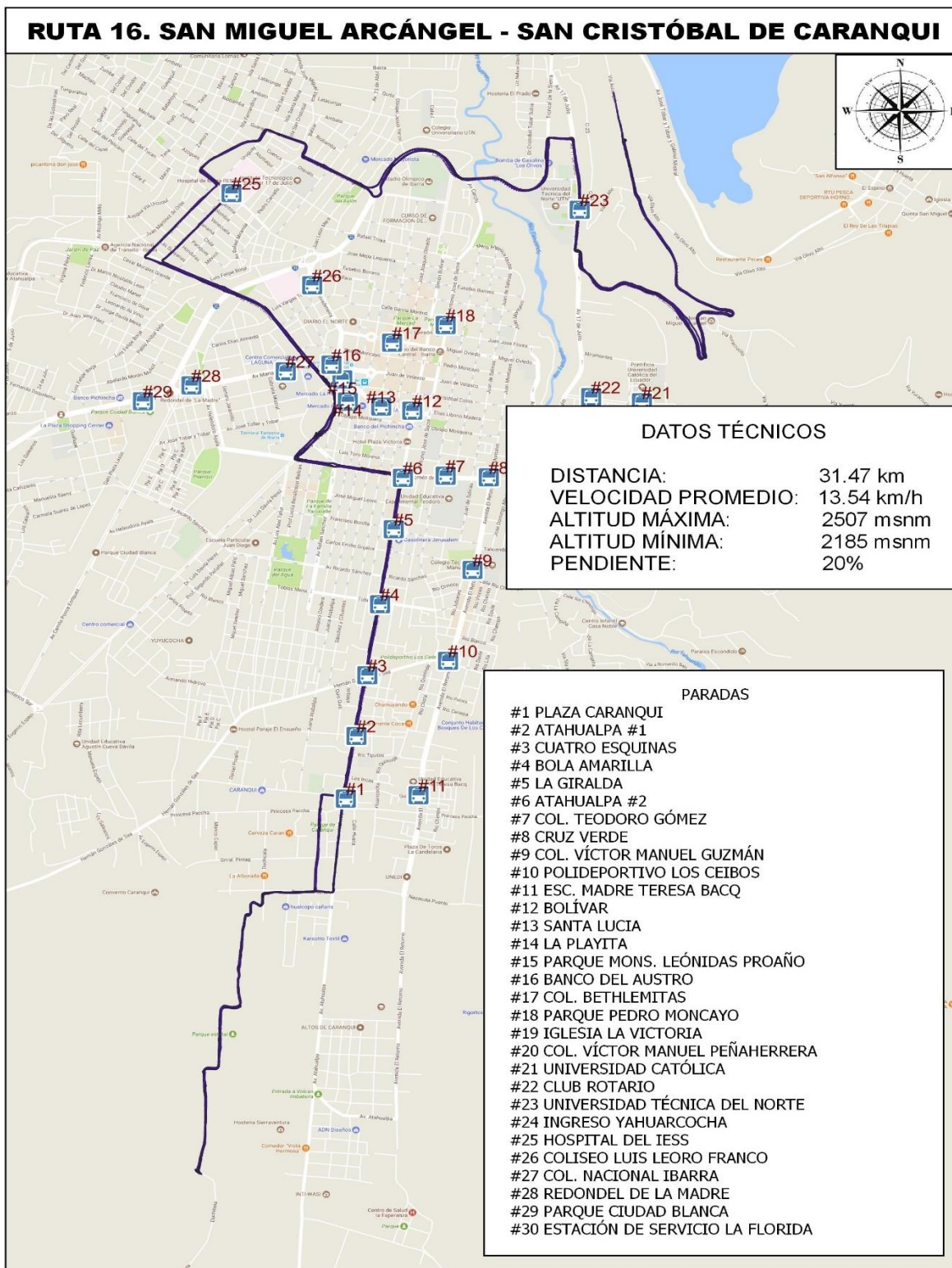
ANEXO XIII

RUTA 15. PALMAS – CEIBOS



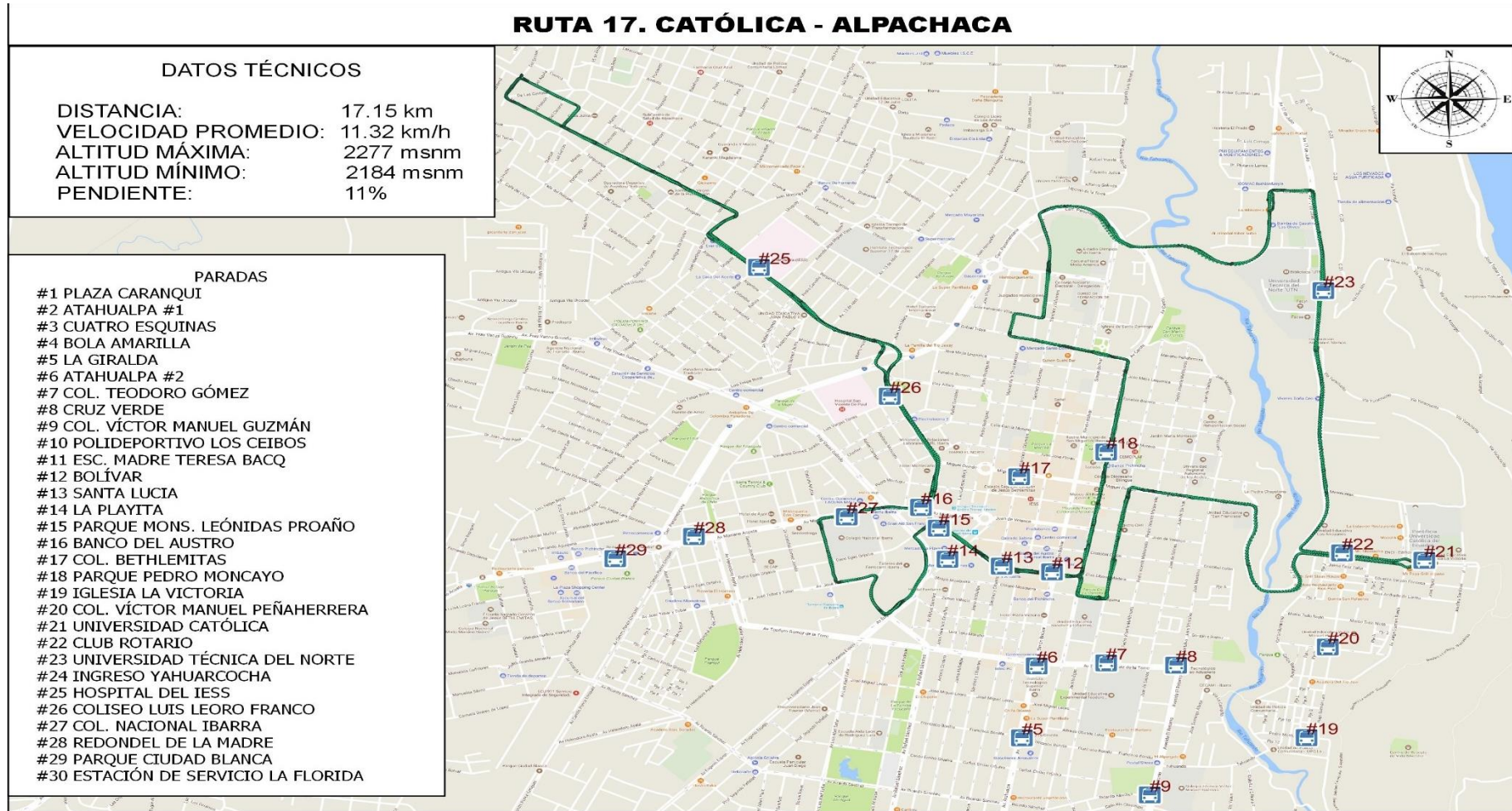
ANEXO XIV

RUTA 16. SAN MIGUEL ARCÁNGEL – SAN CRISTOBAL DE CARANQUI



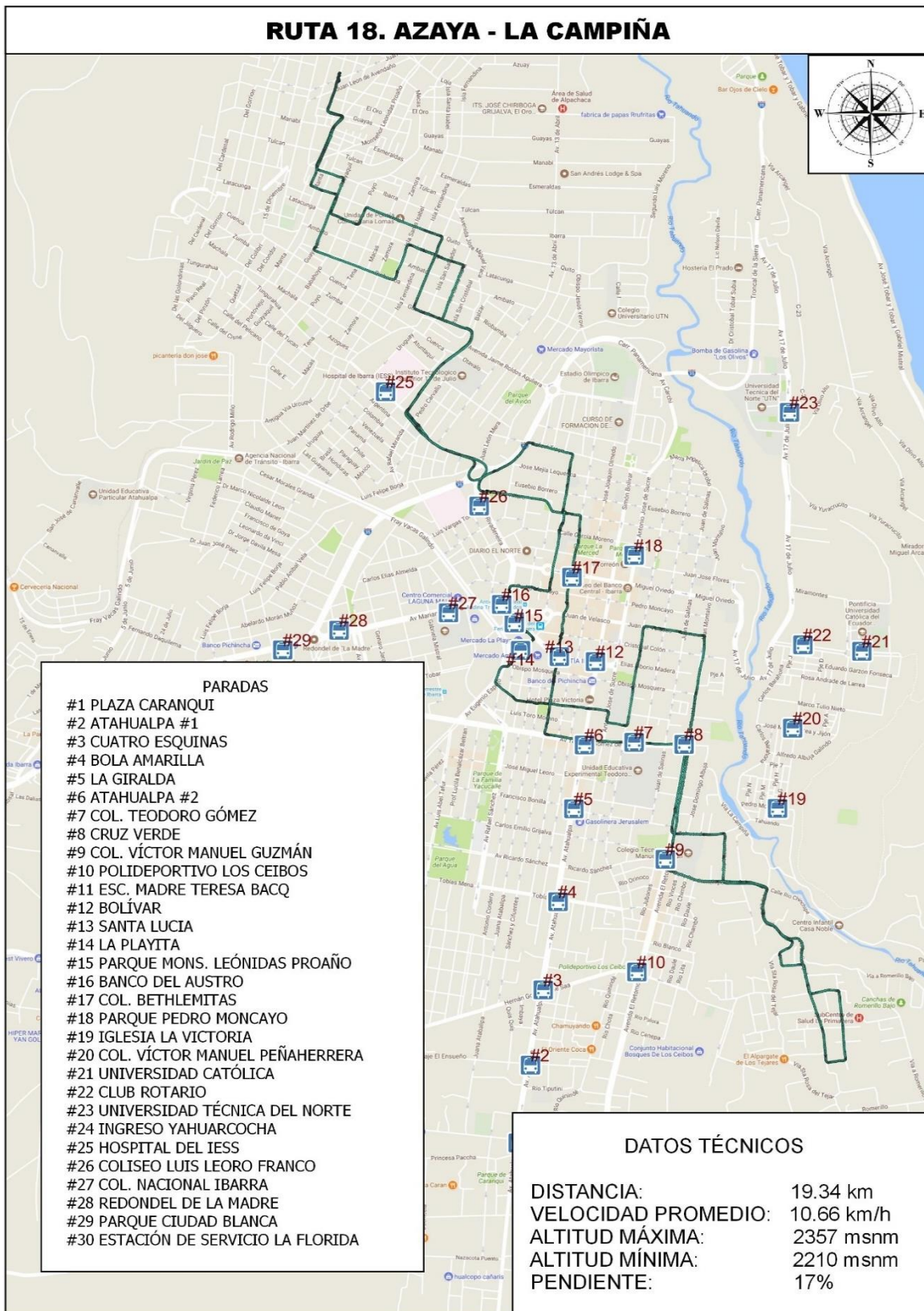
ANEXO XV

RUTA 17. CATÓLICA - ALPACHACA



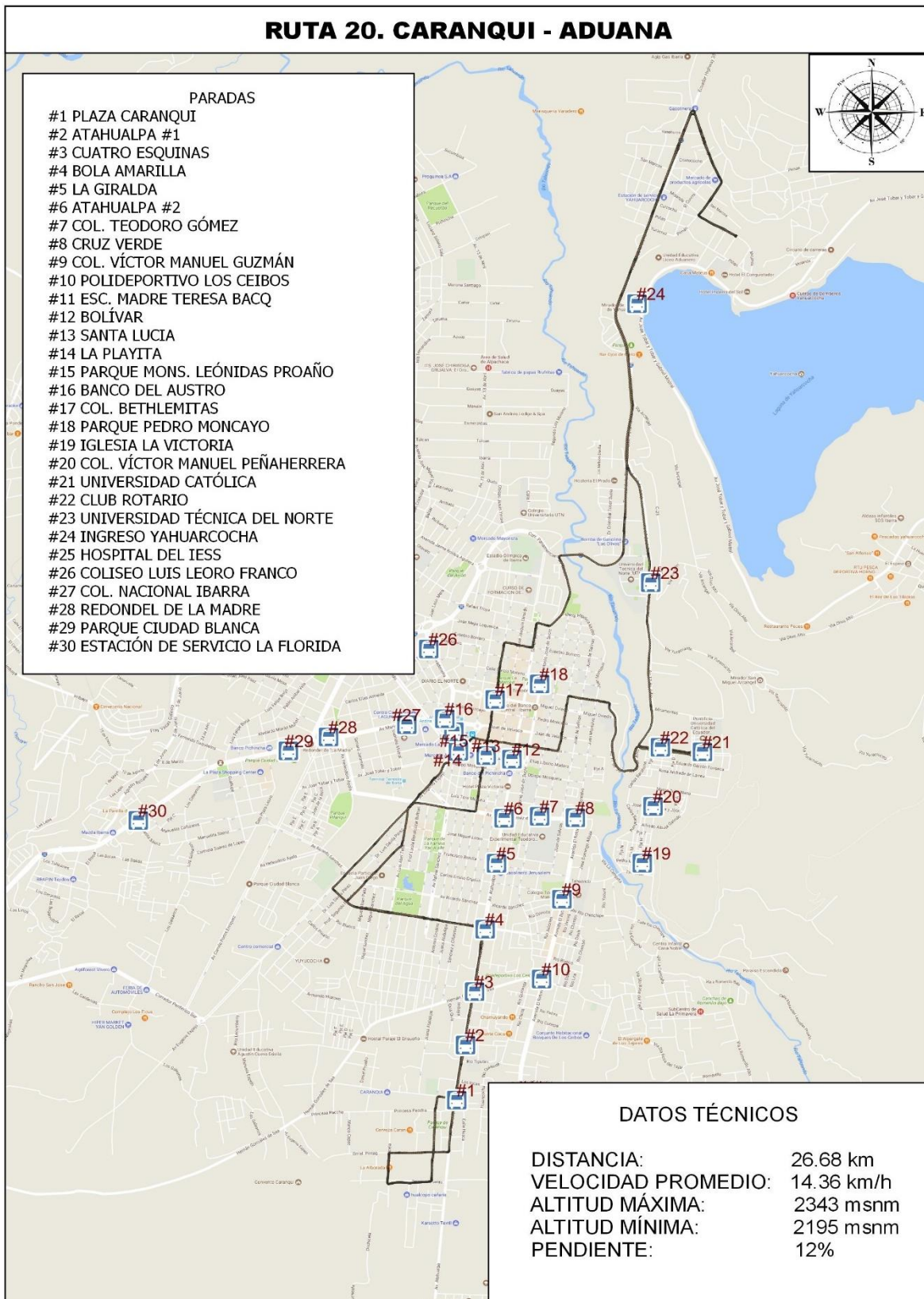
ANEXO XVI

RUTA 18. AZAYA – LA CAMPIÑA



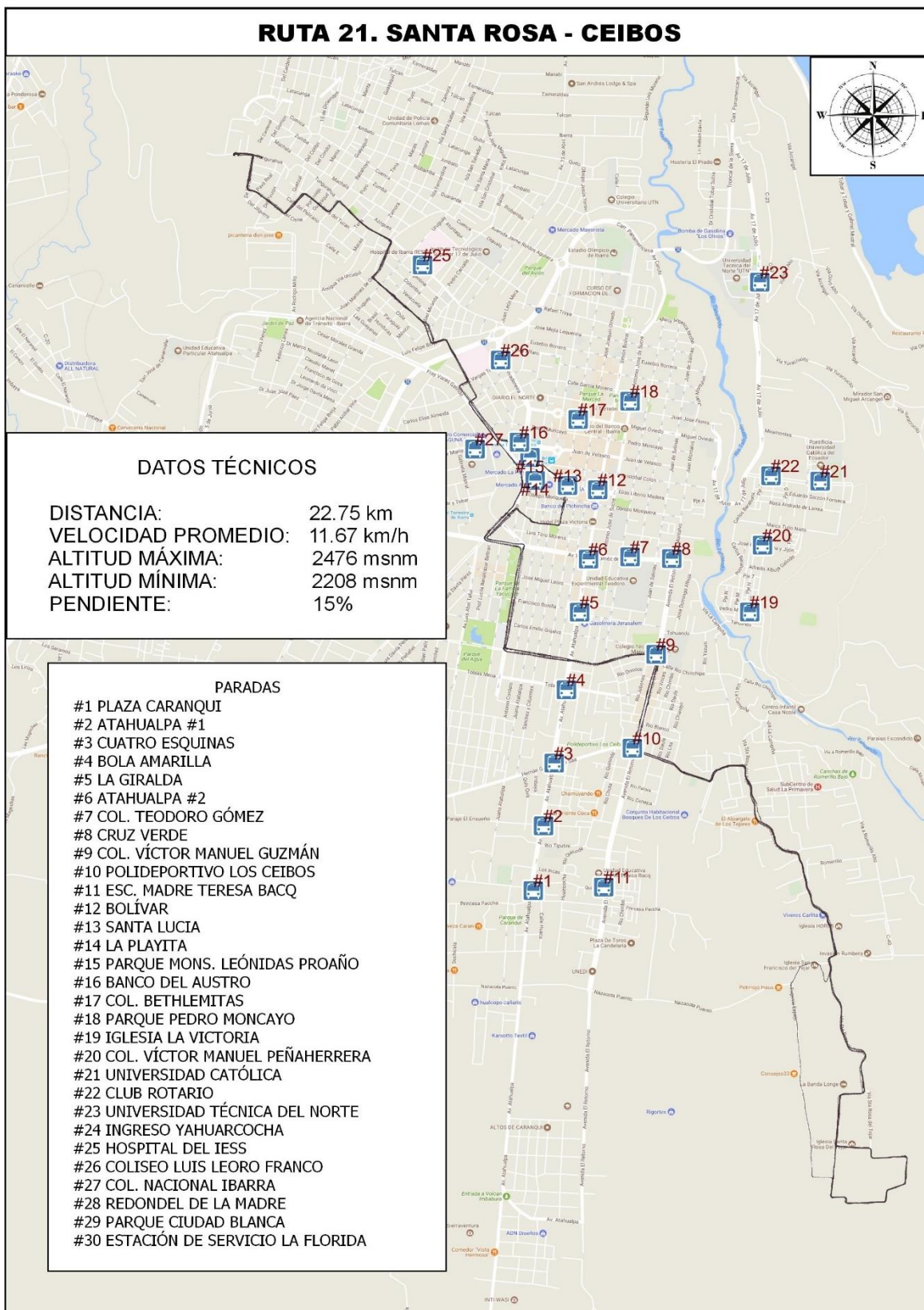
ANEXO XVII

RUTA 20. CARANQUI - ADUANA



ANEXO XVIII

RUTA 21. SANTA ROSA - CEIBOS



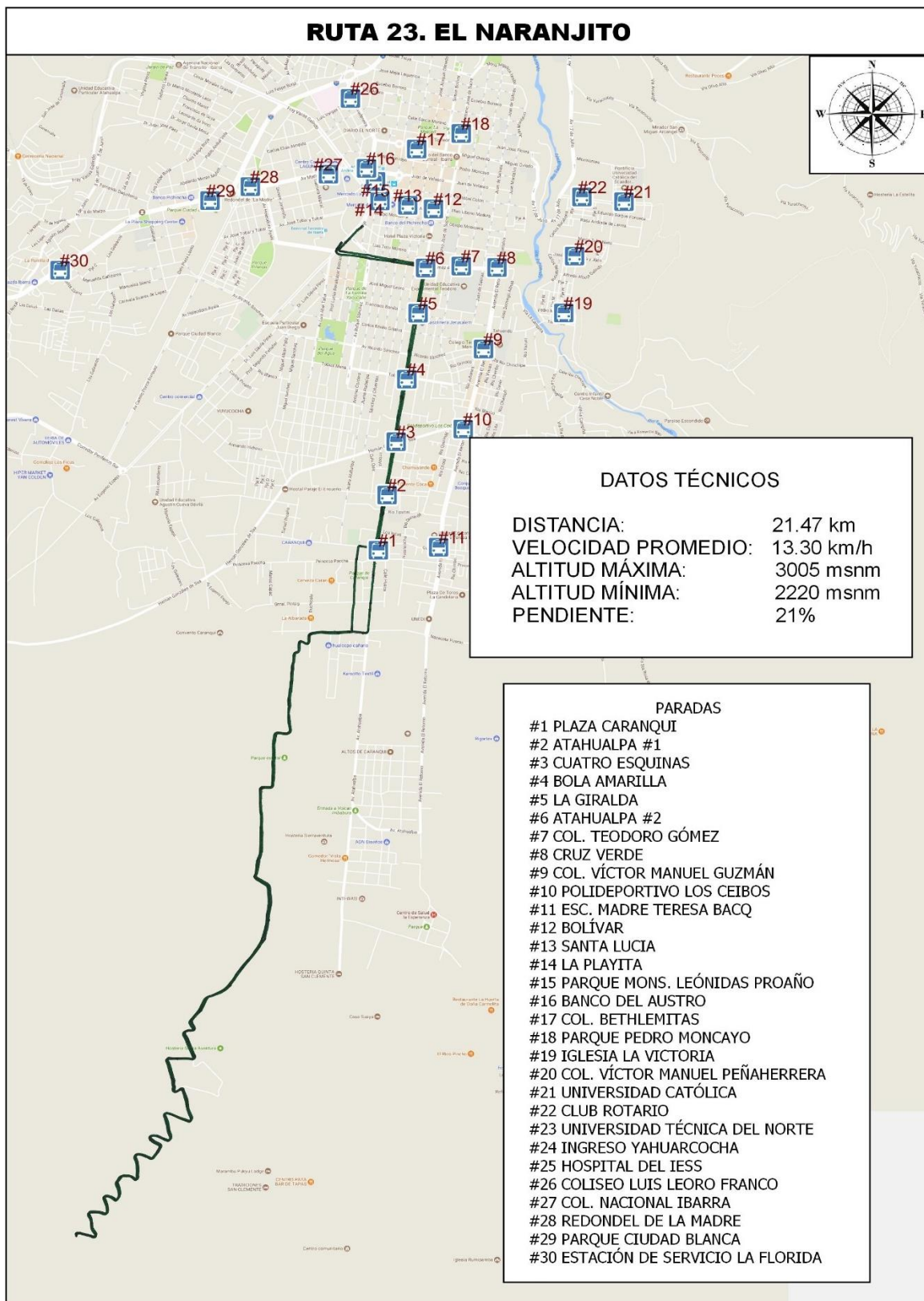
ANEXO XIX

RUTA 22. EL CARMEN – BELLAVISTA



ANEXO XX

RUTA 23. EL NARANJITO



ANEXO XXI

FICHA TÉCNICA DEL AUTOBÚS HÍBRIDO

Ficha Técnica del Autobús Híbrido		Curvatura del torque del motor
Pesos y Dimensiones		
Altura [m]	3,28	
Ancho [m]	2,55	
Largo [m]	12	
Peso en vacío [kg]	11 860	
Peso bruto vehicular [kg]	17 460	
Motor eléctrico		
Tipo	DC	
Potencia máx. [kW]	162	
Torque máx. [Nm]	1 590	
Motor Diésel		
Starbality [%]	43	
Gradeability [%]	84,21	
Neumáticos	275/70R22.5	
Potencia máx. [kW]	230,25	
Torque máx. [Nm]	1 374,23	
RPM [min ⁻¹]	1 600	
Transmisión		
Relación del diferencial	6,53	
Relación de primera	3	
Almacenamiento de energía		
Tipo de baterías	Litio-Ion	
Potencia [kW]	205,25	
Capacidad [Ah]	300	
Voltaje [V]	320	
Intensidad de corriente [A]	641,75	
Peso [kg]	950	
Autonomía [km]	42,07	

ANEXO XXII

FICHA TÉCNICA DEL AUTOBÚS ELÉCTRICO

Ficha Técnica del Autobús Eléctrico	
Pesos y Dimensiones	
Altura [m]	3,28
Ancho [m]	2,55
Largo [m]	12
Peso en vacío [kg]	11 650
Peso bruto vehicular [kg]	17 250
Motor eléctrico	
Tipo	DC
Potencia máx. [kW]	265
Torque máx. [Nm]	2 760
Starbality [%]	37
Gradeability [%]	57,61
Neumáticos	275/70R22.5
Transmisión	
Relación del diferencial	7,03
Relación de primera	2
Almacenamiento de energía	
Tipo de baterías	Litio-Ion
Potencia [kW]	308,25
Capacidad [Ah]	300
Voltaje [V]	576
Intensidad de corriente [A]	535,4
Peso [kg]	1 710
Autonomía [km]	50,43
Sistema de carga	
Tipo de carga	Ultrarrápida
Tipo de corriente	DC
Tiempo de carga [min]	10
Potencia [kW]	400
Voltaje [V]	775
Intensidad de corriente [A]	516

Curvatura del torque del motor	
Curvatura de Gradeability	
Curvatura de la tasa de carga y descarga	

ANEXO XXIII

FICHA TÉCNICA DEL MICROBÚS HÍBRIDO

Ficha Técnica del Microbús Híbrido	
Pesos y Dimensiones	
Altura [m]	3,28
Ancho [m]	2,40
Largo [m]	10
Peso en vacío [kg]	10 000
Peso bruto vehicular [kg]	14 130
Motor eléctrico	
Tipo	DC
Potencia máx. [kW]	130
Torque máx. [Nm]	1 235
Starbality [%]	43
Gradeability [%]	83,76
Neumáticos	265/70R19.5
Motor Diésel	
Potencia máx. [kW]	186,33
Torque máx. [Nm]	1 113
RPM [min ⁻¹]	1 600
Transmisión	
Relación del diferencial	5,92
Relación de primera	3
Almacenamiento de energía	
Tipo de baterías	Litio-Ion
Potencia [kW]	173,25
Capacidad [Ah]	300
Voltaje [V]	272
Intensidad de corriente [A]	637,29
Peso [kg]	807,5
Autonomía [km]	42,37

ANEXO XXIV
FICHA TÉCNICA DEL MICROBÚS ELÉCTRICO

Ficha Técnica del Microbús Eléctrico	
Pesos y Dimensiones	
Altura [m]	3,28
Ancho [m]	2,40
Largo [m]	10
Peso en vacío [kg]	9 790
Peso bruto vehicular [kg]	13 920
Motor eléctrico	
Tipo	DC
Potencia máx. [kW]	215
Torque máx. [Nm]	2 027
Starbality [%]	37
Gradeability [%]	57,92
Neumáticos	265/70R19.5
Transmisión	
Relación del diferencial	6,37
Relación de primera	2
Almacenamiento de energía	
Tipo de baterías	Litio-Ion
Potencia [kW]	263,25
Capacidad [Ah]	300
Voltaje [V]	480
Intensidad de corriente [A]	548,69
Peso [kg]	1425
Autonomía [km]	49,21
Sistema de carga	
Tipo de carga	Ultrarrápida
Tipo de corriente	DC
Tiempo de carga [min]	10
Potencia [kW]	400
Voltaje [V]	775
Intensidad de corriente [A]	516