



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

TEMA:

**“SIMULACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DEL TREN DE POTENCIA
DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO URBANO”**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES: FLORES AMAGUAÑA BRANDON RICARDO
VINUEZA CÓRDOVA JOSÉ LUIS**

DIRECTOR: ING. RAMIRO ANDRÉS ROSERO AÑAZCO MSC.

Ibarra, mayo 2022

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

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

CERTIFICO

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es **“SIMULACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DEL TREN DE POTENCIA DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO URBANO”** presentado por los señores: **Flores Amaguaña Brandon Ricardo** con el número de cédula 100469203-2 y **Vinueza Córdova José Luis** con el número de cédula 100482976-6, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometidos a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 9 días del mes de mayo del 2022.

Atentamente.


Ing. Ramiro Andrés Rosero Añazco MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100469203-2		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Flores Amaguaña Brandon Ricardo		
DIRECCIÓN:	Cantón San Miguel de Urucuquí		
EMAIL:	brfloresa@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	06 2939 797	TELÉFONO MÓVIL:	0997628130
DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100482976-6		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Vinueza Córdova José Luis		
DIRECCIÓN:	Ilumán - Otavalo		
EMAIL:	jlvinuezav@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	06 2946 821	TELÉFONO MÓVIL:	0967579349
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	SIMULACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DEL TREN DE POTENCIA DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO URBANO		
AUTOR (ES):	Flores Amaguaña Brandon Ricardo Vinueza Córdova José Luis		
FECHA:	13 de mayo del 2022		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO		
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ		
ASESOR/DIRECTOR:	Ing. Ramiro Andrés Rosero Añazco MSc.		

1. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos del autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 13 días del mes de mayo del 2022.

AUTORES



FIRMA

Flores Amaguaña Brandon Ricardo

1004692032-2



FIRMA

Vinueza Córdova José Luis

100482976-6

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado está dedicado, primeramente, a Dios por guiarme y apoyar mi camino para cumplir mis metas deseadas, y como segundo a mis padres por ser quienes me motivaron incondicionalmente en toda la carrera para formarme como una persona íntegra, de valores y de aporte para la sociedad de manera que pueda convertirme día a día en una persona profesional con miras al éxito.

Brandon Flores

Este trabajo de grado lo dedico antes que a nadie a Dios quien me ha guiado en los difíciles caminos de la vida, a mis amados y respetados padres, María y José quienes han sido un apoyo incondicional, sus consejos, su sabiduría y su amor han sido los pilares que me han formado como una persona sencilla, honesta y trabajadora. A mis queridos hermanos, quienes me han dado la mano cuando lo he necesitado y con quienes he compartido tristezas y alegría. Ellos son mi fuente de inspiración y mi ejemplo para seguir.

A mi amada esposa Marisol e hija Allpa, ustedes son la razón para esforzarme cada día y no rendirme, en especial mi hija que desde que llegó a este mundo ha hecho de mí un mejor padre y persona.

José Vinueza

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento pleno a Dios por haberme dado la vida y la salud en toda la época que transcurrí como estudiante de la Universidad Técnica del Norte, además doy gracias a Dios por quienes formaron parte de mi vínculo social: familiares, amigos y demás. Quienes me ayudaron a fortalecer mi motivación, mis conocimientos, y de una u otra manera el empeño para salir adelante en toda esta etapa profesional.

Agradezco infinitamente a mis padres por ser las personas quienes pusieron plenamente su confianza en mí, en mis habilidades, destrezas y demás virtudes. Doy gracias porque a pesar de las circunstancias y dificultades que ha pasado en todo este tiempo ellos siempre han sabido dar un consejo sano pleno y excelente para que yo pueda salir adelante.

Así mismo agradezco a la universidad Técnica del Norte por haber abierto sus puertas y permitirme formarme como una persona profesional, como una persona de bien para mi sociedad, y por convertirse en mi segundo hogar. Además, como no agradecer a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, especialmente a la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz a cada uno de los maestros que formaron parte del proceso pedagógico, por sus enseñanzas y brindarnos todos sus conocimientos en toda la carrera. De manera muy especial expreso mi gratitud al Ingeniero Ramiro Rosero, Ingeniero Erik Hernández y al Ingeniero Edwin Arroyo, quienes formaron parte del presente trabajo y me brindaron su ayuda, predisposición para que este trabajo culminara adecuadamente cada uno de los objetivos propuestos.

Brandon Flores

AGRADECIMIENTO

A mi Alma Mater la Universidad Técnica del Norte que me abrió sus puertas para el recorrido hacia la culminación de mi carrera, a mis maestros quienes con su sabiduría y conocimiento me guiaron a través de los años.

Un infinito agradecimiento a mi tutor de tesis MSc. Ramiro Rosero quien con su paciencia y sabios consejos me ayudaron a concluir de la mejor manera este trabajo escrito. Además, ofrezco un sincero agradecimiento a todas las personas y amigos quienes me ayudaron a cumplir esta gran meta en mi vida.

José Vinueza

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	xix
ABSTRACT	XX
INTRODUCCIÓN	XXI
CAPÍTULO I	1
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Situación Actual	2
1.3 Prospectiva	3
1.4 Planteamiento Del Problema	3
1.5 Delimitación	4
1.5.1. Delimitación Temporal	4
1.6 Objetivos	4
1.6.1 Objetivo General	5
1.6.2. Objetivos Específicos	5
1.7 Alcance	5
1.8 Justificación	6
1.9 Movilidad	6
1.9.1. Movilidad Urbana	7
1.9.2. Patrones De Movilidad	8
1.9.3. Movilidad Eléctrica	10
1.9.4. Cambio Climático	12
1.10 Vehículos Eléctricos	15
1.10.1. Configuración Del Vehículo Eléctrico	16
1.10.2. Características Del Motor De Tracción	16
1.10.3. Eficiencia Y Consumo Energético	18
1.10.4 Rendimiento Delvehículo Eléctrico	20
1.11 Almacenamiento Y Generación De Energía	20
1.11.1. Parámetros De La Batería	21
1.11.2 Baterías De Ión – Litio	22
1.11.3 Recarga Del Vehículo Eléctrico	23
1.11.4 Freno Regenerativo	25
1.12 Dimensionamiento De Trens De Potencia	26
1.12.1. Caracterización De Las Fuerzas	27
1.12.2. Dimensionamiento Del Paquete De Baterías	29
1.13 Diseño Y Simulación	30
1.13.1. Diseño	30
1.13.2. Simulación	31

CAPÍTULO II	33
2. MATERIALES Y MÉTODOS	33
2.1. Desarrollo Y Propuesta De Estudio	33
2.2. Determinar Patrones De Movilidad	34
2.2.1 Modelo De 4 Etapas	34
2.2.2 Etapa 1. Generación De Viajes	35
2.2.3 Etapa 2. Distribución De Viajes	37
2.2.4 Etapa 3. Partición Modal	38
2.2.5 Etapa 4. Asignación De Rutas	38
2.3. Ciclos De Conducción	38
2.3.1 Instrumentación Para Levantamiento De Datos	40
2.4. Caracterización Del Vehículo Eléctrico	43
2.4.1 Dimensiones De Chasis Y Carrocería	44
2.4.2 Variables Matemáticas De Entrada Y Salida De La Investigación	46
2.5. Modelado Dinámico Del Vehículo Eléctrico	51
2.5.1 Etapa De Potencia Y Control	51
2.5.2 Etapa De Transmisión	54
2.5.3 Etapa Batería	55
2.6. Software Simulink	57
2.6.1 Funcionamiento Del Software Matlab/Simulink	58
CAPITULO III	59
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
3.1. Definición De Los Resultados	59
3.2. Análisis De Patrones De Movilidad	60
3.2.1 Método De Las 4 Etapas	60
3.2.2 Elaboracion De Ruta	66
3.2.3 Desarrollo De La Ruta Final	69
3.2.4 Determinación Del Ciclo De Conducción	70
3.2.5 Validación Bajo El Reglamento Eu 1151/2017	76
3.3. Caracterización Del Vehículo Eléctrico	78
3.3.1 Dimensiones Ancho De Vía Y Distancia Entre Ejes	78
3.3.2 Dimensiones Técnicas De Carrocería	80
3.4. Modelado Del Tren Motriz - Software Simulink	80
3.4.1 Modelado Del Motor Eléctrico	83
3.4.2 Modelado Del Controlador	84
3.4.3 Modelado De Batería	85
3.4.4 Modelado De La Transmision	88
3.4.5 Modelado Del Diferencial	89
3.4.6 Modelado Vehicle Body	91
3.4.7 Ciclo De Conducción	94
3.4.8 Presentación Del Modelo Final	95
3.5. Análisis De La Simulación	98
3.5.1 Ciclos De Conducción	98

3.5.2 Simulación Del Motor	105
3.5.3 Simulación De La Transmisión	111
3.5.4 Simulación De La Batería	112
3.6 Comparativa Del Ensayo Real Y La Simulación	118
3.6.1 Velocidad Ciclo Real Y Simulación	118
3.6.2 Estado De Carga Y Autonomía Vehicular	121
3.6.3 Régimen Del Motor	124
3.6.4 Potencia Del Motor	126
3.6.5 Consumo	128
3.7 Factores Que Implican La Autonomia	130
3.7.1 Resistencia Aerodinámica	130
3.7.2 Resistencia Por Rodadura	132
3.7.3 Resistencia Por Pendiente	135
3.8 Evaluación De Autonomía Del Estudio.	138
3.8.1 Autonomía Fabricante Y Ciclo Urbano Ece	138
3.8.2 Autonomía Fabricante Y Ciclo Urbano Ibarra	141
3.8.3 Autonomía Ciclo Urbano Ibarra Y Ciclo Ece	143
3.8.4 Autonomía Fabricante Y Ensayo Real Ibarra	144
CAPITULO IV	145
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	145
4.1 Conclusiones	145
4.2 Recomendaciones	147
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	148
ANEXOS	152

INDICE DE TABLAS

TABLA NÚM.	PÁGINA
1.1 Ventajas y desventajas del vehículo eléctrico.	15
2.1 Características de reglamento (EU) 2017/1151	39
2.2 Parámetros y unidades del equipo	41
2.3 Parámetros utilitarios del scanner	42
3.1 Situación poblacional de la ciudad de Ibarra	60
3.2 Demostración de viajes atraídos por zona	62
3.3 Número de viajes en la semana	63
3.4 Matriz origen y destino	64
3.5 Vehículos y viajes por medio de transporte	65
3.6 Rutas con mayor número de viajes para el ciclo de conducción	66
3.7 Características del Ciclo Urbano	71
3.8 Características del Ciclo Rural	72
3.9 Características del ciclo autopista	73
3.10 Características del ciclo de conducción	76
3.11 Reglamento EU 1157/2017 para la validación de las rutas	77
3.12 Especificaciones técnicas de la carrocería	80
3.13 Características del tren motriz del EV	82
3.14 Valores de autonomía y rpm	106
3.15 Análisis de velocidades en las investigaciones	120
3.16 Variaciones de SOC y autonomía del estudio	123
3.17 Variaciones resistencia aerodinámica	132
3.18 Coeficientes de rodadura según el tipo de carretera	133
3.19 Comparativa. Fabricante versus ciclo homologado ECE	140
3.20 Comparativa. Fabricante versus Ciclo urbano Ibarra	143
3.21 Comparativa entre ciclo urbano Ibarra y ciclo ECE	143
3.22 Comparativa. Fabricante versus ciclo real urbano Ibarra	144

ÍNDICE DE FIGURAS

TABLA NÚM.	PÁGINA
1.1 Pirámide de movilidad urbana	7
1.2 Representación de los patrones de movilidad	8
1.3 Graficas de nivel de contaminación sonora en vehículos eléctricos.	13
1.4 Esquema de ACV de un vehículo.	14
1.5 Configuración eléctrica del vehículo.	16
1.6 Curvas características de par y potencia de un motor eléctrico.	17
1.7 Configuración de baterías de Iones de litio.	22
1.8 Tipos de conectores de EV y HEV	24
1.9 Diagrama del sentido de movimiento para el frenado regenerativo	26
1.10 Esquema de fuerzas que desaceleran el vehículo	27
1.11 Diseño inicial de un vehículo eléctrico	31
2.1 Esquema metodológico para la elaboración del trabajo	33
2.2 Esquema del modelo de las 4 etapas	35
2.3 Unidad GPS GL-770	40
2.4 Scanner para procesamiento de datos	41
2.5 Esquema metodológico para la caracterización del vehículo eléctrico	43
2.6 Representación del ancho de vía	44
2.7 Representación de distancia entre ejes	45
2.8 Representación gráfica del área frontal del vehículo	46
2.9 Representación del motor eléctrico	52
2.10 Controlador SEVCON GEN 4 – 48 voltios	53
2.11 Representación de la transmisión del vehículo	54
2 12 Representación de la batería	56
2.13 Representación de un modelamiento vehicular en simulink	58
3.1 Metodología para los resultados	59
3.2 Ruta urbana	67
3.3 Ruta rural	68
3.4 Ruta Autopista	69
3.5 Representación de la ruta final	70

3.6	Ciclo de conducción Urbano	71
3.7	Ciclo de conducción rural	72
3.8	Ciclo de conducción autopista	73
3.9	Gráfica final del ciclo de conducción	75
3.10	Metodología para la caracterización del EV	78
3.11	Dimensiones del vehículo en milímetros (mm)	79
3.12	Representación de la librería	81
3.13	Modelado del motor eléctrico DC	83
3.14	Circuito del motor DC	83
3.15	Representación del puente H, como controlador	84
3.16	Representación del paquete de baterías (Ion-Litio)	86
3.17	Circuito equivalente al modelo la batería	86
3.18	Características de descarga	87
3.19	Representación de la transmisión de vehículo	88
3.20	Representación del diferencial	90
3.21	Representación del vehicle body	91
3.22	Variables de la dinámica de vehículo	91
3.23	Bloque del ciclo de conducción	94
3.24	Presentación del ciclo de conducción de Ibarra en Simulink	95
3.25	Modelado final en librería simulink del EV	97
3.26	Ciclo de conducción urbana y velocidad vs tiempo. Simulación	98
3.27	Ampliación de la gráfica C. Urbano	99
3.28	Ciclo de conducción rural y velocidad vs tiempo. Simulación	100
3.29	Ampliación de la gráfica ciclo rural	101
3.30	Ciclo de conducción Autopista y velocidad vs tiempo. Simulación	102
3.31	Comportamiento de la velocidad del vehículo en el ciclo	103
3.32	Ciclo completo. Velocidad versus tiempo	104
3.33	RPM y autonomía	105
3.34	RPM vs Velocidad del ciclo de conducción	106
3.35	Torque del motor y autonomía en función del tiempo	107
3.36	Ampliación de la gráfica. Torque vs Autonomía	107

3.37	Corriente y torque en función del tiempo	108
3.38	Ampliación de la gráfica. Amperios vs Torque	109
3.39	Torque y RPM en función del tiempo	110
3.40	Torque de la transmisión y la autonomía en función del tiempo	111
3.41	Simulación de voltaje y amperios de la batería	112
3.42	Potencia en función del tiempo	113
3.43	Potencia y voltaje en función del tiempo	114
3.44	Potencia y amperios en función del tiempo	115
3.45	Consumo y autonomía (Simulink)	116
3.46	Ampliación de la gráfica. Autonomía vs Consumo	117
3.47	Comparativa de velocidades	119
3.48	Variabilidad de la simulación	120
3.49	Causas del sistema de medición	120
3.50	Configuración SOC y autonomía en Simulación	121
3.51	SOC y autonomía según el ensayo real	122
3.52	Revoluciones por minuto del motor del ensayo real	124
3.53	Revoluciones de motor Simulink	125
3.54	Potencia del motor del EV en el ciclo	126
3.55	Potencia de motor de Simulink	127
3.56	Consumo en función de la velocidad	128
3.57	Consumo y velocidad en la simulación	129
3.58	Representación de resistencia aerodinámica	131
3.59	Resistencia por rodadura según la simulación	134
3.60	Resistencia a la rodadura Simulink	135
3.61	Distancia para determinar la pendiente	136
3.62	Componentes para determinar la pendiente	136
3.63	Ciclo ECE emulado por Simulink	138
3.64	Simulación del ciclo ECE	139
3.65	SOC y autonomía del ciclo ECE	139
3.66	Simulación ciclo urbano Ibarra	141
3.67	Autonomía en ciclo urbano ciudad Ibarra	142

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN NÚM.	PÁGINA
2.1 Generacion de viajes	36
2.2 Determinación de muestra	37
2.3 Distribución de viajes	37
2.4 Partición modal	38
2.5 Resistencia aerodinámica	47
2.6 Ángulo de pendiente	47
2.7 Resistencia gravitatoria	47
2.8 Resistencia a la rodadura	48
2.9 Estado de carga - Simulink	48
2.10 Estado de carga en función de voltaje de batería	49
2.11 Energía de recuperación	49
2.12 Autonomía	50
2.13 Consumo	50
2.14 Relación de transmisión - caja de cambios	55
2.15 Relación de transmisión - Diferencial	55
2.16 Resistencia de Batería	56
2.17 Potencia de Batería	57
3. 1 Voltaje de Batería	84
3. 2 Torque eléctrico	84
3. 3 Fuerza electromotriz	84
3. 4 Torque eléctrico inducido	84
3. 5 Voltaje puente H	85
3. 6 Modelo de descarga de batería	87
3. 7 Modelo de carga de batería	87
3. 8 Ecuación cinemática caja de cambios simple	89
3. 9 Relación de transmisiónde B/S caja de cambios simple	89
3. 10 Velocidad de engrane de solar de diferencial	90
3. 11 Ecuación de modelado de cuerpo del vehículo	92
3. 12 Resistencia por rodadura - Simulink	93

3. 13 Resistencia aerodinámica - Simulink

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO NÚM.	PÁGINA
1. Modelo de la encuesta aplicada la ciudad de Ibarra	153
2. Características del datalogger GL - 770	154
3. Características de motor de tracción y transmisión	155
4. Representación final del simulador desplegado	156

GLOSARIO

ACV	Análisis de ciclo de vida
ECE	Ciclo Europeo
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ISO	Organización Internacional de Normalización
RDE	Ensayo de Conducción Real
SOC	Estado de carga
VE	Vehículo eléctrico

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo desarrollar la simulación y dimensionamiento del tren de potencia de un vehículo eléctrico urbano mediante el software Matlab/Simulink, con la finalidad de realizar una comparativa de autonomía vehicular entre los valores reales de ensayo en ruta y los resultados de la simulación. La adquisición del vehículo eléctrico Renault Twizy Cargo 80, permitió evaluar el desempeño técnico del mismo mediante pruebas experimentales de conducción real. El estudio de los patrones de movilidad en la ciudad de Ibarra se desarrolló mediante el método de 4 etapas donde permitió conocer la ruta en la parte urbana de la ciudad; y se consiguió una distancia de 17,3 km. Sin embargo, las rutas de tipo rural y autopista, debido a que las vías son delimitadas no presentan un esquema complicado de movilidad dando así para la ruta rural una distancia de 17,6 km y de 20 km en la autopista, cumpliendo con lo indicado por el Reglamento Ensayos de Conducción Real (RDE), y así conformar el ciclo de conducción. Por consiguiente, al caracterizar el tren motriz, se realizó el desmontaje de elementos donde adquirimos las siguientes características: par motor 57 Nm y 13 kW de potencia, relación de transmisión 9.23:1, un controlador de energía de 48 voltios y, el paquete de baterías el cual se conforma de 7 módulos de 8.6 voltios, obteniendo un total de 58 voltios y 130 Ah. La simulación se realizó mediante la librería “*Simscape Electrical – Electromechanical*” y permitió la elaboración de bloques representativos del sistema motriz para verificar el comportamiento vehicular, los valores de la simulación en el ciclo de conducción de Ibarra fueron una autonomía 57,3 km con la carga de 100 - 11% terminando el ciclo, mientras que con la carga del 100 – 0% se obtuvo una autonomía final de 63,3 km, estos valores fueron necesarios para realizar una tabla comparativa con los resultados del ciclo real del ensayo los cuales fueron, una autonomía en el ciclo de 54,5 km con la carga de 100 – 33%, mientras que del 100 – 0% se conoció una autonomía de 63,17 km lo cual fue aceptable con un desfase del 30%. Finalmente, los resultados de la simulación son evaluados con la autonomía que manifiesta el manual del fabricante, la homologación es realizada en el ciclo ECE (Extra-Urban Cycle) que proporciona 100 km de autonomía con la carga de 100 – 0% y un consumo de 63 Wh/km, mientras que los resultados del software en el mismo ciclo ECE fueron de 80,45 km de autonomía con la carga de 100 – 0% y un consumo de 75,82 Wh/km, obteniendo una variación aceptable de hasta un 20 % de cada uno.

ABSTRACT

The objective of this research work is to develop the simulation and dimensioning of an urban electric vehicle's power train using the Matlab/Simulink software to compare the vehicle autonomy between the real values of the road test and the simulation results. The acquisition of the Renault Twizy Cargo 80 electric car made possible to evaluate its technical performance through experimental real driving tests. The study of mobility patterns in the Ibarra's city was developed through the 4-stage method. It allowed knowing the route in the urban part of the city; and a distance of 17,3 km was achieved. However, rural routes and motorways do not present a complicated mobility scheme because the roads are delimited, thus giving a distance of 17,6 km for the rural route and 20 km on the motorway. This complies with the Real Driving Tests Regulation (RDE), and thus conform the driving cycle. On the other hand, the characterization of the driving train carried out a disassembly of elements which obtained the following characteristics: 57 NM torque and 13 KW of power; transmission ratio 9.23:1, a 48-volt energy controller and the battery pack which is made up with 7 modules of 8.6 volts. It obtained a total of 58 volts and 130 Ah. The simulation was carried out using the "Simscape Electrical – Electromechanical" library and it permitted the elaboration of representative blocks of the motor system to verify the vehicular behavior. The simulation values in the Ibarra driving cycle were an autonomy of 57.3 km with a battery charge of 100 – 11% finishing the cycle, while with the load of 100 – 0% was gotten a final autonomy of 63.3 km. These values were necessary to make a comparative table with the results of the real test cycle. There were an autonomy in the cycle of 54.5 km with a battery charge of 100-33 %, while from 100-0% an autonomy of 63,17 km was known which was acceptable with a lag of 30%. Finally, the results of the simulation were evaluated with the autonomy stated in the manufacturer's manual, the homologation is carried out in the ECE cycle (Extra-Urban Cycle) that provides 100 km of autonomy with a battery charge of 100 – 0% and a consumption of 63 Wh/km, while the results of the software in the same ECE cycle were 80.45 km of autonomy with a load of 100 – 0% and a consumption of 75.82 Wh/km, obtaining and acceptable variation of up to 20% of each one.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el crecimiento y desarrollo en nuevas tecnologías de vehículos eléctricos son consideradas como posibles soluciones para aminorar los problemas de contaminación ambiental que existen debido a los transportes que dependen de combustibles fósiles. Aunque su producción ha determinado varias desventajas frente a un vehículo común, principalmente en su sistema de recarga y autonomía que varía entre los 90 y 200 de recorrido, debido a los contenidos de una batería de alto voltaje son módulos de Ion-Litio considerándose la más comercializada y la más crítica para su recarga. (Padilla-Padilla, 2018, pág.37)

El desconocimiento de la autonomía vehicular en nuestra sociedad limita el adquirir estos tipos de vehículos por el costo de adquisición, mantenimiento, el tipo de terreno, carreteras, pendientes y aspectos que aumentan el consumo del paquete de baterías limitando el rendimiento de manejo de este, provocando poca fiabilidad en quienes requieren un transporte personal. Aunque en la actualidad los vehículos eléctricos y las nuevas tecnologías en los países latinoamericanos están tomando un punto de cambio dentro de la matriz energética, tal como en Ecuador, en el 2018 se comercializó a nivel nacional 130 vehículos eléctricos por el cual se espera que hasta el 2025 exista un aproximado de 15 000 vehículos solo eléctricos. (Castro Mediavilla, 2017, pág. 19)

Los vehículos eléctricos al caracterizarse de su sistema electromecánico el cual se diferencia de uno a combustión, son la parte principal donde involucra con la pérdida de su almacenamiento, esto relacionado además con las condiciones climáticas del sector y los diferentes ciclos de conducción; por lo tanto la presente investigación formula a través del software matemático Matlab una herramienta de simulación como Simulink el cual proporcionan un estudio de los complementos más importantes de un tren motriz electromecánico (motor, controlador, transmisión y paquete de baterías).

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 ANTECEDENTES

Desde la creación de los vehículos eléctricos y la implementación de diferentes tecnologías en la industria automotriz, han permitido el desarrollo de diferentes técnicas que permiten la reducción del impacto ambiental que un vehículo convencional provoca (Onat et al., 2019). El uso de vehículos eléctricos ha representado una iniciativa importante para la disminución de los gases de efecto invernadero y el consumo de combustibles fósiles. Aunque su producción ha determinado varias desventajas frente a un vehículo de combustión, principalmente en su sistema de recarga y autonomía de la batería; pues según (Padilla-Padilla, 2018, pág. 6), los contenidos de una batería de alto voltaje están estructurada de Ion-Litio considerándose la más comercializada y la más crítica para su recarga.

Estudios indican la existencia de otros factores que afectan al vehículo; tal como, la temperatura que influye en sus características electrónicas provocando consumos inadecuados de energía, pues según (Zhou et al., 2017), afirma que la temperatura es un factor de funcionamiento crucial dentro de un vehículo eléctrico convencional. También la investigación realizada por (Yuksel & Michalek, 2015, pág. 3), estimo que los vehículos eléctricos tienen un mayor consumo de batería en temperaturas de 7°C y 35°C que cuando operaban en 20°C a 25°C, por lo tanto, se reduce el rendimiento del vehículo.

La duración de la batería de un vehículo eléctrico oscila entre los 90 a 200 kilómetros de recorrido. La investigación realizada por (Duque & Rocano, 2017, pág. 17) determinó la autonomía del vehículo eléctrico mediante ciclos controlados, esta se pronuncia por distintos parámetros de acuerdo con los ciclos de conducción homologados para la ejecución de pruebas experimentales. En esta metodología se usó la inducción y deducción para la elaboración del ciclo de conducción, así como tal se manipula un software EmoLab para la obtención de datos de consumo incluyendo la operación del banco dinamométrico para la simulación del ciclo de conducción. A través de la investigación se obtuvo la base de datos

formada de 72 variables las cuales muestran el comportamiento del vehículo a cada segundo al circular por el ciclo de conducción.

Los trenes de potencia de un vehículo eléctrico es la parte principal que se involucra con la pérdida de su almacenamiento, esto relacionado además con las condiciones climáticas del sector y los diferentes ciclos de conducción; sin embargo, la misma investigación ratifica que un motor dual de los vehículos eléctricos actuales ahorra hasta un 50% de almacenamiento de batería. Según (Irene et al., 2019, pág. 78), analiza el avance obtenido en los últimos años con los motores trifásicos y frenos regenerativos los cuales permiten optimizar un consumo directo de energía, además de proporcionar hasta 240 voltios para su propia recarga.

En la ciudad de Cuenca se han realizado estudios por (Delgado & Camargo, 2013, pág. 13), donde especifica acerca del rendimiento energético de un vehículo eléctrico en sectores urbanos, y se han determinado variables eléctricas del vehículo en un recorrido específico, aplicando como primera metodología el equipamiento de vehículos con un dispositivo de registro de datos en dos direcciones (Red CAN), como segunda metodología es el uso de un suministro directo de datos del vehículo por parte del fabricante (OEM). Llegando a la conclusión, que a pesar que existen factores que afectan durante el recorrido en los distintos ambientes, la regeneración de energía alcanza el 33% del total de energía descargada, además determinaron que el paquete de baterías y el motor eléctrico supera el 85% de eficiencia en comparación de un motor a combustión, por lo tanto las variables eléctricas como mecánicas juegan un rol muy importante en la estimación del consumo energético, además que estos vehículos son caracterizados por garantizar la sostenibilidad del medio ambiente, y además permite el desarrollo que involucra el cambio de la matriz energética, debido a los compromisos que propone el gobierno sobre la disminución de la propagación de gases contaminantes hacia el medio ambiente (De et al., 2017, pág. 56).

1.2 SITUACIÓN ACTUAL

Los vehículos eléctricos y las nuevas tecnologías en el Ecuador están tomando un punto de cambio dentro de la matriz energética, ciudades como: Cuenca, Guayaquil, Quito y Loja ya existe una gran cantidad de vehículos eléctricos. Según (Leonardo & Estrella, 2018), en el

2018 se comercializó a nivel nacional 130 vehículos eléctricos y 2815 híbridos en el cual se espera que hasta el 2025 exista un aproximado de 15 000 vehículos solo eléctricos. En los últimos años, siete marcas de este tipo de vehículos han tenido mayor acogida como son: Kia Soul, Twizy, BYD, Nissan, entre otros. (Castro Mediavilla et al., 2017, pág. 12).

En el Ecuador se han proyectado convenios que involucran con la implementación de industrias para la fabricación de vehículos eléctricos y paquetes de baterías con el objetivo de impulsar el desarrollo tecnológico y principalmente el consumo de las nuevas tecnologías en vehículos eléctricos en nuestra localidad (Hariyati, 2017, pág. 32). Esto implica que dentro de los próximos años tendremos un mayor incremento del parque automotor eléctrico optando por ser una alternativa ecológica que iniciará el uso de energías limpias y reduciendo las emisiones contaminantes al medioambiente. Además, uno de los factores que implica tener un VE son: talleres de mantenimiento, ciclo de vida de la batería, condiciones de uso, y una de las principales que influye son los sistemas de carga para la batería.

1.3 PROSPECTIVA

Al realizar los diferentes análisis ensayos y estudios experimentales en operación de los vehículos eléctricos, esperamos obtener características sobre el comportamiento del vehículo en diferentes pruebas de rutas predeterminadas, con la finalidad de conocer la autonomía que conlleva al transitar por el sector propuesto, así mismo analizar si los datos obtenidos difieren con las especificaciones de autonomía y duración de batería propuesto por el fabricante. Esto dado que los VE son caracterizados por garantizar la sostenibilidad del medio ambiente. Además, dentro del análisis de autonomía pretendemos estudiar los diferentes factores incorporados en un vehículo eléctrico de nuevas tecnologías, principalmente en sus partes como son: tren motriz y batería.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La problemática principal dentro de un vehículo eléctrico es el desconocimiento de la autonomía y el estudio en función del comportamiento vehicular. El limitado recorrido que permite el paquete de baterías oscila aproximadamente entre los 90 a 200 km esto,

dependiendo de su funcionamiento, además de ser uno de los elementos que sufren más daños en estos automóviles también son muy costosos para su adquisición. Existen algunas variables que inciden de manera negativa en la autonomía del vehículo las cuales son: modos de conducción, factores geográficos, pendientes o porcentajes de inclinación, congestión vehicular y el peso del vehículo. La falta de investigación en la actualidad forma una perspectiva equivocada en el uso de estos vehículos, debido a que el problema también radica en la información del fabricante con el desempeño real de conducción. Por esta razón es necesario estudiar este tipo de vehículo mediante un diagrama de simulación para verificar los factores que inciden en la autonomía y además realizar ensayos dentro de la ciudad de Ibarra para determinar su factibilidad y autonomía en diferentes rutas que conforman un solo ciclo de conducción y los cuales serán caracterizados en un diagrama de gráficas.

1.5 DELIMITACIÓN

La delimitación determina el tiempo estimado que va a llevar a cabo la investigación. Además, delimita las características sobre cómo y dónde se ejecutará el estudio, con la finalidad de facilitar la investigación.

1.5.1. DELIMITACIÓN TEMPORAL

La presente investigación se encuentra enfocada en caracterizar y simular las condiciones técnicas del tren motriz y el paquete de baterías del vehículo eléctrico Renault Twizy. Por lo tanto, para el desarrollo de este estudio se determina un tiempo estimado de doce meses, empezando desde abril del 2021 hasta mayo del 2022.

1.6 OBJETIVOS

Para el desarrollo de esta investigación fue necesario establecer objetivos los cuales permitirán ejecutar cada uno de los parámetros planteados hasta alcanzar las metas propuestas.

1.6.1 OBJETIVO GENERAL

Simular y dimensionar el tren de potencia de un vehículo eléctrico urbano Renault Twizy.

1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir ciclos de conducción urbanos, a través de pruebas de ruta para la obtención de datos y parámetros fundamentales en la medición de autonomía del vehículo en parroquias urbanas de la ciudad de Ibarra.
- Caracterizar el tren de potencia de un vehículo eléctrico urbano mediante una evaluación técnica para determinar los diferentes valores característicos de funcionamiento del vehículo.
- Dimensionar y simular el tren de potencia a través de un software computacional, mediante un modelado matemático para la obtención de valores relacionados con la autonomía del vehículo eléctrico.
- Realizar un análisis comparativo de autonomía basado en información técnica proporcionada por el fabricante, la simulación y pruebas de ruta.

1.7 ALCANCE

La presente investigación acerca del tema simulación y dimensionamiento del tren de potencia de un vehículo urbano eléctrico se lo llevará a cabo en el vehículo Renault Twizy del año 2017. La simulación y dimensionamiento se lo realizará en el siguiente software matemático: Matlab - Simulink. Dentro de esta investigación es necesario hacerlo en ciclos de conducción predeterminados que serán realizados en parroquias urbanas de la ciudad de Ibarra para determinar el comportamiento del vehículo como es: autonomía, estado de carga y velocidad. La instrumentación para obtener las características reales será con la utilización del dispositivo Data Logger GL - 770 que permita registrar datos reales del ensayo y de esta manera realizar un análisis comparativo de la simulación con los ciclos de conducción reales y los datos del fabricante.

1.8 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el transporte vehicular sigue siendo una problemática a nivel mundial, así como a nivel local por parte de la contaminación ambiental. En el Ecuador el consumo de energías fósiles cubre aproximadamente el 98% del campo vehicular, el cual provoca un gran impacto sobre el medio en que vivimos cuando los combustibles y demás derivados del petróleo son transformados en gases de efecto invernadero a través de la combustión (Sánchez Yunga & Zúñiga Guzhñay, 2018). El ingreso de vehículos eléctricos ha sido la solución a esta problemática, aunque estos transportes tienen su problema como son sus componentes eléctricos y principalmente el enfoque paquete de baterías.

La propuesta dentro de caracterizar el paquete de baterías y el tren de potencia tiene la necesidad de buscar el análisis de autonomía del vehículo y los factores que involucran de manera negativa a estos sistemas, de modo que se pueda realizar un estudio con datos reales y a su vez comparados con datos que proporciona el fabricante para obtener un modelo matemático donde examinaremos el rendimiento. Además, estudiaremos las diferentes ventajas y desventajas que conlleva en la actualidad obtener un vehículo eléctrico verificando si su desempeño sería en proporción a las necesidades de las personas.

Nuestro trabajo tiene como aporte al desarrollo investigativo, según la (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017), incita a promover la investigación, capacitación, el desarrollo productivo, la transferencia tecnológica y la protección de la propiedad intelectual con el fin de promover un cambio en la matriz productiva entre el sector público y universidades, la cual se reitera en su política 5.6. De esta manera nuestra investigación se sostiene a esta política donde permite el desarrollo de nuestro trabajo bajo la protección del estado.

1.9 MOVILIDAD

La movilidad tiene la conceptualización de explicar los movimientos que realizan las personas cotidianamente, estos movimientos pueden realizarse a través de diferentes medios de transporte, como: vehículos privados, motocicletas, transporte público, o inclusive bicicletas, que permitan a las personas satisfacer sus necesidades diarias de desplazamientos.

Según el estudio de (Técnica & Norte, 2020), la movilidad y transporte son dos términos distintos, donde la movilidad es un modo de cumplir actividades de la gente y el transporte son sistemas que permiten otorgar el bien o servicio para los desplazamientos.

1.9.1. MOVILIDAD URBANA

La movilidad urbana se caracteriza por los movimientos de las personas dentro de las zonas urbanas. Este término puede deducirse por las unidades móviles que utiliza todo tipo de personas dentro de las urbanizaciones estos pueden ser como vehículos motorizados los cuales son: automóviles, metros, autobuses y motocicletas. O a su vez vehículos no motorizados tales como: la bicicleta, a pie o animales (Jaimurzina et al., 2015).

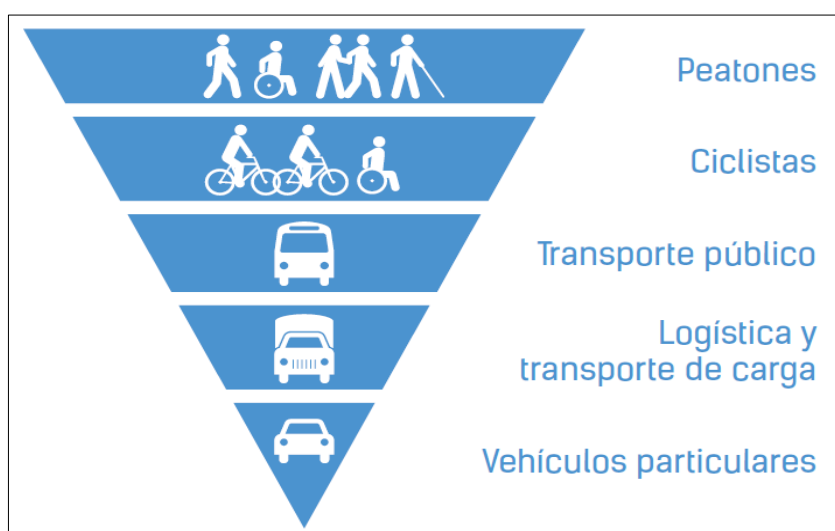


Figura 1.1 Pirámide de movilidad urbana

(Ilustre Municipalidad de Santiago, 2015)

En la figura 1.1 se presenta una pirámide inversa sobre los niveles de prioridad que conforman la movilidad urbana, donde se muestra desde la parte superior a los peatones como uno de los más importantes debido a que todas las personas pasan por este ciclo, y por la parte inferior está el transporte o los vehículos particulares, aunque por falta de conocimientos los conductores de los vehículos particulares consideran su postura más importante dentro de una urbe.

La movilidad urbana no solo está enfocada en el tráfico o la descongestión vehicular, sino en los impactos ambientales y los problemas sociales que provoca dentro de las ciudades. El enfoque principal es el transporte motorizado y la falta de conocimientos en las personas provocando el uso inadecuado de los vehículos, lo cual inducen ciertos problemas de contaminación frente a las personas que viven o se desplazan a diario por las zonas urbanas (Falcón et al., 2016).

Para entender la movilidad y sus consecuencias es necesario crear planes de acción sobre el uso del transporte, sus modos y servicios de movilidad. Los nuevos modelos de ciudades sostenibles se enfoca el buen uso de vehículos privados dentro de espacios preestablecidos en las urbes, que incentiva a la población a una movilidad amigable con los esquemas ambientales (María Goretti usboko, 2018).

1.9.2. PATRONES DE MOVILIDAD

Los patrones de movilidad se caracterizan por la frecuencia, el movimiento y la cantidad de recorridos o desplazamientos que realizan las personas dentro de las zonas urbanas, a su vez involucra el tipo de transporte que se usan.

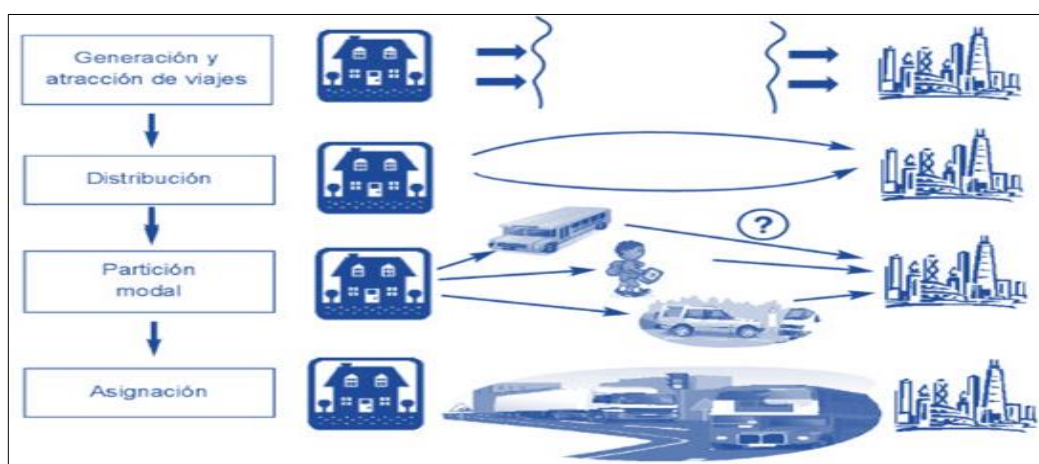


Figura 1.2 Representación de los patrones de movilidad

(Gestión de La Producción, 2008, pág.13)

En la figura 1.2 se presenta un esquema de planificación de transporte, que se denomina modelo de cuatro etapas que se fundamenta en el análisis y el estudio de los patrones de

movilidad. Estas cuatro etapas son las siguientes: generación y atracción de viajes, distribución, partición modal y asignación.

1.9.2.1. Generación de viajes

La primera etapa se enfoca al número de viajes dentro de una zona, esta etapa se relaciona con las características de los viajes y los modos de transporte utilizados, de manera general como se generaron estos viajes. De manera más concreta el modelo de generación de viajes es muy objetiva, es decir tienen un propósito, medio de transporte y el horario en que se realiza el movimiento.

1.9.2.2. Distribución

Posteriormente la segunda etapa, se utilizan para determinar los flujos del recorrido y el sistema origen y destino. El promedio de viajes entre los lugares que conforman el origen y el destino es dependiente de los niveles de servicio que la zona ofrece, también hace énfasis a la disponibilidad de los medios de transporte para realizar los recorridos demandados.

1.9.2.3. Partición modal

La tercera etapa trata de manera más objetiva en la cuantificación, el análisis y el predecir de los modos de transporte existentes. De manera más específica hace referencia a los tipos de vehículos que de manera particular las personas más usan para su desplazamiento en base a funciones como: la tarifa, beneficios, comodidades, el tiempo del recorrido, entre otros.

1.9.2.4. Asignación de rutas

La cuarta etapa es un resultado del estudio de las 3 etapas anteriores, después de conocer los modos utilizados por las personas, esta etapa se involucra en identificar la oferta en el proceso de planeación del transporte. Además, involucra características como los servicios ofrecidos enfocados a la frecuencia y la capacidad del transporte.

1.9.3. MOVILIDAD ELÉCTRICA

Cuando hablamos de movilidad eléctrica, el vehículo eléctrico es el principal término que sobresale en este ámbito, por concebir su tren de potencia eléctrico para su funcionamiento. El concepto se da a luz por la preocupación de los diferentes impactos ambientales, impactos sociales y energéticos que se producen año tras año procedentes del transporte urbano.

La movilidad eléctrica se enfoca por relacionarse con criterios básicos acerca de la economía, el cuidado del ambiente, y la eficiencia energética en términos de optimizar los recursos actuando como normalizador de la demanda energética, como iniciador de las redes inteligentes y como un catalizador de las energías renovables.

1.9.3.1. Historia

Los vehículos eléctricos tuvieron inicio a partir del año 1832 por Robert Anderson en el continente europeo, esto debido a las investigaciones sobre electromagnetismo que avanzaron con rapidez en la industria automotriz. El primer vehículo alcanzaba aproximadamente los 6 km/h debido a su escasa tecnología o innovaciones químicas automotrices tardías de esa época. Se caracterizaba por estar equipado únicamente por un motor eléctrico robusto, voluminoso y una pila de batería que no proporcionaba el almacenamiento necesario de energía química para el consumo del motor, desde ya esto representaba un problema (Universidad Politécnica de Valencia, 2020,pág. 13).

Tras expandirse por todo el continente este medio de transporte, empezó a tomar acogida en América del Norte a partir del año 1920, siendo como un transporte de uso turístico debido a su limitada autonomía y rendimiento comparado con un vehículo a combustible fósil. Estados Unidos tomo prioridad en su fabricación bajo la insignia de General Motors comercializando vehículos eléctricos pequeños (EV1) utilizando motores de hasta 130 hp reducidos para evitar un alto consumo de sus paquetes de baterías las cuales eran de plomo – ácido, además bajo los problemas de contaminación fue promovido como una alternativa amigable para el medio ambiente siendo sus niveles de gases muy bajos. A diferencia de un

vehículo convencional el vehículo eléctrico representaba mucha ventaja (Zacatenco, 2013, pág. 43).

En la actualidad existen tres tipos principales de vehículos eléctricos, los que trabajan con su propia energía almacenada con baterías de Ion Litio que alcanzan hasta los 200 km/h. Además, se alimentan de una estación eléctrica externa y los que se alimentan por un motor generador (Maiti & Bidinger, 1981, pág. 17). Esto ha implicado un destacado desarrollo en la tecnología automotriz a nivel mundial, aunque los problemas principales de un VE son enfocados al desgaste eléctrico de las baterías por el alto consumo de energía de sus motores.

1.9.3.2. Evolución

El vehículo eléctrico ha sufrido varios procesos en su evolución, en pleno siglo XIX, para expandirse por Estados Unidos y Europa, se trabajó en la eficiencia del motor eléctrico y el paquete de baterías, las industrias entraron en un estado de evolución constante desde ese entonces. Los costes de manufactura del coche y la implementación de infraestructura de recarga impidieron la comercialización de estos vehículos por un largo tiempo.

En términos tecnológicos el motor eléctrico de un EV alcanza una eficiencia energética a de un 90% a diferencia de una gasolina que se estima por un 25%. La evolución se provoca desde el año 1900 después de ser acogido por varias compañías en países como: España e Inglaterra donde ingresaron diferentes diseños del automóvil eléctrico, aunque con la problemática de la autonomía (Deloitte, 2017, pág. 23).

El primer vehículo con una autonomía de 80 a 100 km/h. Sus rendimientos eran bajos debido a que poseía un motor de 21 CV, y un paquete de 16 baterías de plomo – gel (Presente y Futuro de Las Tecnologías, n.d.; Toledo et al., 2021, pág. 20). Fue un problema para estos vehículos el rendimiento ya que para conseguir su aceleración tardaba entre 30 a 60 segundos, y el peso de sus baterías era de 500 kg, lo cual ocupaba un gran espacio y peso en su estructura.

Tras una década de investigaciones y el nacimiento de Tesla con vehículos 100% eléctricos, seguidamente en el año 2009 se comercializaría en diferentes países de Latinoamérica el Renault Twizy biplaza el cual tuvo una gran acogida en ventas hasta el año 2017.

1.9.4. CAMBIO CLIMÁTICO

Los avances sobre la reducción de las emisiones en un vehículo eléctrico, es una de las varias prestaciones que ofrecen, aunque es importante recalcar que las industrias automotrices han trabajado en este problema en los motores a combustión obteniendo grandes avances tecnológicos que han permitido reducir las emisiones, más sin embargo sigue siendo un problema mundial. Por esto la única alternativa viable para la reducción a cero emisiones de gases contaminantes son los transportes eléctricos.

1.9.4.1. Emisiones

Investigaciones enfocadas con el medio ambiente, establecen que todos los medios de transporte son los principales contaminantes atmosféricos en los entornos rurales y urbanos. Dentro del año 2010 hasta el año 2015, aproximadamente un 23% de gases de dióxido de carbono estuvieron en relación con el medio de transporte (Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2015, pág. 30).

En nuestro de acuerdo con varias investigaciones realizadas en diferentes ciudades, como: Quito, Guayaquil y Cuenca, se ha determinado que el parque automotriz es uno de los mayores contaminantes con emisiones como: dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOX), y entre otros gases de plomo y anhídrido sulfuroso (No Title, 2017). Por lo tanto, la implementación de vehículos eléctricos reduce estas emisiones contaminantes, y esto significa una importante confiabilidad amigable con el medio ambiente. Además de prestar otros servicios como la reducción del ruido evitando la contaminación sonora y no necesitan continuos mantenimientos.

1.9.4.2. Ruido

De manera general un alto porcentaje del ruido que se expone en las zonas rurales y las zonas urbanas de una ciudad corresponden a los altos flujos de tráfico vehicular. Ciertas zonas urbanas de algunas ciudades determinan un aproximado de 3 millones de personas que soportan el ruido de la congestión vehicular, los cuales están sometidos a un nivel de 50 a 60 decibeles considerados como niveles superiores y perjudiciales para el oído humano según la OMS (Jáuregui Huayapa, 2020, pág. 3).

La ausencia de motores a combustión en un vehículo eléctrico convierte el ruido de rodadura como un principal impacto sonoro en las ciudades.

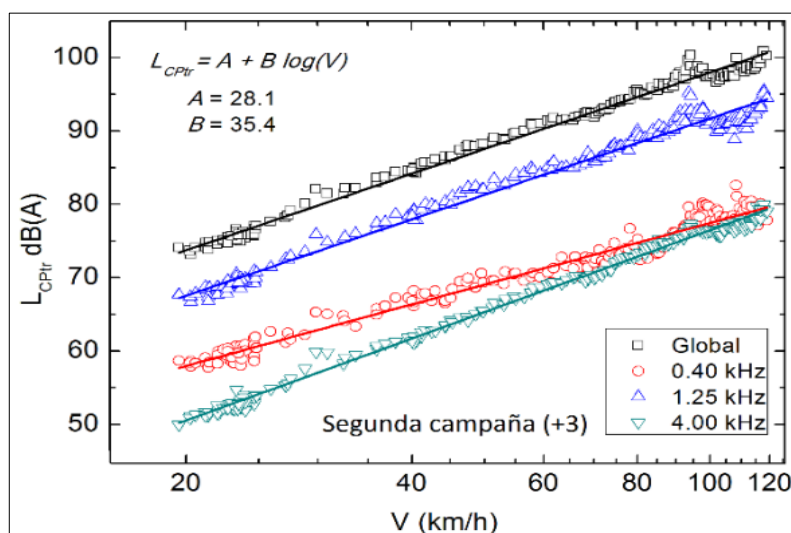


Figura 1.3 Graficas de nivel de contaminación sonora en vehículos eléctricos.

(Symposium et al., n.d.pàg. 32)

En la figura 1.3, se presenta los niveles de contaminación sonora por rodadura en los vehículos eléctricos, este análisis es realizado bajo las condiciones de velocidad y los decibeles como medida de ruido. Cuando el vehículo se encuentra en sus mínimos rangos de velocidad la cantidad sonora puede ser menor a los 50 dB, y cuando alcanza los valores más altos que sobrepasen los 60 km/h, la cantidad de ruido provocado puede dispararse hasta los 90 dB.

1.9.4.3. Análisis de ciclo vida

El análisis de ciclo de vida vehicular permite conocer los impactos ambientales y el consumo de recursos producidos durante la creación de un vehículo, estos procesos que intervienen detalladamente se los conoce como análisis de ciclo de vida (ACV).

De manera general la producción de un vehículo nace con elementos base para su creación, es decir: materias primas, fuentes de energía, productos químicos, sistemas de traslado, entre otros. Elementos que sean asequibles para un proceso de creación de componente, ensamblaje y montaje de las partes vehiculares.

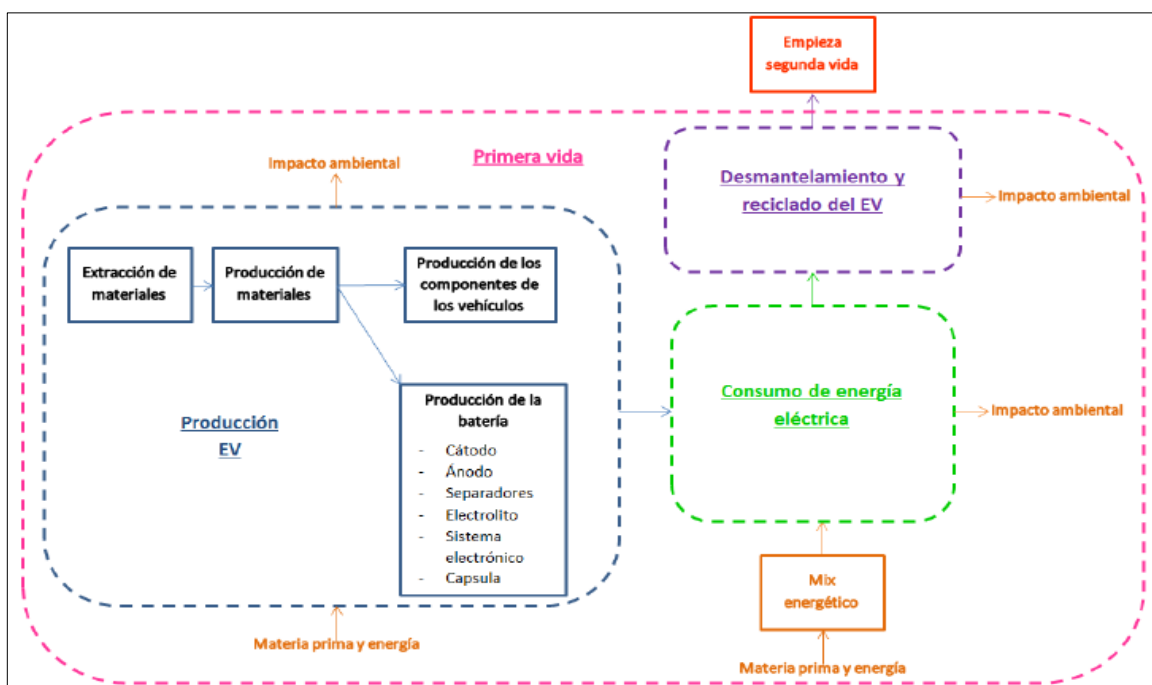


Figura 1.4 Esquema de ACV de un vehículo.

(Antonio Serra Palerm, 2015, pág. 10)

En la figura 1.4 se muestra el análisis de ciclo de vida para la producción vehicular, por el cual empieza por la extracción de materiales para la producción de los componentes, los vehículos eléctricos se caracterizan por el paquete de baterías que forman parte de una producción química muy extensa. Por otro lado, el consumo de energía para el funcionamiento y el final del vehículo que procede al desmantelado y reciclado para la obtención de elementos que se asociaran una segunda vida.

El impacto ambiental frente al ACV debido a produce contaminaciones excesivas, como: eutrofización por desechos mecánicos al agua, acidificación por un mal tratado de baterías de alto voltaje, agotamiento abiótico por escasas de recursos, y el calentamiento global.

1.10 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Los vehículos eléctricos utilizan un motor eléctrico y un paquete de baterías de alto voltaje para su funcionamiento, su movimiento se realiza por una tracción eléctrica de un motor o varios motores eléctricos. Esta tecnología se caracteriza por reducir emisiones contaminantes, mayor eficiencia, silenciosos y menos componentes mecánicos. Por otro lado, “los EV son capaces de reducir hasta un 75 % del dióxido de carbono” (Lajunen & Lipman, 2016). Los resultados sobre la reducción de la contaminación se cumplen si la energía es por fuentes naturales, tales como: eólica, solar, e hidroeléctrica.

Es necesario mencionar que todos los días existen mejoras frente a la tecnología eléctrica automotriz enfocados de manera objetiva a la autonomía, el tratado de baterías y su reciclaje, así mismo como los puntos de carga.

A continuación en la tabla 1.1 se muestra las ventajas y desventajas de estos vehículos.

Tabla 1.1 Ventajas y desventajas del vehículo eléctrico.

Ventajas	Desventajas
Vehículos más amigables con el medio ambiente.	Baja autonomía.
Son poco ruidosos en su funcionamiento.	Tiempos de carga prolongados.
Tiempos para mantenimiento más prolongados.	Costos de baterías elevados.
Bajas vibraciones.	Escasas de estaciones de carga.

Fuente: (Castro Mediavilla, 2017, pág.45)

1.10.1. CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

La industria automotriz y el adelanto en tecnologías sobre movilidad eléctrica han permitido que los vehículos eléctricos desarrollen muy objetivamente en su configuración interna y diseño con la finalidad de remplazar a los vehículos de combustión interna y los híbridos.

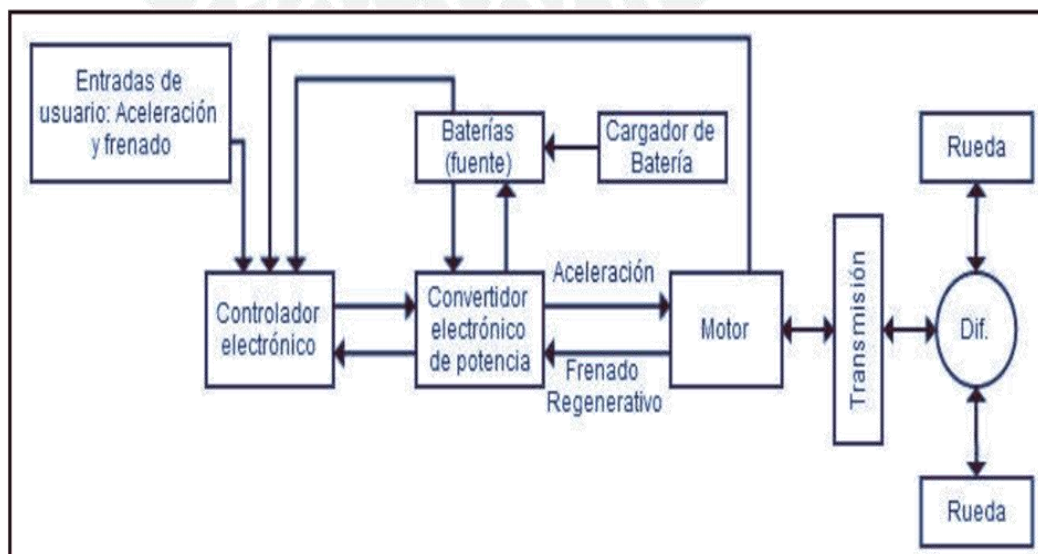


Figura 1.5 Configuración eléctrica del vehículo.

(Zuñiga, 2014, pág.12)

Respecto a la figura 1.5, se presenta los elementos principales que constituyen internamente un vehículo eléctrico, los cuales son: un controlador electrónico que trabaja bajo las necesidades del conductor (aceleración, desaceleración y frenado), convertidor de potencia que transforma de DC a AC o viceversa, baterías de alto voltaje que suministran la energía necesaria al motor eléctrico, motor eléctrico para el funcionamiento y la tracción del vehículo. Además, existen componentes auxiliares para sistemas complementarios del vehículo, como: cargador de batería y batería de 12 voltios.

1.10.2. CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR DE TRACCIÓN

Los motores eléctricos son máquinas que trabajan por el uso de la energía eléctrica para obtener energía mecánica y proporcionar el movimiento a los vehículos. Estos motores

pueden ser alimentadas por dos tipos de corrientes, que son: corriente continua (DC) y corriente alterna (AC).

Es necesario que dentro del trabajo de los motores eléctricos exista un trabajo constante, es decir, que no existan fluctuaciones del par motor para considerar su funcionamiento sin detenciones garantizando su fiabilidad al usuario.

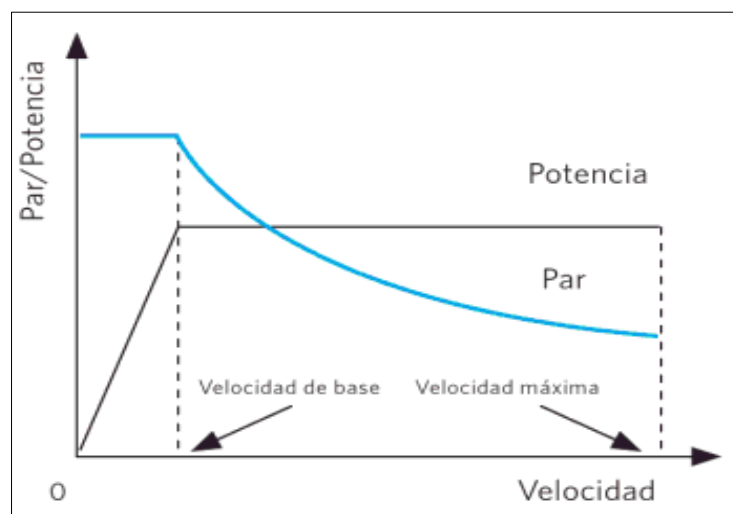


Figura 1.6 Curvas características de par y potencia de un motor eléctrico.

(El Vehículo Eléctrico. Desafíos Tecnológicos, Infraestructuras Sociedad de Técnicos de Automoción (STA), pág. 15)

En la figura 1.6, se muestra las curvas características del motor de un vehículo eléctrico, y se deduce que cuando existe una baja velocidad (mínimas rpm) el par motor tiene una velocidad constante y cuando alcanza la máxima velocidad (máximas rpm) la potencia es constante. En operaciones de funcionamiento cuando tenemos bajas velocidades el suministro de voltaje es bajo y este aumenta conforme a la demanda del usuario.

Los motores eléctricos pueden aprovechar una eficiencia de hasta el 60 – 70%, a diferencia de los convencionales que solo aprovechan un 25 – 30%. De esta manera los vehículos eléctricos pueden entregar un alto rendimiento en mínimas velocidades, lo cual permite que sean más eficientes.

Es necesario especificar que la industria automotriz ha permitido el crecimiento de la movilidad eléctrica utilizando otros tipos de motores como: síncronos de imanes permanentes, motores de reluctancia y de escobillas. Aunque en algunos de estos provocan dificultad de rendimiento debido a la ausencia de imanes permanentes que permitan alcanzar el torque y la potencia necesaria para el vehículo (Cuesta, 2017, pág. 5).

1.10.3. EFICIENCIA Y CONSUMO ENERGÉTICO

La eficiencia y el consumo se puede describir como la conservación y el consumo de energía, en términos generales de un vehículo, se define en disminuir el consumo de la energía mediante una serie de procesos que tiene en sus actividades de funcionamiento sin perder el nivel de confort de cada una de estas. Dentro de este término se han tratado análisis para tomar acciones sobre el buen uso de las nuevas tecnologías en la industria automotriz.

1.10.3.1 Eficiencia

La eficiencia es una magnitud que se puede formular como la relación existente entre la energía de salida para realizar una actividad o trabajo. En el caso vehicular la eficiencia se relaciona con algunos parámetros como: la distancia de recorrido, el tiempo, el consumo de la energía, el peso vehicular, las pendientes de las zonas, entre otros.

Los vehículos eléctricos aprovechan una energía alternativa con la finalidad de reducir el impacto ambiental que provocan los vehículos convencionales, por esto la eficiencia energética disminuye el consumo de combustibles o energías, sin alterar los beneficios de su funcionamiento, de manera que contribuyen al aspecto social y ambiental (Schallenberg, pág. 75).

1.10.3.2 Consumo energético

El consumo energético a nivel mundial se sostiene mayoritariamente en las fuentes de energías fósiles, el cual es el principal impacto para grandes problemas ambientales. El consumo solo de energías extraídas por el petróleo provoca problemáticas, sociales y

ambientales en la actualidad, debido al agotamiento de abastecimientos, o la recuperación de residuos dañinos para nuestro entorno.

Las investigaciones sobre el consumo de energía frente a los vehículos eléctricos, determino que existe una tasa promedio de consumo energético el cual se encuentra en los 14 kWh/100 km. En otros términos, estos vehículos consumen solo 70 a 90% de energía, lo cual es menos que un automóvil convencional, lo que provoca que sean más beneficiosos (Ramírez, 2017). Además, estas características son muy favorables en otros parámetros como, el mantenimiento y un ahorro económico para el usuario.

1.10.3.3 Autonomía

La autonomía se define como la capacidad que tiene un vehículo eléctrico para desplazarse de un lugar a otro por medio del uso de la energía de las baterías. Desde su creación ha sido un problema debido al trabajo de los motores eléctricos que calan un alto consumo de energía, y desde años atrás tratan de mejorar las características químicas y el diseño del paquete de baterías. Según (Liu et al., 2021), menciona que las baterías de Ion – Litio representan una gran capacidad de almacenamiento, ya que hasta la actualidad se ha determinado que producen 12 veces más la autonomía que las baterías comunes como son de plomo – ácido o níquel – hierro o de otros elementos.

Se estima que hasta el 2025, las nuevas tecnologías en vehículos eléctricos permitan desarrollar desde 400 km hasta 600 km de autonomía, aunque su desventaja será los costes de mantenimiento debido a que los avances tecnológicos implementados en las baterías permiten un limitado número de recargas, y pueden variar entre las 4000 y 6000 número de recargas (Lo Último En Baterías Para Coches Eléctricos: pág.34). Esto demuestra en la actualidad una gran desventaja, por sus costes económicos, ya que una batería de un vehículo eléctrico sobrepasa en capacidad a las baterías comunes de plomo – ácido, y eso uno de los principales problemas de los cuales las personas no se involucran con estos vehículos.

1.10.4 RENDIMIENTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

El rendimiento se puede definir como la máxima distancia que alcanza un vehículo a desplazarse con respecto a la cantidad de combustible o energía que este puede ofrecer. En el caso de los vehículos eléctricos estas condiciones pueden medirse u objetivarse por los ciclos de conducción, el tiempo de aceleración, zonas de recorrido (pendientes) y la velocidad máxima que el usuario demanda.

La potencia del motor y las condiciones de la transmisión son componentes clave para determinar los parámetros de rendimiento del vehículo. Las características y el diseño de estos sistemas se simplifican en términos de torque y potencia del motor para las condiciones del rendimiento vehicular. En este caso los vehículos eléctricos de transporte urbano logran alcanzar un aproximado de 60 a 80 km, que involucra entre 3 a 4 horas de utilización (Bitar & Al Jabi, 2014).

Para determinar el rendimiento se toma en consideración factores donde se emplea más el vehículo, pueden ser zonas rurales o urbanas, y en función de estas plazas se determina el rendimiento. Los factores más asociados son:

- Pendientes
- Congestion vehicular
- Peso del vehículo
- Niveles de aceleracion
- Horario de desplazamiento

1.11 ALMACENAMIENTO Y GENERACIÓN DE ENERGÍA

Se define como almacenamiento y generación de energía a los dispositivos que tienen la capacidad de almacenar o generar energía para ejercer un funcionamiento a un sistema o mecanismo. En el caso de los vehículos eléctricos el paquete de baterías es el elemento de almacenamiento de energía, y el cual se suministra al motor eléctrico.

1.11.1. PARÁMETROS DE LA BATERÍA

Existen algunos parámetros muy importantes a considerar en los paquetes de baterías para este tipo de vehículos que son: la capacidad de energía por celda, la energía específica la cual es la cantidad de energía por unidad de peso (kWh/kg), potencia específica la cual es la potencia que proporciona la batería por unidad de peso (watt/kg) y la eficiencia energética (Díez, 2019, pág. 56).

1.11.1.1 Capacidad de energía por celda

Un paquete de baterías está constituido por una gran cantidad de celdas, donde cada una de estas posee un voltaje nominal que puede variar entre los 6 y 12 voltios. Estas celdas están conectadas bajo un circuito en paralelo para suministrar la cantidad de energía demandada por un control eléctrico. Aunque se ha considerado que el voltaje nominal durante el funcionamiento vehicular puede variar, pero en su totalidad llegan a alcanzar los 400 voltios.

1.11.1.2 Energía específica

La energía específica se involucra con la cantidad de energía eléctrica que se almacena por cada kilogramo de masa y sus unidades son (kWh/kg). Es necesario considerar que la energía específica de una batería puede variar en función de la temperatura y el nivel de descarga asociado con el funcionamiento del vehículo.

1.11.1.3 Densidad de energía

La densidad de energía es la cantidad de energía almacenada por metro cúbico del volumen general de la batería. Este es un parámetro muy relevante debido a que el (Wh) de la batería es factible dividir por la densidad de energía para obtener el volumen requerido de la batería.

1.11.1.4 Potencia específica

La potencia específica se define como la cantidad de potencia obtenida por la batería y sus unidades normales son (watt/kg). Pueden llegar a diferir mucho con la energía específica debido a que existen baterías con una alta potencia específica, pero con baja energía específica o viceversa.

1.11.2 BATERÍAS DE IÓN – LITIO

Las baterías de iones de litio son las más utilizadas dentro de los vehículos eléctricos debido a que proporcionan una mayor capacidad de almacenamiento y densidad de energía. Su uso es en diferentes marcas de vehículos como Renault, Nissan, Toyota, BYD y otras marcas. Demostrando un avance en la autonomía que alcanza un recorrido de 90 a 200 kilómetros. (Ioannis Tsiropoulos, 2018, pág. 2).

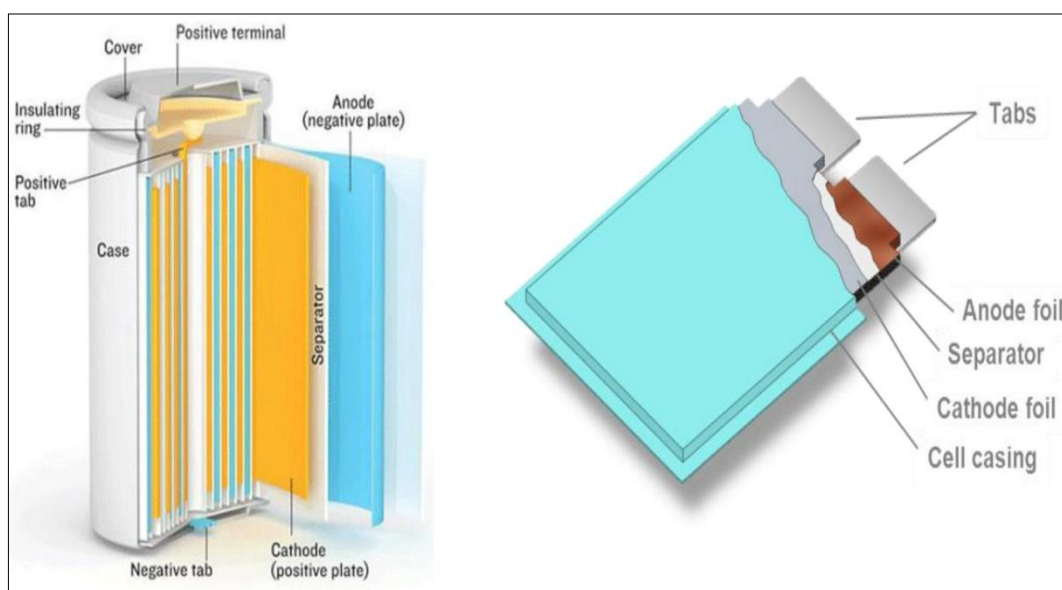


Figura 1.7 Configuración de baterías de Iones de litio.

(Zubi et al., 2018, pág. 67)

En la figura 1.7 se presenta las celdas y las respectivas partes de una batería de Iones de litio. Estas baterías se caracterizan por ser muy costosas en el sector automotriz, y además

provocan un impacto ambiental muy peligroso si llegan a tener contacto con el agua, por esto es necesario tener a buen cuidado en el vehículo.

Un caso muy general de estas baterías es que constan de constan de 42 celdas, situadas en siete módulos de seis celdas de ion-litio. Dentro de un módulo las celdas tienen una configuración de 2S-3P, es decir, dos en serie con tres en paralelo, lo cual corresponde a una serie total de 14 paquetes de 3 celdas paralelas cada una. Posee una capacidad nominal de 6,1kW, un voltaje entre 46-58 V con una corriente de 360 amperios. El peso total es de 98 kg con dimensiones de 828x478x233 mm (Macció, 2018, pág. 12).

1.11.3 RECARGA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

El sistema de recarga vehicular es un punto muy importante en este tipo de automóviles, pues, existen diferentes potencias y velocidades de carga para el paquete de baterías que involucran en los vehículos eléctricos. Cada vehículo según su fabricante está diseñado para usar un conector en diferente y en específico el cual proporciona distintos niveles de carga y modos de carga para las baterías que contienen estos vehículos.

1.11.3.1 Conectores

Actualmente existen distintos tipos de conectores inmersos en el mercado eléctrico automotriz, los cuales constan de diferentes características como, por ejemplo: su forma, su potencia a un nivel de carga determinado y a un modo de carga en específico, estos pueden diferir de acuerdo con el tipo de vehículo.

Conector	Schuko	Tipo 1 Yazaki SAE J1772	Tipo 2 Mennekes	Tipo 3 Scame EV	Combinado (CCS) IEC		CHAdeMO
					Combo 1	Combo 2	
Imagen							
Corriente	Monofásica	Monofásica CA	Monofásica y trifásica CA	Monofásica y trifásica	CC y CA	CC y AC	CC
Modos de recarga	1 y 2	2 y 3	2 y 3	1, 2 y 3	2, 3 y 4	2, 3 y 4	4
Tipo de recarga	Super lenta Lenta	Lenta (16 A) y Semi-rápida (80A)	Lenta (16 A) y Semi-rápida (63 A)	Semi-rápida	Lenta, semi-rápida y rápida	Lenta, semi-rápida y rápida	Rápida (125 A)
Modelos	Twizy Patinetes, motocicletas...	Nissan Leaf (2010) eNV200 Chevrolet Bolt Eléctrico	Nissan Leaf 2018 Renault ZOE BMW i3 Tesla S (compatible)	Pequeños fabricantes de microcoches	Tesla 3 Volkswagen e-golf		Nissan eNV200 & Leaf 2018 Mitsubishi Outlander

Figura 1.8 Tipos de conectores de EV y HEV

(Pañero, 2019, pág. 22)

En la figura 1.8, se describe: el tipo de corriente, modos de recarga, tipos de recarga de siete conectores usados en diferentes sistemas de transporte eléctrico. En el caso del conector más utilizado en vehículos eléctricos es el Schuko. Conocido también como un conector estándar prácticamente utilizado en cualquier vivienda. Su tipo de carga se encuentra entre una recarga súper lenta y lenta, su rango de potencia se encuentra entre 2.3kW y 3.7kW respectivamente. Utiliza el modo 1 y 2 con una corriente monofásica, con tensión menor a 250 V y a una intensidad máxima de 16^a (Díez, 2019, pág. 11).

1.11.3.2 Tipos de carga

Los tipos de carga en un vehículo eléctrico, se inclina a los tomacorrientes y los tipos de conectores que tienen los vehículos, en algunos sistemas estos pueden variar entre 110 y 220 voltios que son más asequibles en los hogares, o los sistemas que sobrepasan los 240 voltios donde influyen los tipos de conectores y las nuevas instalaciones.

- **Recarga súper lenta:** Su potencia se limita a 2,3kW, usa un enchufe convencional debido a que es un tipo de carga ocasional. Por ejemplo, para cargar totalmente una batería de 24kWh se necesita entre 10 a 12 horas con 110 voltios.
- **Recarga Lenta:** El rango de potencia es de 3,3 a 3,7 kW, por lo que se desarrolla para una vivienda o un garaje comunitario que cuente con un sistema de seguridad que evite

el sobrecalentamiento, por ejemplo, para recargar un batería de 24 kWh solamente se necesita 8 horas.

- **Recarga rápida:** Rango de potencia entre 44 a 50 kW, la batería llega a una carga de 90% en aproximadamente 30 minutos. Este nivel de carga es empleado en rutas de viajes largos por su tiempo mínimo en la carga de la batería.

1.11.3.3 Modos de carga

Los modos de carga se consideran de acuerdo con el diseño de entrada de carga de cada vehículo. Existen cuatro modos de carga y de acuerdo con sus características se toma en cuenta, el voltaje, la intensidad, la potencia y el tiempo de carga que debe tener entre el punto de recarga y el vehículo. A continuación, se detallan los modos:

- **Modo 1:** Requiere una tensión no mayor a 250 voltios, potencia de 3,8 kW, y una intensidad de 16 amperios. El tipo de conector es Schuko y su tiempo de carga varía entre 6 a 8 horas.
- **Modo 2:** Tiene una conexión monofásica, con una tensión no mayor a 250 voltios, potencia de 3,8 kW, y su intensidad de 16 amperios. Tipo de conector Schuko con un tiempo de carga de 6 a 8 horas. En este modo el cable cuenta con una serie de controles y protección para la red vehicular.
- **Modo 3:** Conexión monofásica, con una tensión no mayor a 250 voltios, potencia de 7,5 kW, y su intensidad de 32 amperios. Sus instalaciones son de acuerdo al estacionamiento o punto de carga, tiempo de carga de 4 a 6 horas.
- **Modo 4:** Posee un grado muy elevado de comunicación. Se emplea en cargadores rápidos en vehículos donde la carga se realiza en modo de corriente continua con 400 voltios, 125 amperios y una potencia de 125kW.

1.11.4 FRENO REGENERATIVO

El sistema de freno regenerativo permite que el vehículo eléctrico aproveche la energía al momento de frenar, energía la cual se usa para cargar las baterías. El propósito de este

sistema es rescatar un porcentaje de energía resultante de la acción de frenado para convertir en eléctrica.

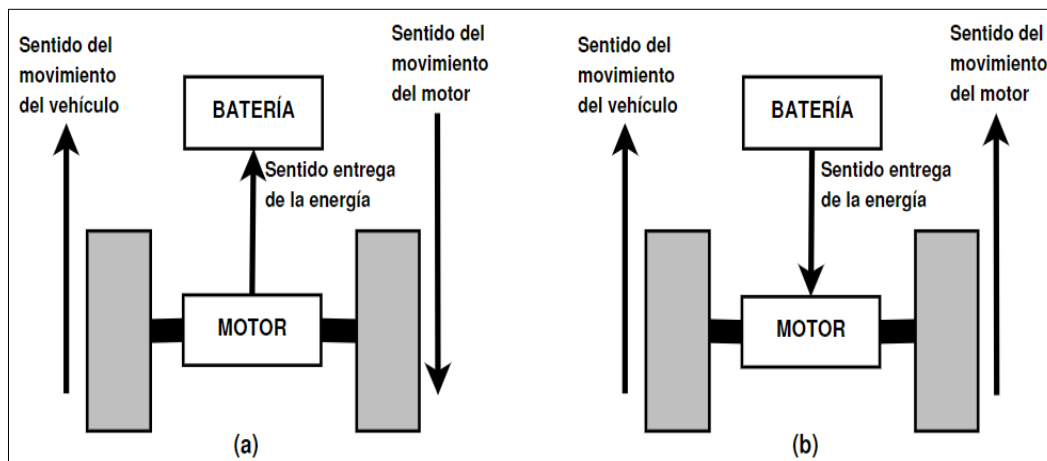


Figura 1.9 Diagrama del sentido de movimiento para el frenado regenerativo

(Structures, n.d. pág. 18)

En la figura 1.8 se presenta un modelo de sistema de freno regenerativo que, al apretar el pedal del freno, el motor principal gira de manera inversa, el cual involucra a trabajar como un alternador o un generador eléctrico enviando energía a los paquetes de baterías. Por otro lado, cuando el vehículo comienza su aceleración este trabaja en su sentido normal aprovechando la energía generada.

1.12 DIMENSIONAMIENTO DE TRENES DE POTENCIA

El dimensionamiento es una manera de caracterizar un mecanismo o el funcionamiento de un vehículo para conocer los parámetros que influyen en él. Para el análisis del dimensionamiento del tren de potencia, se toma en cuenta ciertas consideraciones, como es principalmente, las fuerzas y la resistencia que influyen al momento de poner en funcionamiento el vehículo eléctrico, para ello se realizará un análisis minucioso de cada uno de estos parámetros y según los resultados que se obtienen se procede al desarrollo del dimensionado.

1.12.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS FUERZAS

Al caracterizar un vehículo se trabaja desde esquemas matemáticos que sirven para evaluar las aceleraciones, las velocidades, potencia del motor eléctrico, entre otros. Para dimensionar todas estas partes se debe tomar en cuenta un determinado grupo de ecuaciones que ayudaran a entender el comportamiento del vehículo.

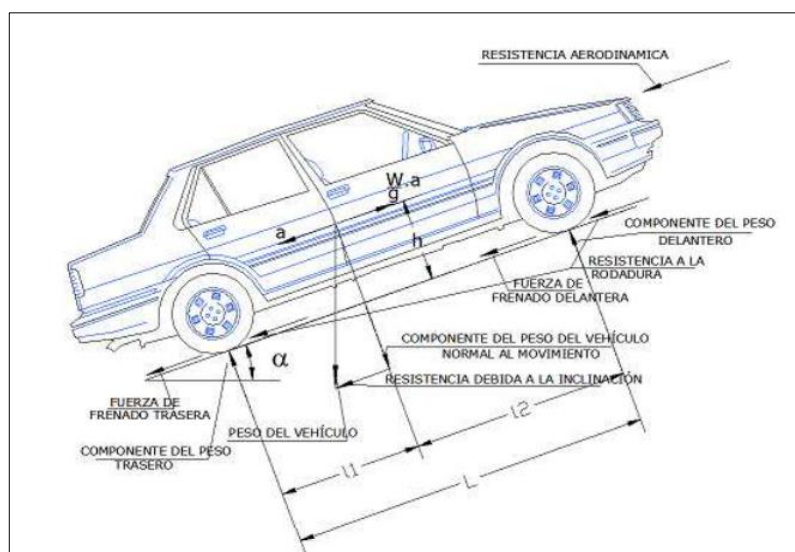


Figura 1.10 Esquema de fuerzas que desaceleran el vehículo

(Rado & Devincenzi, 2016)

En la Figura 1.10, se muestra las fuerzas que se oponen al movimiento. Mediante el cálculo de 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.

1.12.1.1. Resistencia a la rodadura

La resistencia a la rodadura analiza la fuerza que se opone al desplazamiento del vehículo, el mismo que actúa entre el neumático y el terreno, principalmente es causada por la

adherencia del material y se produce cuando la rueda gira sobre una superficie. Para complementar el estudio sobre la resistencia a la rodadura se debe considerar las características que objetivan al neumático, por ello, es necesario 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.

1.12.1.2. Resistencia gravitatoria

La altitud es un factor que determina la variación de altura que tiene un vehículo al desplazarse de un lugar a otro. Mediante dicha variación de la altura se puede conocer la pendiente por la cual circula el auto, de esta manera la información relacionada con la pendiente es necesaria en la selección de especificaciones técnicas del coche.

Con el cambio de la altura se determina con cuanta fuerza el vehículo es atraído hacia el centro de la tierra, lo cual genera una resistencia negativa al momento de estar circulando en una pendiente. Es decir, se necesita de una fuerza que ayude a compensar esta fuerza negativa para la circulación del EV 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.

1.12.1.3. Resistencia aerodinámica

Este fenómeno se produce por la resistencia que provoca el aire al movimiento del vehículo y como tal existen consecuencias como un mayor consumo de energía, en el caso de los vehículos eléctricos se hace relación al consumo energético de la batería. Por esta razón, varias investigaciones han trabajado 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 (Emiro Diez & Yepes, 2018).

1.12.1.4. Resistencia por aceleración

Durante una ruta en el cual se desplaza el vehículo su velocidad va a variar de acuerdo con las condiciones de la carretera, es oportuno tomar en cuenta este cambio de velocidad ya que

de esta variación aparece la aceleración con la cual se puede determinar la resistencia producida por la aceleración. Para el dimensionamiento se debe tomar en cuenta el factor aceleración, la cual se realiza un cálculo.

1.12.2. DIMENSIONAMIENTO DEL PAQUETE DE BATERÍAS

Para el dimensionamiento del paquete de baterías en un vehículo eléctrico es para determinar el peso del paquete de baterías, número de celdas que van a ser utilizadas y la autonomía que proporciona 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.

1.12.2.1 Resistencia interna de la batería

Para analizar el volumen de las baterías se necesita obtener la potencia total del motor más la potencia requerida por los accesorios del vehículo eléctrico.

La resistencia interna de las baterías es un valor que se lo encuentra en las especificaciones de la celda seleccionada, entonces mediante un sistema matemático se puede determinar la resistencia interna del paquete de baterías.

1.12.1.2 Intensidad de la corriente

La intensidad de corriente es la cantidad de corriente que circula en un circuito. Las unidades que se utiliza para la medición de la intensidad de corriente es el amperio [A]. Cabe mencionar que la entrega de los amperios varía según el tiempo de funcionamiento del vehículo, dentro de los dimensionados de vehículos estos aspectos se los toman en cuenta desmontando el paquete de baterías.

1.12.1.3 Voltaje en terminales de la batería

El voltaje puede diferir simultáneamente según la resistencia interna de la batería. Es necesario 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, y para su cálculo.

1.13 DISEÑO Y SIMULACIÓN

El diseño y simulación son dos herramientas que trabajan conjuntamente y su propósito final está enfocado en caracterizar el comportamiento del mecanismo que se desea analizar.

Cando se realiza un análisis del comportamiento vehicular se toman en cuenta muchas consideraciones de campo que influyen drásticamente en su funcionamiento. Las características obtenidas se representan bajo condiciones matemáticas a través de softwares que permiten tener el desempeño bajo esquemas gráficos del vehículo en diferentes momentos de trabajo.

1.13.1. DISEÑO

El diseño es un proceso en el que se conceptualiza las características y el comportamiento de un sistema o mecanismo. Este puede aplicarse en un producto, elementos, partes a través de un modelo matemático, en el caso del diseño de sistemas físicos el comportamiento de sus componentes se representa mediante modelos matemáticos (Sigchos, 2020, pág. 12).

1.13.1.1. Diseño en vehículos eléctricos

Desde la construcción de un vehículo eléctrico se toma en cuenta varias consideraciones, donde empieza su desarrollo existe un objetivo que cumplir, diseño del modelo a exponer, simulación, análisis y validación del diseño.

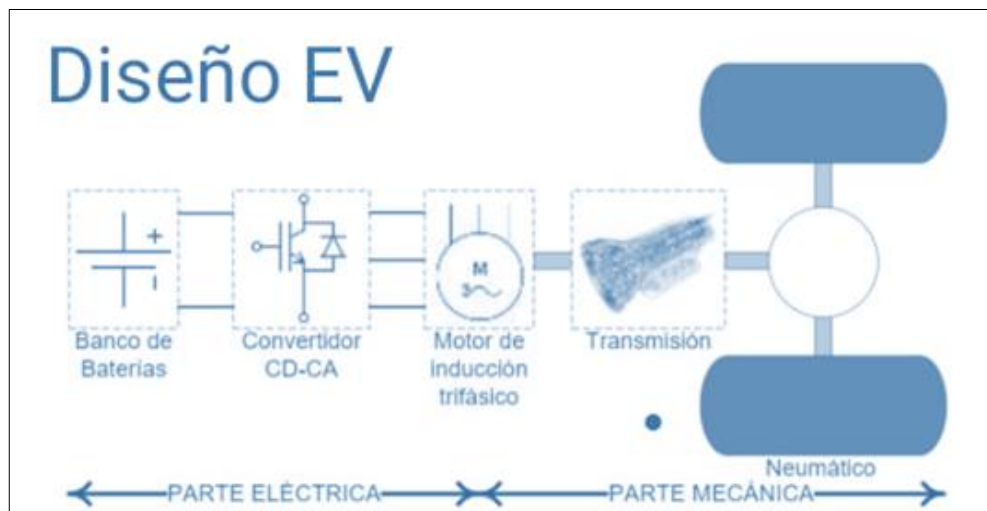


Figura 1.11 Diseño inicial de un vehículo eléctrico

(Ramírez, 2017, pág. 32)

En la figura 1.11, se presenta un diseño básico y elemental de un vehículo eléctrico, su parte interna pasa por un desarrollo de modelados para obtener el diseño y la construcción final. La validación de un diseño es estar seguro de que el objetivo con el cual se va a trabajar sea representado de manera adecuada en un sistema de estudio en condiciones específicas.

1.13.2. SIMULACIÓN

La simulación es un proceso por el cual se ingresan entradas a un modelo, ya sea un modelo de un objeto físico o un modelo matemático (Cerero, 2015). En la simulación de un objeto físico, se efectúa experimentos reales del comportamiento para replicar las condiciones que en realidad tiene un mecanismo y realizar un análisis de los resultados. Por el otro lado el modelado matemático consta de un método donde hace uso de una simulación numérica por computadora.

1.13.2.1. Software para simulaciones vehiculares

Para realizar simulaciones vehiculares, existen algunas alternativas de software a usar en la simulación de componentes o comportamientos vehiculares, algunas de estos proporcionan un entorno complejo para simulaciones.

A continuación, se presentan algunos de los más demandados:

- Fast Sim: Análisis de tracciones vehiculares
- MAT Sim: Herramienta para dimensionar transporte
- Open Modélica: Desarrollar modelados de electricidad automotriz, mecánica e hidráulica
- Matlab/Simulink: Desarrollar matrices, análisis de cálculos, graficas en función de cualquier comportamiento vehicular.

El más considerable es Matlab/Simulink, debido a que esta herramienta permite la construcción de modelos multidominios, resolución de distintos problemas matemáticos, simulación gráfica del comportamiento del tren de potencia en diferentes condiciones de trabajo lo cual nos facilitara el análisis correspondiente del comportamiento.

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. DESARROLLO Y PROPUESTA DE ESTUDIO

En este capítulo se describe los pasos de las actividades para desarrollar la metodología y cumplir con los objetivos propuestos en esta investigación. Es importante establecer que esta investigación se basa en caracterizar las partes técnicas del vehículo mediante recopilación de datos, para esto es necesario realizar un diagrama de flujo que facilite cumplimiento del trabajo.

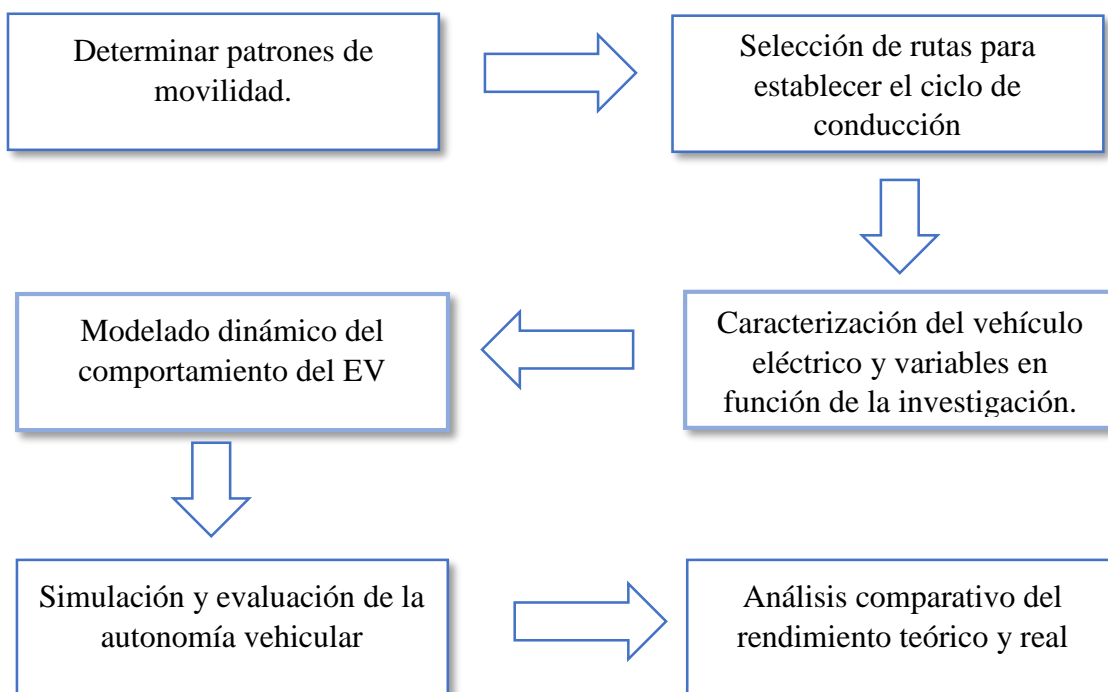


Figura 2.1 Esquema metodológico para la elaboración del trabajo

En la figura 2.1, se indica los pasos que se necesita para llevar a cabo la realización del estudio y mediante la ejecución ordenada de estos datos obtener resultados eficaces que permitan determinar las especificaciones técnicas adecuadas del vehículo las cuales posteriormente permitirán ser modelados bajo software matemáticos.

El proceso para llevar a cabo la metodología de la investigación será la siguiente: determinar los patrones de movilidad de la ciudad, seleccionar las rutas para establecer un solo ciclo de conducción, caracterizar los elementos del vehículo eléctrico, definir variables y parámetros en función de la investigación, modelado dinámico del comportamiento del vehículo, simulación y evaluación del desempeño del vehículo y análisis comparativo de los resultados.

2.2 DETERMINAR PATRONES DE MOVILIDAD

En cuanto a determinar los patrones de movilidad en la ciudad de Ibarra se realizó una caracterización del área de estudio mediante la aplicación del modelo de cuatro etapas el cual consiste en realizar un número de encuestas a la población con la finalidad de obtener la movilidad, origen y destino de los sectores más recurrentes, así como los puntos de atracción con mayor movilidad dentro de la ciudad.

2.2.1 MODELO DE 4 ETAPAS

En cuanto a la determinación de los ciclos de conducción se desarrollará en base al modelo de las 4 Etapas de Planificación de Transporte los cuales son:

- Etapa 1 - Generación de viajes
- Etapa 2 - Distribución
- Etapa 3 - Partición modal
- Etapa 4 - Asignación

Es así como para la obtención de datos verídicos e información necesaria posterior a la aplicación del modelo antes mencionado se procede al desarrollo de una encuesta dirigida a los usuarios de las diferentes zonas urbanas y rurales que diariamente se movilizan desde un punto de partida de la ciudad de Ibarra hacia su destino dentro de la misma ciudad.

Diferentes aspectos tales como: el número de viajes, el flujo ente zonas de partida-destino, los horarios que tiene más afluencia de los usuarios y servicios ofertantes, como capacidad y frecuencia se podrán conocer de los resultados. Aspectos tales como la población y muestra deben ser previamente identificados para aplicar la encuesta.

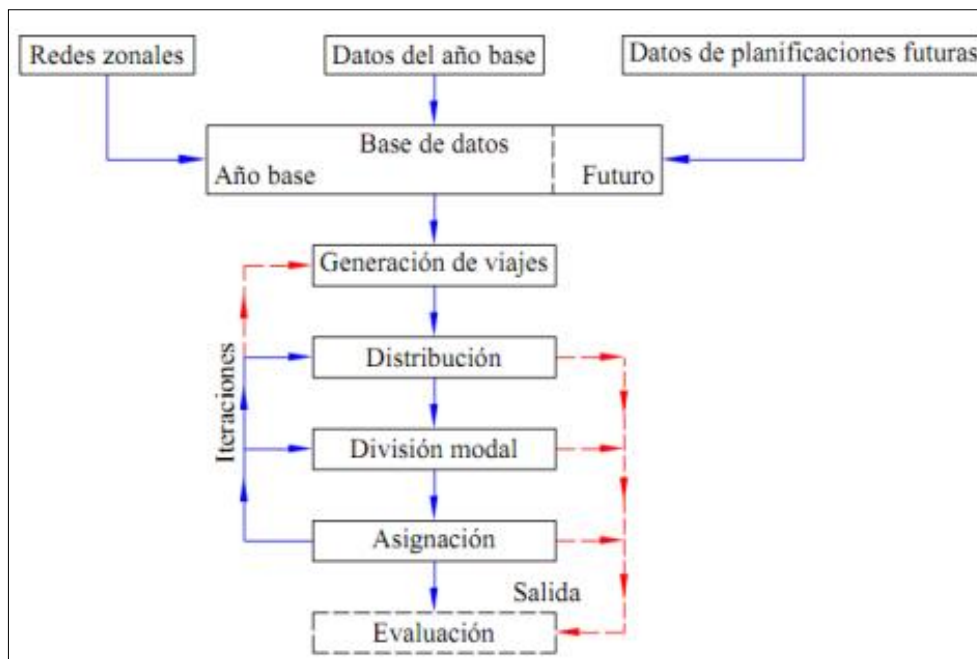


Figura 2.2 Esquema del modelo de las 4 etapas

(Vozzi Lucas & Acquaviva Luciano, 2017, pág. 18)

La figura 2.2, se detalla el modelo de las 4 etapas de Sistemas de Planificación de Transporte, iniciándose con la Generación de viajes, distribución, partición modal y finalizando con la asignación. Este modelo clásico es considerado como uno de los más útiles para organizar y proyectar la estructura del tránsito. El método antes mencionado utiliza datos de puntos de partida (Origen) y puntos de llegada (Destino) de los viajes en cada tramo, además de las metodologías aplicadas en cada una de las 4 etapas.

2.2.2 ETAPA 1. GENERACIÓN DE VIAJES

En la primera etapa (Generación de viajes), a menudo se fundamenta en el uso del número viajes realizados, por zonas delimitadas en las que existe un movimiento de usuarios de manera recurrente. La etapa de generación de viajes se ve enlazada con el número de viajes

que inician y concluyen en una zona determinada, en este apartado se trata de manifestar como se desarrolla la interacción de atracción de los viajes por medio de relaciones entre las características de viajes y del medio urbano.

Esta etapa tiene dependencia de: la cantidad de población, ingreso, tasa de motorización, tamaño de residencia, la estructura y facilidad del uso del transporte. Así también los viajes son realizados en función de la cantidad de industria, comercio e indistintos motivos por el cual hace uso de un medio de transporte. Se realiza un análisis a través de la ecuación [2.1].

Fórmula de cálculo:

$$O_i = D_j \quad [2.1]$$

En donde:

O_i = Viajes originados en i

D_j = Viajes atraídos a la zona j

2.2.2.1 Relación de la muestra

Con respecto a la elaboración del cuestionario contiene preguntas cerradas. Estas se realizaron de esta manera por fines prácticos y en contribución al desarrollo del apartado de cálculos y generación de estadísticas. Esta encuesta fue realizada de manera presencial dentro de la ciudad y de manera virtual a través de la plataforma de Google Forms. Además, se trabajó juntamente con una herramienta que permite el análisis e interpretación de datos estadísticos la cual es Microsoft Excel.

2.2.2.2 Determinación de la población

En cuanto a determinar la población de la ciudad de Ibarra, se obtuvo datos del Instituto Nacional Ecuatoriano de Censos (INEC) proyecciones 2021 – 2010, el cual indica que existe 221 149 habitantes, mismos datos que fueron utilizados para el cálculo de la muestra a la cual fue aplicada la encuesta.

2.2.2.3 Determinación de la muestra

La muestra es denominada como un segmento de sujetos que conforman el total de la población de estudio y contribuye la representación estadística, se obtiene con el propósito de tomar en cuenta a la población en general. Por ende, para determinar la muestra se debe realizar la siguiente ecuación matemática [2.2]:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{e^2(N - 1) + Z^2 \cdot p \cdot q} \quad [2.2]$$

Donde:

N	= Tamaño de la muestra	
$p \cdot q$	= Varianza poblacional	= constante 0,25
Z	= Nivel de confianza	= 1.96 (95%)
N	= Población/ Cantidad de personas	
e	= Margen de error estadístico 0.05	= 5%

2.2.3 ETAPA 2. DISTRIBUCIÓN DE VIAJES

Es la segunda etapa del modelo del sistema de planificación de Transporte. En el presente estudio se tomará en cuenta las veces que los usuarios viajan desde su punto de origen hasta su punto de destino de diferentes zonas más concurridas de la ciudad. También el propósito del viaje se considerará en esta investigación siendo las opciones a elegir entre estudios, compras, atención médica, trabajo, visita a familiares, etc. Para el cálculo de la determinación de viajes se lo realiza con la siguiente fórmula [2.3]

$$O_i, D_j = V_{ij} \quad [2.3]$$

Donde:

V_{ij} = Viajes Origen-Destino

m = modo de transporte

2.2.4 ETAPA 3. PARTICIÓN MODAL

Es la tercera etapa del modelo del sistema de planificación del transporte. En esta principalmente se detallarán los medios de transporte que usualmente los ciudadanos utilizan para trasladarse, siendo las opciones el vehículo particular, autobús y taxi. Para ello utilizaremos la ecuación [2.4] que se detalla a continuación:

$$\sum_m V_{ij}^m = V_{ij} \quad [2.4]$$

Donde:

V_{ij} = Viajes origen-destino

m = modo de transporte

2.2.5 ETAPA 4. ASIGNACIÓN DE RUTAS

Es la última etapa del sistema de Planificación de Transporte la cual se desarrolló mediante el empleo de la aplicación de Google Maps permitió conocer las características de las rutas, el tiempo que tomará el recorrido, la latitud y la elevación por el lugar donde se transita con la ayuda del GPS. Para la definición de las rutas se las determinó en función de los patrones de movilidad, donde se sectorizo la zona urbana, rural y autopista en base a la aplicación de una encuesta a la población, la cual determinó mediante los resultados las zonas de mayor afluencia de las personas y al modo de transporte que utilizan.

2.3 CICLOS DE CONDUCCIÓN

Para establecer los ciclos de conducción, existen dos tipos de metodologías a seguir las cuales son, directa e indirecta. En esta investigación se trabajó en función de la metodología indirecta ya que partimos desde el trabajo de campo donde se tomó en consideración los aspectos de los patrones de movilidad, la asignación de rutas y la obtención de los resultados.

Las rutas para la elaboración del ciclo representan los aspectos más críticos dentro de la ciudad de Ibarra, es decir, zonas de mayor atracción, flujo vehicular, rutas que atraviesen y cubran la ciudad, entre otros factores que permitan determinar la autonomía y el desempeño del vehículo. Además, para validar el ciclo de conducción se sustenta en función de la normativa (EU) 2017/1151.

Tabla 2.1 Características para sustentar las rutas en función de la norma (EU) 2017/1151

Parámetros de Ruta		Requisitos en la Regulación
Duración de la ruta total		Entre 90 – 120 minutos
Distancia	Urbano	
	Rural	>16 km
	Autopista	
Composición de la ruta	Urbano	29 – 44 % de distancia
	Rural	23 – 43 % de distancia
	Autopista	23 – 43 % de distancia
Velocidades promedias	Urbano	15 -40 km/h
	Rural	Entre 60 – 90 km
	Autopista	>90 km/h (>100km/h por cada 5 minutos)
Carga Útil		< 90% peso vehículo máximo
Altitud	Moderada	0 – 700 m
	Extendida	Entre 700 – 1300 m
	Diferencia	No más de 100 m de diferencia
	Ganancia acumulada	1200m per 100 km

2.3.1 INSTRUMENTACIÓN PARA LEVANTAMIENTO DE DATOS

2.3.1.1 GPS GL - 770

El equipo GL-770 es un dispositivo que cuenta con receptor GPS, el cual permite conocer la ubicación de pistas o rutas en el mapa de Google Maps, además los datos obtenidos pueden estar entre frecuencias de 1 a 5 Hz, con un rango de funcionamiento de hasta 35 horas.



Figura 2.3 Unidad GPS GL-770

En la Figura 2.3 muestra que es un dispositivo compacto y de manipulación simple, la unidad GL-700 permitió recopilar información de los parámetros de medición cinemáticas que constantemente fluctuaban en el recorrido del ciclo de conducción.

2.3.1.2 Características y parámetro del modelo del GPS

El GL -770 es un equipo adecuado, se tomó en consideración distintas características y parámetros que proporciona el dispositivo información sobre el comportamiento del vehículo eléctrico al desplazarse por la ruta urbana en la ciudad de Ibarra.

En la tabla 2.2 indica un compendio de parámetros y características necesarias que el equipo contiene en su especificación técnica, lo cual nos facilita la recolección y almacenamiento de datos del trayecto de la ruta.

Tabla 2.2 Parámetros y unidades del equipo

Parámetros	Unidades
Fecha UTC	dd/mm/año
Hora UTC	Hora/minutos/segundos
Fecha local	dd/mm/año
Hora local	Hora/minutos/segundos
Latitud	Grados, minutos, segundos
Longitud	Grados, minutos, segundos
Altitud	Metros sobre nivel del mar
Velocidad	Km/h
distancia	Metros (m)

2.3.1.3 Scanner launch xpro 431



Figura 2.4 Scanner para procesamiento de datos

De la anterior figura se puede apreciar el scanner automatizado launch xpro 431, mismo que sirve para recibir valores técnicos del vehículo y parámetros de la ruta mediante una interfaz. Este dispositivo cuenta con un sistema Android que permite la instalación de la aplicación x431.

Los parámetros más importantes para tener en cuenta se presentan en la tabla 2.3 scanner son:

Tabla 2.3 Parámetros utilitarios del scanner

Parámetros	Unidad
Tensión de Batería Principal	Voltaje (V)
Situación del pedal de acelerador	Porcentaje de medida angular (0 sin aceleración – 253 totalmente acelerado)
Potencia instantánea del inversor	Porcentaje (%)
RPM del motor eléctrico	RPM
Temp. °C	Grados centígrados

2.3.1.4 Aspectos para el levantamiento de datos

Las pruebas experimentales serán realizadas en días entre semana en un horario de 8 am debido a las más altas condiciones de tráfico, en este aspecto permitirá conocer los valores más cercanos al comportamiento técnico del vehículo en la ruta.

Es necesario recalcar que para dar inicio al recorrido el vehículo deberá estar cargado al 100 %, y realizar un chequeo general del vehículo.

El recorrido se lo realizará en toda la ruta de ensayo para la obtención del ciclo de conducción, además se realizó la caída de 100 – 0% del paquete de baterías, ya que en todo el trazo de las rutas no decaerá completamente el estado de la carga, por lo tanto, se seguirá el recorrido hasta terminar completamente la carga de la batería.

1.4 CARACTERIZACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

La caracterización del vehículo eléctrico se la realizó en función de toma de medidas de sus dimensiones que involucra la carrocería y el chasis. Además, para el dimensionado del tren de potencia y los elementos que este involucra, se realizó un estudio matemático que comprende a las fuerzas y a las características que implican el movimiento dinámico del vehículo.

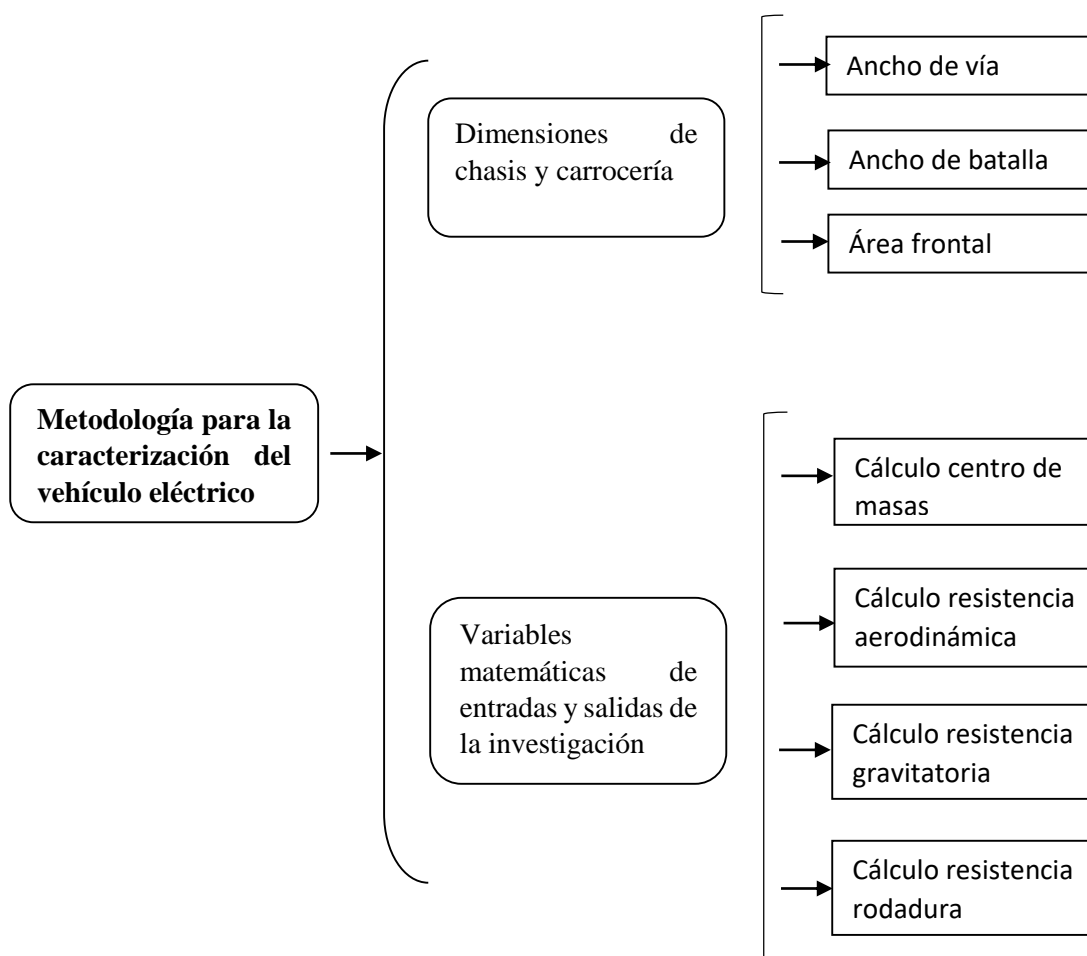


Figura 2.5 Esquema metodológico para la caracterización del vehículo eléctrico

En la figura 2.5 se presenta de manera sistemática una metodología de dos variables importantes para la caracterización del vehículo eléctrico los cuales son: dimensiones de chasis y carrocería y, variables matemáticas de entradas y salidas para el dimensionado

vehicular. Estos pasos especificados facilitaron el desarrollo de la investigación donde además permitieron conocer algunas características de su funcionamiento.

2.4.1 DIMENSIONES DE CHASIS Y CARROCERÍA

Para determinar las dimensiones de chasis y carrocería, se determinó mediante mediciones externas del vehículo y la utilización de las dimensiones que aporta el manual del fabricante. Los vehículos se caracterizan por tener el 60 % de su peso en el eje transversal delantero y 40% en el eje transversal posterior.

2.4.1.1 Ancho de vía

El ancho de vía se diferencia en algunos vehículos por tener distintas medidas en el eje delantero como en el eje posterior. Por esto para determinar las dimensiones se realizó mediciones de ambos ejes en una superficie plana. Los resultados serán necesarios para el ingreso de variables en el software.



Figura 2.6 Representación del ancho de vía

En la figura 2.6 se representa el ancho de vía de un vehículo Renault Twizy, para la representación de esta medida es necesario tomar desde el punto central de ambos neumáticos del mismo eje.

2.4.1.2 Distancia entre ejes

El ancho de batalla es la distancia que existe entre el eje delantero y el eje trasero del vehículo, para realizar esta medición el vehículo debe concentrarse en una superficie plana.

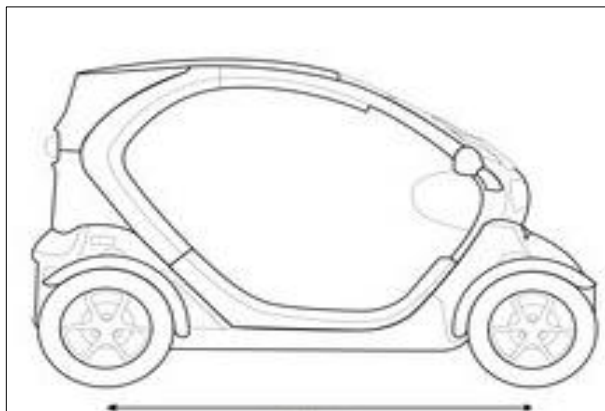


Figura 2.7 Representación de distancia entre ejes

En la figura 2.7 se representa la parte geométrica lateral del vehículo eléctrico para la toma de medida del ancho de batalla. Con estos datos permite simular el cuerpo vehicular, además es necesario considerar que la medición se realiza desde los puntos centros de ambos ejes.

2.4.1.3 Área frontal

Para la obtención del área frontal del vehículo, fue necesario realizar un cálculo matemático en función de la vía del vehículo, de la misma manera tomando en consideración el ancho y el alto de la carrocería y de cada una de sus ruedas.



Figura 2.8 Representación gráfica del área frontal del vehículo

En la figura 2.8 se representa de manera frontal el gráfico del vehículo eléctrico Renault Twizy, mismo que se visualiza para el cálculo necesario y obtener los parámetros para el ingreso de variables.

2.4.2 VARIABLES MATEMÁTICAS DE ENTRADA Y SALIDA DE LA INVESTIGACIÓN

Para determinar las variables matemáticas de entradas y salidas de la investigación se procedió a realizar cálculos en función de los parámetros que demanda el software en distintos elementos que conforma el tren de potencia y batería.

2.4.2.1 Resistencia aerodinámica

La resistencia aerodinámica de los automóviles hace relación al aire que se opone al movimiento dinámico del mismo. Por esta razón, se determinó las dimensiones del área frontal del vehículo con el objetivo de conocer el fenómeno aerodinámico para el modelado vehicular.

La ecuación para calcular la resistencia aerodinámica es la siguiente:

$$R_{ae} = \frac{1}{2} \times C_x \times A \times \rho \times V^2 \quad [2.5]$$

Donde:

R_{ae} : Resistencia aerodinámica [N]

C_x : Coeficiente aerodinámico [adimensional]

A : Sección Frontal del vehículo [m²]

ρ : Densidad del aire [kg/m³]

2.4.2.2 Resistencia gravitatoria

La resistencia gravitatoria se caracteriza por ser atraído hacia el centro de la tierra, misma que genera una resistencia negativa en el momento dinámico del vehículo en una pendiente, por lo tanto, es necesario de una fuerza que pueda compensar a esta fuerza negativa y de esta manera contribuya al movimiento en una determinada velocidad. La pendiente es un dato en unidades de porcentaje, y para realizar el cálculo se necesita de la siguiente ecuación [2.6]

$$\phi = \arctg^{-1} \frac{\phi\%}{100} \quad [2.6]$$

Donde:

ϕ : Ángulo de inclinación [°]

$\phi\%$: Ángulo de inclinación [%]

Una vez obtenido estos valores se procede a realizar los siguientes cálculos con la formula [2.7]:

$$R_g = m \times g \times \text{sen}\theta \quad [2.7]$$

La finalidad de esta ecuación es obtener la resistencia gravitatoria.

2.3.2.3 Resistencia rodadura

La resistencia a la rodadura analiza la fuerza que se opone al desplazamiento del vehículo, el mismo que actúa entre el neumático y el terreno, principalmente es causada por la adherencia del material y se produce cuando la rueda gira sobre una superficie. Para complementar el estudio sobre la resistencia a la rodadura se debe considerar las características que objetivan al neumático, por ello, es necesario 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.

La fórmula [2.8] sirve para determinar la resistencia a la rodadura es la siguiente:

$$F_{ro} = m \times g \times fr \quad [2.8]$$

Donde:

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

m : Masa [kg]

g : Gravedad [m/s²]

fr : Coeficiente de resistencia a la rodadura [-]

2.3.2.4 Estado de carga SOC %

El estado de carga corresponde al estudio de nivel de carga en relación con su capacidad. Dentro de los aspectos de simulación y diseño la ecuación matemática involucrada para mediciones son porcentuales y se calcula mediante la siguiente ecuación [2.9].

$$SOC(t) = SOC_0 - \frac{n}{c} * \int I(t) dt \quad [2.9]$$

Donde: n es el rendimiento de la batería, en esta investigación se adjudica que el rendimiento para encontrar el SOC es de 1. El SOC_0 es el estado de carga inicial, c es la capacidad en Ah de la batería y, por último I es la intensidad de descarga que se encuentra dentro del circuito.

Mientras que para el cálculo del SOC en los valores reales del ensayo en la ciudad de Ibarra se utilizó mediante la ecuación [2.10]:

$$SOC = \frac{V - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} \times 100 \quad [2.10]$$

Donde Q es la tensión inicial de la batería en el ensayo, Q_{\min} es la tensión mínima de la batería, y Q_{\max} es la tensión máxima que alcanza la batería, obteniendo como resultados los valores del SOC %.

2.3.2.5 Energía de recuperación

La energía de recuperación es una condición importante para determinar la capacidad de energía que se almacena mediante un estudio de picos de frenos regenerativo en cierta cantidad de tramo, la ecuación [2.11] permite determinar ese parámetro es:

$$E_{\text{recuperación}} = SOC\Delta * Q_{\text{bat}} \quad [2.11]$$

Datos:

SOC_i = Estado de carga inicial del tramo %

SOC_f = Estado de carga final del tramo %

$SOC\Delta$ = Variación de SOC

Q_{bat} = Capacidad de la batería Wh

2.3.2.6 Autonomía

La ecuación matemática que involucra el estudio para determinar la autonomía es la siguiente [2.12].

$$\text{Autonomía} = \frac{\text{SOC}(\%) * D \text{ (km)}}{100\%} \quad [2.12]$$

Donde está en función del SOC% por la distancia total el recorrido del vehículo obteniendo la autonomía.

2.3.2.7 Consumo

Es la tasa de energía que consume por la velocidad, de manera proporcional el consumo está en función de la autonomía. La ecuación es la siguiente [2.13]

$$C_e = \frac{P_{motor} * \Delta t}{n_{motor} * d} \quad [2.13]$$

Donde:

P_{motor} = Potencia del motor [W]

Δt = Variación del tiempo [h]

n_{motor} = Eficiencia del motor eléctrico

d = distancia total [km]

2.5 MODELADO DINÁMICO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

Para el modelado del tren de potencia del vehículo, se tomó en cuenta una serie de parámetros que involucran todo el sistema del tren de potencia, mismos que son el punto de partida para las características de entrada que demanda el software Matlab/simulink.

2.5.1 ETAPA DE POTENCIA Y CONTROL

La etapa de potencia y control puede definirse como el sistema electromecánico para la tracción del automóvil. Se compone de dos elementos principales que son, el motor ac o dc, y el inversor de corriente.

2.5.1.1 Motor eléctrico

Los vehículos eléctricos Renault Twizy conforman un sistema de alta tecnología enfocados en el confort y el control de contaminación. Se caracterizan por su sistema electromecánico que para su tracción utiliza un motor de corriente alterna o continua. En este caso bajo las condiciones de estudio e investigación enfocados para este trabajo, se tomó como referencia partes bibliográficas y partes en función del desmontaje directo del vehículo.

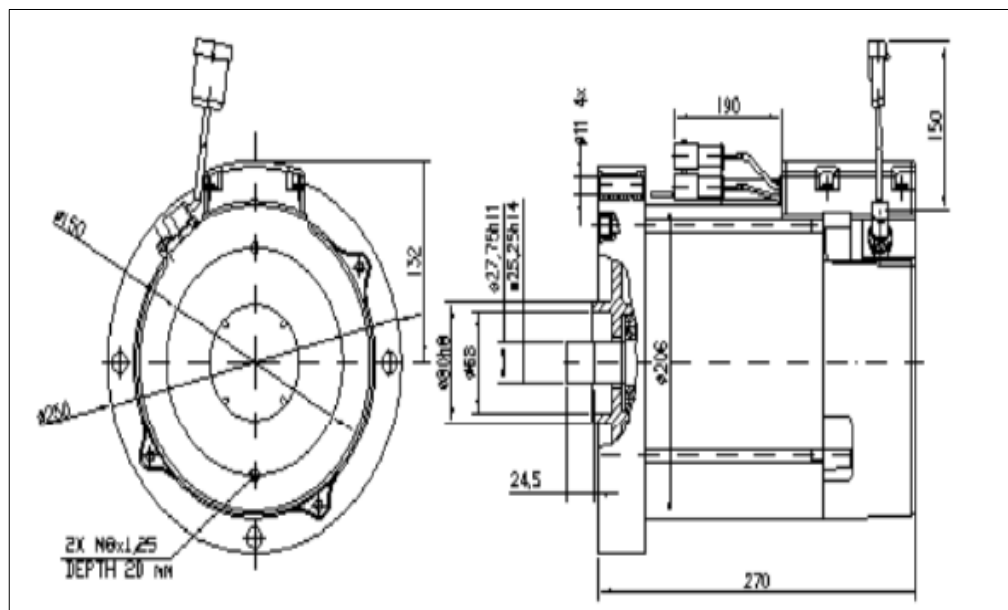


Figura 2.9 Representación del motor eléctrico

(Madariaga & Teknike. pág. 11)

En la figura 2.9 se presenta las características del motor del vehículo. En este caso se procedió a realizar un desmontaje de los componentes secundarios que lo recubrían, de modo que se obtuvo las cualidades más importantes que se necesita para la modelación.

2.5.1.2 Controlador

El controlador es un componente que permite realizar un intercambio de corriente mediante un conjunto de IGBTs para el funcionamiento del motor.

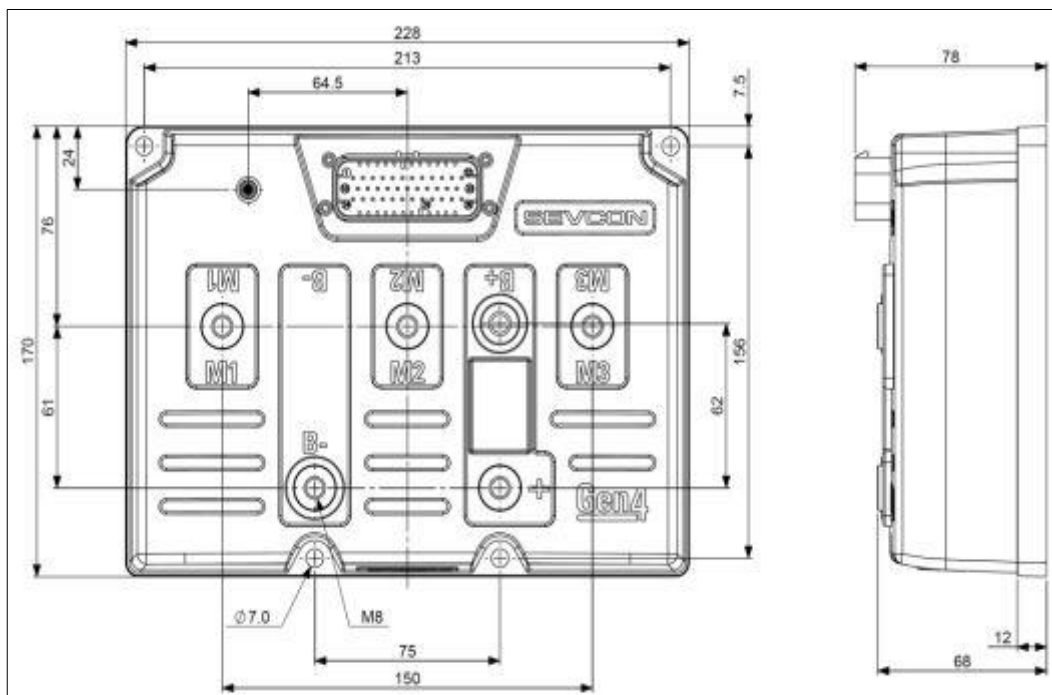


Figura 2.10 Controlador SEVCON GEN 4 – 48 voltios

(Gen4 Applications Reference Manual, pág. 51)

En la figura 2.10 se representa el controlador de corriente del vehículo SEVCON GEN4 48V. Se caracteriza por ser el emisor y receptor de corriente para el funcionamiento del motor trifásico. Sus parámetros de entrada son: 48 voltios como entrada y picos de corriente de 450 amperios.

2.5.2 ETAPA DE TRANSMISIÓN

Dentro de la etapa de transmisión, se necesitó parámetros de la caja del vehículo, que son necesarios como datos para el ingreso en el software y permitan la modelación del sistema de engranes.

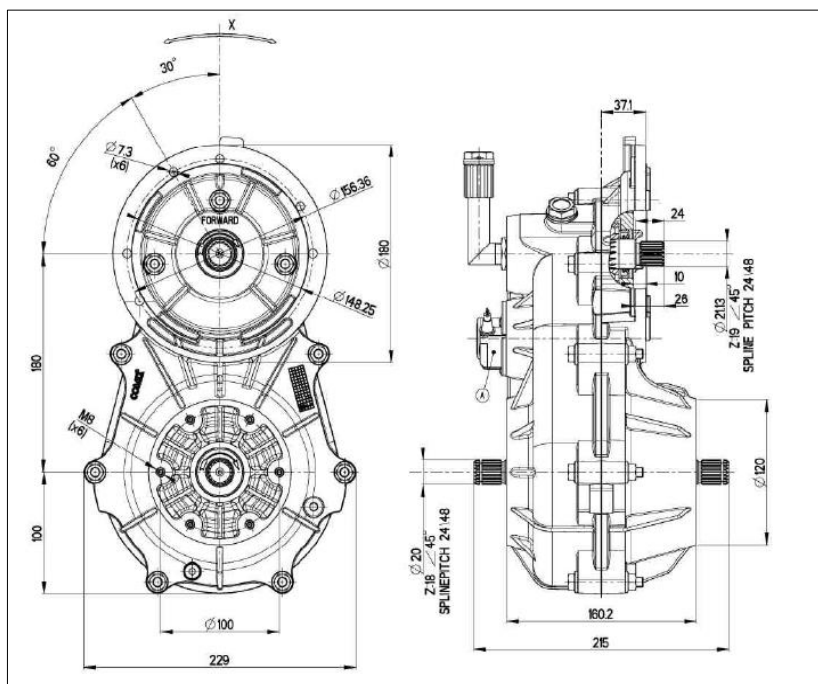


Figura 2.11 Representación de la transmisión del vehículo

(Madariaga & Teknike. pág. 12)

En la figura 2.11 se presenta el sistema de transmisión del vehículo. Para el conocimiento del número de dientes de los engranes y tipo de caja, se realizó un desmontaje general de todo el sistema de transmisión.

2.5.2.1 Relación de Transmisión

La relación de transmisión es un cálculo matemático que permite conocer las velocidades de rotación de los engranajes conectados que existe dentro de una caja de cambios. Esta relación es debido a que existe una diferencia de diámetros entre los engranajes, y se obtiene mediante la ecuación [2.14].

$$T = \frac{W_2}{W_1} = \frac{Z_1}{Z_2} \quad [2.14]$$

Donde:

W_1 = Velocidad angular

W_2 = Velocidad angular de la salida de la transmisión

Z_1 = Número de dientes de entrada

Z_2 = Número de dientes de salida

2.5.2.2 Diferencial

El diferencial del vehículo es un sistema que permite el giro de las ruedas motrices tengan diferentes velocidades, de manera que se evite problemas de tracción en carreteras curvas, y caminos alterados.

Para el cálculo de la relación de transmisión del diferencial se parte desde la siguiente ecuación.

$$i = \frac{W_s}{W_e} = \frac{Z_e}{Z_s} \quad [2.15]$$

Se debe dividir la velocidad de salida sobre la de entrada, o a su vez dividiendo el número de dientes del engranaje conductor sobre el conducido.

2.5.3 ETAPA BATERÍA

Dentro de los parámetros que se requieren para el modelado de la batería, se realizó un desmontaje de todo el sistema de almacenamiento de energía de manera que se puedan obtener los valores predeterminados mediante un multímetro.



Figura 2 12 Representación de la batería

En la figura 2.12 se representa la batería del vehículo eléctrico, su desmontaje sirvió para tomar valores de cada celda, el cual demostró un voltaje total de 56,98 voltios. Existen siete celdas con valores de 8,14 voltios y el amperaje debido a la falta de instrumentación se tomó como referencia del manual, lo cual es 130 Ah.

2.5.3.1 Resistencia de la batería

La resistencia interna es un valor que 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 [2.16] se presentan los términos que se necesitan para lograr obtener este valor mencionado.

$$R_{ib} = \frac{R_{ic}}{C} \times n \quad [2.16]$$

Donde:

R_b : Resistencia interna de la batería [Ω]

R_c : Resistencia interna de la celda [Ω]

C : Capacidad [-]

n : Número de celdas [-]

2.5.3.2 Potencia de la batería

Para analizar el volumen de las baterías se necesita obtener la potencia total del motor más la potencia requerida por los accesorios del vehículo eléctrico. Para esto se utiliza la siguiente 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]

Es necesario recalcar que la potencia de la batería está relacionada con la potencia del motor eléctrico, peso bruto vehicular del automotor y la autonomía que este proporciona.

2.6 SOFTWARE SIMULINK

El trabajo se enfocó en la utilización del software Matlab – simulink, este programa permitió realizar el modelamiento de los sistemas eléctricos y mecánicos del vehículo de manera que se representó el sistema del tren motriz.

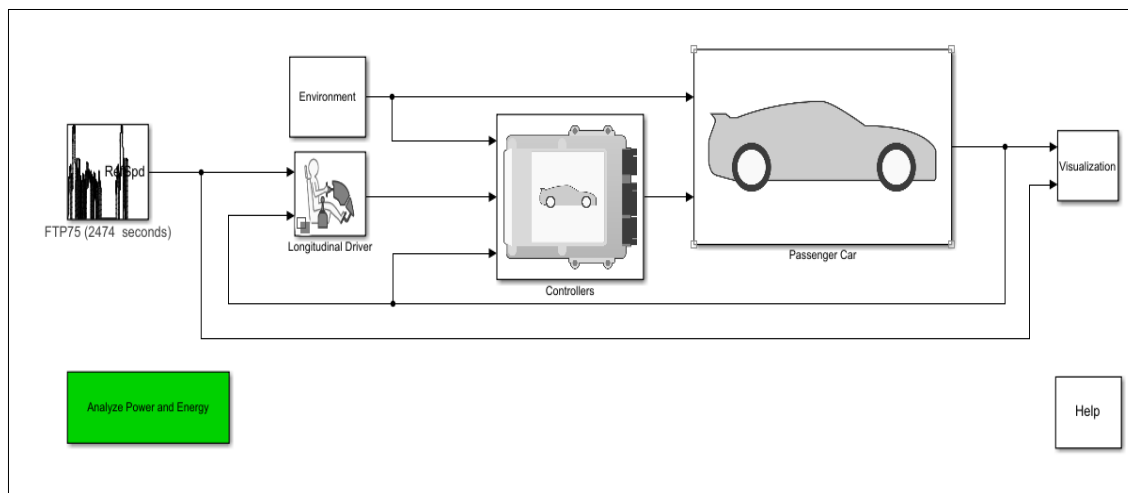


Figura 2.13 Representación de un modelamiento vehicular en simulink

En la figura 2.13 se representa de manera general un esquema gráfico sobre un modelamiento motriz de un vehículo eléctrico, en el cual se muestra el controlador, el sistema de chasis que involucra ruedas motrices, y la parte electromecánica del vehículo, que en este caso se deriva motor eléctrico y el sistema de transmisión.

2.6.1 FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE MATLAB/SIMULINK

El software SIMULINK es una toolbox especial de MATLAB que sirve para modelar el comportamiento de los sistemas dinámicos. Puede simular sistemas lineales y no lineales, modelos en tiempo continuo y tiempo discreto y sistemas híbridos de todos los anteriores.

Es un entorno gráfico en el cual el modelo a simular se construye elaborando sistemas de diferentes bloques que lo constituyen un solo mecanismo. Los modelos SIMULINK se guardan en archivos con extensión slx. Con las nuevas versiones, SIMULINK ha ido ampliando y mejorando sus librerías de bloques (blocksets) y características. En concreto, destaca el paquete STATEFLOW, que permite la simulación y el modelamiento de máquinas de estados.

CAPITULO III

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 DEFINICIÓN DE LOS RESULTADOS

De acuerdo con la metodología elaborada en el capítulo 2 se llevó a cabo los resultados de cada uno de los aspectos desarrollados, a continuación, se muestra a detalle los aspectos de manera gráfica:

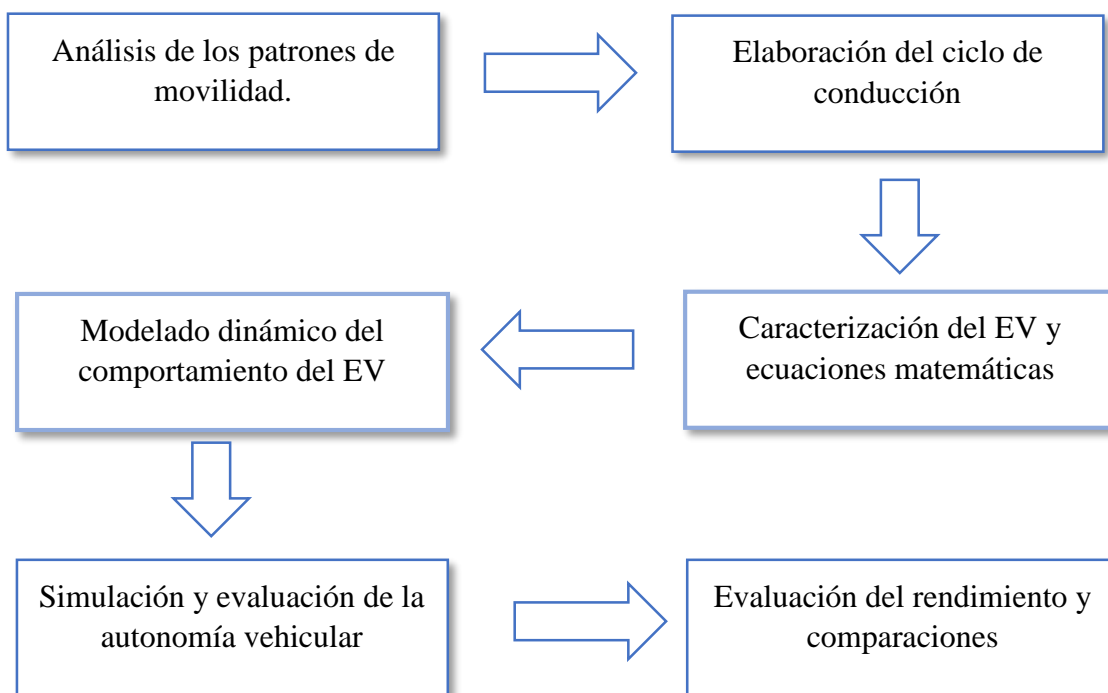


Figura 3.1 Metodología para los resultados

En la figura 3.1 se aprecia de manera sistemática la metodología para llevar a cabo el proceso de los resultados.

3.2 ANÁLISIS DE PATRONES DE MOVILIDAD

El análisis de los patrones de movilidad se ejecutó en base al modelo clásico de 4 etapas de los sistemas de planificación de transporte donde se apreció la generación de viajes, distribución, partición modal y asignación.

3.2.1 MÉTODO DE LAS 4 ETAPAS

El modelo de cuatro etapas aplicada en el capítulo anterior fue resuelto en base a todos los pasos que se propusieron, a continuación, se presenta el desarrollo de esta metodología.

3.2.1.1 Etapa 1: Generación y atracción de viajes

- **Identificación de la población**

Para la determinación de la población, se consideró los datos que expone el “Plan de desarrollo y ordenamiento territorial” enfocándose en el estudio de 5 parroquias y el número de habitantes por cada una de estas de la ciudad de Ibarra.

En la tabla 3.1 se representa el número de habitantes que conforman la población de Ibarra.

Tabla 3.1 Situación poblacional de la ciudad de Ibarra

Parroquias del cantón Ibarra	Núm. De habitantes por parroquia del cantón Ibarra
Centro de Ibarra	173 953
Angochahua	6 818
Ambuquí	4 063
La Carolina	3 410
La Esperanza	9 168
Lita	4170
San Antonio	21 815
Salinas	2 167
TOTAL	225 563

Fuente: (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017)

Una vez considerado el nivel de población en la ciudad de Ibarra, se toma el total de la población que son 225 563 habitantes, para el cálculo de la determinación de la muestra, y continuar con las siguientes etapas.

- **Determinación de la muestra**

Dentro de la determinación de la muestra se la realiza a través de la siguiente ecuación [2.2], utilizando un margen de error estadístico de un 5%.

Donde:

N	= Tamaño de la muestra	
$p.q$	= Varianza poblacional	= constante 0,25
Z	= Nivel de confianza	= 1.96 (95%)
N	= Población/ Cantidad de personas	
E	= Margen de error estadístico 0.05	= 5%

$$n = \frac{221.149 * (1.96^2) * 0,25}{0.05^2(221.149 - 1) + (1.96^2) * 0,25}$$

$$n = 384$$

Después de realizar el cálculo de la muestra obtuvimos el resultado de 384 habitantes a los cuales será aplicada la encuesta, a este número de personas, con un nivel de confianza del 95 % (Z).

- **Encuesta**

Después de la realización de la encuesta al número de habitantes, se determinó la cantidad de viajes atraídos que existen dentro de las zonas de la ciudad de Ibarra.

A continuación, en la tabla 3.2, se muestra la información como resultado de la encuesta a la población.

Tabla 3.2 Demostración de viajes atraídos por zona

ZONA	Viajes generados por zona	Viajes atraídos por zona
ZU1	156	130
ZU2	105	111
ZU3	182	199
ZU4	108	127
ZU5	59	104
ZU6	94	81
ZU7	135	45
ZU8	66	89
ZH1	39	61
ZH2	120	182
ZH3	83	124
ZH4	41	45
ZP1	54	50
ZP2	60	78
ZP3	67	61
ZP4	130	79
ZP5	98	51
ZP6	53	36
ZP7	37	34
TOTAL	1687	1687

Existe un total de 1687 de viajes realizados, el cual se representa en la sumatoria de la de la tabla de atracción de viajes.

A continuación, en la tabla 3.3 se representa el número de viajes entre semana, y se completan en función de los encuestados.

Tabla 3.3 Número de viajes en la semana

N.º de veces	Entre semana	Fin de semana	Último 7 días	Núm. De veces	Sumatoria viajes
1	107	97	26	230	230
2	66	99	21	186	372
3	62	0	9	71	213
4	81	0	4	85	340
5	84	0	6	90	450
6	0	0	2	2	12
7	0	0	10	10	70
TOTAL DE VIAJES					1687

Para aclarar el sumatorio total de los viajes representados en la tabla anterior, se lo sustenta con la siguiente ecuación [2.1]

Donde

O_i: Viajes resultantes de la zona O_i

D_j: Viajes atraídos por la zona j

$$230 + 372 + 213 + 340 + 450 + 12 + 70 = 1687$$

$$1687 = 1687$$

3.2.1.2 Etapa 2: Distribución de viajes

Con los datos anteriores se puede evidenciar el número de viajes en cada zona, obteniendo un total de 19 zonas, las cuales se representan como zona urbana, hipocentro y perimetrales.

De manera más detallada se muestra la tabla 3.4 donde se representa el flujo de viajes en una matriz determinada origen y destino.

Tabla 3.4 Matriz origen y destino

i/j	ZU1	ZU2	ZU3	ZU4	ZU5	ZU6	ZU7	ZU8	ZH1	ZH2	ZH3	ZH4	ZP1	ZP2	ZP3	ZP4	ZP5	ZP6	ZP7	Total (Oi)
ZU1	29	10	12	21	20	3	0	5	11	14	11	7	0	3	0	0	4	0	6	156
ZU2	6	3	23	15	2	10	0	8	0	6	8	0	4	2	11	1	3	2	1	105
ZU3	16	21	34	16	16	5	0	7	0	8	19	2	5	10	0	12	6	0	5	182
ZU4	7	9	11	22	21	0	4	6	0	9	2	4	0	5	1	6	0	1	0	108
ZU5	0	13	3	6	6	0	2	0	1	0	0	6	0	11	10	0	0	0	1	59
ZU6	2	3	8	3	4	3	6	8	5	30	11	0	0	0	5	2	3	0	1	94
ZU7	5	6	7	2	7	8	5	18	8	21	20	6	6	5	5	2	2	0	2	135
ZU8	4	0	9	8	5	3	4	12	3	1	0	2	0	2	0	9	1	2	1	66
ZH1	7	0	7	0	0	1	0	6	2	0	2	0	4	5	0	1	0	0	4	39
ZH2	11	0	17	1	0	22	4	0	0	37	3	1	3	0	3	14	0	4	0	120
ZH3	2	6	13	2	6	0	0	7	1	20	10	4	0	0	0	8	1	2	1	83
ZH4	5	3	2	3	0	9	0	0	4	2	0	2	4	2	0	5	0	0	0	41
ZP1	2	4	6	0	0	0	5	2	5	6	8	0	0	4	5	0	0	5	2	54
ZP2	8	4	6	0	5	0	5	2	4	4	1	0	2	12	0	0	0	6	1	60
ZP3	3	13	9	6	4	5	0	1	0	2	5	5	4	0	2	0	4	0	4	67
ZP4	6	7	13	10	1	10	6	3	5	9	9	0	12	9	13	9	1	7	0	130
ZP5	4	7	15	3	2	1	2	3	2	6	3	4	6	7	4	8	12	5	4	98
ZP6	7	0	3	7	5	1	2	0	0	3	5	0	0	1	2	2	12	2	1	53
ZP7	6	2	1	2	0	0	0	1	10	4	7	2	0	0	0	0	2	0	0	37
Total (Dj)	130	111	199	127	104	81	45	89	61	182	124	45	50	78	61	79	51	36	34	1687

3.2.1.3 Etapa 3: Partición Modal

Dentro de la partición modal se puede definir como la preferencia de transporte de la población para movilizarse de un lado a otro, de manera general se ha tomado los siguientes medios de transporte, como taxis, autobuses y vehículos particulares. Además, se toma en cuenta el número de viajes por cada uno de estos. A continuación, la tabla 3.5, detalle los aspectos considerados.

Tabla 3.5 Vehículos y viajes por medio de transporte

Medio de transporte	Entre semana	Fin de semana	Ultimo 7 días	Total
Autobús	509	111	82	702
Taxi	246	52	59	357
Automóviles particulares	410	128	90	628
TOTAL				1687

Los datos mencionados en la anterior tabla son bajo las consideraciones de la encuesta, donde se representa el tipo de transporte y el número de viajes realizados en los últimos 7 días.

3.2.1.4 Etapa: 4 Asignación de Rutas

La última etapa para seguir de la metodología aplicada se enfoca en la determinación de las rutas mediante el análisis de la matriz origen y destino, con esta última etapa se determina las rutas más importantes y de mayor incidencia de las personas mediante los resultados que representó la encuesta. A continuación, se representa la tabla 3.6 donde se muestra las 4 rutas más importantes para el desarrollo del ciclo de conducción.

Tabla 3.6 Rutas con mayor número de viajes para el ciclo de conducción

RUTAS MÁS IMPORTANTES			
Nº	ORIGEN	DESTINO	Nº de viajes
1	10.Laguna Mall, Hosp. SV. de Paúl, Coliseo LL. Franco (ZH2)	10.Laguna Mall, Hosp. SV. de Paúl, Coliseo LL. Franco (ZH2)	37
2	3.El Olivo, Universidades, Mdr. Arcángel (ZU3)	3.El Olivo, Universidades, Mdr. Arcángel (ZU3)	34
3	6.Cruz Verde, Los Ceibos (ZU6)	10.Laguna Mall, Hosp. SV. de Paúl, Coliseo LL. Franco (ZH2)	30
4	1.Htos. Familiares, Estadio UTN, ITCA (ZU1)	1.Htos. Familiares, Estadio UTN, ITCA (ZU1)	29
5	2.Alpachaca, Las Palmas, Ajaví (ZU2)	3.El Olivo, Universidades, Mdr. Arcángel (ZU3)	23
6	10.Laguna Mall, Hosp. SV. de Paúl, Coliseo LL. Franco (ZH2)	6.Cruz Verde, Los Ceibos (ZU6)	22
7	4.La Victoria (ZU4)	4.La Victoria (ZU4)	22
8	1.Htos. Familiares, Estadio UTN, ITCA (ZU1)	4.La Victoria (ZU4)	21
9	3.El Olivo, Universidades, Mdr. Arcángel (ZU3)	2.Alpachaca, Las Palmas, Ajaví (ZU2)	21
10	4.La Victoria (ZU4)	5.Yacucalle, Pílanquí (ZU5)	21
11	7.UE Atahualpa, UE M.T. Baca (Caranqui) (ZU7)	10.Laguna Mall, Hosp. SV. de Paúl, Coliseo LL. Franco (ZH2)	21
12	1.Htos. Familiares, Estadio UTN, ITCA (ZU1)	5.Yacucalle, Pílanquí (ZU5)	20
13	11.Mcdo. Amazonas, TIA, Est. Ferrocarril (ZH3)	10.Laguna Mall, Hosp. SV. de Paúl, Coliseo LL. Franco (ZH2)	20
14	7.UE Atahualpa, UE M.T. Baca (Caranqui) (ZU7)	11.Mcdo. Amazonas, TIA, Est. Ferrocarril (ZH3)	20
15	3.El Olivo, Universidades, Mdr. Arcángel (ZU3)	11.Mcdo. Amazonas, TIA, Est. Ferrocarril (ZH3)	19
16	7.UE Atahualpa, UE M.T. Baca (Caranqui) (ZU7)	8.Pq. Cd. Blanca, CC. La Plaza, Pugacho (ZU8)	18
17	10.Laguna Mall, Hosp. SV. de Paúl, Coliseo LL. Franco (ZH2)	3.El Olivo, Universidades, Mdr. Arcángel (ZU3)	17
18	3.El Olivo, Universidades, Mdr. Arcángel (ZU3)	1.Htos. Familiares, Estadio UTN, ITCA (ZU1)	16
19	3.El Olivo, Universidades, Mdr. Arcángel (ZU3)	4.La Victoria (ZU4)	16
20	3.El Olivo, Universidades, Mdr. Arcángel (ZU3)	5.Yacucalle, Pílanquí (ZU5)	16

Existe un total de 20 rutas establecidas por zona del sector de Ibarra, entre estas se escogen las de mayor incidencia por número de viajes. Las rutas ya antes mencionadas, tienen que validarse mediante el reglamento europeo RDE, EU 1157/2017, para determinar características de movilidad y si estos cumplen los parámetros que establece la norma.

3.2.2 ELABORACION DE RUTA

Para la caracterización de los ensayos en ruta se tomó en cuenta las tres siguientes rutas que son: ruta urbana, ruta rural y de autopista, estas rutas están sustentadas bajo el modelo aplicado en la metodología, donde proporciono los datos necesarios para diseñar un solo ciclo de conducción.

3.2.2.1 Ruta urbana

La ruta urbana se caracteriza por la unión de las diferentes rutas más incidentes de la ciudad de Ibarra y como resultado del método de las 4 etapas. A continuación, se representa los detalles de la ruta, el mapa, calles y la distancia.

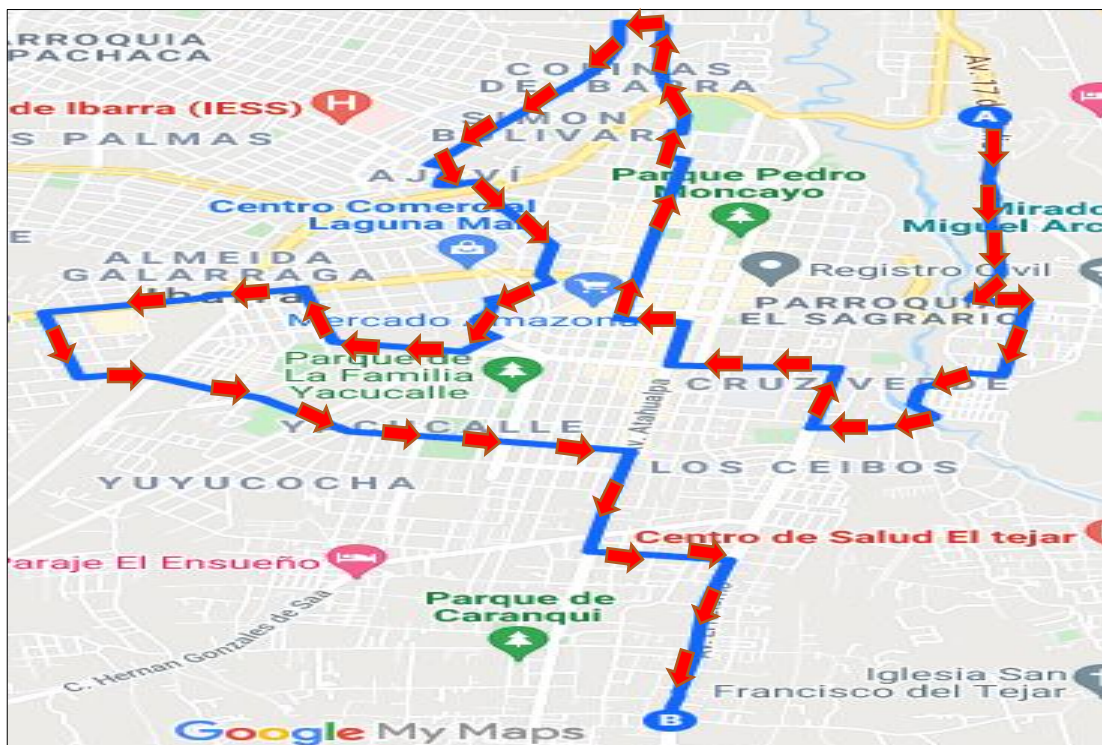


Figura 3.2 Ruta urbana

Fuente: (Google Maps,2021)

- **Calles:** Obispo Mosquera, Sánchez y Cifuentes, Fernando Villamar, Aurelio Mosquera, Av. Jaime Roldós, Arsenio Torres, Obispo Jesús, Av. 13 de abril, Víctor Manuel Guzmán, Yerovi, Eugenio Espejo, Pasquel monje, Manuelita Sáenz, Ricardo Sánchez, Avenida Atahualpa

Los detalles de la ruta de ensayo, sus parámetros además son: altura mínima de 2193 metros y una altura máxima de 2333 metros. Además, es necesario aclarar que la distancia recorrida fue de 17,3 km, desde el punto A hasta el punto B.

3.2.2.2 Ruta rural

Dentro del diseño de la ruta rural no se consideró necesario un estudio sobre los patrones de movilidad, esto debido a que no representa un margen complicado de movilidad y no existe un número alto de viajes dentro de estos sitios, así como la parte urbana.

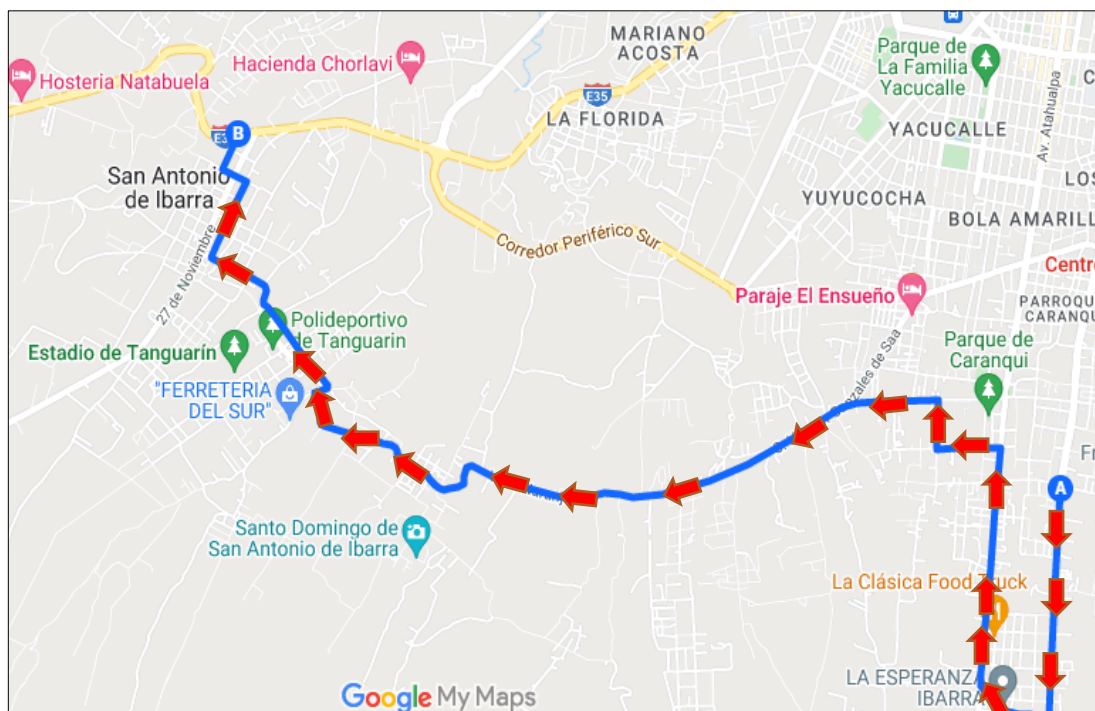


Figura 3.3 Ruta rural

Fuente: (Google Maps,2021)

- **Calles:** Av. E Retorno, calle Galo Plaza, Olmedo, cuartel Yaguachi, General Pintag Duchicela, Vía Naranjal, 15 de mayo, Ezequiel Rivadeneira, Simón Bolívar, Camilo Pompeyo, Antonio José de Sucre, final salida a San Antonio.

La ruta fue desarrollada en las parroquias rurales de La Esperanza y San Antonio, ya que son las más cercanas a la zona urbana y son las menos alteradas en sus carreteras debido a que el vehículo eléctrico no cuenta con demasiada seguridad y resistencia a irregularidades. La longitud máxima alcanzada fue de 17,6 kilómetros.

3.2.2.3 Ruta autopista

Para diseñar la ruta de autopista debe basarse bajo la distancia del recorrido que establece el reglamento EU 1151/2017 donde sus rangos están entre un 23 a 43% de total.

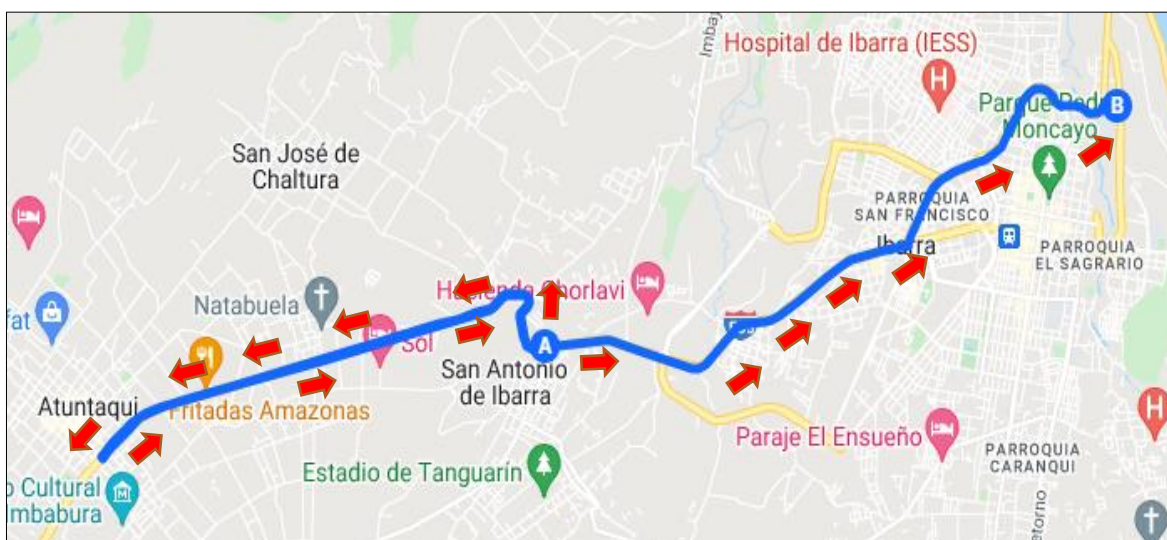


Figura 3.4 Ruta Autopista
Fuente: (Google Maps,2021)

- **Calles:** E35, puente a desnivel cantón Atuntaqui y General Enríquez, E35, Av. Mariano Acosta, Av. Cristóbal de Troya, calle Dr. Luis Madera y Av. 17 de Julio.

Para la ruta de autopista cuenta con una altura mínima de 2166 metros y una altura máxima de 2333 metros. La longitud total del recorrido alcanza los 20 kilómetros.

3.2.3 DESARROLLO DE LA RUTA FINAL

La representación de la ruta final es la unión de las 3 rutas anteriores de manera que se pueda demostrar ordenadamente una sola ruta donde consta de todas las calles, avenidas, dando inicio en la zona urbana por los centros de atracción, luego por la zona rural hasta llegar a la vía panamericana y regrese a su punto de partida.

A toda esta ruta final se la define también como el ciclo de conducción debido a que contiene los 3 parámetros importantes como son zona urbana, rural y autopista.

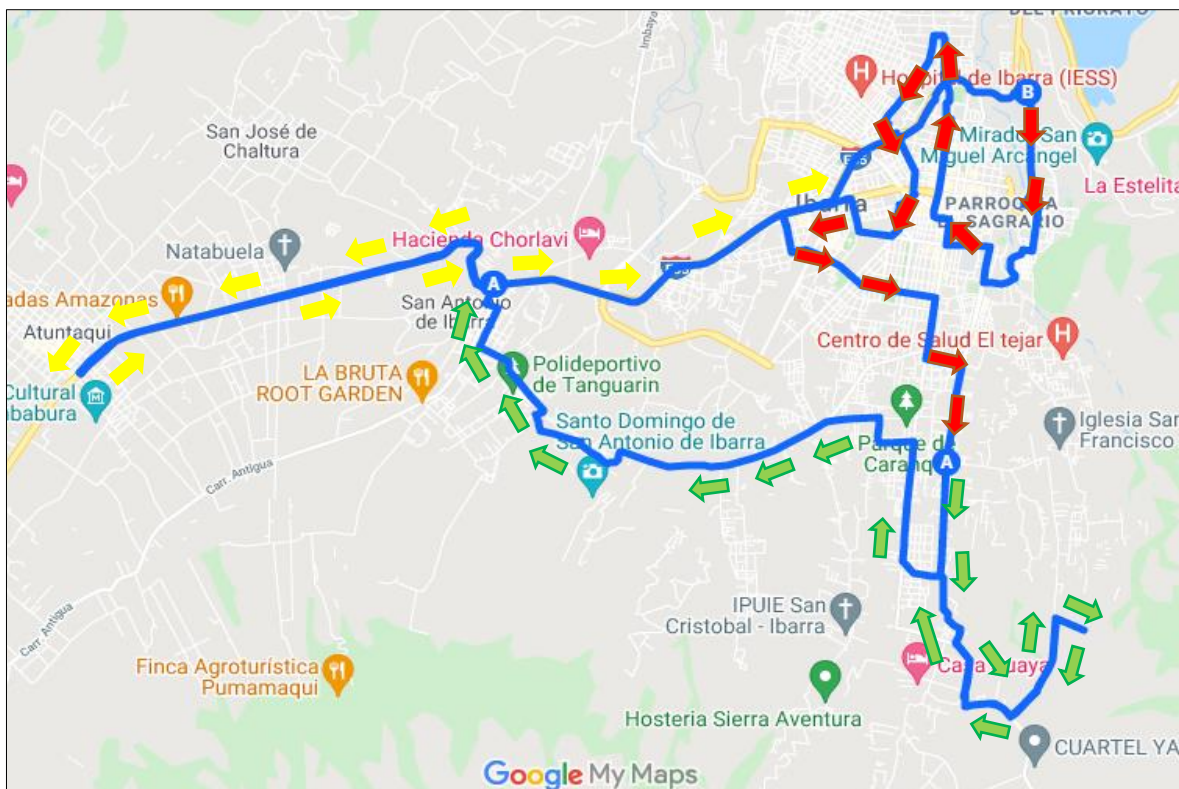


Figura 3.5 Representación de la ruta final

Fuente: (Google Maps,2021)

En la figura 3.5 se muestra la unión de todas las rutas que son: urbana, rural, autopista, donde toda la ruta final cumple con las características que exige el reglamento. La longitud de toda la ruta es de 54,9 kilómetros donde involucra aspectos como el tipo de terreno, la longitud del recorrido, pendientes y el tráfico vehicular en condición real de manejo.

3.2.4 DETERMINACIÓN DEL CICLO DE CONDUCCIÓN

Después de realizar el trazo de las rutas y el recorrido vehicular, se realizó el proceso de graficar en una hoja de cálculo los valores del levantamiento de datos, provenientes de los equipos.

3.2.4.1 Ciclo urbano

Gráfica del ciclo urbano:

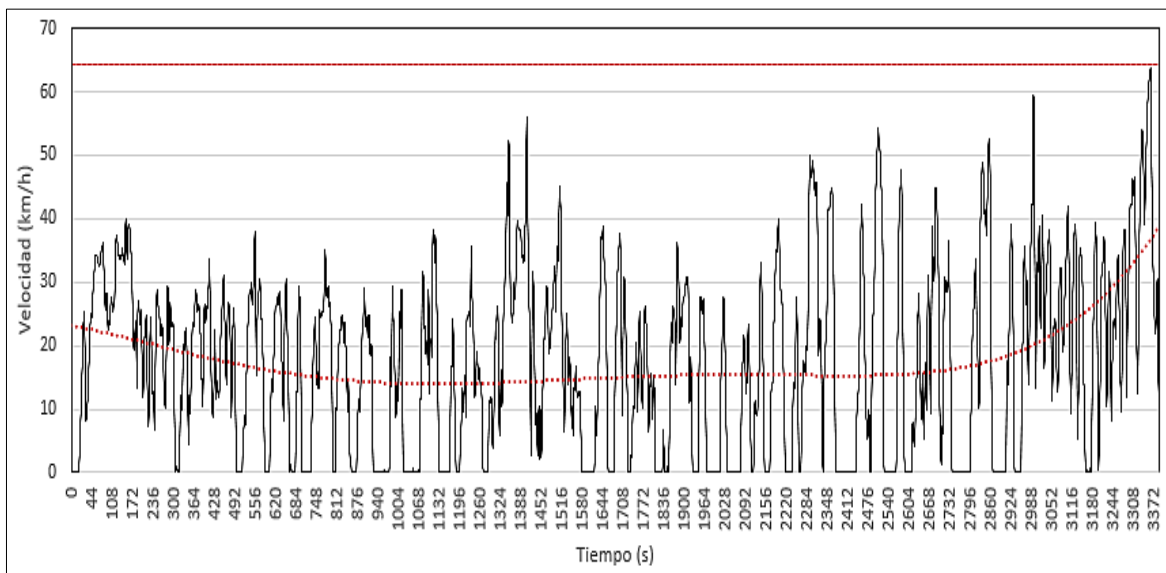


Figura 3.6 Ciclo de conducción Urbano

La figura anterior es una representación del ciclo urbano, a través del levantamiento de datos.

La siguiente tabla 3.7 muestra las características del ciclo:

Tabla 3.7 Características del Ciclo Urbano

Parámetro	Valor
Duración	3387 segundos
Velocidad máxima	63,65 km/h
Velocidad promedio	17,57 km/h
Distancia	17,253 km
Aceleración máxima	3,86 m/s ²
Número de paradas	36

3.2.4.2 Ciclo Rural

Gráfica del ciclo rural:

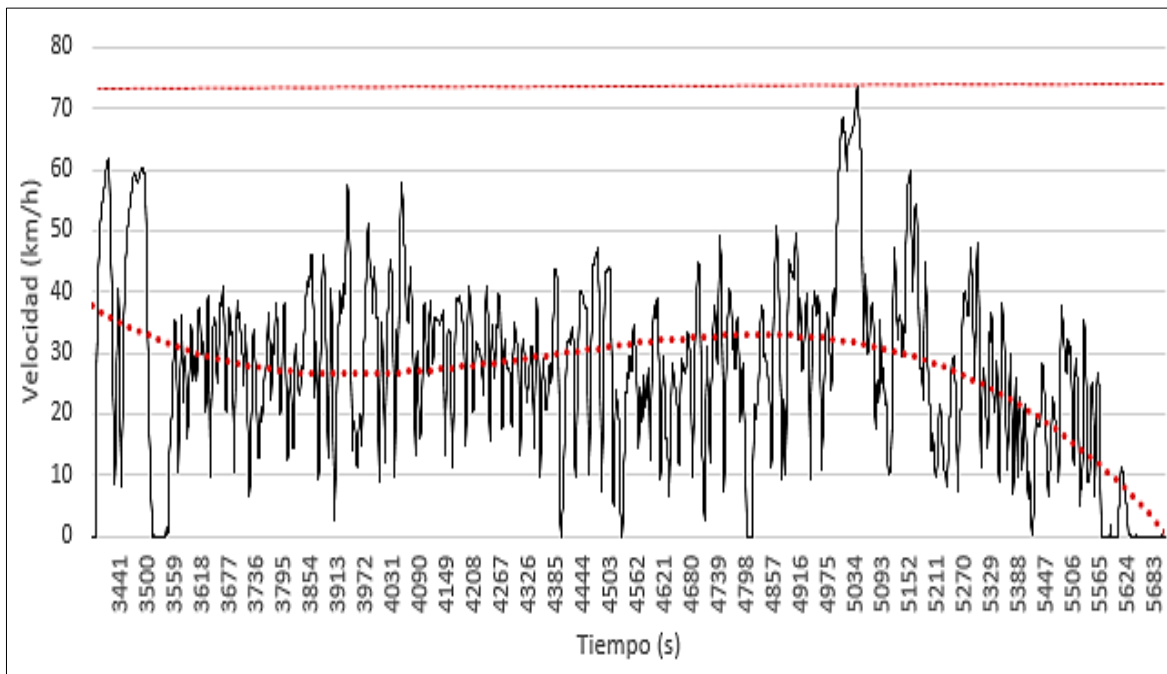


Figura 3 7 Ciclo de conducción rural

La figura anterior es una representación del ciclo rural, a través del levantamiento de datos.

La siguiente tabla 3.8 muestra las características del ciclo:

Tabla 3.8 Características del Ciclo Rural

Parámetro	Valor
Duración	2318 segundos
Velocidad máxima	73,71 km/h
Velocidad promedio	27,17 km/h
Distancia	17,783 km
Aceleración máxima	3,441 m/s ²
Número de paradas	8

3.2.4.3 Ciclo Autopista

Gráfica del ciclo autopista:

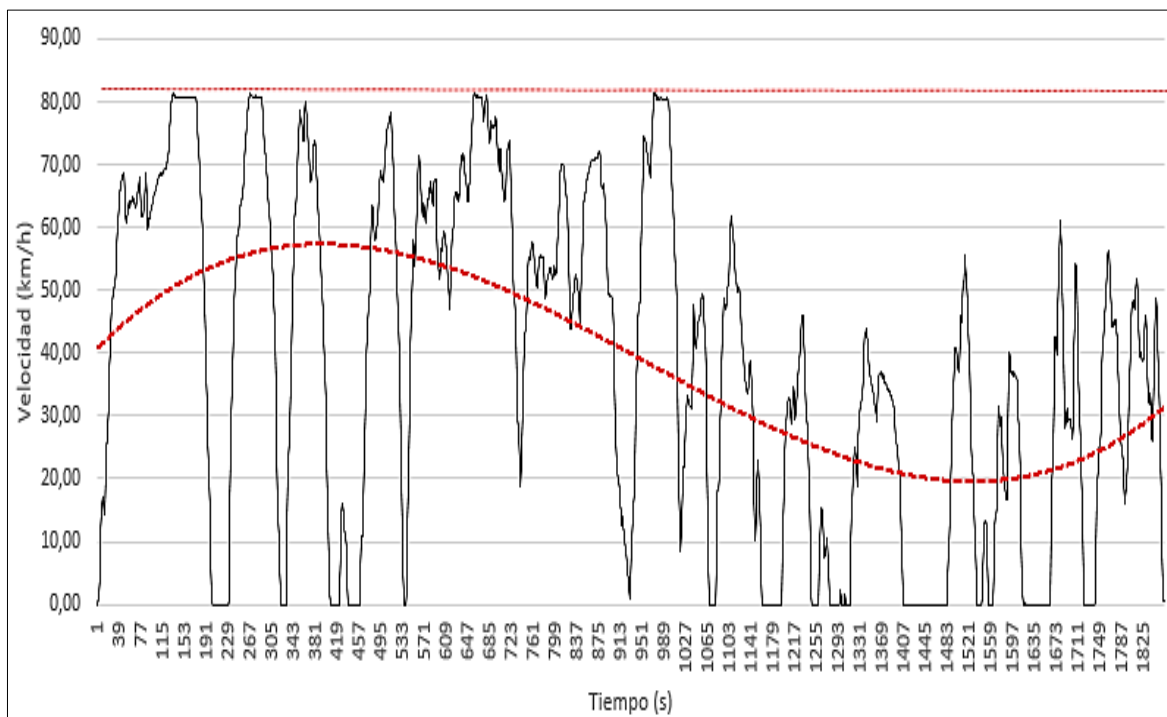


Figura 3.8 Ciclo de conducción autopista

La figura anterior es una representación del ciclo autopista, a través del levantamiento de datos.

La siguiente tabla 3.9 muestra las características del ciclo:

Tabla 3.9 Características del ciclo autopista

Parámetro	Valor
Duración	1861 segundos
Velocidad máxima	81,45 km/h
Velocidad promedio	38,63 km/h
Distancia	20,03 km
Aceleración máxima	2,93m /s ²
Número de paradas	17

3.2.4.4 Ciclo de conducción unido

En la figura 3.9 se representa las tres principales rutas que se tomó en consideración para determinar un solo ciclo de conducción de manera gráfica. El GPS mediante la aplicación de mapas permitió determinar los valores numéricos completos para diseñar la gráfica con sus parámetros velocidad por tiempo del recorrido del vehículo.

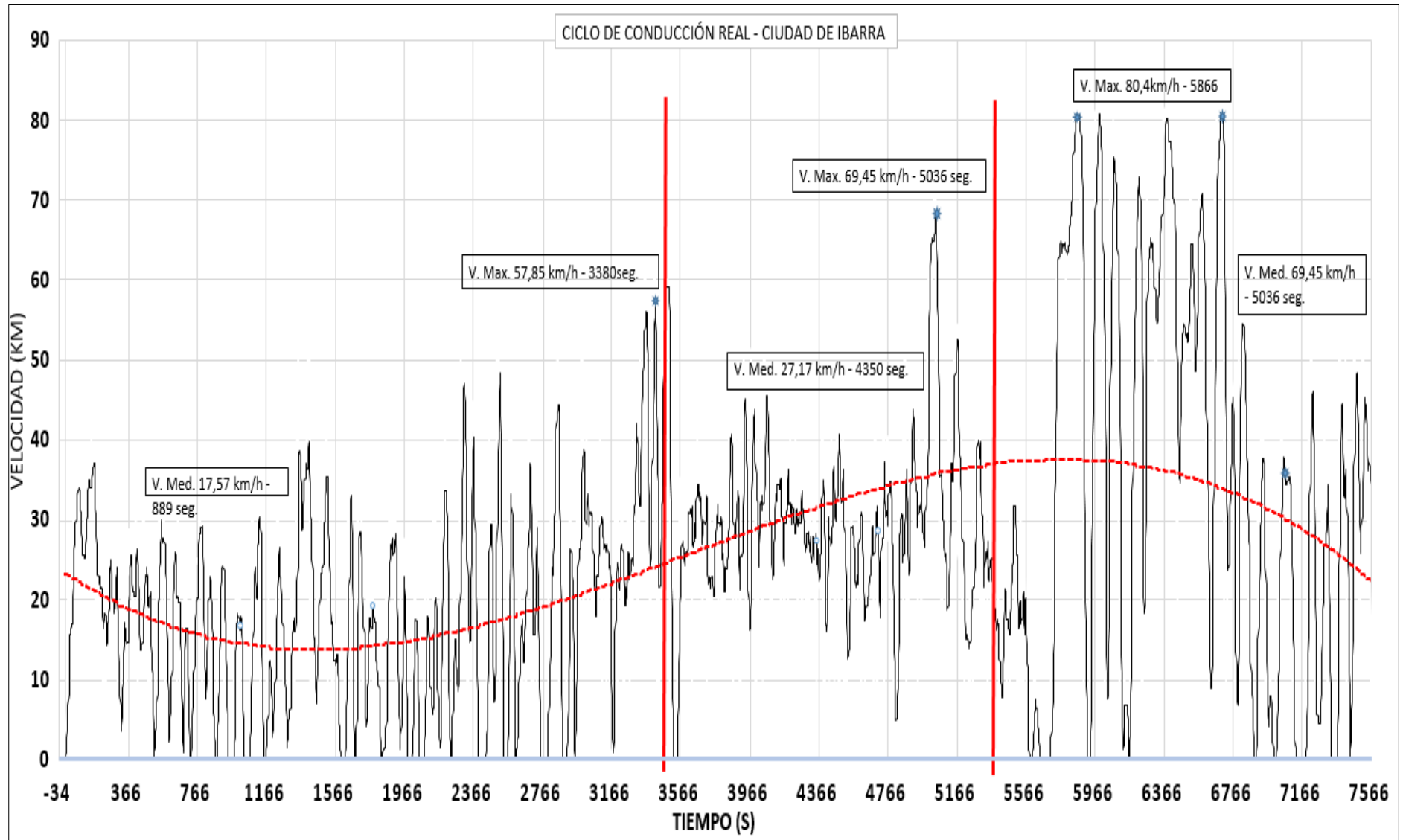


Figura 3.9 Gráfica final del ciclo de conducción

A continuación, en la tabla 3.10 se muestra las características de todo el ciclo de conducción.

Tabla 3.10 Características del ciclo de conducción

Parámetro	Valor
Duración	7566 segundos
Velocidad máxima	80,45 km/h
Velocidad promedio	25,76 km/h
Distancia	55,066 km
Aceleración promedio positiva	0,562 m/s ²
Número de paradas	61

3.2.5 VALIDACIÓN BAJO EL REGLAMENTO EU 1151/2017

Para la validación de los ensayos en ruta se debe cumplir los parámetros que establece el reglamento EU 1151/2017, donde se deben cumplir ciertos rangos de conducción y logísticos de cada una de las rutas. Además, considerar ciertos aspectos climáticos debido a que el vehículo eléctrico no cuenta con vidrios laterales por el cual se debió guardar cuidado de los equipos electrónicos, como el GPS, computador portátil y el mismo tablero del vehículo, ya que son vulnerables principalmente al agua. A continuación, en la tabla 3.11 se muestra la resolución de las condiciones del reglamento.

Tabla 3.11 Reglamento EU 1157/2017 para la validación de las rutas

Parámetro de ruta		Requisitos en la regulación STD	Requisitos Obtenidos de la ruta	Cumple (Si/No)
Duración total de la ruta		Entre 90-120 min	120 min (2 h)	Si
Distancia	Urbano		17,25 km	Si
	Rural	>16 km	17,78 km	Si
	Autopista		20 km	Si
Composición de la ruta	Urbano	29-44 % de distancia	32.14 % de distancia	Si
	Rural	23-43% de distancia	32.14 % de distancia	Si
	Autopista	23-43 % de distancia	35.71 % de distancia	Si
Velocidades promedias	Urbano	15-40km/h	17,57 km/h	Si
	Rural	Entre 60-90 km/h	27,17 km/h	No
	Autopista	<90 km/h	38,63 km/h	Si
Carga útil		<90 % del peso máximo del vehículo	68 kg	Si
Altitud	Moderada	0-700m	2245 m	No
	Extendida	Entre 700-1300 m	2196 - 2664 m	No
	Diferencia	No más de 100 m de diferencia de altitud	468 m	No
	Ganancia acumulada	1200 m por 100 km	760 m por 100 km	No
Temperatura ambiente	Moderada	0°C -30°C	16 °C	Si
	Extendida	-7°-0°C y 30-35°C	-	-
Porcentaje de parada		Entre 6-30% del tiempo urbano	5 - 8min 18%	Si
Máxima velocidad		145 km/h (160 km / h para el 3% del tiempo de conducción en autopista)	81,45 km/h	No
Uso de sistemas auxiliares		De uso gratuito como en la vida real (operación no registrada)	Foco se mantiene encendido y consume 0.8 W	-

Después de haber aplicado la metodología de los patrones de movilidad y de realizar la validación de las rutas mediante el reglamento EU 1157/2017, se obtuvo finalmente el ciclo de conducción para la toma de valores de la autonomía del vehículo eléctrico.

3.3 CARACTERIZACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

La caracterización del vehículo se realizó mediante toma de mediciones reales y del manual del fabricante para la obtención de variables de entrada que se necesita dentro del modelamiento vehicular y además se realizó una serie de cálculos matemáticos relacionados a los factores que influyen en las pruebas en ruta.

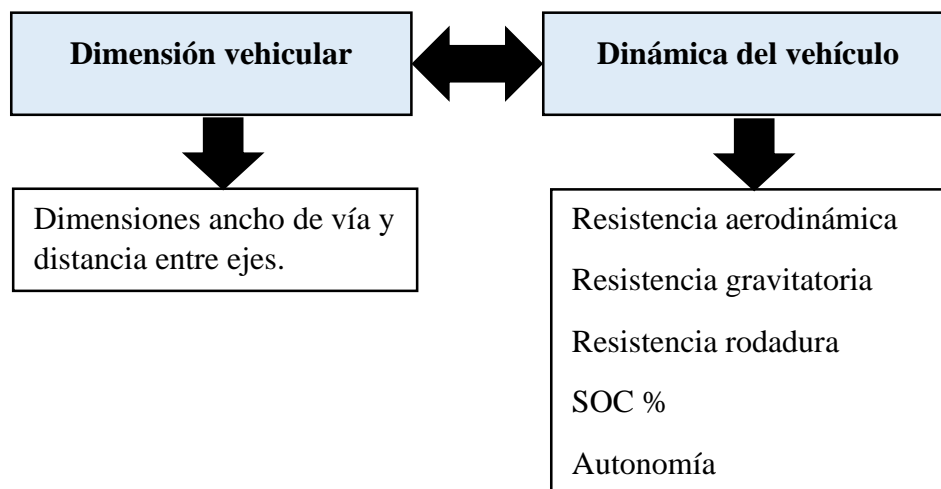


Figura 3.10 Metodología para la caracterización del EV

3.3.1 DIMENSIONES ANCHO DE VÍA Y DISTANCIA ENTRE EJES

Para la caracterización del vehículo se parte de una toma de valores y características externas del vehículo, los cuales son consideraciones importantes para el modelamiento en el software. Estos valores se realizaron mediante la utilización de un flexómetro y una comparativa con el catálogo del vehículo.

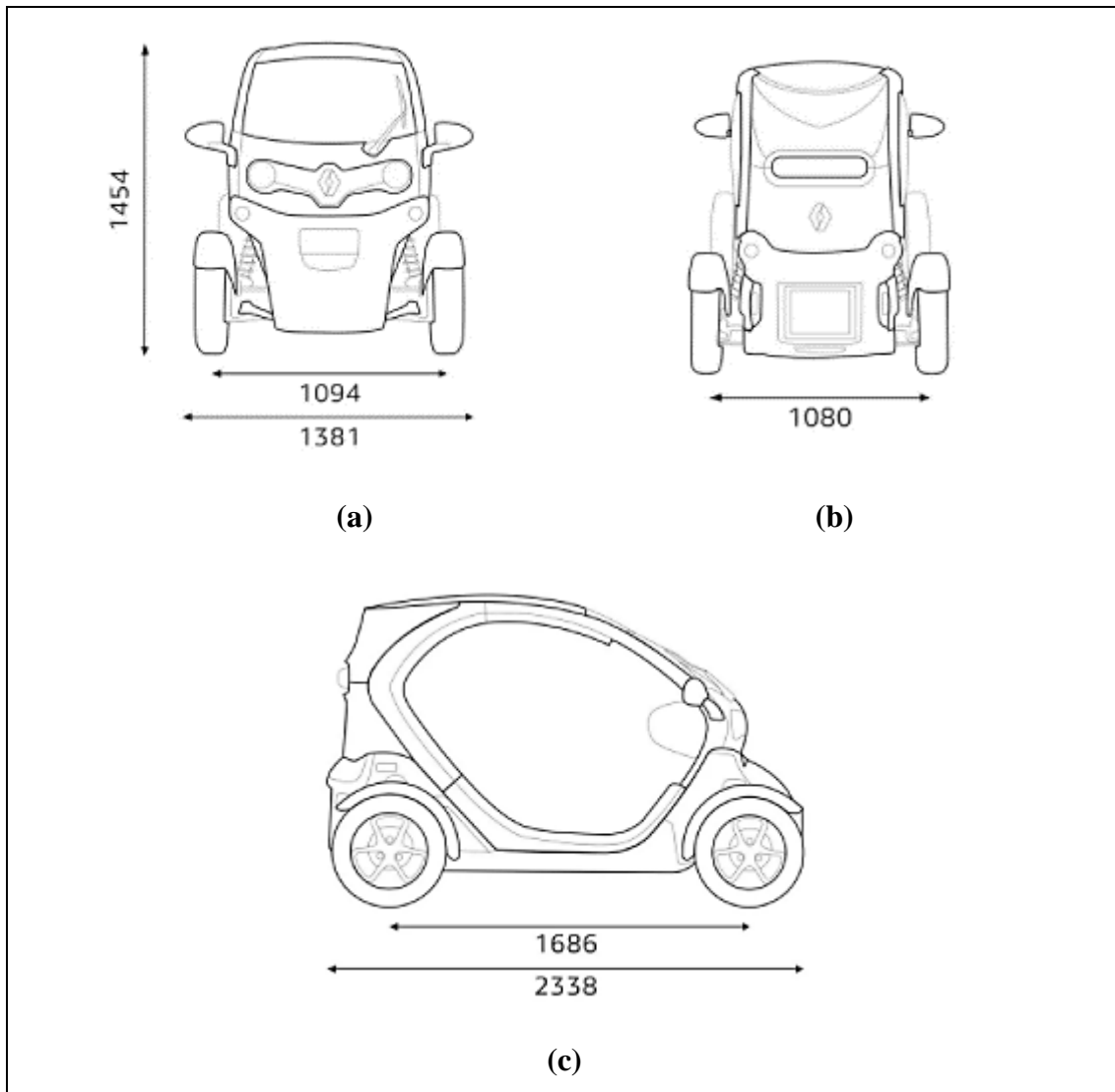


Figura 3.11 Dimensiones del vehículo en milímetros (mm)

(a) Dimensiones frontales (b) Dimensión posterior (c) Distancia entre ejes

(Manual Renault Twizy 2017, pág. 34)

En la figura 3.11 se detalla las medidas que comprende el vehículo con la finalidad de obtener las variables de entrada que permitan el desarrollo de la simulación.

Para la demostración del ancho de vía y distancia entre ejes del vehículo, fue necesario la utilización del manual del fabricante Renault S.A.S del año 2017 donde nos especifica las medidas laterales y de altura del vehículo.

3.3.2 DIMENSIONES TÉCNICAS DE CARROCERÍA

Las dimensiones técnicas del vehículo son variables importantes de entrada para el modelamiento vehicular, mediante el cual se necesita medidas exactas del vehículo. En este caso fue necesario tomar los datos del manual Renault Twizy Cargo 80, el cual especifica las siguientes características, a continuación, en la tabla 3.12.

Tabla 3.12 Especificaciones técnicas de la carrocería

Componente	Descripción		Valores
Carrocería	Coeficiente aerodinámico		0,64
	Dimensiones	Largo	2,338 m
		Ancho	1,454 m
		Alto	1,381 m
	Área frontal		1,472 m ²
	Peso total		690 kg

Fuente: (Renault, 2020)

Los parámetros mencionados en la tabla anterior forman un conjunto de datos importantes como variables de entrada para la simulación.

3.4 MODELADO DEL TREN MOTRIZ - SOFTWARE SIMULINK

Dentro del modelado se procede a realizar la introducción de valores y datos ya adquiridos durante el trabajo de la metodología, en los complementos del programa. Es necesario recalcar que ciertos datos forman ya un conjunto de estándares y otros son tomados en campo, es decir bajo el desmontaje de elementos del vehículo.

La librería Simscape de Simulink permitió el proceso de creación de sistema de bloques del tren de potencia.

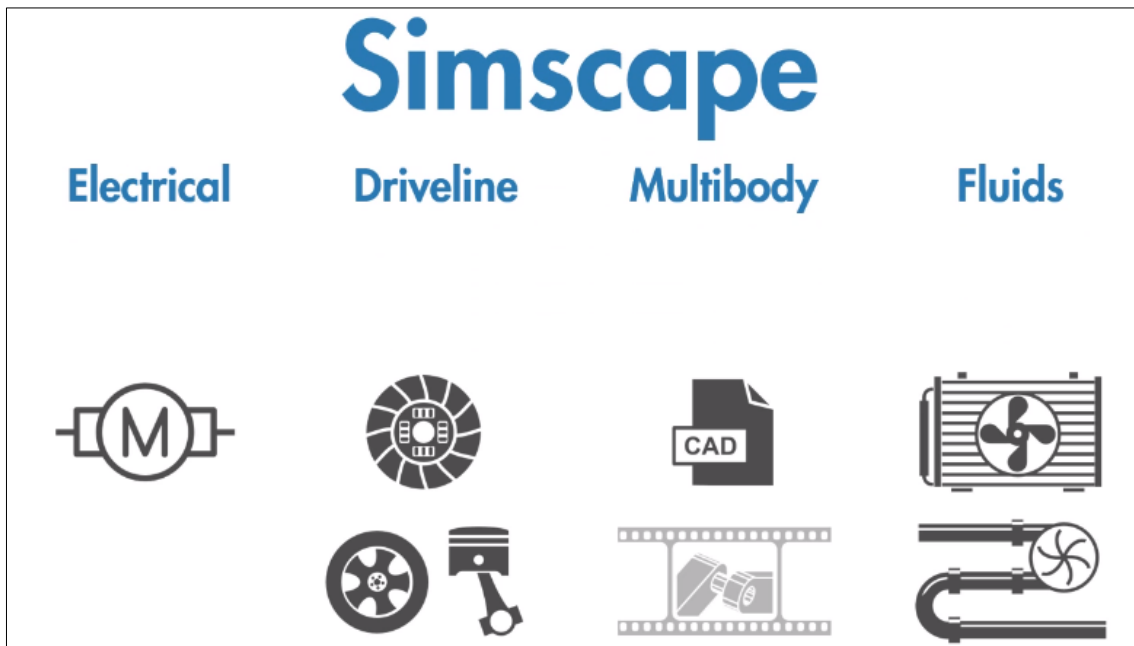


Figura 3.12 Representación de la librería

De la figura anterior 3.12 se presenta las características y parámetros que involucra la librería Simscape, características más importantes para llevar a cabo la investigación.

A continuación, la tabla 3.13 presenta los parámetros de entrada para el modelado del tren motriz:

Tabla 3.13 Características del tren motriz del EV

Componente	Descripción	Valores
Carrocería	Largo del vehículo	2,338 m
	Ancho del vehículo	1,454 m
	Alto del vehículo	1,381 m
	Coefficiente aerodinámico	0.64
	Peso total	690 kg
	Área frontal	1,472 m ²
Motor	Potencia Máxima	13 kW
	Par Máximo	57 Nm
	Eficiencia	83%
	RPM	2100 rpm
Batería	Voltaje x celda (7 celdas)	8,14 voltios
	Capacidad nominal Ah	130 amperios
	Densidad de energía	66,15 kWh/m ³
	Capacidad	6.1 kWh
Controlador	Gen 4	48 voltios – 130 Ah
Transmisión	R. de transmisión	9,23:1
Consumo	Ciclo Urbano ECE	100 km
Ruedas y Neumáticos	Ruedas delanteras	125/80 R13
	Ruedas traseras	125/80 R13
	Resistencia rodadura	0,01

Fuente: (Renault Twizy, 2017)

3.4.1 MODELADO DEL MOTOR ELÉCTRICO

Los motores DC son conocidos por ser el principal elemento de propulsión del vehículo eléctrico, mismo que también tiene sus características como generador de recarga de energía del paquete de baterías.

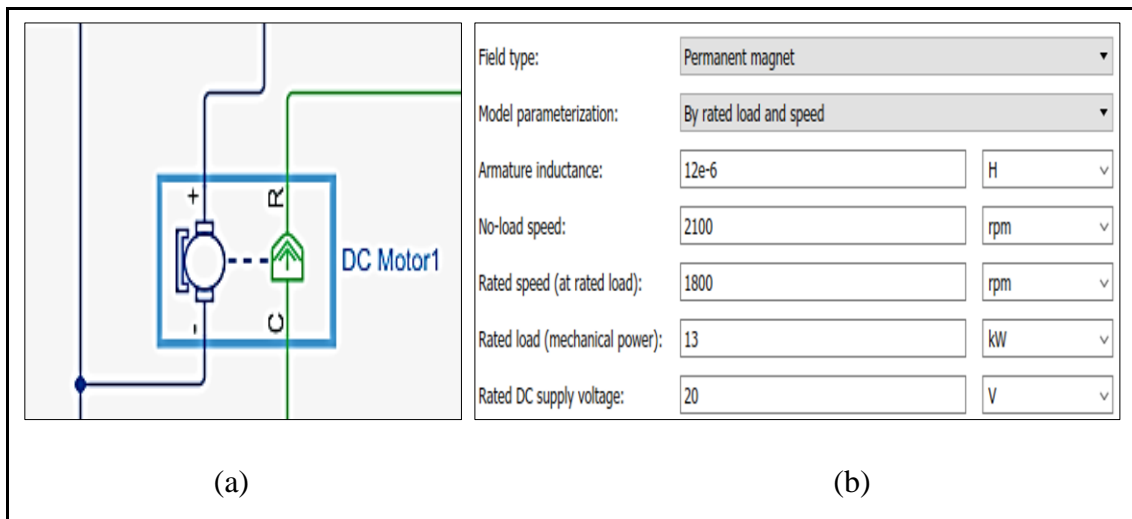


Figura 3.13 Modelado del motor eléctrico DC

(a) DC motor

(b) Parámetros para el motor

El modelo matemático del motor seleccionado en la anterior figura responde al siguiente circuito de corriente continua:

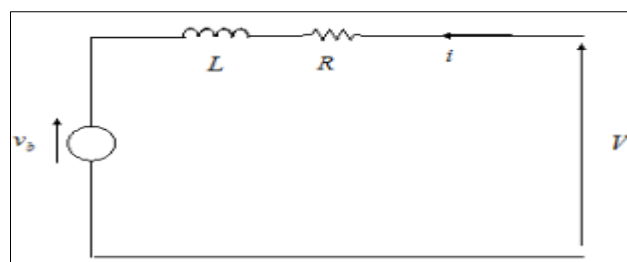


Figura 3.14 Circuito del motor DC

La figura anterior se presenta el circuito que responde al modelo del motor DC, donde R corresponde a la resistencia de la armadura. El inductor L corresponde a la inductancia que especifique en el parámetro inductancia de armadura.

Este circuito esta descrito en función de las ecuaciones [3.1] y [3.2]:

$$V_b = R * i + L \frac{di}{dt} + e \quad [3. 1]$$

$$T_e = k_f * \omega_m + J_m \frac{d\omega_m}{dt} + T_L \quad [3. 2]$$

La fuerza electromotriz inducida [e] y el torque eléctrico (T_e), se encuentra en las siguientes ecuaciones [3,3] y [3.4]:

$$e[V] = k_e[V.s] * \omega_m[s^{-1}] \quad [3. 3]$$

$$T_e[Nm] = k_e \left[\frac{Nm}{A} \right] * i[A] \quad [3. 4]$$

A través de las ecuaciones presentadas se puede realizar el modelado del motor. El control de este se puede realizar mediante el torque, la potencia y la velocidad. En este caso se realizó el control mediante la velocidad ya que se trabajó mediante ciclos de conducción.

3.4.2 MODELADO DEL CONTROLADOR

Para el modelado del controlador se tomó un puente H. Se caracteriza por ser el emisor y receptor de corriente para el funcionamiento del motor DC.

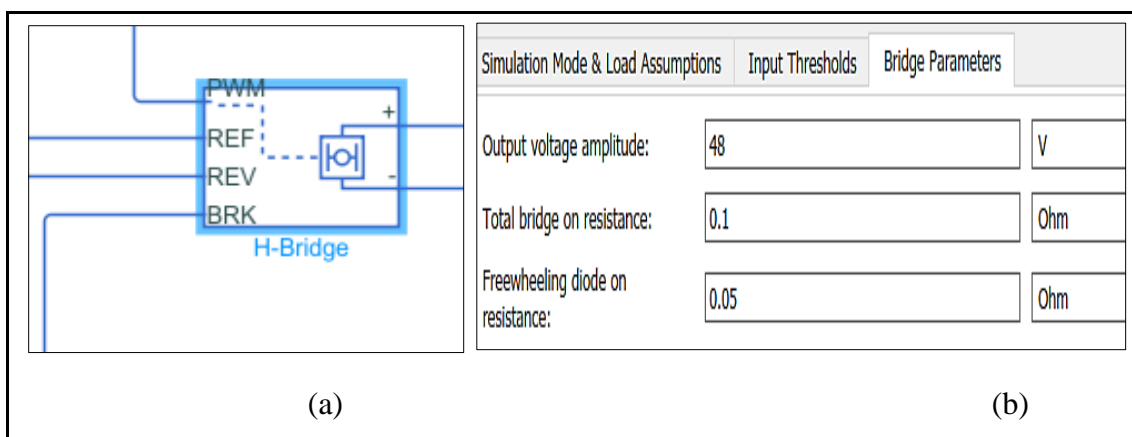


Figura 3.15 Representación del puente H, como controlador

(a) Puente H (b) Parámetros de ingreso

De la anterior figura se representa el bloque H-Bridge como un controlador de motor de puente H. La salida del bloque H-Bridge es un voltaje controlado que depende de la señal de entrada en el puerto PWM.

- REF: Puerto de conservación eléctrica asociado con la referencia flotante de cero voltios.
- REV. Puerto de conservación eléctrica asociado con el voltaje que controla cuándo invertir la polaridad de la salida del bloque H-Bridge. El voltaje se define en relación con el puerto **REF**.
- BRK: Puerto de conservación eléctrica asociado con el voltaje que controla cuándo cortocircuitar la salida del bloque H-Bridge. El voltaje se define en relación con el puerto **REF**.

La salida de este elemento está representada por la siguiente ecuación [3.5]:

$$\frac{V_O V_{PWM}}{A_{PWM}} - I_{OUT} R_{ON} \quad [3.5]$$

Donde V_O es la amplitud de voltaje de salida, V_{PWM} es la señal de PWM, A_{PWM} es la amplitud de la señal de PWM, I_{OUT} es la corriente de salida y R_{ON} es el puente sobre la resistencia.

3.4.3 MODELADO DE BATERÍA

Para el modelado del paquete de batería se utilizó la librería Simscape / Electrical / Specialized Power Systems / Electric Drives / Extra Sources,

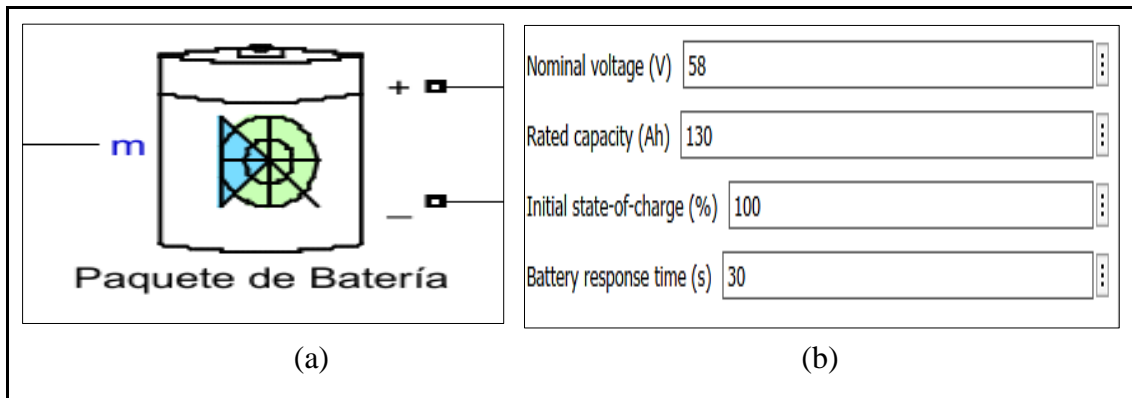


Figura 3.16 Representación del paquete de baterías (Ion-Litio)

(a) Paquete de batería (b) Ingreso de parámetros

En la figura anterior se presenta el bloque modelado con respecto al paquete de baterías y en el punto (b) el ingreso de parámetros que proporciona la ficha técnica.

El bloque batería corresponde a un modelo dinámico genérico que representa los tipos más populares de baterías recargables en este caso de Iones de Litio.

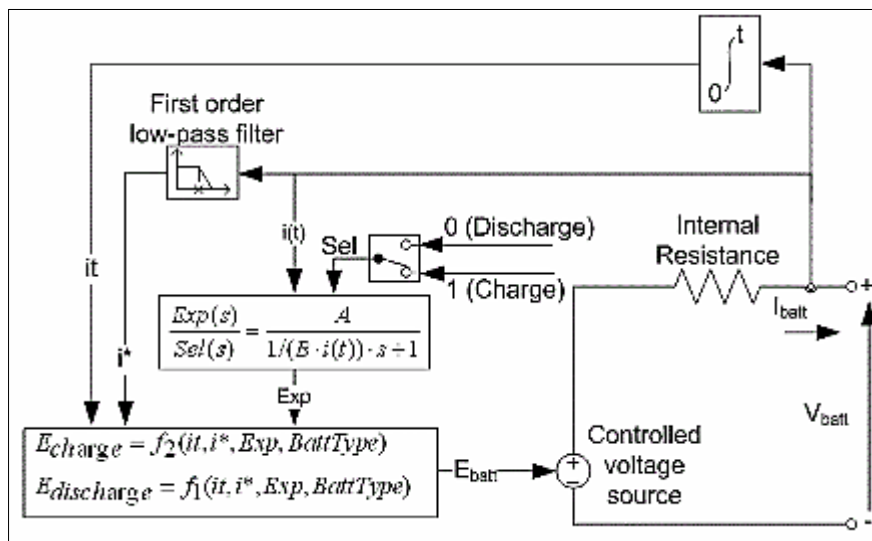


Figura 3.17 Circuito equivalente al modela la batería

En la gráfica anterior 3.17 se presenta el circuito correspondiente al paquete de baterías, donde muestra los subsistemas dentro del Simulink.

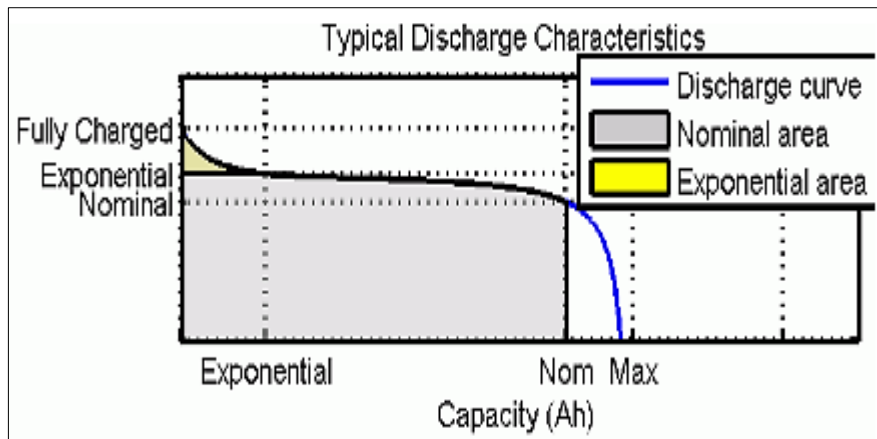


Figura 3.18 Características de descarga

En la figura anterior 3.18 se detalla la primera sección como muestra de la caída de voltaje exponencial cuando la batería está totalmente cargada. El ancho depende del tipo de batería. La segunda sección indica la carga que se puede aprovechar de la batería hasta que el voltaje cae por debajo del voltaje nominal de la batería. Finalmente, la tercera sección representa la curva de descarga total de la batería, cuando el voltaje cae de manera rápida.

A continuación, se muestra las ecuaciones correspondientes a la carga y descarga de la batería.

- **Modelo de descarga**

$$f_1(it, i^*, i) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it) \quad [3.6]$$

- **Modelo de Carga**

$$f_2(it, i^*, i) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{it - 0.1 \cdot Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it) \quad [3.7]$$

Donde

E_0 = Es el voltaje constante [V]

Exp = Es la dinámica de la zona exponencial [V]

K = Es la constante de polarización [V/Ah]

i^* = Es la dinámica de corriente de baja frecuencia [A]

i = Es la corriente de batería [A]

Q = Es la capacidad máxima de la batería [A]

A = Es el voltaje exponencial [A]

B = Es la capacidad exponencial [Ah^{-1}]

3.4.4 MODELADO DE LA TRANSMISION

Para el modelamiento de la transmisión fue necesario realizar un desmontaje de la caja de cambios para observar el tipo de caja, funcionamiento y partes internas que este contiene. De esta manera se procedió a realizar el gear box en el software tomando en cuenta las consideraciones de datos adquiridos.

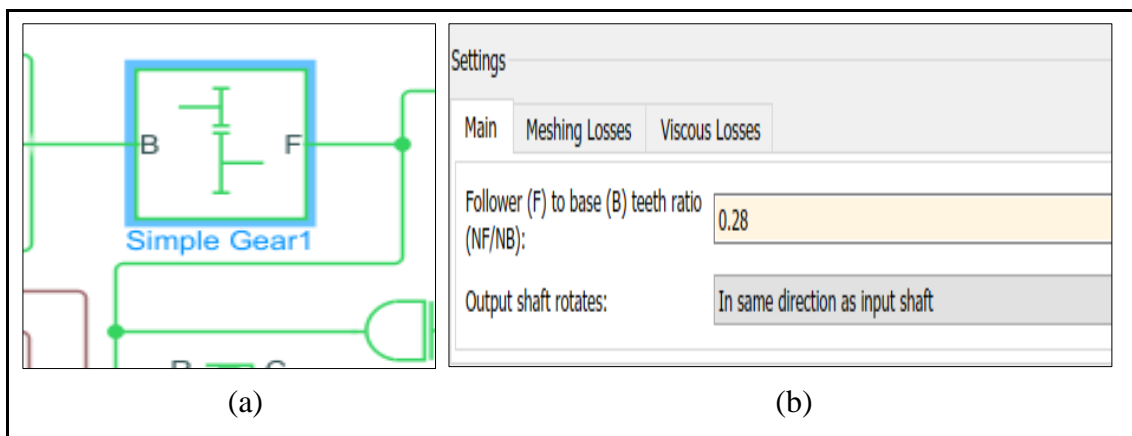


Figura 3.19 Representación de la transmisión de vehículo

(a) Caja simple de transmisión (b) Ingreso de parámetros

De la anterior figura el bloque Simple Gear representa una transmisión que restringe los ejes de engranajes conectados del engranaje base (B), y el engranaje seguidor (F), para que simulen con una relación fija.

La ecuación cinemática que el Simple Gear ejecuta es [3.8]:

$$r_F \omega_F = r_B \omega_B \quad [3. 8]$$

Donde:

r_F = radio de engranaje del seguidor

ω_F = velocidad angular del engranaje seguidor

r_B = radio del engranaje base

ω_B = velocidad angular del engranaje base

La ecuación de relación de transmisión es en base al seguidor:

$$g_{FB} = \frac{r_F}{r_B} = \frac{N_F}{N_B} \quad [3. 9]$$

Donde:

N_F = Es el número de dientes del engranaje base

N_B = Número de dientes del engranaje seguidor

3.4.5 MODELADO DEL DIFERENCIAL

Un diferencial está compuesto por un tren de engranajes cónicos planetarios equipado con una transmisión de engranajes cónicos añadidos entre el eje de transmisión y el portador. El piñón de este sistema está incorporado al eje de transmisión, mientras que la corona dentada cónica grande está unida al portador.

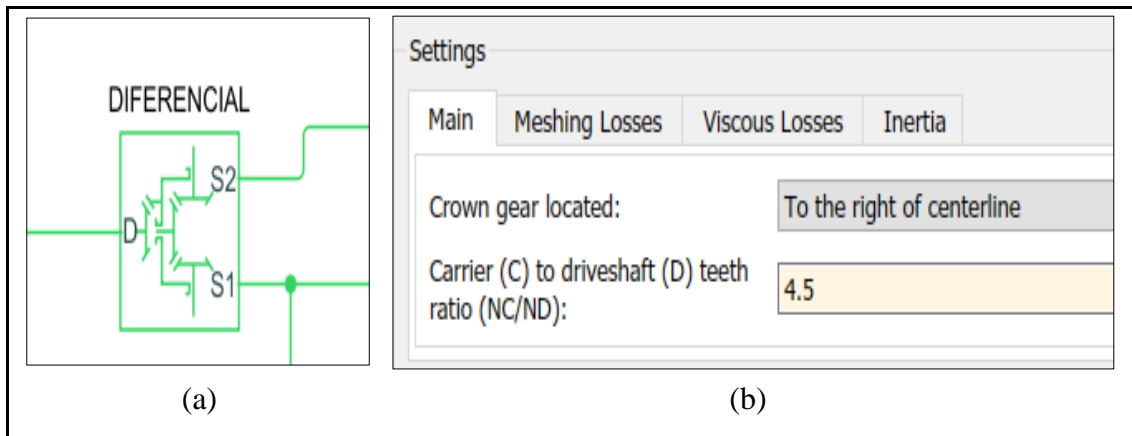


Figura 3.20 Representación del diferencial

(a) Bloque del diferencial (b) Parámetros de ingreso

En la figura 3.20 se representa el modelamiento del diferencial. Se seleccionó un diferencial simple con fines más apegados a las características del elemento real.

Este modelado responde a la siguiente ecuación [3.10]:

$$\omega_{S1} - \omega_{S2} \quad [3.10]$$

Donde ω_{S1} es la velocidad de engranaje solar número 1 y ω_{S2} es la velocidad del engranaje solar número 2.

3.4.6 MODELADO VEHICLE BODY

El vehicle body o cuerpo del vehículo es un bloque que presenta la dinámica de la carrocería del EV.

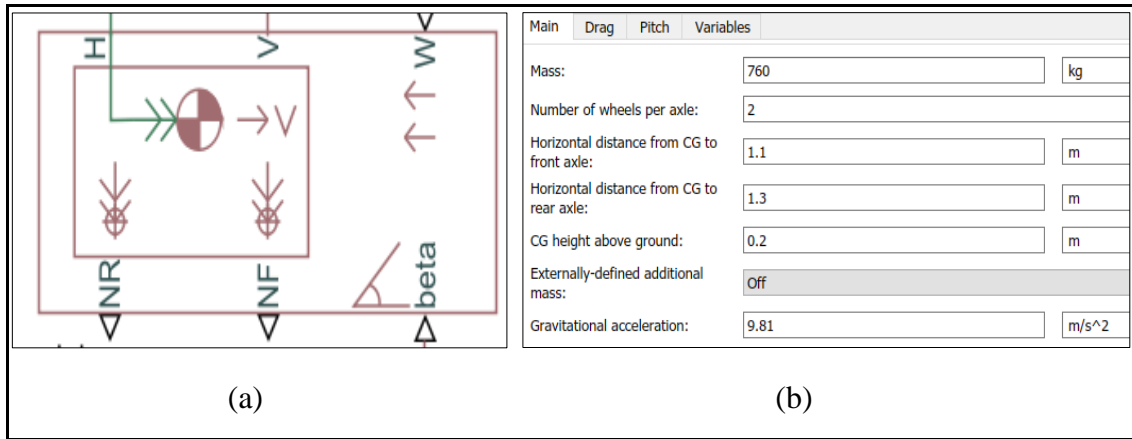


Figura 3.21 Representación del vehicle body

(a) Bloque de vehicle body (b) Parámetros de ingreso

En la figura 3.21 se aprecia un esquema de la carrocería como modelado del EV, este bloque tiene en cuenta la masa total del vehículo, la resistencia aerodinámica, la inclinación de la carretera y la distribución del peso entre los ejes debido a la aceleración y el perfil de la carretera.

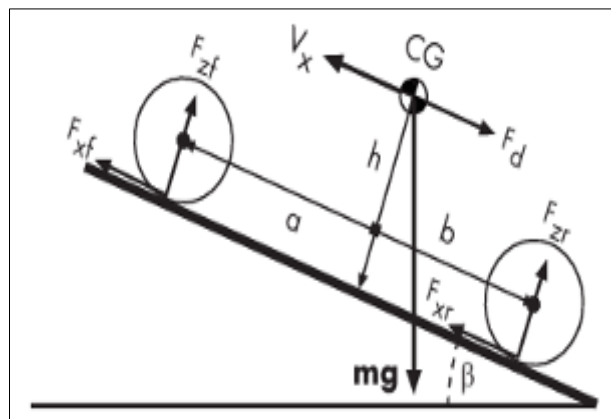


Figura 3.22 Variables de la dinámica de vehículo

En la figura anterior se presenta la dinámica del vehículo que corresponde a las siguientes características:

Donde:

- m : Masa del vehículo
- g : Aceleración gravitacional
- β : Ángulo de inclinación
- h : Altura desde el centro del vehículo.
- a, b : Distancia entre los ejes delantero y trasero.
- V_x : Velocidad del vehículo (delantera y trasera)
- V_w : Velocidad del viento.
- n : Número de ruedas
- $F_{x_r}; F_{x_f}$: Fuerza longitudinal en cada rueda en los puntos de contacto con el suelo.
- $F_{z_r}; F_{z_f}$: Fuerza de carga normales en cada rueda en los puntos de contacto con el suelo delantero y trasero.
- A : Área frontal del vehículo
- Cd : Coeficiente aerodinámico
- ρ : Densidad del aire
- F_d : Fuerza aerodinámica

El movimiento del vehículo es el efecto de todas las fuerzas y pares que actúan en él. Las fuerzas longitudinales de las ruedas empujan el vehículo hacia adelante o hacia atrás. El peso mg del vehículo actúa a través de su centro de gravedad. Dependiendo del ángulo de inclinación, el peso del vehículo jala hacia el suelo y lo empuja hacia atrás o adelante. Ya sea que el vehículo viaje hacia adelante o hacia atrás, la resistencia aerodinámica lo frena.

La dinámica responde a las siguientes ecuaciones:

$$mV_x = F_x - F_d - mg \cdot \text{sen}\beta \quad [3. 11]$$

$$F_x = n(F_{x_r} + F_{x_f}) \quad [3.11]$$

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho A (V_x + V_w)^2 \quad [3.11]$$

Para la aceleración de cabeceo está en función de la siguiente ecuación:

$$a = \frac{(f \cdot h) + (f_{ZF}a) - (f_{ZR}b)}{J} \quad [3.11]$$

Donde:

f : Fuerza longitudinal

J : Inercia

- **Resistencia rodadura**

$$F_{ro} = Cr \cdot m_{veh} \cdot g \cdot \cos(\beta) \quad [3. 12]$$

- **Resistencia aerodinámica**

$$F_{aer}V_{veh} = C_d A_f \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad [3. 13]$$

Las ecuaciones anteriores responden a los cálculos matemáticos que efectúa Simulink respectivamente para el modelado o la representación del comportamiento del vehículo en la simulación.

3.4.7 CICLO DE CONDUCCIÓN

Para la simulación se ha utilizado introduciendo el ciclo de conducción de la ciudad de Ibarra, y se trabajó en cada una de las rutas (urbana, rural y autopista).

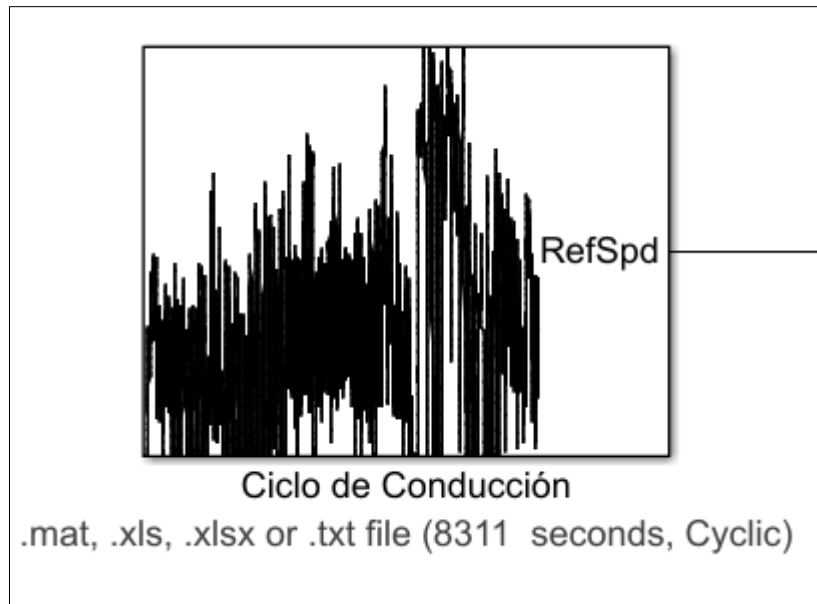


Figura 3.23 Bloque del ciclo de conducción

En la figura anterior 3.23 se presenta el bloque Drive Cycle especificado por el usuario. La salida del bloque es la velocidad longitudinal especificada del vehículo, que puede utilizar para, predecir el par motor, la autonomía y la velocidad que requiere un vehículo para lograr la velocidad y la aceleración deseadas para una referencia de cambio de manejo.

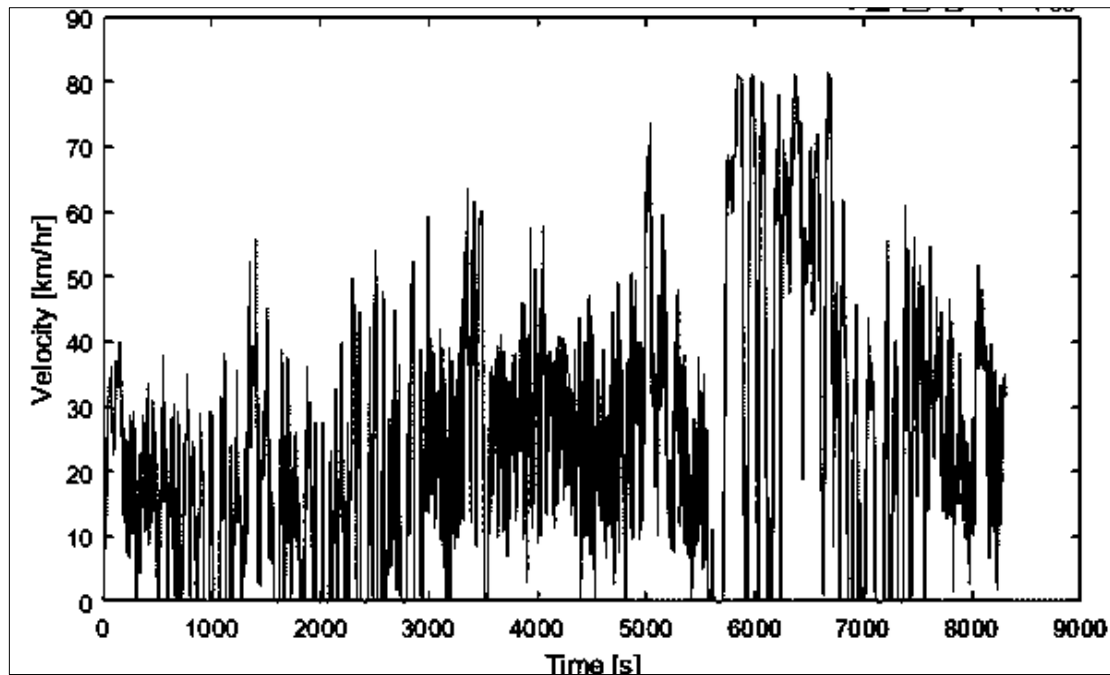


Figura 3.24 Presentación del ciclo de conducción de Ibarra en Simulink

La figura 3.24 representa el ingreso del ciclo de conducción real obtenido en las pruebas de la ciudad de Ibarra, los valores son necesariamente transformados en Excel para ser ingresados en la configuración del ciclo de esta manera evitaremos contratiempos en la simulación. Además, es necesario la colocación de un “Signal Builder” que trabaja en función de la aceleración del vehículo.

3.4.8 PRESENTACIÓN DEL MODELO FINAL

Los modelos finales de la simulación abarcan todo el sistema electromecánico del EV, tanto como el tren motriz y el comportamiento dinámico del vehículo. Para alcanzar estos modelos se ha llevado a cabo el proceso de la metodología del capítulo 2 y 3, con el ingreso de parámetros y características que puedan representar el sistema vehicular en condiciones reales de trabajo dentro del software Simulink.

La librería de la utilización del sistema de bloques fue “Simscape Electrical – Specialized – Power System”.

A continuación, en las figuras 3.25 se muestra el modelo de simulación con la librería ya antes mencionada. En esta figura se presenta el diseño del vehículo completo y separados por subconjuntos.

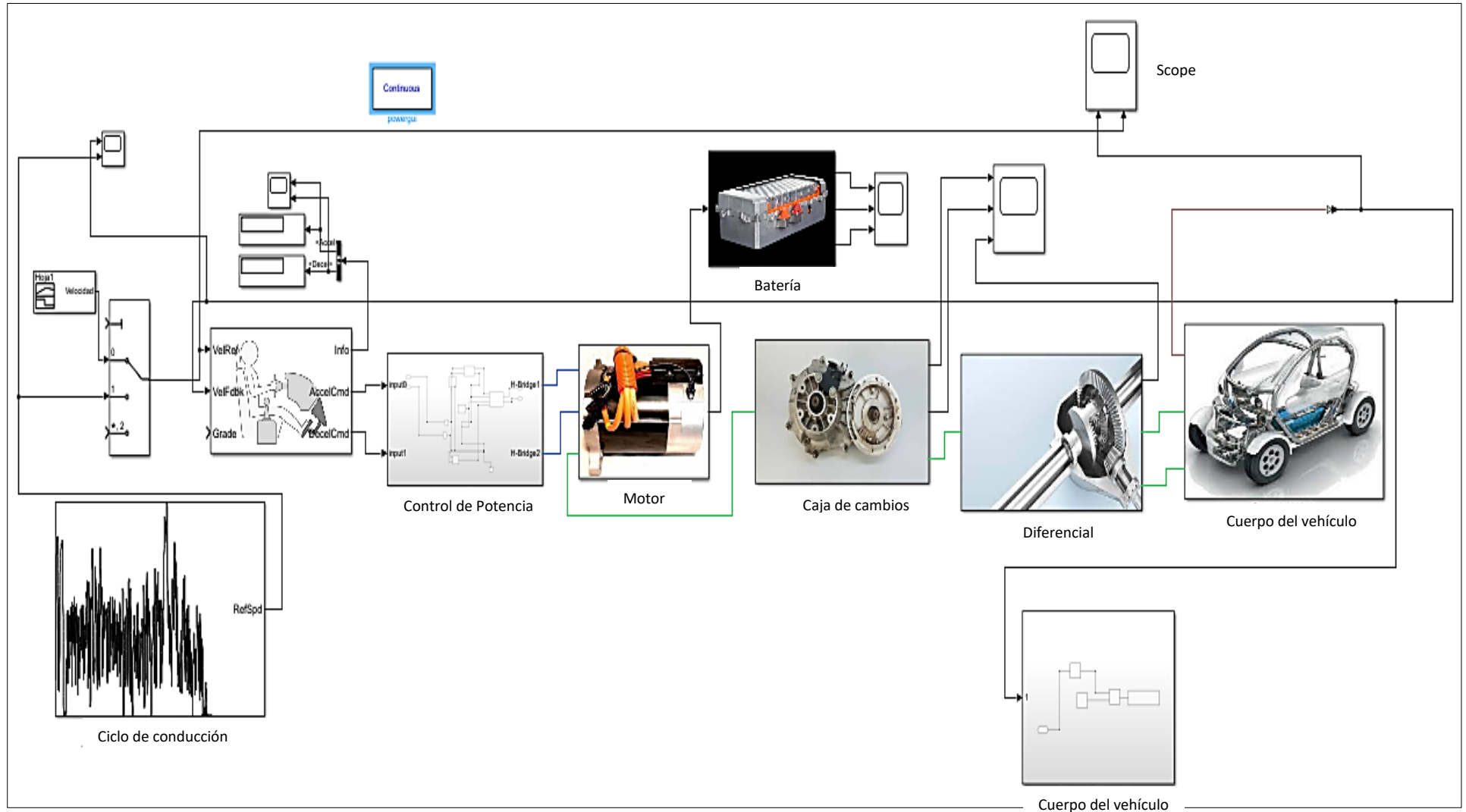


Figura 3.25 Modelado final en librería simulink del EV

3.5 ANÁLISIS DE LA SIMULACIÓN

3.5.1 CICLOS DE CONDUCCIÓN

En este apartado representaremos los valores y gráficas de salida como resultado de los parámetros ingresados en toda la parte del modelamiento que involucran el tren motriz del vehículo eléctrico. Es necesario recalcar que las características del ciclo de conducción son en función de los valores reales del ensayo en ruta y, se analizarán las tres rutas en función de la velocidad versus tiempo.

3.5.1.1 Curva del ciclo de conducción: ruta urbana

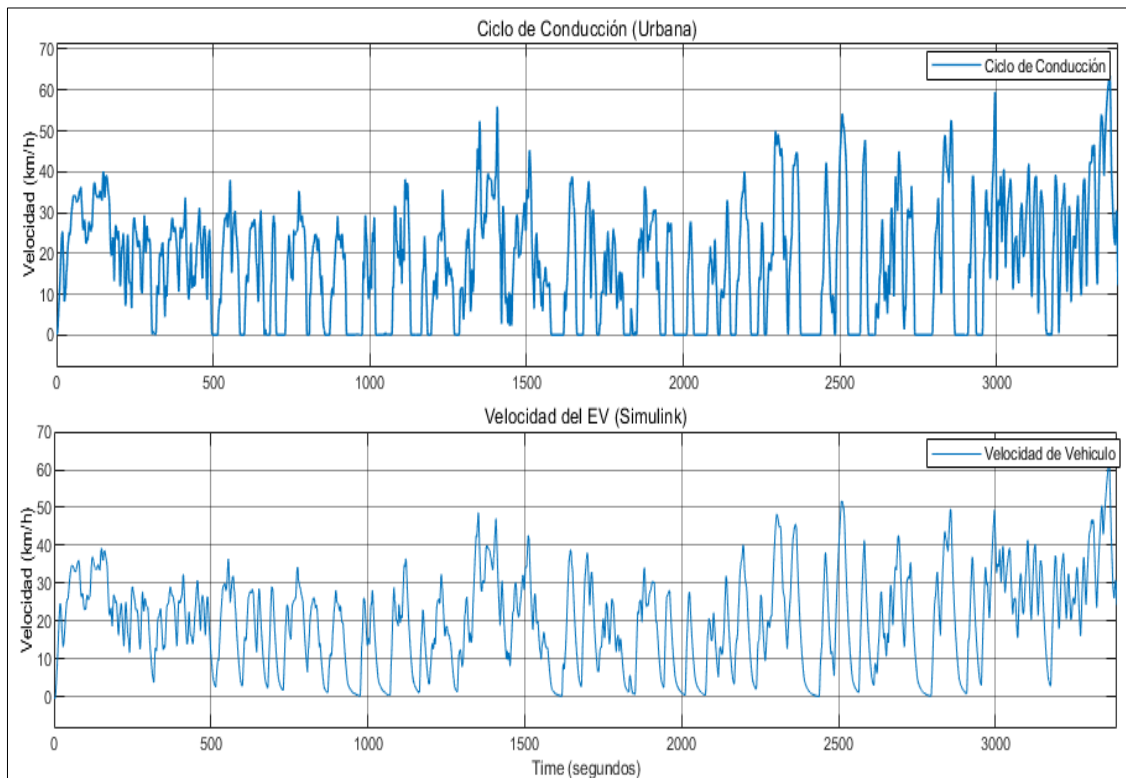


Figura 3.26 Ciclo de conducción urbana y velocidad vs tiempo. Simulación

En la figura 3.26 se visualiza la gráfica del ciclo urbano y la velocidad del EV en la simulación mediante las características del ensayo real: duración 3387 segundos, distancia 17,57 km/h.

- **Ampliación de la gráfica**

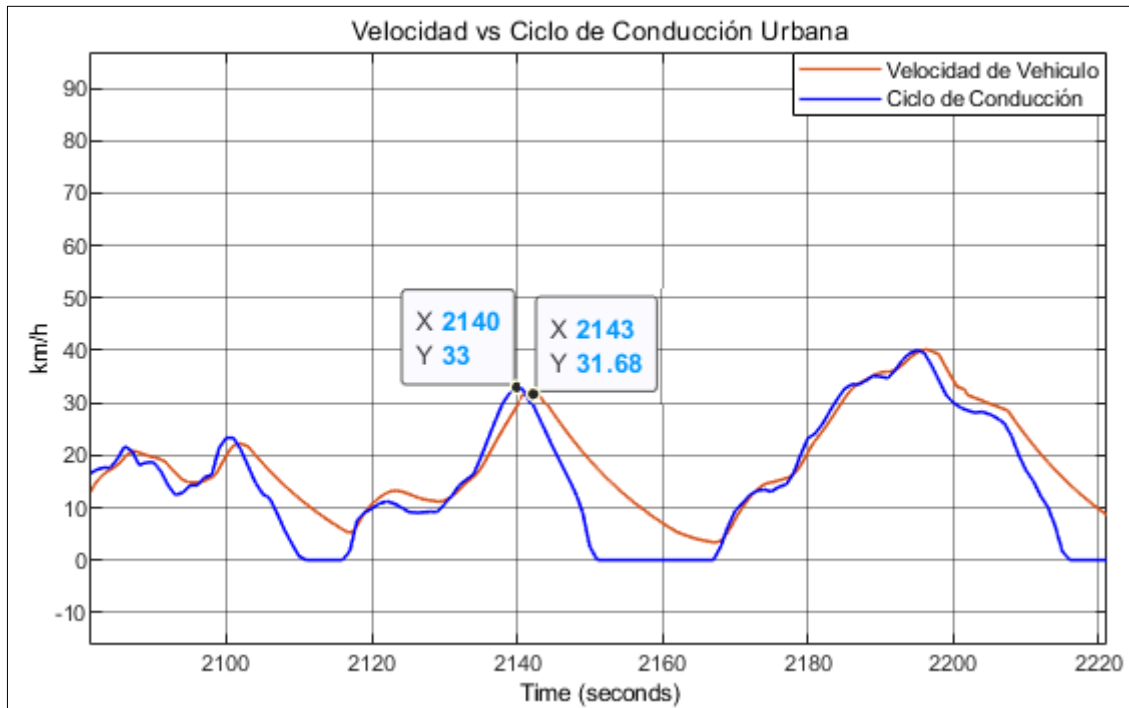


Figura 3.27 Ampliación de la gráfica C. Urbano

La figura 3.27 representa una ampliación de la gráfica la simulación del vehículo dentro del ciclo urbano, en el tramo representado se aprecia los puntos de una velocidad de 33 km/h del ciclo y la velocidad del vehículo en 31.68 km/h, presentando una variación del 2,3%.

Características de la velocidad de la simulación: duración 3387 segundos, velocidad máxima 61.67 km/h, velocidad promedio 17.57 km/h.

3.5.1.2 Curva del ciclo de conducción: ruta rural

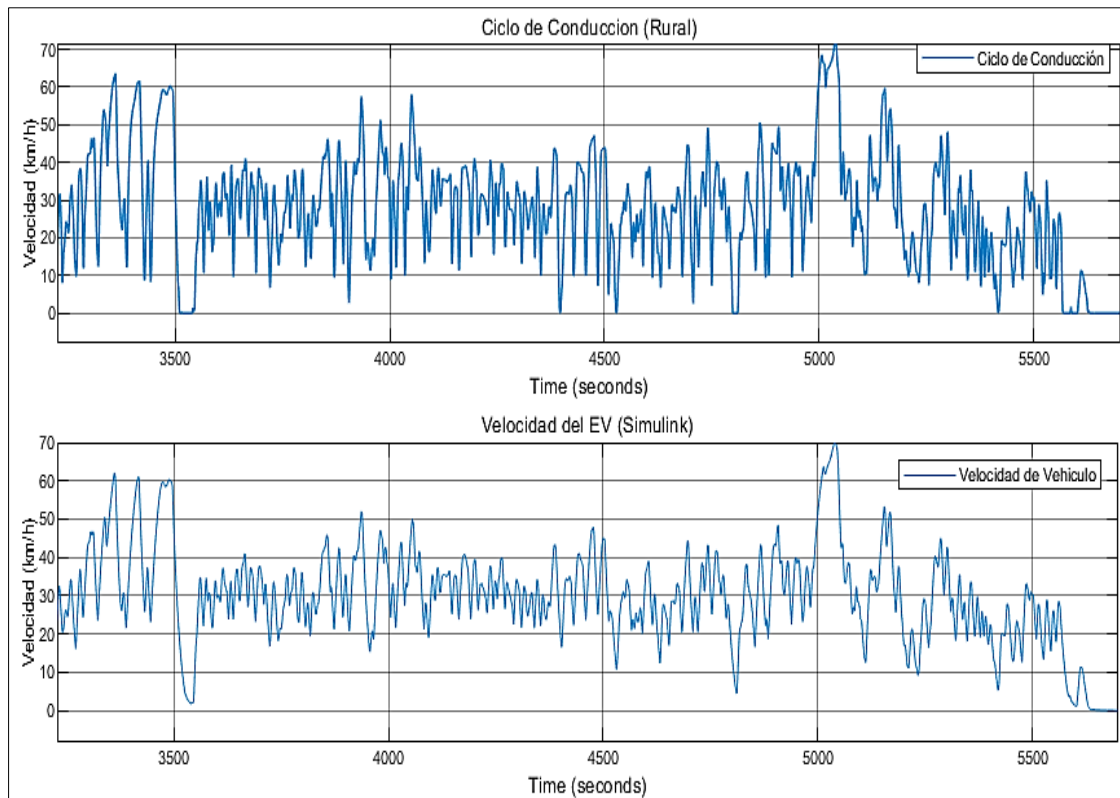


Figura 3.28 Ciclo de conducción rural y velocidad vs tiempo. Simulación

En la figura 3.28 se visualiza la gráfica del ciclo rural y la velocidad del EV en la simulación mediante las características del ensayo real: duración 2318 segundos, distancia 18,9 km/h.

- **Ampliación de gráfica**

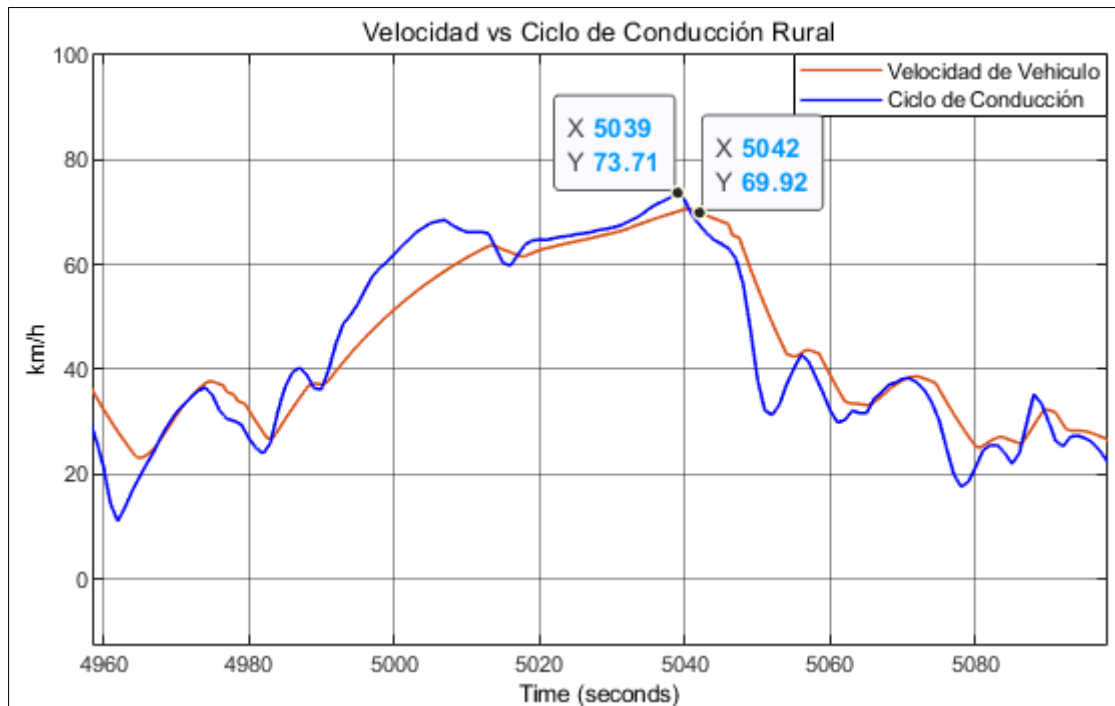


Figura 3.29 Ampliación de la gráfica ciclo rural

La figura 3.29 representa una ampliación de la gráfica la simulación del vehículo dentro del ciclo rural (velocidad y ciclo de conducción en función del tiempo). En este caso, en la presentación del pico del ciclo tenemos una velocidad 73.71 km/h y la velocidad de la simulación es 69.92 km/h, obteniendo una variación de 3,1%.

Características de la velocidad de la simulación: duración 2318 segundos, velocidad máxima 73.58 km/h, velocidad promedio 27.17 km/h.

3.5.1.3 Curva del ciclo de conducción: ruta autopista

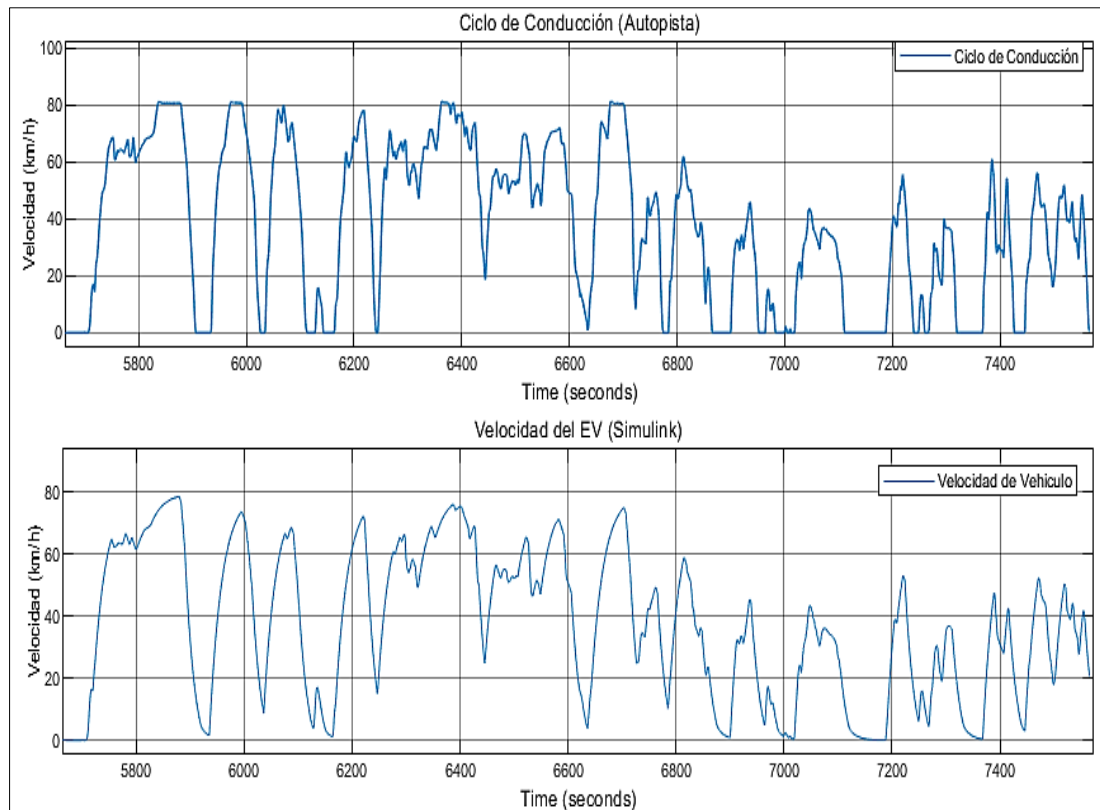


Figura 3.30 Ciclo de conducción Autopista y velocidad vs tiempo. Simulación

En la figura 3.30 se representa la curva de velocidad versus tiempo del ciclo autopista. Dentro de esta curva se representa el kilometraje máximo y mínimo alcanzado en el ciclo. Su duración estos 1861 segundos y su distancia en 19.8 km.

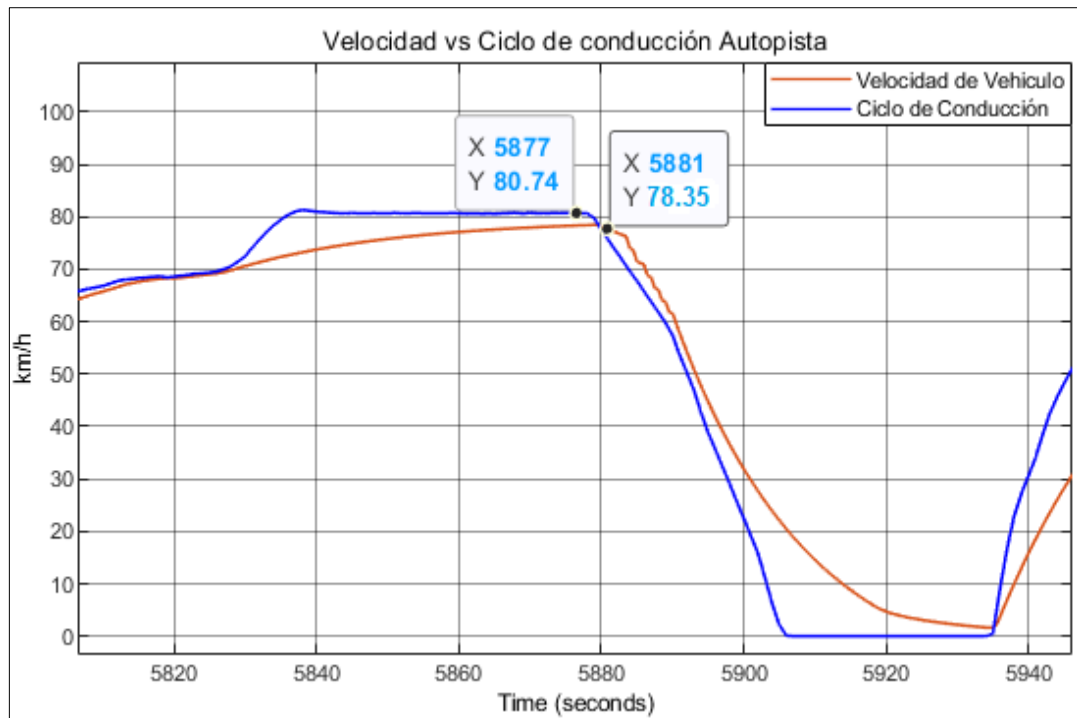


Figura 3.31 Comportamiento de la velocidad del vehículo en el ciclo

La figura 3.31 representa la gráfica la simulación del vehículo dentro del ciclo autopista (velocidad y ciclo de conducción en función del tiempo). En este caso, en la presentación, el pico más alto del ciclo tenemos una velocidad 80.7 km/h y la velocidad de la simulación es 78.35 km/h, obteniendo una variación de 3,3%.

Características de la velocidad de la simulación: duración 1861 segundos, velocidad máxima 78,35 km/hr, velocidad promedio 38.63 km/h.

3.5.1.4 Curva del ciclo de conducción: ciclo completo

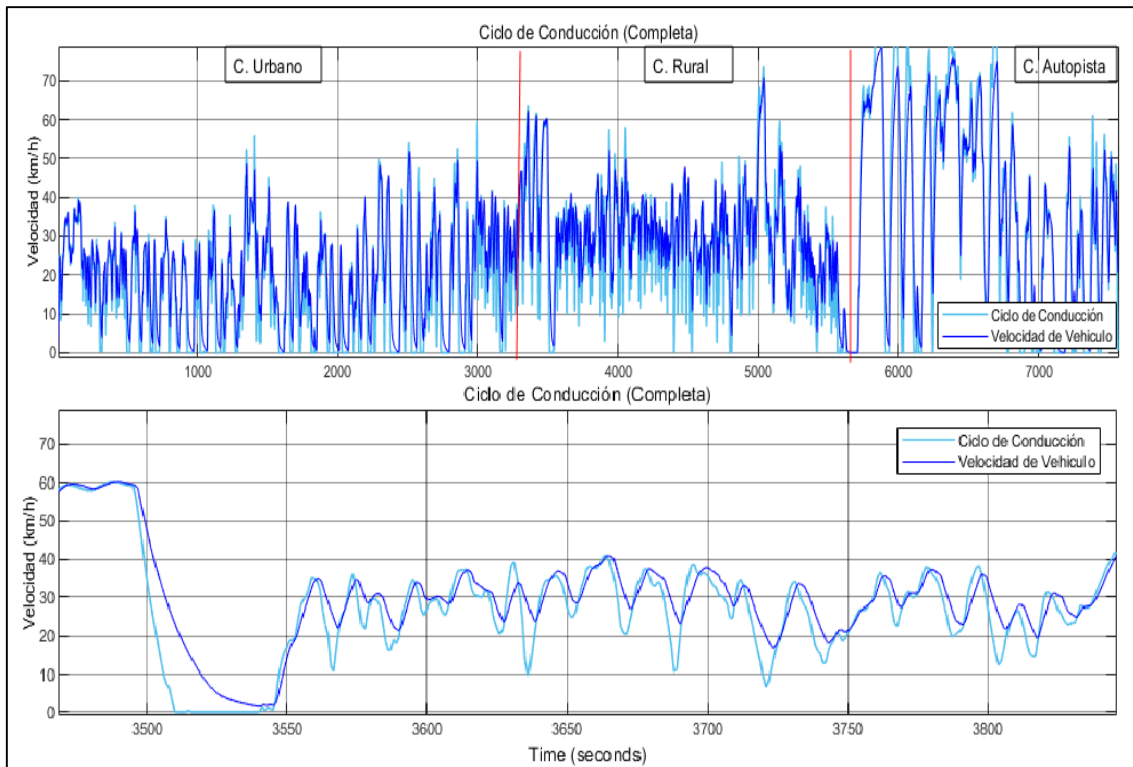


Figura 3.32 Ciclo completo. Velocidad versus tiempo

La figura 3.32 representa la gráfica total del comportamiento de la simulación en el ciclo completo. La diferencia entre las dos gráficas (velocidad y ciclo de conducción) se debe a la repetibilidad causada por el dispositivo de medición (GPS) en el momento de la creación del ciclo de conducción, lo cual interfiere en la gráfica. La inexactitud que presenta los datos del ciclo es significativa en la diferencia entre las gráficas de las velocidades lo cual se conoce como reproducibilidad, que no llegan a ser proporcionales entre sí.

3.5.2 SIMULACIÓN DEL MOTOR

3.5.2.1 Simulación de rpm y autonomía

Revoluciones del motor eléctrico y autonomía en función del tiempo:

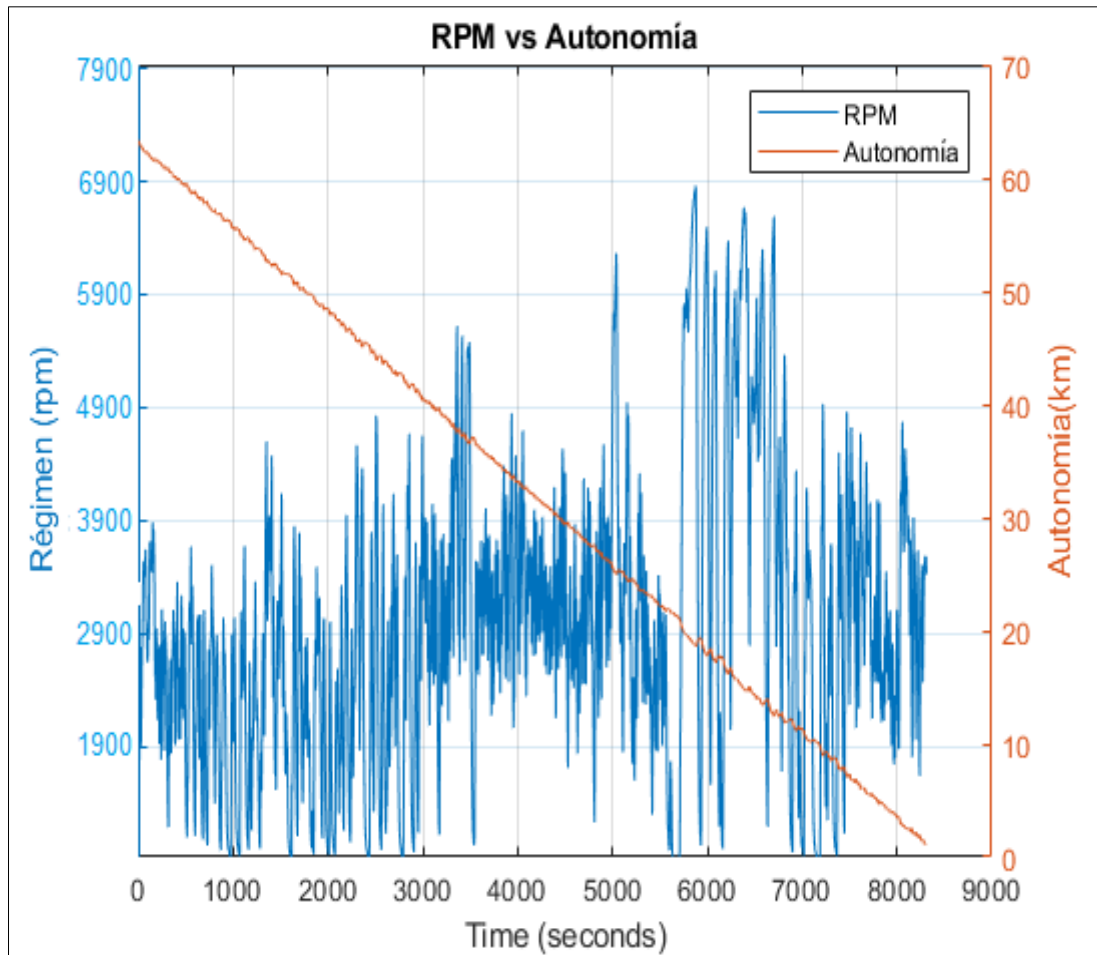


Figura 3.33 RPM y autonomía

De la figura anterior se observa las revoluciones del motor, esta curvatura es proporcional al ciclo de conducción total. El pico más alto de la gráfica es 6898 rpm en 78 km/h de la velocidad más alta, donde además se presenta la caída de autonomía, la cual alcanzo los 63.7 km.

- **Ampliación de la gráfica:**

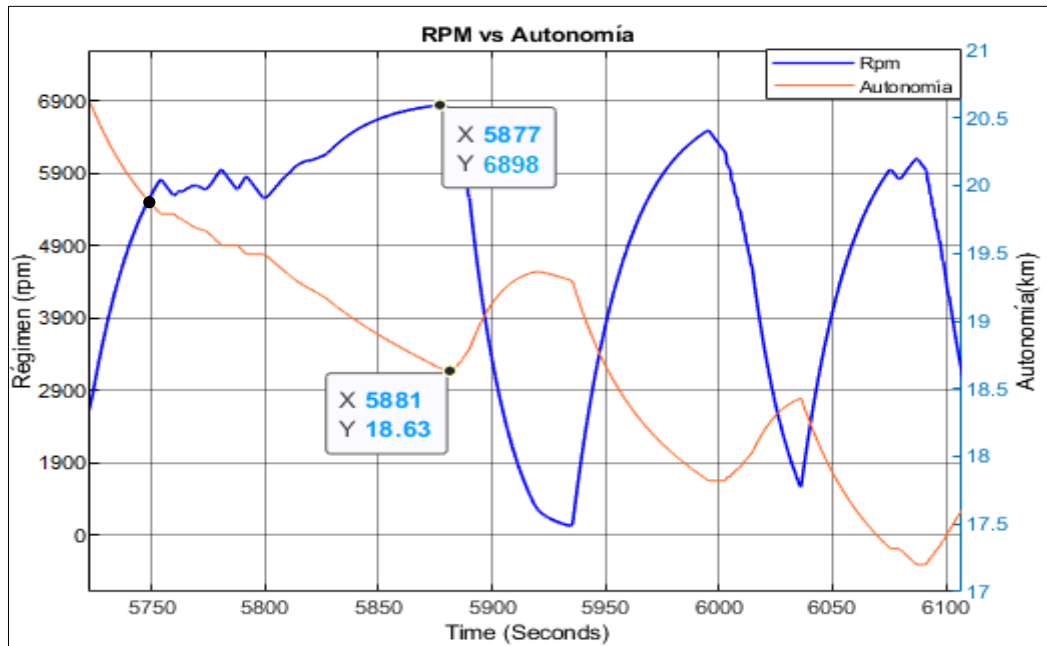


Figura 3.34 RPM vs Velocidad del ciclo de conducción

En la figura anterior 3.34 se presenta las revoluciones del motor las cuales son inversamente proporcionales a la autonomía, un ejemplo claro de la gráfica que a los 6898 rpm como punto más alto, existe reducción de la autonomía.

A continuación la tabla detalla los valores de la grafica

Tabla 3.14 Valores de autonomía y rpm

Segundos	Autonomía	RPM
5750	19.8 km	5783
5881	18.6 km	6898
%	4,28 %	12,9 %

La tabla anterior se deduce que la autonomía desciende un 4,28 % cuando las rpm ascienden en 12,9 %, respectivamente.

3.5.2.2 Simulación del torque y la autonomía

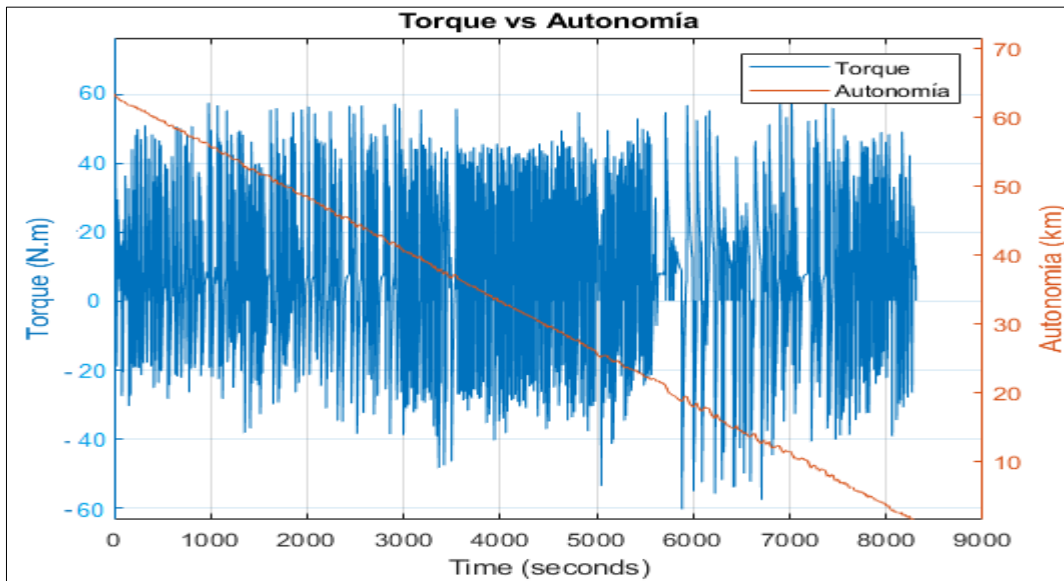


Figura 3.35 Torque del motor y autonomía en función del tiempo

En la figura anterior 3.35 se presenta el torque y la autonomía en función del tiempo, la gráfica azul muestra los picos del torque los cuales son proporcionales a la velocidad de la simulación en todo el ciclo de conducción.

- **Ampliación de la gráfica**

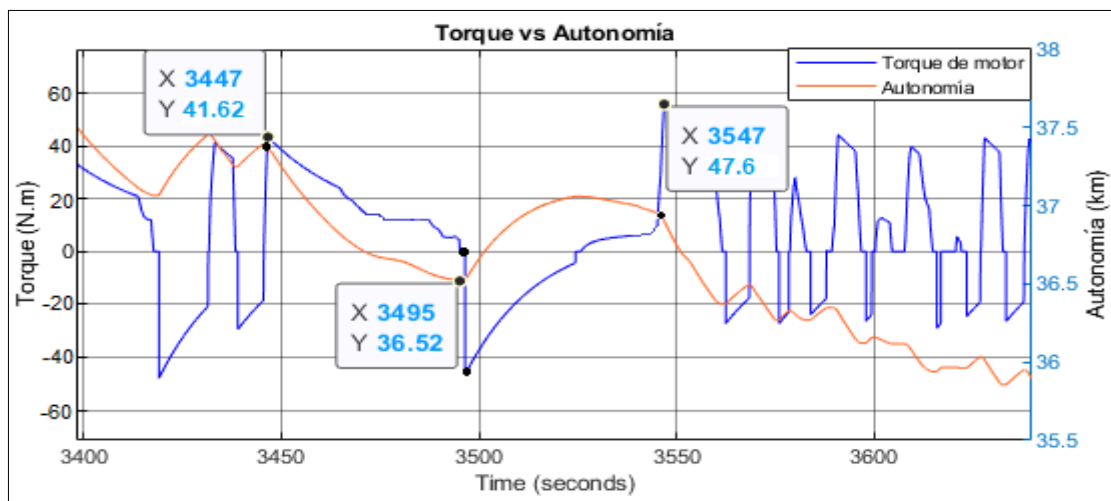


Figura 3.36 Ampliación de la gráfica. Torque vs Autonomía

En la gráfica es una ampliación de las graficas del torque y la autonomía, en esta podemos apreciar como es el comportamiento del torque cuando la autonomía desciende.

Cuando el torque desciende de 41.62 Nm a 0 Nm, también la autonomía desciende 37 km a 36,4 km, y cuando el torque desciende de 0 a -43 Nm, la autonomía asciende de 36. 52 km a 37 km.

3.5.2.3 Simulación del torque y la corriente

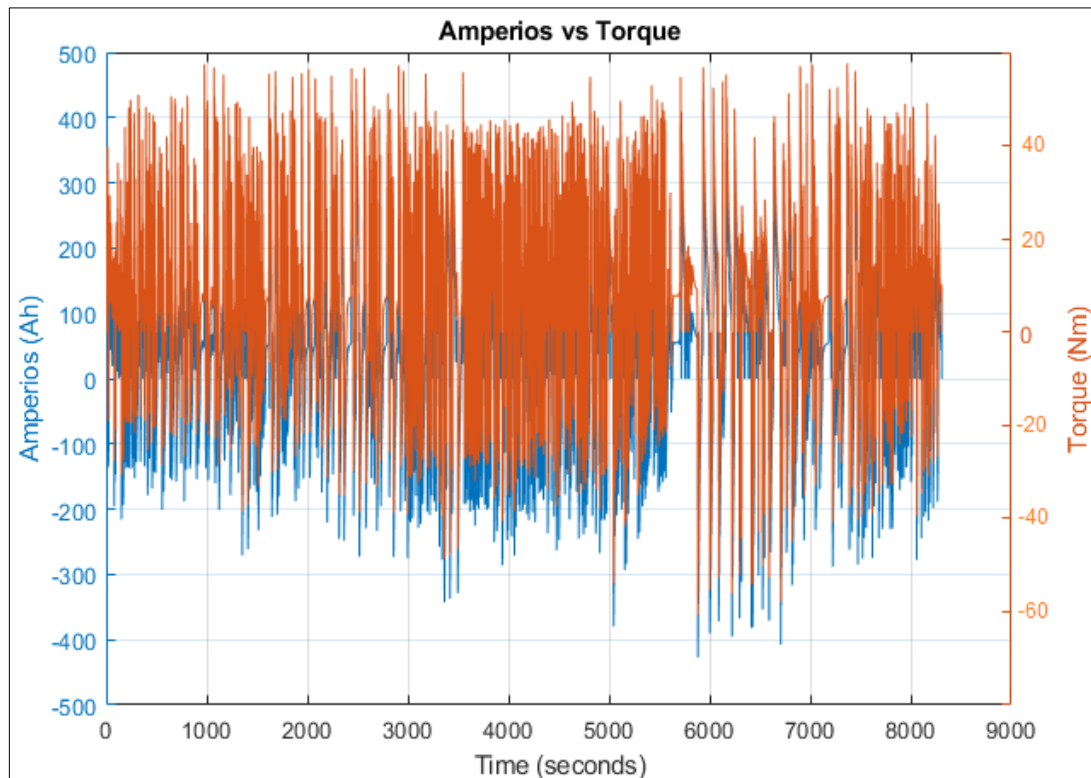


Figura 3.37 Corriente y torque en función del tiempo

En la gráfica anterior 3.37 se presenta el torque y los amperios en función del tiempo, también está dada en función de la velocidad de todo el ciclo de conducción, a mayor velocidad, mayor consumo de corriente y mayor torque. Las dos graficas son paralelamente iguales.

- **Ampliación de la gráfica**

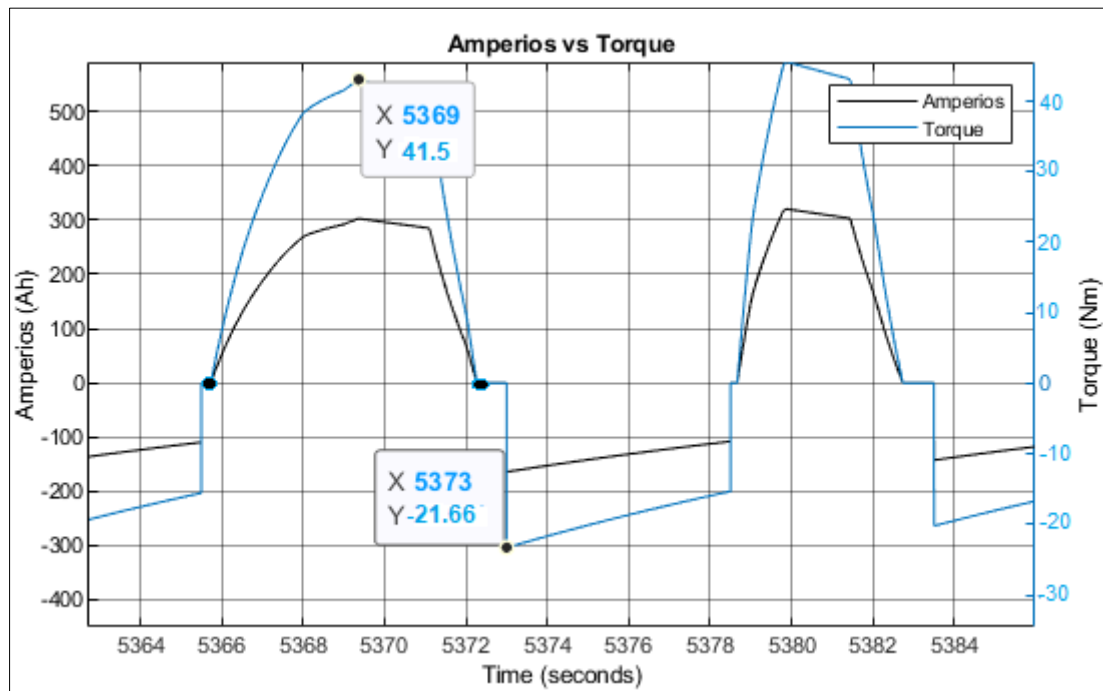


Figura 3.38 Ampliación de la gráfica. Amperios vs Torque

En la figura anterior se aprecia el comportamiento de los amperios y el torque en función del tiempo, las gráficas son paralelas, lo cual se traduce como a mayor torque mayor necesidad de amperaje y a menor torque los amperios se regeneran para la batería. La grafica de color negra son los amperios y la azul es el torque. Cuando el torque asciende de 0 a 41.5 N los amperios ascienden de 0 a 300 Ah, lo que significa consumo de corriente en elevación del torque, y cuando desciende de 41.5 N a -21.66 N existe una recarga de 0 a 150 Ah.

- **Torque y RPM**

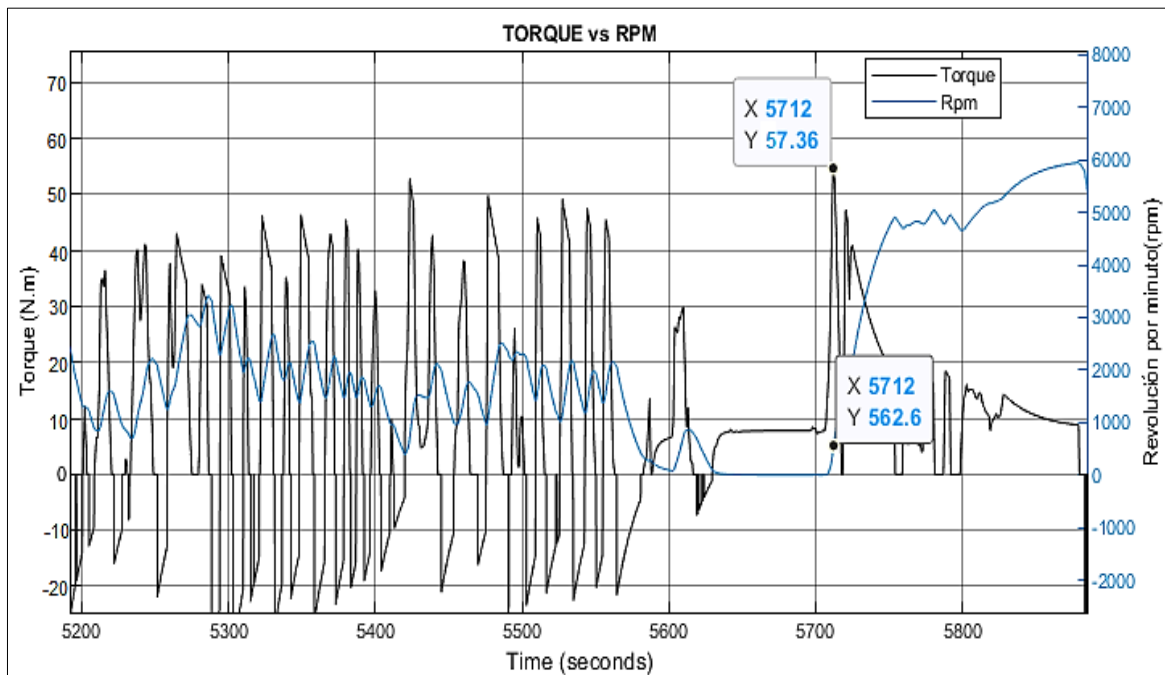


Figura 3.39 Torque y RPM en función del tiempo

De acuerdo con la gráfica anterior es la presentación del torque y las revoluciones del motor eléctrico. Cuando existe mayor demanda del rpm el torque asciende paralelamente, así mismo cuando las revoluciones descienden el torque disminuye. En el segundo 5712 existe un torque de 57.36 N en 562 rpm.

3.5.3 SIMULACIÓN DE LA TRANSMISIÓN

3.5.3.1 Simulación del torque de la transmisión y autonomía

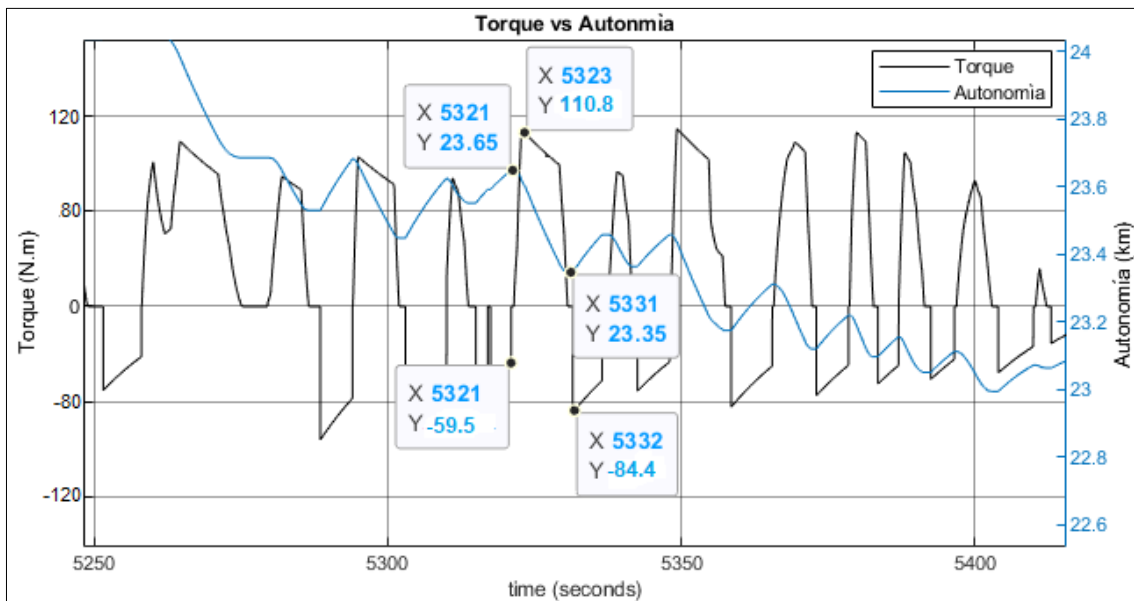


Figura 3.40 Torque de la transmisión y la autonomía en función del tiempo

En la figura anterior se presenta el torque de la transmisión y la autonomía en función del tiempo. El torque de la transmisión es paralelo a la gráfica del torque del motor, pero presenta mayor elevación del torque conforme demanda la velocidad. En la gráfica analizamos que en el segundo 5321 existe -59.5 Nm y asciende a 110.8 Nm en el segundo 5323, hay una caída 1.28 % de la autonomía, mientras que cuando el torque desciende de 110 Nm a -84.4 la autonomía asciende 0.8 %.

Es necesario reconocer que la autonomía y el torque fluctúan en todo el ciclo de conducción, debido a que existen variaciones de datos, o a las condiciones de velocidad.

3.5.4 SIMULACIÓN DE LA BATERÍA

3.5.4.1 Simulación del voltaje y amperios

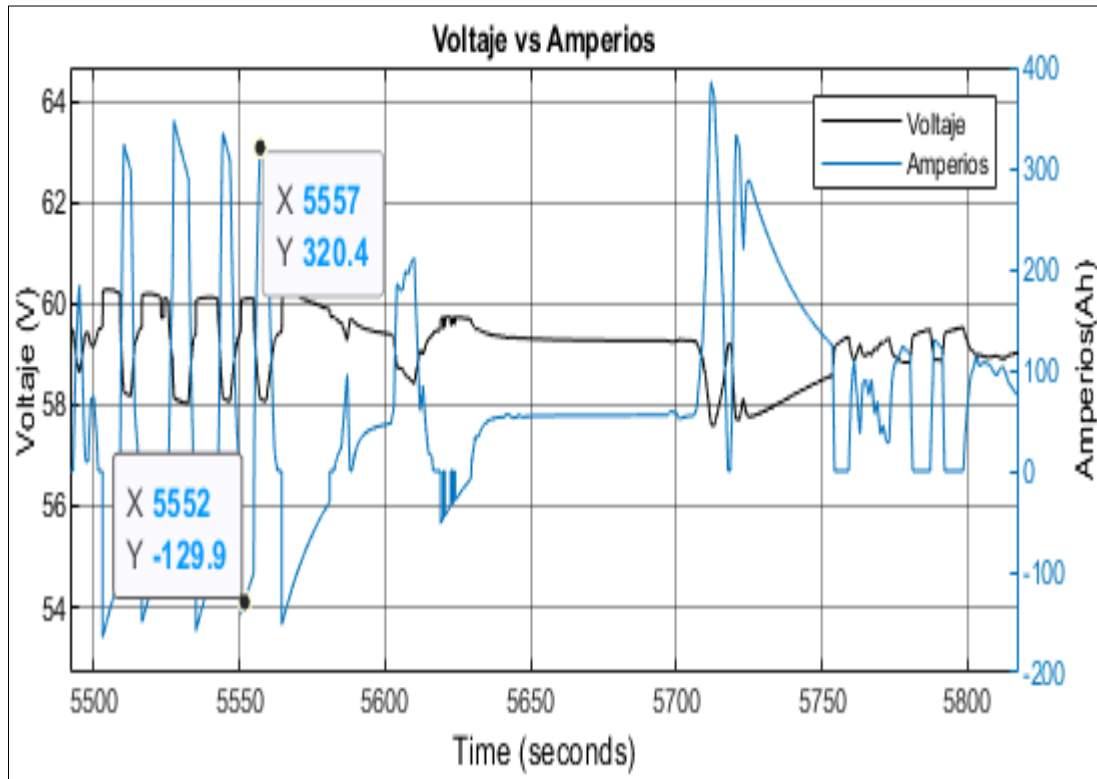


Figura 3.41 Simulación de voltaje y amperios de la batería

El voltaje y los amperios son dos características que trabajan directamente en el paquete de baterías. El voltaje es oscilatorio, su voltaje principal es de 58 voltios y 49 voltios es su voltaje en descarga de la autonomía en todo el ciclo. Las gráficas son inversamente proporcionales, lo que se traduce que cuando el voltaje se dispara de 58 voltios a 60 voltios existe una regeneración de energía por la caída de los amperios de 0 a -129.9 Ah y, a su vez cuando el voltaje decae de 60 a 58 voltios existe un disparo de corriente de -129 a 320 Ah, lo que significa descarga de batería.

3.5.4.2 Simulación de la potencia

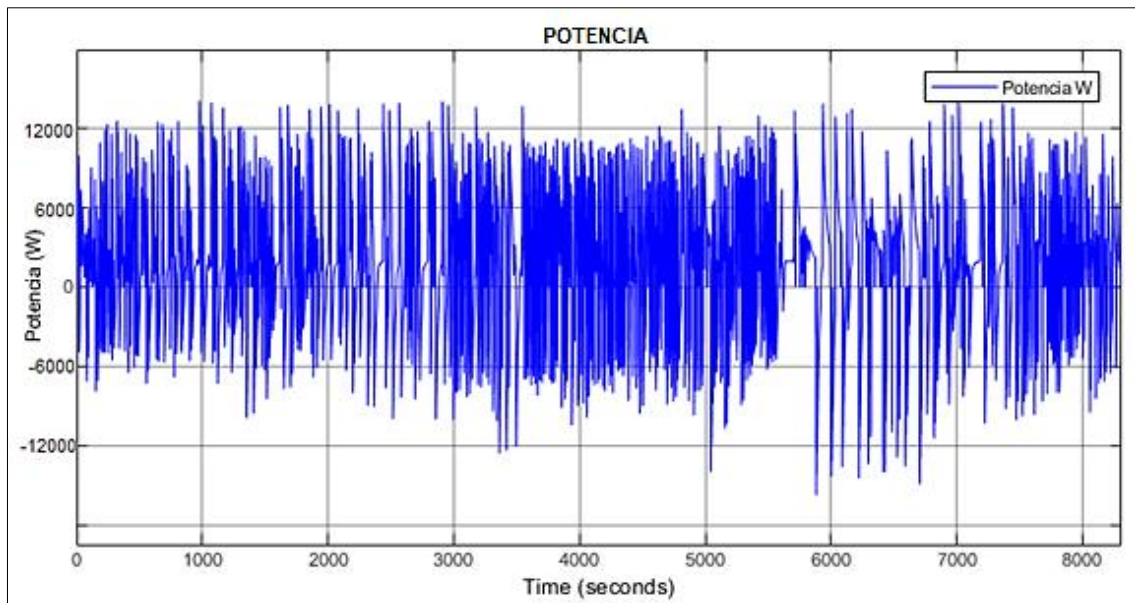


Figura 3.42 Potencia en función del tiempo

En la figura anterior se presenta la potencia en el ciclo, la potencia eléctrica es el resultado del voltaje por los amperios, según la ley de Ohm. El comportamiento de la gráfica varía de acuerdo con los amperios y la velocidad que requiere el motor del vehículo en el ciclo.

3.5.4.3 Potencia y Voltaje

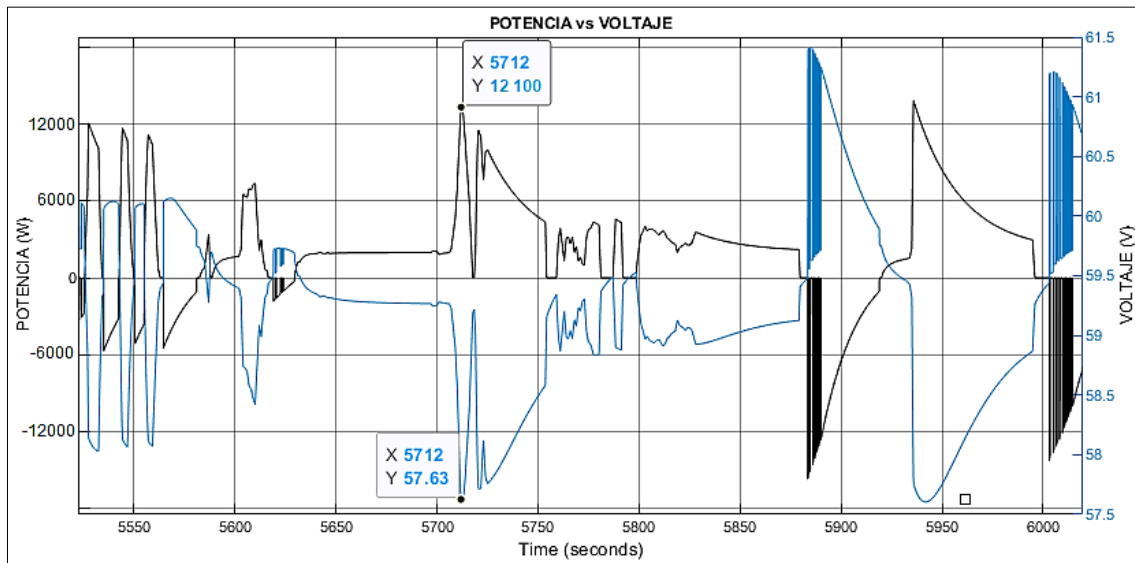


Figura 3.43 Potencia y voltaje en función del tiempo

La figura anterior es una ampliación de la potencia y el voltaje en el tiempo, en este comportamiento se puede analizar, que las dos gráficas son inversamente proporcionales. En el segundo 5712 tenemos un ascenso de 12100 W y en el mismo segundo hubo una caída de voltaje de 57.63 voltios. Esto significa cuando la demanda de amperios es mayor, el voltaje decae, mientras que si la demanda de corriente es menor a cero, existe una recarga y el voltaje asciende.

3.5.4.4 Potencia y amperios

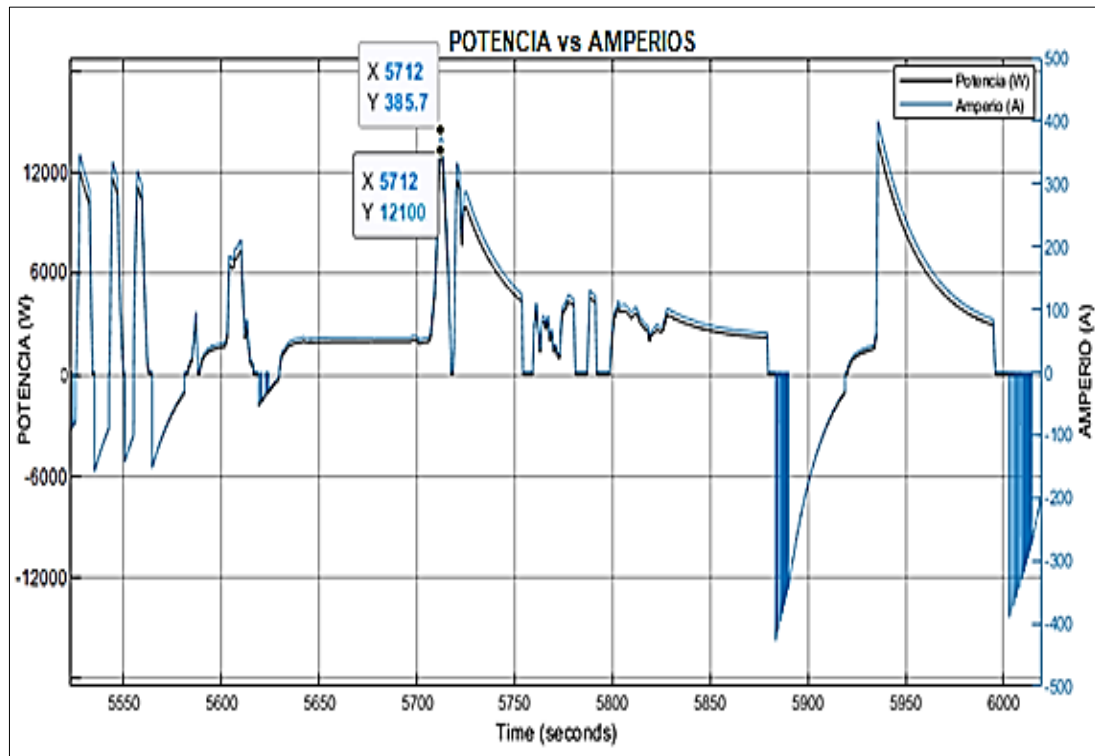


Figura 3.44 Potencia y amperios en función del tiempo

En la figura anterior es una representación del comportamiento de los amperios y la potencia en función del tiempo. Están son proporcionales ya que la potencia eléctrica asciende y desciende de acuerdo con la demanda de intensidad. En el segundo 5712 los amperios ascendieron a 385.7 por lo tanto el pico de la potencia ascendió hasta 12100 W en el mismo segundo. Es necesario recalcar que la potencia y los amperios varían de acuerdo a la necesidad de la velocidad en el ciclo.

3.5.4.5 Simulación del consumo y autonomía

A continuación se presenta el consumo y la autonomía de la simulación:

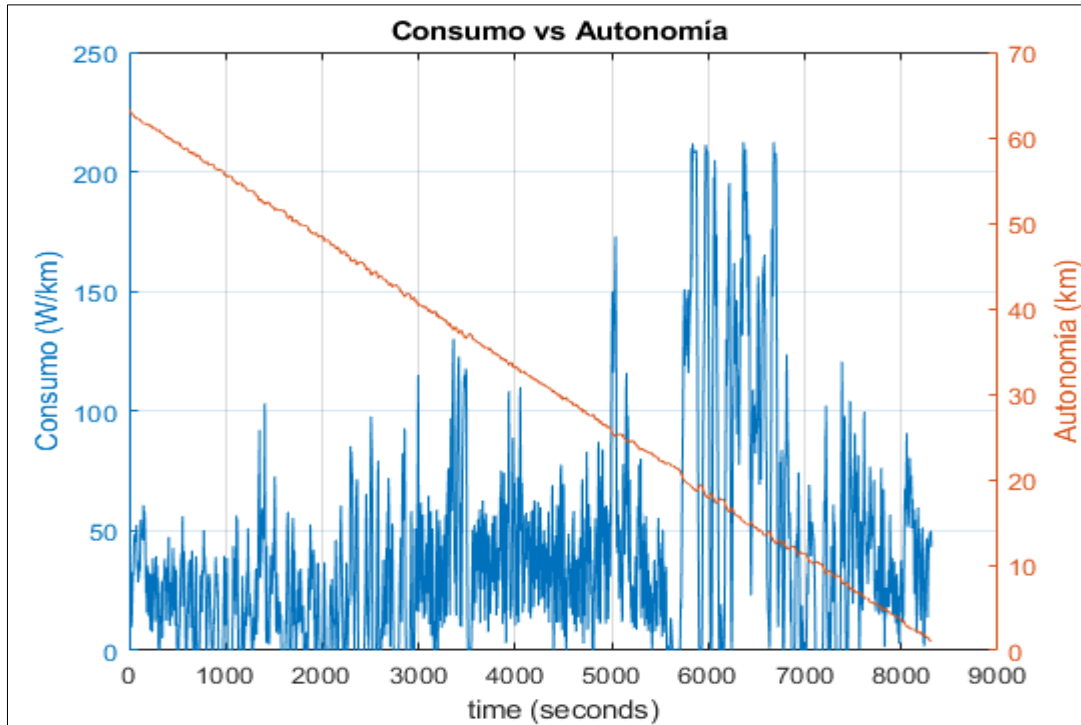


Figura 3.45 Consumo y autonomía (Simulink)

La figura anterior 3.42 es una presentación del consumo y la autonomía en función del tiempo, para aclarar el consumo está en función de la velocidad del ciclo, a mayor velocidad mayor consumo de la batería, y por consecuente existe una disminución de la autonomía.

- **Ampliación de la grafica**

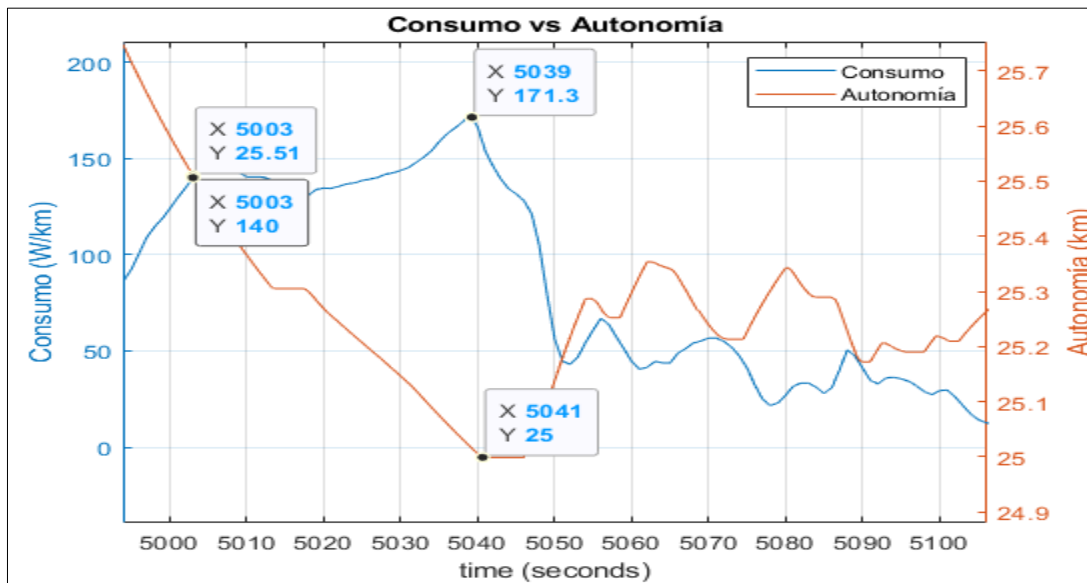


Figura 3.46 Ampliación de la gráfica. Autonomía vs Consumo

En la figura anterior se presenta la ampliación de la gráfica del consumo y de la autonomía, las cuales son inversamente proporcionales en todo el ciclo. En este caso, analizaremos en el segundo 5003 donde existe una autonomía de 25.51 km, y en el segundo 5041 una autonomía de 25 km, habiendo una caída de 2 %, cuando el consumo incrementa un 16 % en el mismo tramo. Esto significa que a mayor consumo la autonomía disminuye.

3.6 COMPARATIVA DEL ENSAYO REAL Y LA SIMULACIÓN

En este apartado se evaluó las características de los datos que se obtuvieron como resultados de la investigación; esto, mediante una comparativa de los valores reales del ensayo y los de Simulink para el cumplimiento del objetivo. Además, es importante recalcar que para la representación de los valores de ciclo real solo se tomó los últimos 10 minutos del recorrido para evitar la saturación de datos, además es necesario recalcar que las condiciones reales se las trabajo mediante graficas en hojas de cálculo.

El porcentaje de variación entre las dos investigaciones debe concentrarse en un 30 %, aunque es necesario decir que si existe alguna variación sobre limitada es debido a que no se consideró el estado de salud de la batería, y para este análisis es necesario un analizador de corriente mayor a 150 amperios, lo cual no contamos con dicho medidor.

3.6.1 VELOCIDAD CICLO REAL Y SIMULACIÓN

El análisis de la velocidad y las características a representarse en este apartado, son para tomar consideraciones de las velocidades máximas, medias y mínimas que alcanza el vehículo en su ciclo real y Simulink.

3.6.1.1 Comparativa de velocidades

Para este análisis fue necesario realizarlo mediante esquemas de boxplot en una hoja de cálculo considerando la extracción de valores que presenta la simulación:

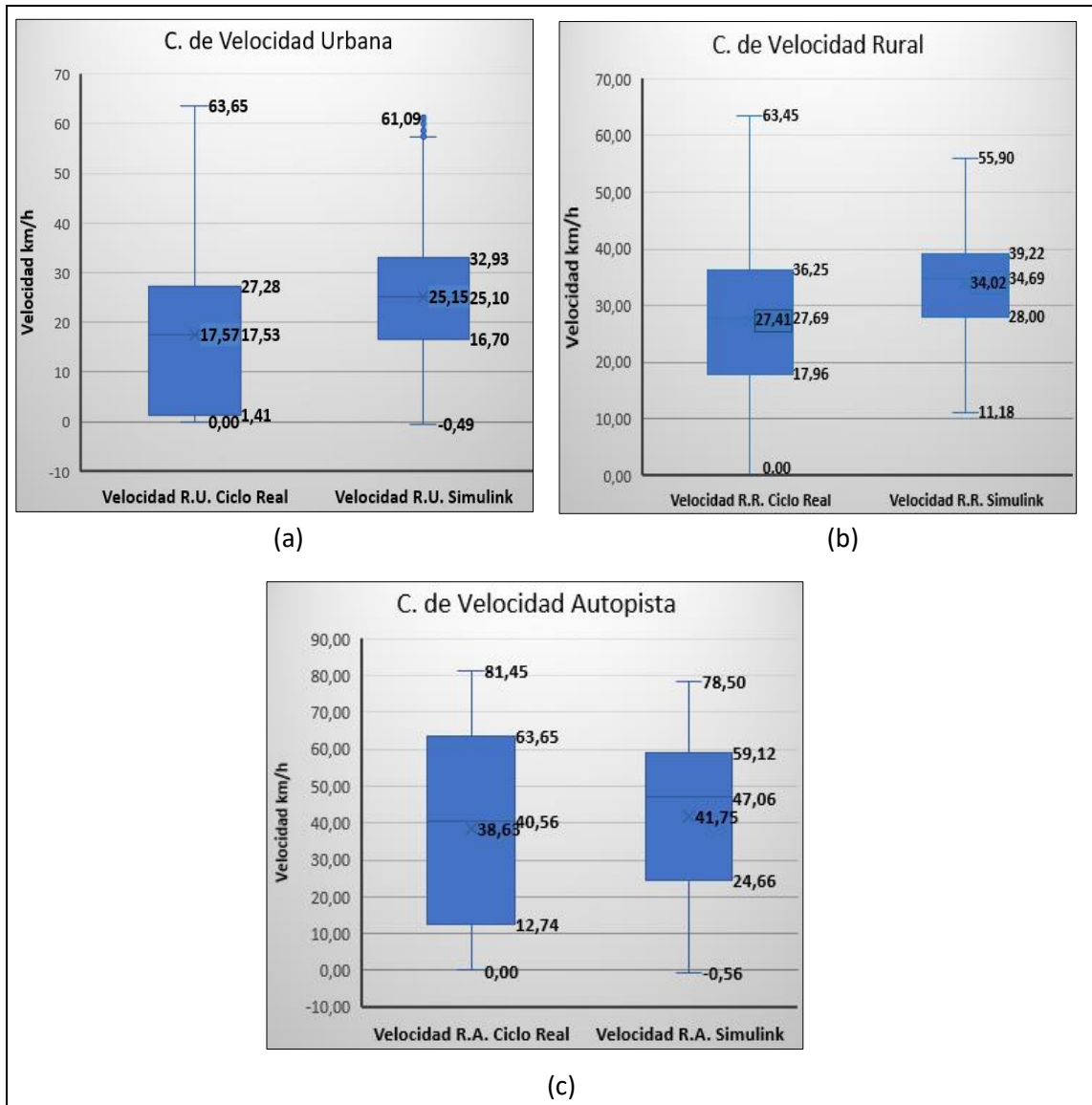


Figura 3.47 Comparativa de velocidades

(a) V. Urbana (b) V. Rural (c) V. Autopista

De la figura 3.46 es la representación de las velocidades de las dos investigaciones (real y simulación), por el cual existen ciertas variaciones que difieren entre la velocidad máxima, media y mínima.

A continuación, se presenta la tabla 3.15 con los valores de cada boxplot para el análisis correspondiente.

Tabla 3.15 Análisis de velocidades en las investigaciones

Ciclos de Conducción	Velocidades	Ensayo Real	Simulink	Variación %
Ciclo Urbano	Velocidad máxima (km/h)	63,65	59,94	6,35 %
	Velocidad promedio - media (km/h)	17,57	25,15	28 %
	Velocidad mínima (km/h)	0	0,4	0,4 %
Ciclo Rural	Velocidad máxima (km/h)	63,45	55,90	11,9 %
	Velocidad promedio - media (km/h)	27,41	34,02	19,4 %
	Velocidad mínima (km/h)	0	11,18	11,18 %
Ciclo Autopista	Velocidad máxima (km/h)	81	78,50	3,62 %
	Velocidad promedio - media (km/h)	38,63	41,75	8,07 %
	Velocidad mínima (km/h)	0	0,5	0,5 %

Existen ciertos fenómenos que involucran en las variaciones frente al ensayo real del vehículo los cuales son:

Repetibilidad: Variabilidad del sistema de medición.

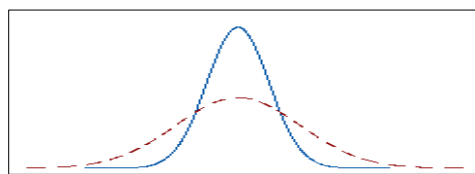


Figura 3.48 Variabilidad de la simulación

Reproducibilidad: Variación causada por el sistema de medición.

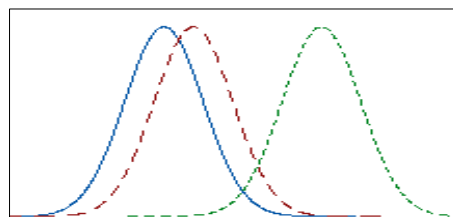


Figura 3.49 Causas del sistema de medición

3.6.2 ESTADO DE CARGA Y AUTONOMÍA VEHICULAR

3.6.2.1 Soc y Autonomía – Simulación

Para el análisis del estado de carga SOC y la autonomía vehicular, es necesario sacar en la configuración del modelado un SCOPE que permita realizar las gráficas de estas dos características.

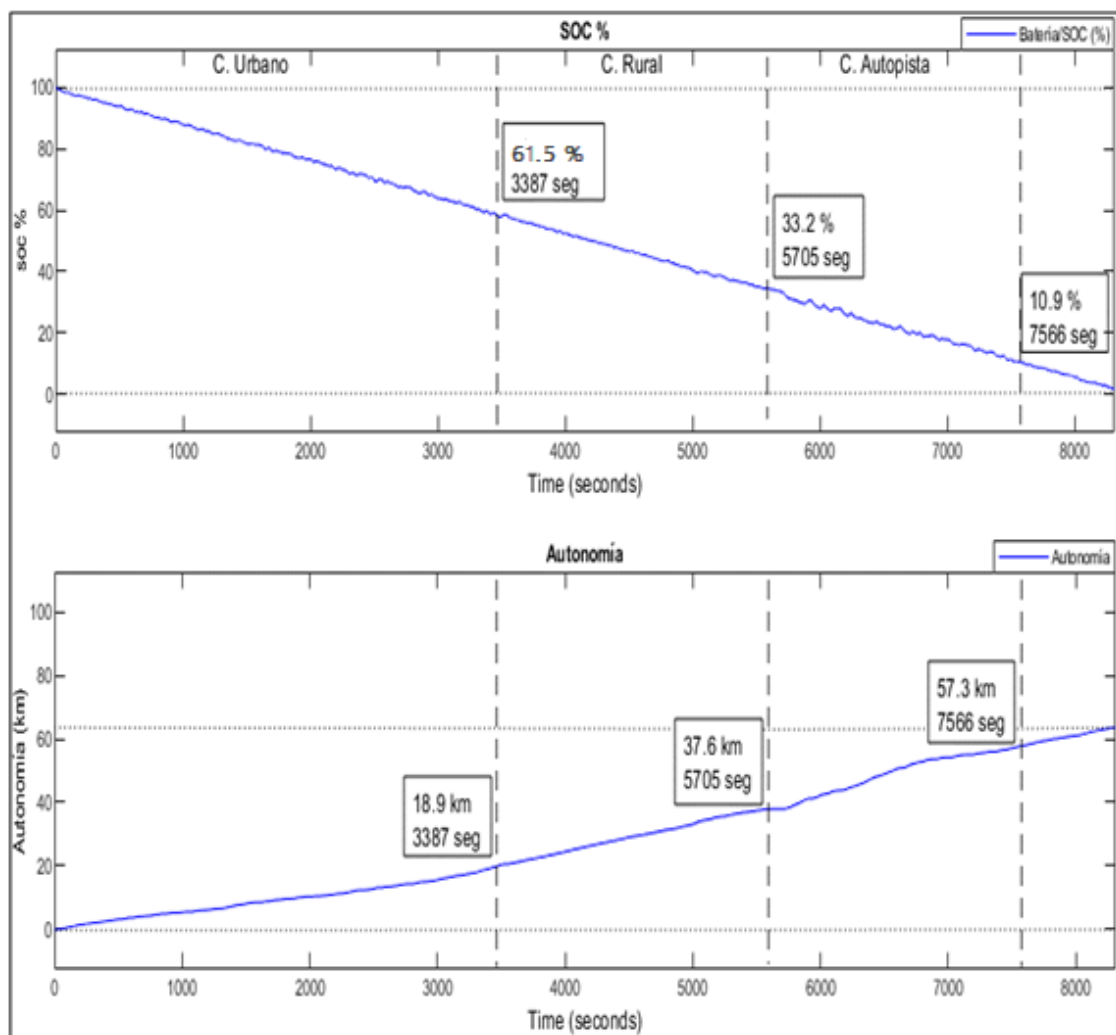


Figura 3.50 Configuración SOC y autonomía en Simulación

La figura 3.47 es una presentación del estado de carga y la autonomía de la simulación; donde el ciclo urbano el SOC descendió en 3387 segundos del 100 al 61.5 %, lo que representa una pérdida de un 38.5 % del estado de carga en 18.9 km de autonomía. Para la rural descendió del 59.7 al 33.2 % de SOC terminando el recorrido en 5705 segundos presentando una pérdida de un 26.5 % del SOC en 19 km y, para la autopista descendió

del 33.2 al 10,9 % terminando el recorrido del ciclo completo en 7566 segundos, presentando una pérdida de un 22.3 % del SOC en 19.8 km. De esta manera la autonomía en todo el ciclo de conducción fue de 57.3 km consumiendo el 89.1 % del SOC.

El restante del estado de carga permitió un recorrido de 6 km en 745 segundos que adheridos a los 7566 segundos que corresponde al ciclo de conducción suman 8311 segundos (2 horas, 30 minutos) dentro de la simulación, presentando finalmente la caída del 100 – 0 % del SOC con una autonomía total de 63.3 km.

3.6.2.2 Soc y Autonomía – Ensayo Real

Mediante el ensayo real del vehículo en el ciclo, se obtuvo las siguientes graficas del SOC y autonomía, mediante una evaluación en una hoja de cálculo.

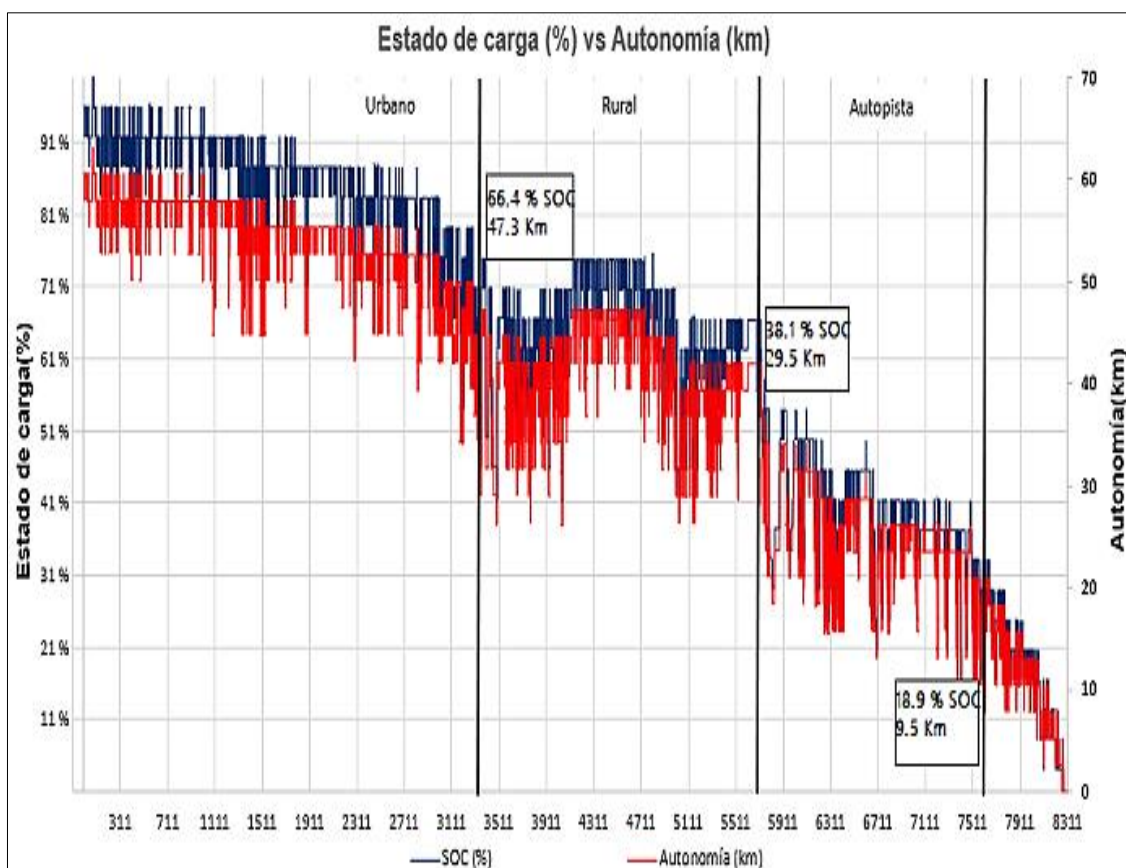


Figura 3.51 SOC y autonomía según el ensayo real

En la figura 3.48 es la presentación del SOC y la autonomía del ensayo real, donde la gráfica de color azul es el SOC y la gráfica de color rojo es la autonomía. Los parámetros se distribuyen por cada ciclo donde se obtuvieron las siguientes características: en el ciclo urbano el SOC descendió de 95.8 % al 66.4 % consumiendo un 29.4 % en 16.8 km de autonomía. En la ruta rural el estado de carga descendió del 66.4 al 38.1 % habiendo consumido un 28.3 % en 17.8 km y, para la autopista el estado de carga descendió de un 28.3 a un 18.9 % en 20 km de autonomía.

El restante del estado de carga permitió un recorrido de 8.5 km en 745 segundos que adheridos a los 7566 segundos que corresponde al ciclo de conducción suman 8311 segundos (2 horas, 30 minutos) dentro del ensayo real, presentando finalmente la caída de la autonomía en 63.17 km.

3.6.2.3 Variación del soc y autonomía

A continuación, la tabla 3.16 representa de manera más detallada los valores como resultados de los dos ciclos sobre el estado de carga y la autonomía:

Tabla 3 16 Variaciones de SOC y autonomía del estudio

Ciclos de Conducción	Detalles	Ensayo Real	Simulink	Variación %
Ciclo Urbano	Autonomía (km)	16.8	18.9	11.1 %
	SOC %	29.4	38.5	23.6 %
Ciclo Rural	Autonomía (km)	17.8	19	6.3 %
	SOC %	28.3	26.5	6.8 %
Ciclo Autopista	Autonomía (km)	20	22.3	10.3 %
	SOC %	19.2	19.8	3 %

3.6.3 RÉGIMEN DEL MOTOR

A continuación se presenta las revoluciones del motor del vehículo Renault Twizy:

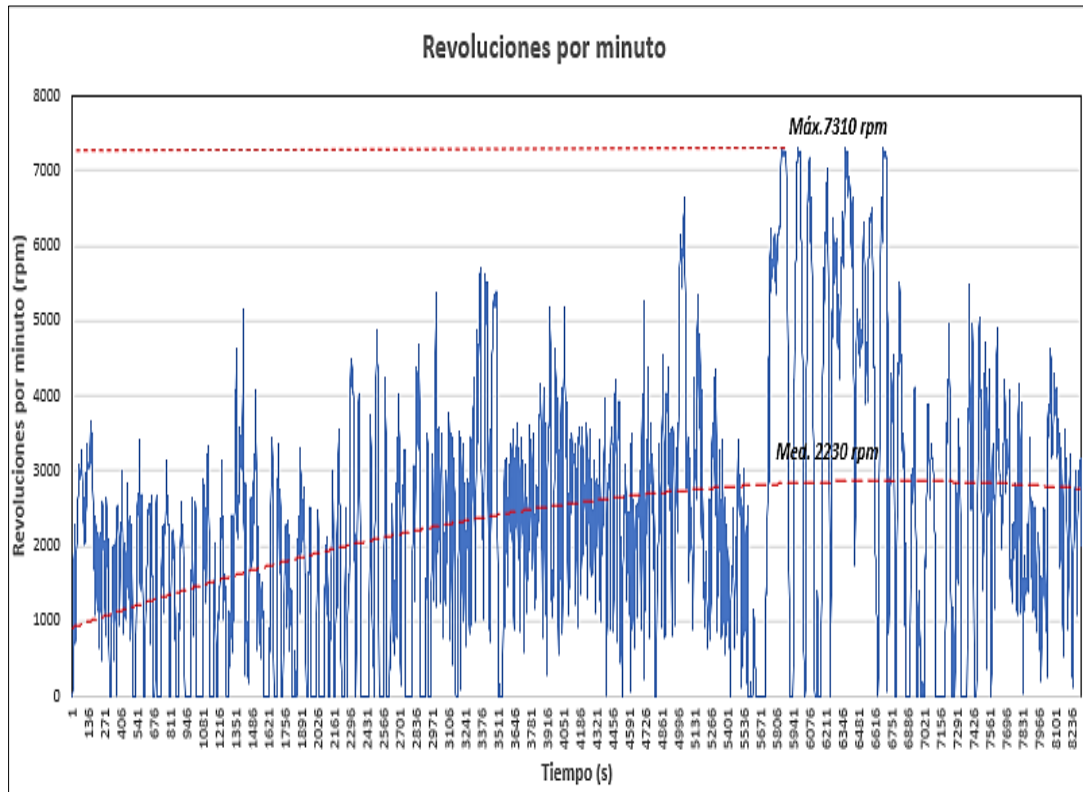


Figura 3.52 Revoluciones por minuto del motor del ensayo real

De la figura anterior se presenta los rpm del motor del vehículo, las cuales se obtuvieron mediante el scanner en condiciones reales de manejo. Como se puede apreciar en la gráfica el régimen máximo es de 7310 rpm y la media se encuentra en 2230 rpm. Estos valores fluctúan de acuerdo con la velocidad requerida por el vehículo en todo el recorrido del ciclo de conducción.

- Régimen de motor de Simulink

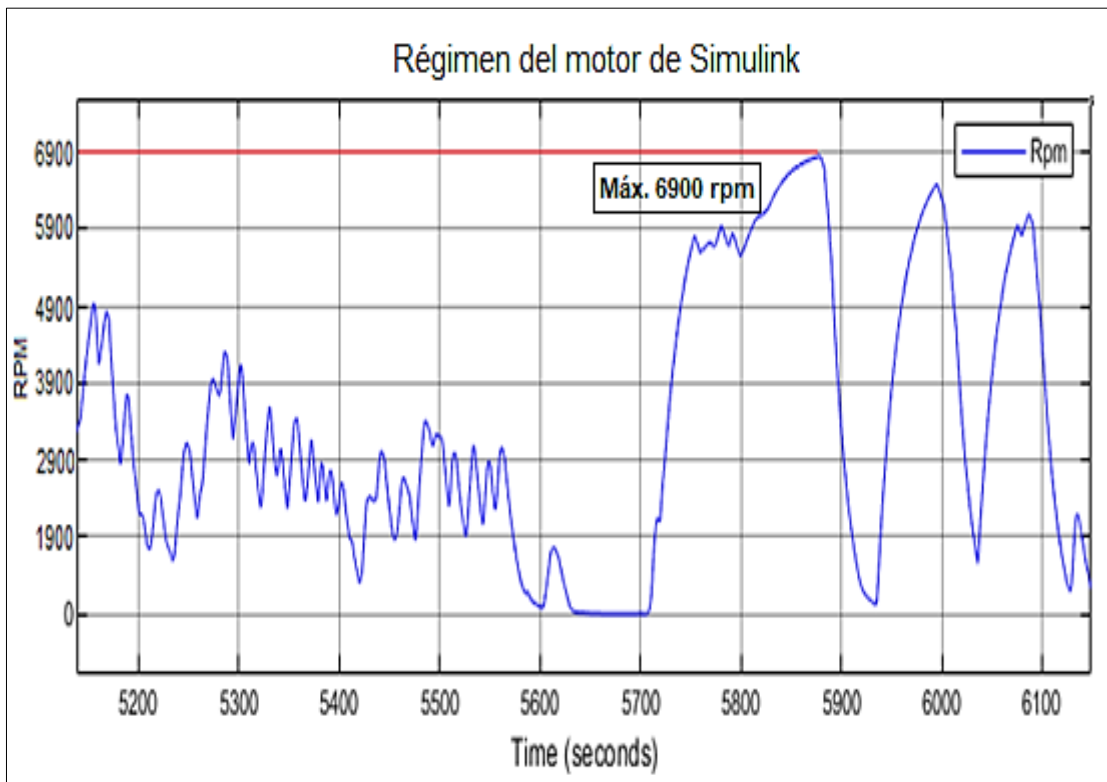


Figura 3.53 Revoluciones de motor Simulink

En la figura anterior se presenta el rpm del motor de Simulink donde obtenemos un máximo de 6900 rpm y la media de 2104 rpm, al igual que el régimen del motor del EV la simulación se encuentra proporcional a los requerimientos de la velocidad.

Existe una variación 5.4 % entre las dos investigaciones, esta variación se debe a los requerimientos que no se tomaron en cuenta en el motor de la simulación, lo cual presentó un desfase de 410 rpm.

3.6.4 POTENCIA DEL MOTOR

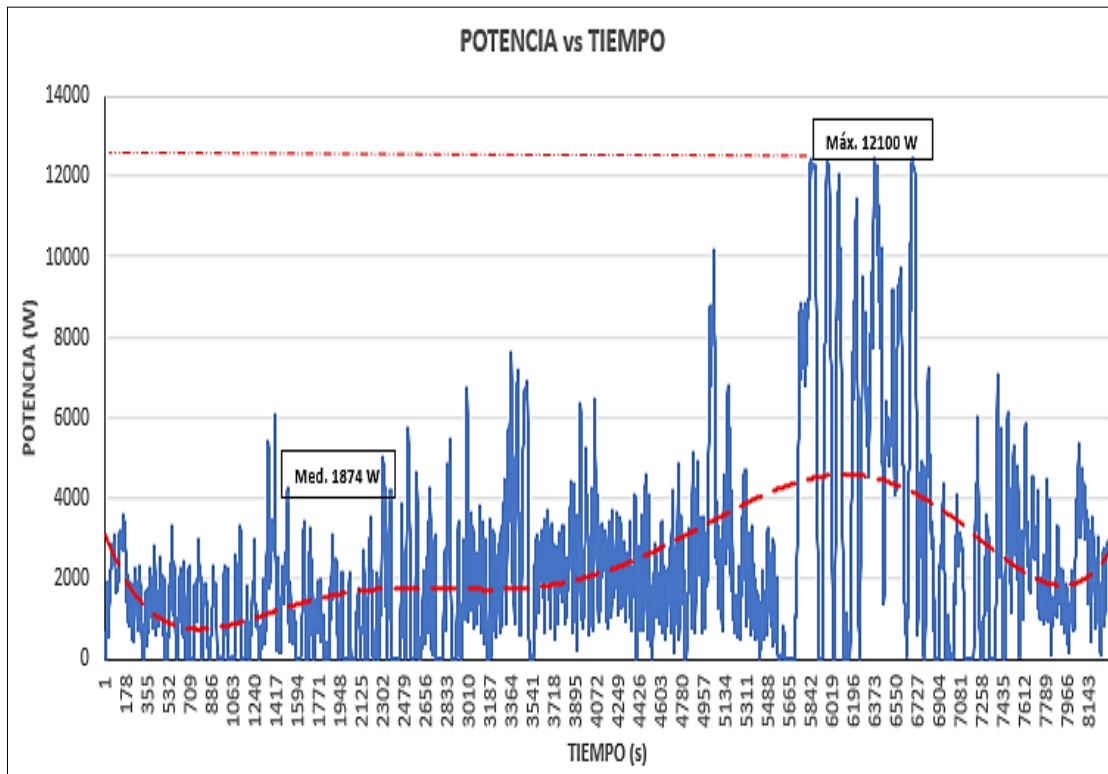


Figura 3.54 Potencia del motor del EV en el ciclo

En la figura 3.51 se presenta la potencia del motor del EV en el ciclo de conducción, esta potencia está en función oscila de acuerdo con el requerimiento de la velocidad. En este caso cuando la velocidad sea mayor la potencia es proporcional. La potencia máxima es de 12 100 W, y una potencia media 1874 W.

- **Potencia del motor de Simulink**

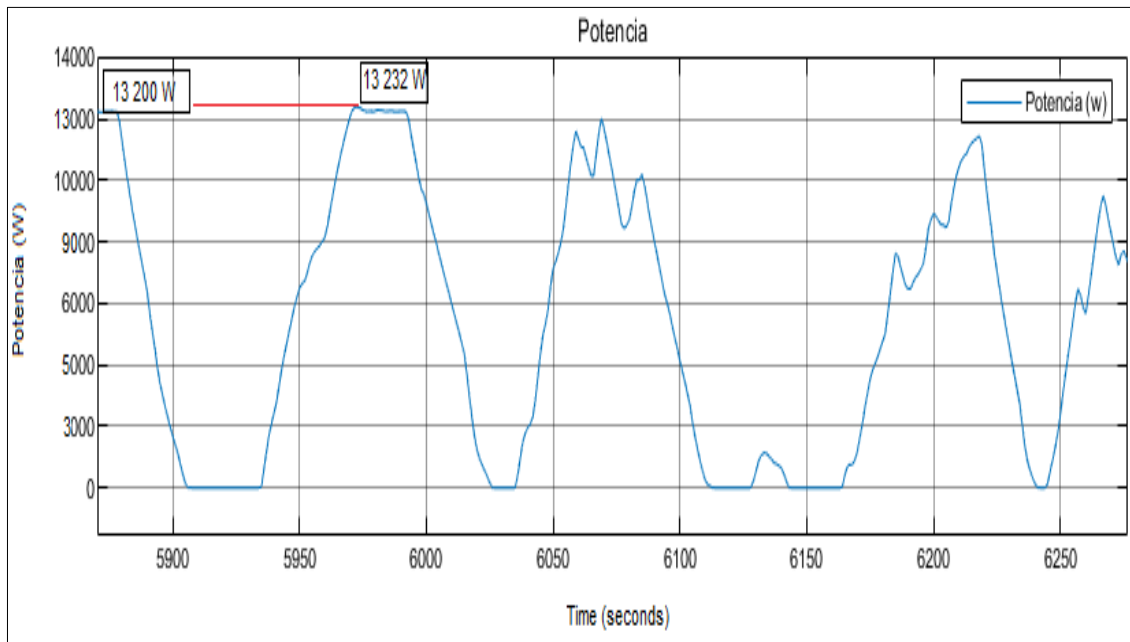


Figura 3.55 Potencia de motor de Simulink

De la figura anterior es una representación de la simulación del motor, el cual presenta una potencia máxima de 13232 W en la velocidad más alta del vehículo 79,6 km del vehículo, y la potencia media oscila entre los 2240 W.

Las potencias en las dos investigaciones varían entre un 8,3% debido a las diferentes velocidades obtenidas y las consideraciones del motor de la simulación.

3.6.5 CONSUMO

Consumo representativo en una hoja de cálculo, mediante la extracción de valores del simulador y la comparativa del ensayo real.

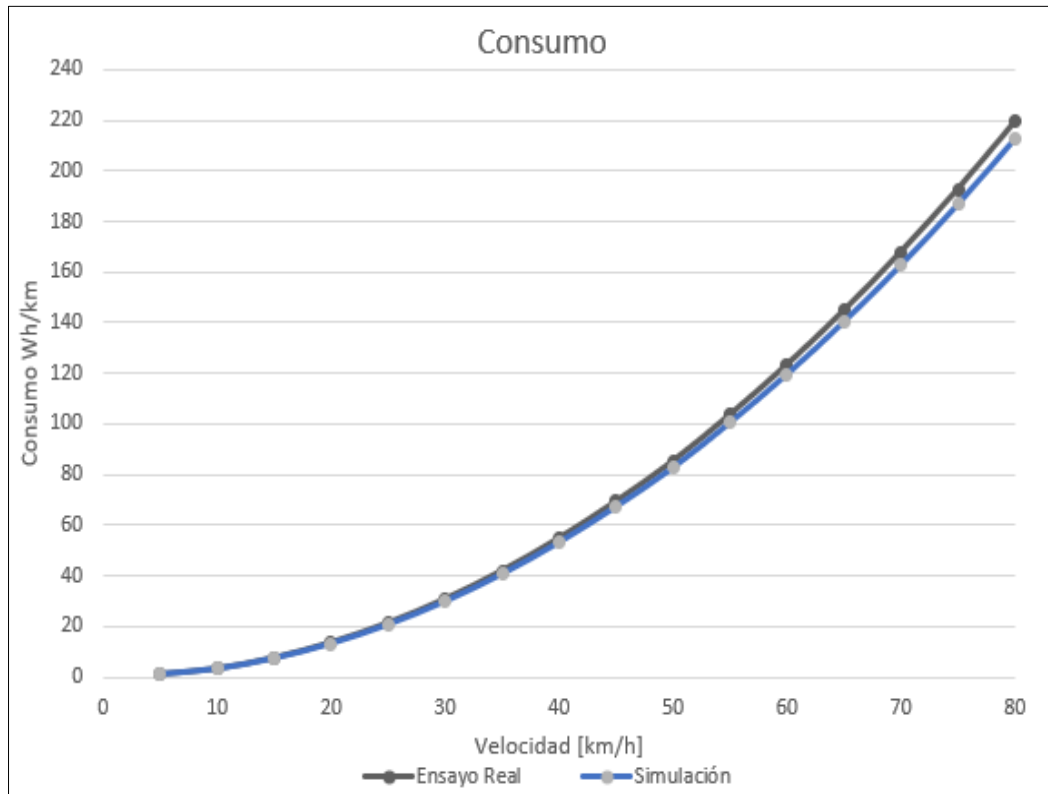


Figura 3.56 Consumo en función de la velocidad

De la figura 3.53 se analiza el consumo frente a la velocidad de alcance del vehículo en ambos aspectos (simulación y ciclo real) estableciéndose en 80 km/h un consumo aproximado de 218,33 Wh/km en el ciclo real, mientras en la simulación 212,2 Wh/km en la misma velocidad, por lo tanto el total de disminución fue 4,3%.

El consumo también será proporcional a la resistencia aerodinámica, mientras mayor sea, mayor consumo tenemos.

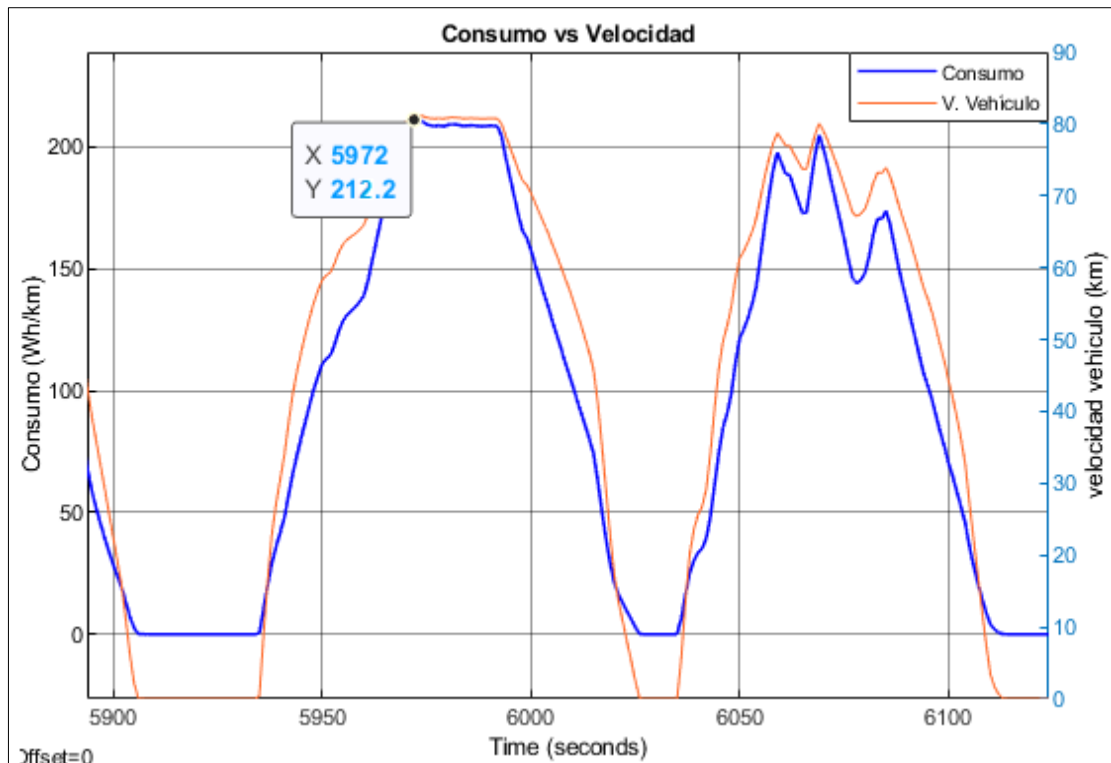


Figura 3.57 Consumo y velocidad en la simulación

De la figura anterior se deduce que, el consumo está en función de la velocidad, cuando alcanza la velocidad máxima de la simulación 78,5 km/h el consumo es de 212,2 en el recorrido total del ciclo de conducción los consumos varían conforme a las velocidades en todo el ciclo de conducción.

3.7 FACTORES QUE IMPLICAN LA AUTONOMIA

3.7.1 RESISTENCIA AERODINÁMICA

Para determinar la resistencia aerodinámica es necesario realizar un cálculo para encontrar la densidad del aire ρ . A continuación, se desarrolla con la ecuación [3.1]

Donde

ρ :	Densidad del aire [kg/m ³]	
P:	Presión barométrica [hPa]	= 1015 [hPa]
hr:	Humedad relativa del aire [%]	= 0,775
t:	Temperatura del aire [°C]	= 16°

$$\rho = \frac{0,3484p - h_r(0,0025t - 0,02056)}{274,15 + t} \quad [3.1]$$

$$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$$

Para el cálculo de la resistencia aerodinámica es necesario conocer el coeficiente de resistencia aerodinámica, por lo tanto, según el manual de vehículos eléctricos Renault Twizy Cargo 80, establece que el coeficiente de resistencia C_x es de 0,64 (Renault, 2020).

Datos:

C_x :	Coeficiente de resistencia aerodinámica:	0,64 adimensional
A:	Sección frontal del vehículo	1,47 [m ²]
ρ :	densidad del aire	1,225 [kg/m ³]
V^2 :	Velocidad	En función de la V máxima [m/s]

Para el cálculo de la resistencia aerodinámica, es necesario aplicar la ecuación [2.5], misma que se desarrolló en diferentes tramos de velocidad del vehículo.

A continuación se presenta un análisis de resistencia aerodinámica de las 2 investigaciones extraídas en una hoja de cálculo:

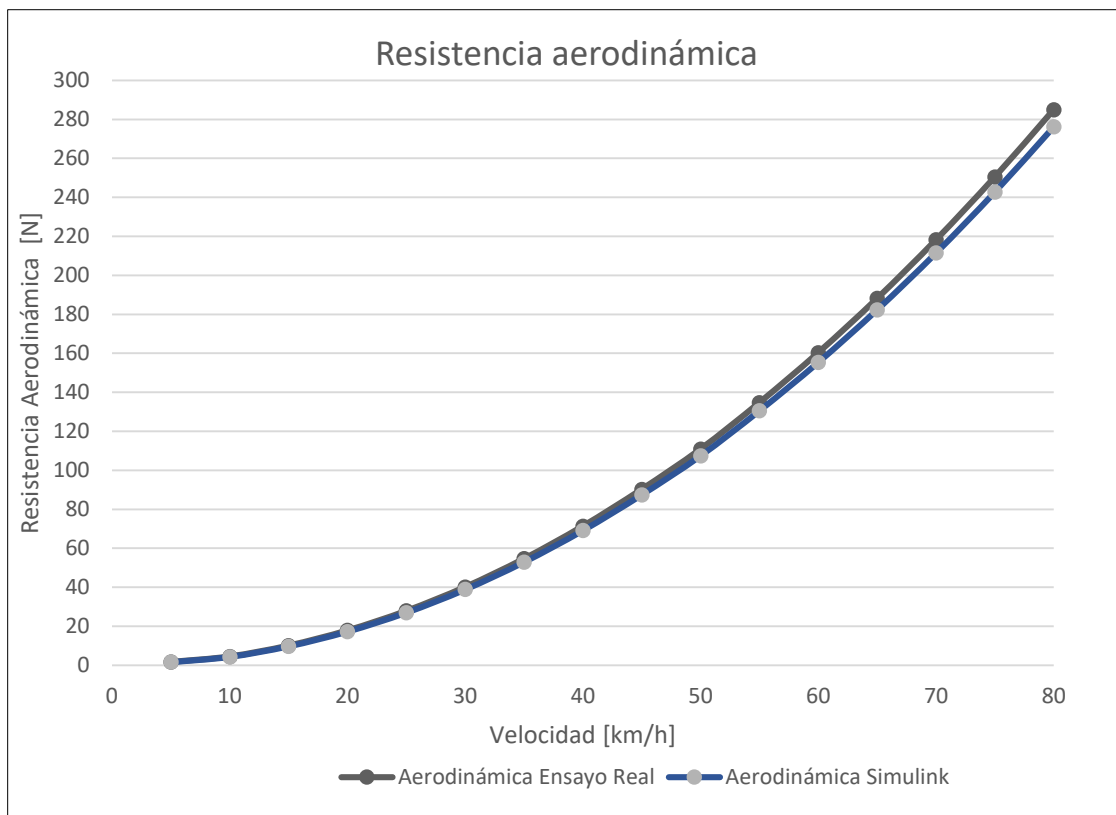


Figura 3.58 Representación de resistencia aerodinámica

En la figura 3.55 se detalla la resistencia aerodinámica de las dos investigaciones: ciclo real y la simulación. Como se aprecia en la gráfica anterior la resistencia aerodinámica de la simulación alcanza los 276,4 N y el ensayo real alcanza 284.93 N en la velocidad máxima de 80 km/h, determinando una variación de 3.18%.

Tabla 3.17 Variaciones resistencia aerodinámica

Ciclos de Conducción	Velocidades	Ciclo Real	Rae (N)	Simulink	Rae (N)	Variación % Rae
Ciclo Urbano	V. máxima (km/h)	63,65	179,3	59,94	159,6	12,34
	V. media (km/h)	17,57	13,04	25,15	28	51,4
Ciclo Rural	V. máxima (km/h)	63,45	178,2	55,9	138,8	28,38
	V. media (km/h)	27,41	33,3	34,02	51,4	33,8
Ciclo Autopista	V. máxima (km/h)	81	284,9	78,5	276,14	3,17
	V. media (km/h)	38,63	66,21	41,75	77,3	14,35

La tabla anterior es una deducción de la resistencia aerodinámica en base a la velocidad máxima y media de cada ciclo, para conocer las variaciones porcentuales de la resistencia aerodinámica entre las dos investigaciones. Es necesario aclarar que las velocidades mínimas presentan resistencias nulas o cero, y son depreciables para el análisis.

Cuando la resistencia aerodinámica presenta los 284.9 N tenemos la velocidad de 81 km/h del ensayo real, el cual es relativo a la simulación. Por otro lado las velocidades más altas se concentran en carreteras asfaltadas, donde el SOC y la autonomía presentan caídas menores al 20 % a diferencia de carreteras adoquinadas o de piedra.

3.7.2 RESISTENCIA POR RODADURA

3.7.2.1 Ensayo real

Dentro del cálculo a la resistencia a la rodadura se realiza mediante la ecuación ya presentada [2.8].

Datos

m =	masa vehicular:	760 kg
g =	gravedad:	9.8 m/s ²
fr =	coeficiente de resistencia a la rodadura:	0,01 adimensional

$$F_{ro} = m \times g \times fr \quad [2.8]$$

$$F_{ro} = 760 \times 9,8 \times 0,01$$

$$F_{ro} = 74,6 \text{ N}$$

El coeficiente de resistencia a la rodadura es un valor que oscila entre 0,006 y 0,01 para vehículos de baja resistencia y es necesario la utilización para vehículos eléctricos el coeficiente 0,01. (Schallenberg, 2017)

Además el coeficiente de rodadura es un factor que implica directamente al consumo de la batería y, este tipo de coeficientes viene dado según el tipo de carretera como se presenta en la tabla 3.19.

Tabla 3.18 Coeficientes de rodadura según el tipo de carretera

Tipo de carretera	C. de Rodadura
Asfalto	0.01- 0.012
Asfalto en mal estado	0.23
Hormigón (Adoquines)	0.01 – 0.015
Pavimento	0.015
Camino de piedra	0.02 – 0.05

Fuente: (Estudio de coeficientes de la dinámica del automóvil, 2017)

Al realizar cálculo con el coeficiente de hormigón (0.015) presenta una resistencia 110,8 N, lo cual presenta una variación de 47,4 % de diferencia entre el asfalto y los adoquines, en este caso cuando el vehículo transitó en el ciclo rural (carreteras adoquinadas) existió un consumo del SOC de 28,3 % y en autopista (asfalto) 19,2 %, habiendo un 33,2 % de variación lo cual se traduce que en asfalto la descarga es menor que en otro tipo de carreteras.

3.7.2.2 Simulink

A continuación, se presenta la resistencia por rodadura, según el coeficiente 0,01 para la simulación:

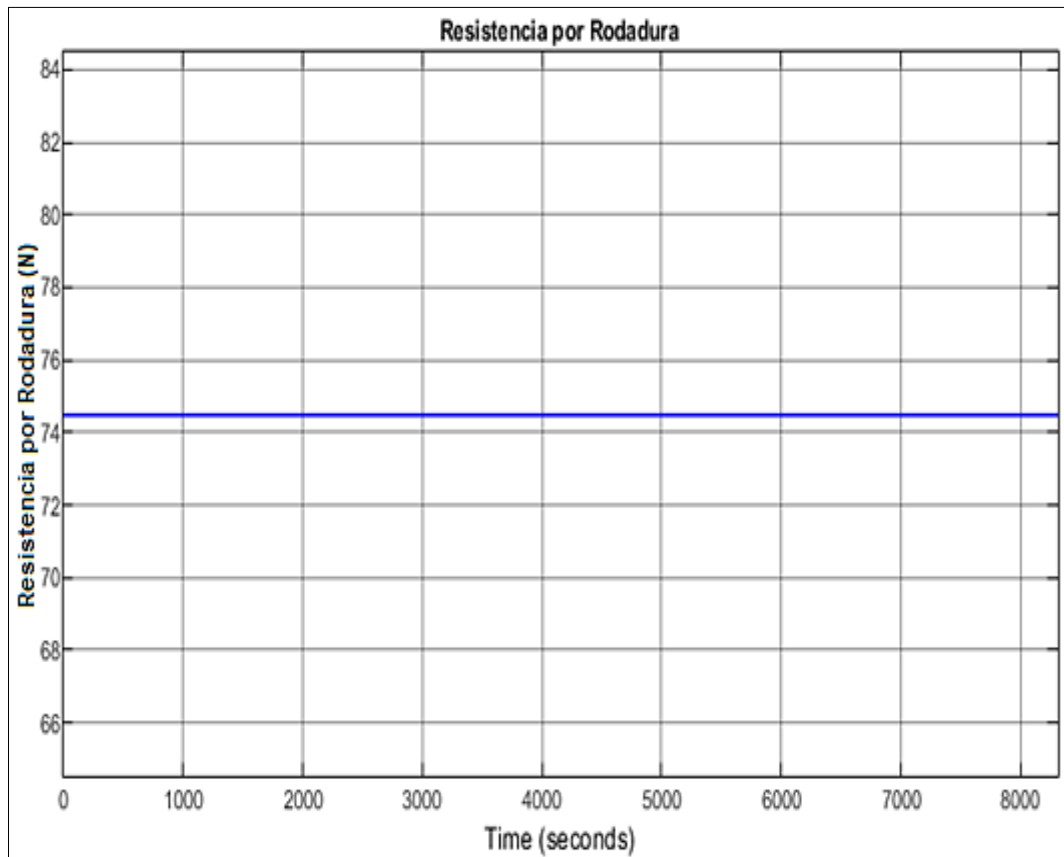


Figura 3.59 Resistencia por rodadura según la simulación

La figura anterior presenta la resistencia por rodadura, este es un factor que no se altera en la simulación lo cuales es un valor constante, y por tal razón no fluctúa en el tiempo, el resultado es de 74,6 N.

Si, el valor de la resistencia a la rodadura fuera remplazado por el valor de (0,015) de adoquinado, la resistencia a la rodadura es la siguiente en Simulink:



Figura 3.60 Resistencia a la rodadura Simulink

La figura anterior presenta la resistencia a la rodadura con el coeficiente de 0,015 de carretera adoquinada, el cual altera el SOC y la autonomía vehicular, lo cual diferencia de una carretera asfaltada.

De esta manera se consideró en la rural con este coeficiente (0,015), se determinó que el Soc es de 31,07 % y con el coeficiente de (0,01) de asfalto fue el soc de 26,5 %, dando una variación de 17,24 %, lo que indica que cuando simulamos con el coeficiente de carretera adoquinada existe mayor descarga del SOC a diferencia de la asfaltada.

3.7.3 RESISTENCIA POR PENDIENTE

Para el cálculo de la resistencia por pendiente se debe considerar la altura o perfil de elevación de la ruta que haya alcanzado mayores características de velocidad y perfiles de elevación, en este caso la ruta autopista es la adecuada.

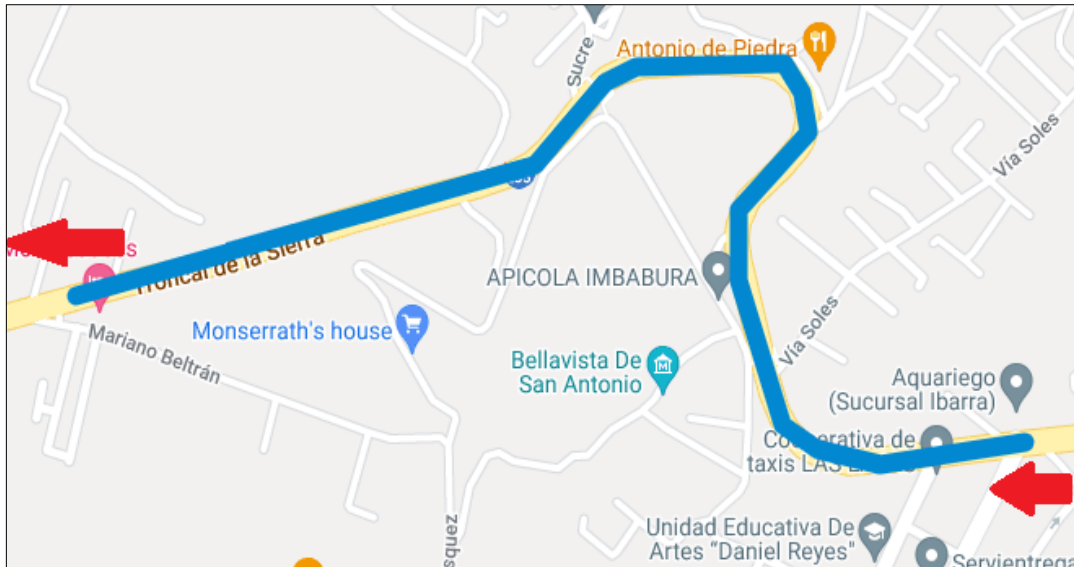


Figura 3.61 Distancia para determinar la pendiente

El valor de la altura inicial es de 2315 metros sobre el nivel del mar y la altura final fue de 2424 metros sobre el nivel del mar, con una diferencia de 109 metros en una longitud de 2219 m, según los datos de Google Maps.

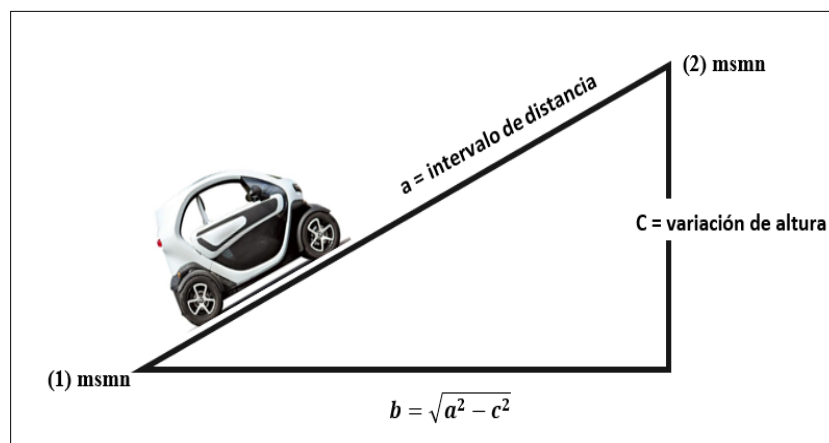


Figura 3.62 Componentes para determinar la pendiente

Calculamos el valor de la longitud mediante la resolución de la siguiente ecuación:

$$b = \sqrt{a^2 - c^2} \quad [3.1]$$

Datos

b: Longitud

- a: Distancia recorrida = 2219 [m]
 c: Variación de altura = 109 [m]

$$b = \sqrt{2219^2 - 109^2}$$

$$b = 2216 \text{ m}$$

Después de calcular el valor de la longitud, procedemos a calcular el valor de la pendiente con la ecuación [3.5]

$$\phi = \arctg^{-1} \frac{h}{b} \quad [2.6]$$

$$\phi = \arctg^{-1} \frac{109}{1997}$$

$$\phi = 2,61^\circ$$

Con el resultado del ángulo en grados procedemos a calcular la resistencia por pendiente, como se muestra en la ecuación [3.6].

- m: 760 [kg]
 g: 9,8 [m/s²]
 Ángulo: 2,61°

$$F_p = m \times g \times \text{sen}\theta \quad [2.7]$$

$$F_p = 760 \times 9,8 \times \text{sen}(2,61)$$

$$F_p = 335 \text{ N}$$

La resistencia a la pendiente es un factor que fluctúa de acuerdo con la carretera, en todo el ciclo. Además, la pendiente es un valor que puede representarse en porcentaje 4.9 %.

3.8 EVALUACIÓN DE AUTONOMÍA DEL ESTUDIO.

3.8.1 AUTONOMÍA FABRICANTE Y CICLO URBANO ECE

Según el manual del fabricante (Renault Twizy, 2020), afirma que dentro de las condiciones de funcionamiento este vehículo cuenta con 100 km de autonomía establecidas en un ciclo de conducción urbano ECE y el consumo es respecto al rendimiento vehicular centrándose en 63 Wh/km de la capacidad. Es necesario considerar que este ciclo presenta un perfil de velocidad muy uniforme y sus condiciones de ensayo son en un banco dinamométrico. Además, que el tiempo de este ciclo se encuentra en el rango de 400 segundos, por el cual para la simulación fue necesario repetir el ciclo 12 veces hasta terminar la autonomía.

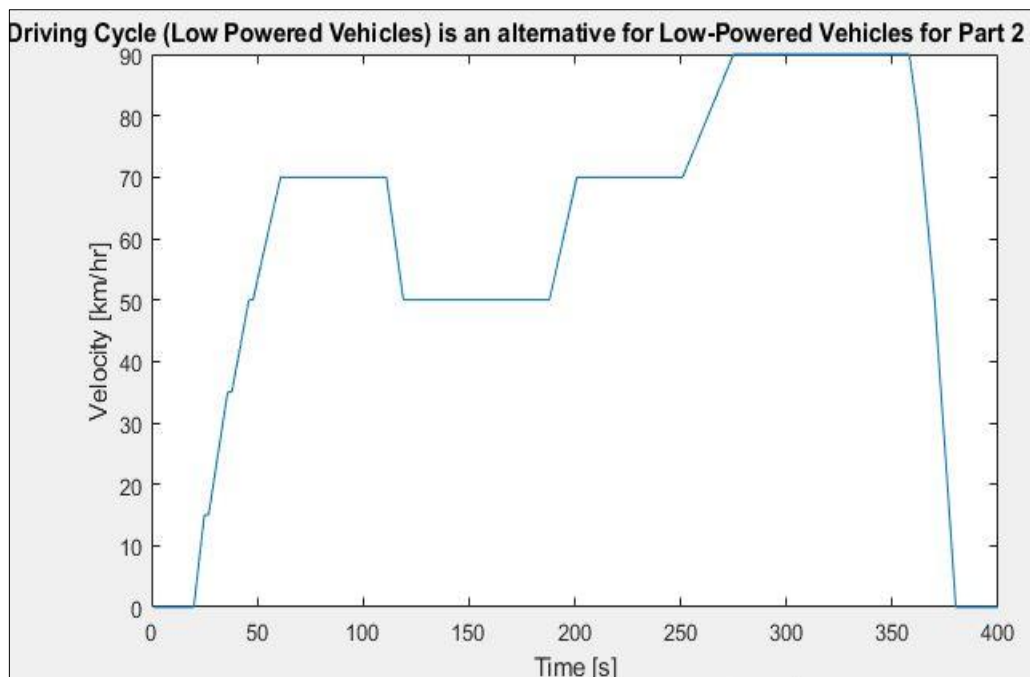


Figura 3.63 Ciclo ECE emulado por Simulink

La gráfica 3.61 anterior es el ciclo ECE para vehículos de baja potencia. La velocidad máxima es 90 km/h, velocidad media de 35 km/h y el tiempo es de 400 segundos con cargas muy mínimas del motor por ser una ciudad tan aglomerada.

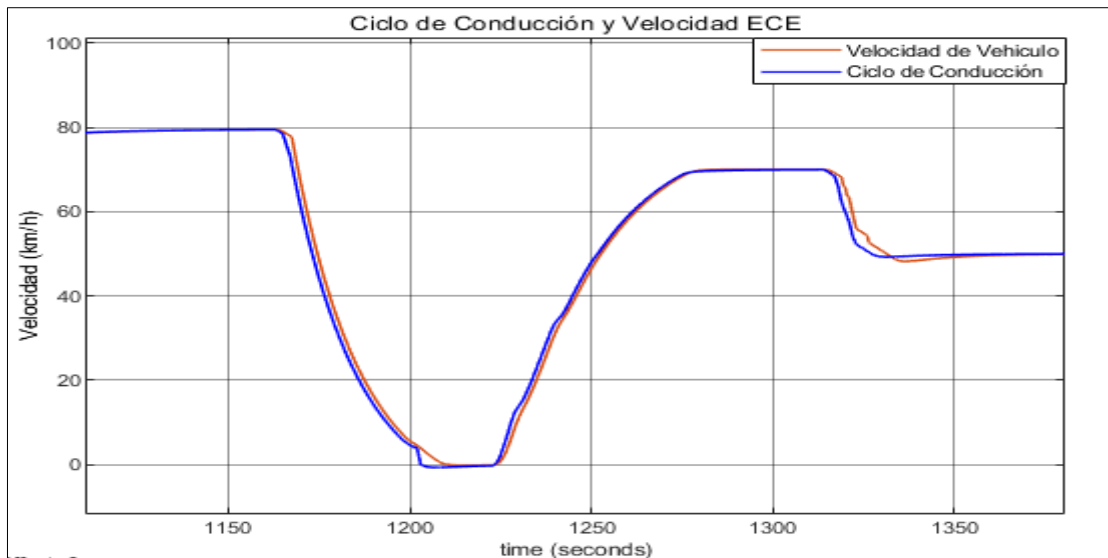


Figura 3.64 Simulación del ciclo ECE

En la gráfica anterior se presenta el ciclo de conducción y la velocidad, mediante la simulación.

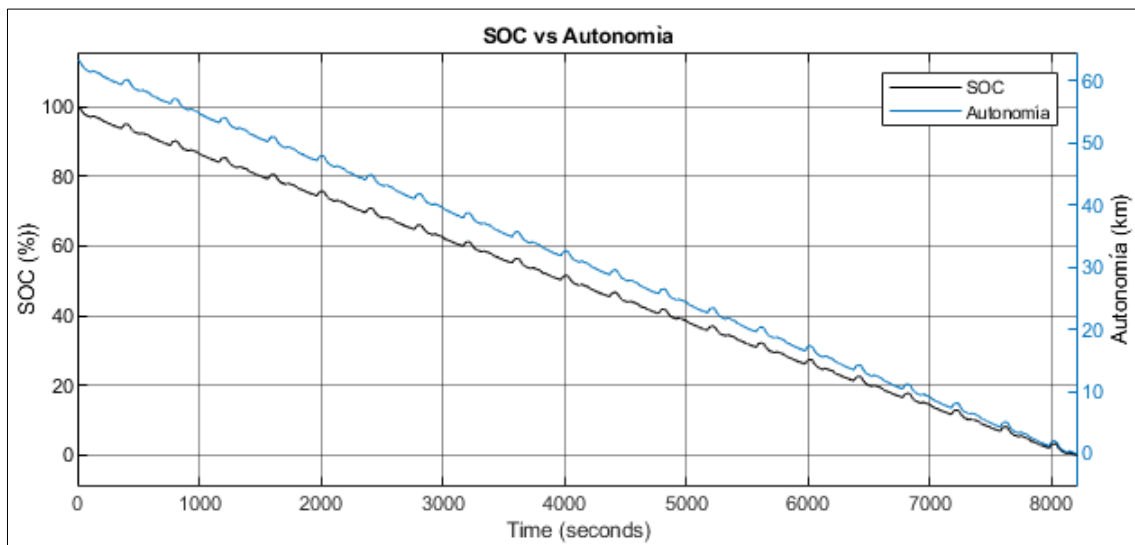


Figura 3.65 SOC y autonomía del ciclo ECE

En la figura 3.63 se presenta la caída del SOC y la autonomía del ciclo ECE, el cual tuvo una autonomía de 80,45 con una descarga de 100 – 0 %.

A continuación, la tabla 3.20 detalla el comportamiento del vehículo en ciclo de homologación ECE.

Tabla 3.19 Comparativa. Fabricante versus ciclo homologado ECE

Detalles	Autonomía Urbana	Consumo Urbano
Manual Renault Twizy	100 km	63 Wh/km
Según el ciclo ECE	80.45 km	75.82 Wh/km
Variación %	19.5 %	20 %

De la anterior tabla se evaluó en las condiciones técnicas del fabricante y la simulación del vehículo en el ciclo ECE, por lo tanto, existe una variación de un 19.5 % de autonomía y de consumo urbano existe un 20 %. Es necesario recalcar que este desfase de error existe por los valores de la configuración del vehículo dentro del software.

3.8.2 AUTONOMÍA FABRICANTE Y CICLO URBANO IBARRA

Para realizar la siguiente comparación fue necesario introducir los valores únicamente de la ruta urbana de manera repetida hasta que la caída total de la batería cumpla con el rendimiento final de la autonomía.

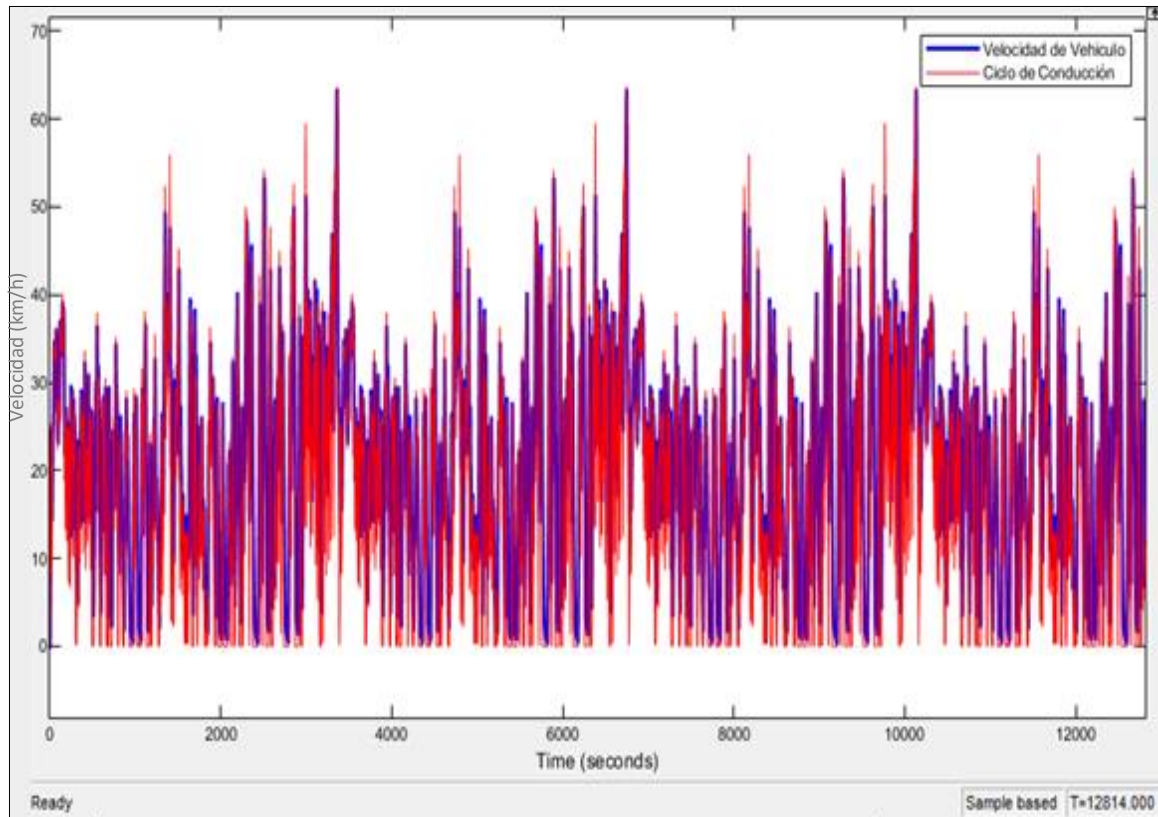


Figura 3.66 Simulación ciclo urbano Ibarra

De la figura anterior se puede apreciar la simulación del ciclo urbano repetidamente, para de esta manera verificar la autonomía y el estado de carga. Las características de esta gráfica basada en Simulink es de 12814 segundos alcanzando velocidades máximas de 63,65 km/h y velocidad promedio de 17,57 km/h.

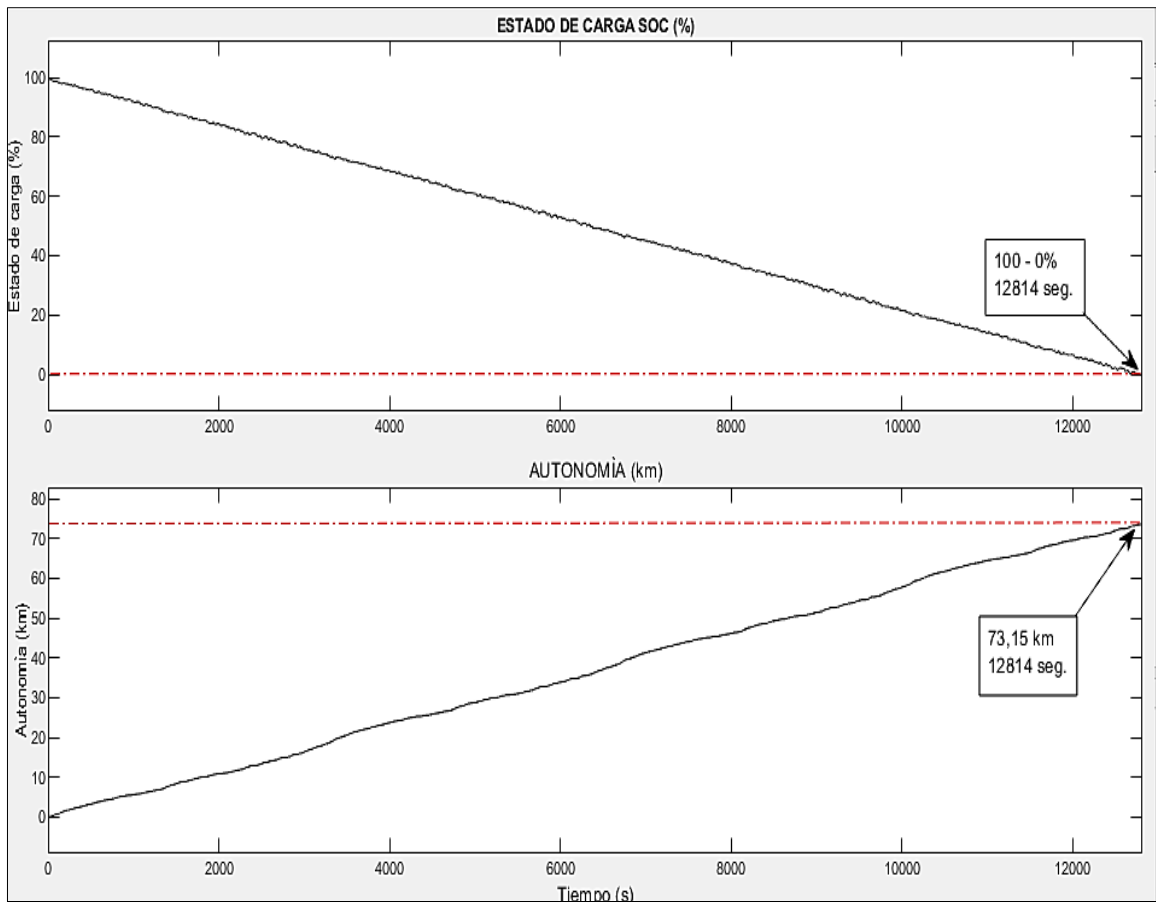


Figura 3.67 Autonomía en ciclo urbano ciudad Ibarra

De la figura 3.65 es el resultado de la simulación, donde se ingresó el ciclo urbano repetidamente hasta que cumpla con toda la autonomía. Se requirió 12814 segundos lo que equivale 73.15 km de recorrido llegando el estado de carga del SOC 100 - 0%.

A continuación, la tabla 3.21 muestra las especificaciones técnicas para la comparación entre la autonomía y consumo del fabricante y según el ciclo urbano de la ciudad Ibarra.

Tabla 3.20 Comparativa. Fabricante versus Ciclo urbano Ibarra

Detalles	Autonomía Urbana	Consumo Urbano
Manual Renault Twizy	100 km	63 Wh/km
Según la simulación Urbano - Ibarra	73.15 km	83.39 Wh/km
Variación %	26 %	24.6%

3.8.3 AUTONOMÍA CICLO URBANO IBARRA Y CICLO ECE

A continuación se presenta la tabla 3.22 comparativa entre el ciclo ECE propuesto por el manual del vehículo, contra el ciclo de Ibarra:

Tabla 3.21 Comparativa entre ciclo urbano Ibarra y ciclo ECE

Detalles	Autonomía Urbana	Consumo Urbano
Ciclo ECE	80.45 km	75.82 Wh/km
Según la simulación Urbano - Ibarra	73.15 km	83.39 Wh/km
Variación %	9.07 %	9.98 %

3.8.4 AUTONOMÍA FABRICANTE Y ENSAYO REAL IBARRA

Las condiciones para cumplirse en este apartado, fue necesario realizar una estimación perteneciente únicamente al ciclo urbano del ensayo real realizado en la ciudad de Ibarra con el vehículo.

En la tabla 3.23 se representa las condiciones reales de autonomía del vehículo, las cuales son evaluadas con los términos técnicos del fabricante.

Tabla 3.22 Comparativa. Fabricante versus ciclo real urbano Ibarra

Detalles	Autonomía Urbana	Consumo Urbano
Manual Renault Twizy	100 km	63 Wh/km
Según ciclo real Urbano - Ibarra	73.35 km	83.17 Wh/km
Variación %	26.75%	32.02 %

De la tabla anterior podemos analizar que existe una variación de autonomía del 26.75% y, una variación del consumo del 32.02% frente a los dos aspectos considerados.

CAPITULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Para determinar el estudio de los patrones de movilidad en la ciudad de Ibarra se desarrolló mediante el método de 4 etapas donde permitió la delimitación de rutas en la parte urbana de la ciudad en función de sus barrios, plazas, parroquias y lugares de atracción de viajes; donde se consiguió como resultado 4 rutas en lo cual unidas conforman la ruta de ensayo urbana que cuenta con una distancia de 17,3 km, y cuenta con lo establecido por el reglamento Ensayos de Conducción Real (RDE).
- Dentro del estudio de las rutas de tipo rural y de autopista, se concluyó que no requieren de la aplicación del método de 4 etapas, debido a que los sectores y vías son delimitadas por el cual no representan un esquema complicado de movilidad. La distancia para la ruta rural fue de 17,6 km y de 20 km en la autopista, cumpliendo en las dos lo indicado por el Reglamento Ensayos de Conducción Real (RDE).
- Dentro de la caracterización del vehículo fue importante el desmontaje del tren de potencia debido a que los parámetros internos de la batería, el número de dientes de los engranajes de la transmisión, el tipo de controlador, son detalles específicos e importantes para el modelado vehicular y presentan escasas de información.
- Para los valores que limitan la autonomía y el funcionamiento del vehículo se determinó que cuando tenemos un ángulo de pendiente de 3.12° presenta una resistencia por pendiente de 335 N lo que inciden en una variabilidad de hasta un 22 % de velocidad entre las diferentes rutas, y en el estado de carga de hasta un 23 % afectando directamente a la autonomía (km) del EV. Por otro lado la resistencia aerodinámica es proporcional a la velocidad obteniendo en 80 km/h una resistencia 284,9 N.

- Se concluyó que al analizar la simulación se determinó que en el ciclo urbano existió una mayor descarga del SOC de un 38,5 % en 18,9 km de autonomía siendo entre las 3 rutas el más alto valor de descarga debido a las exigencias que presenta el ciclo urbano. Además para la ruta autopista se determinó que no tiene mayor alteración de descarga debido a que el vehículo presenta un buen desempeño en suelos asfaltados donde la $\mu_r = 0.01$ y por lo tanto el SOC fue de 19,8 % obteniendo el menor porcentaje de variación.
- De acuerdo con las variaciones existentes entre el ensayo real y la simulación es de un 20% y se debe a factores como la pendiente en un 5%, ya que se tomó un valor promedio del mismo lo que en la realidad fluctúa, el coeficiente de rodadura en un 10%, por tomar un número constante lo cual es fluctuante en condiciones reales y la aerodinámica en un 5%, ya que no se tomó en consideración que el vehículo no contaba con espejos laterales.
- Al evaluar las investigaciones se comprendió que las variaciones de porcentajes entre velocidades, soc y autonomía, son correspondientes a factores como la resistencia a la rodadura, la pendiente y la aerodinámica. Cuando existen valores alternables de 0,01 a 0,06 de resistencia a la rodadura, incrementan los porcentajes de SOC y autonomía hasta un 32 %, lo cual limita la autonomía en un 23 %.

4.2 RECOMENDACIONES

- Utilizar el modelo clásico de las 4 etapas del Sistema de transporte y movilidad, es uno de los varios métodos que permiten determinar el comportamiento poblacional dentro de una ciudad y de esta manera conocer la demanda de usuarios, generación de viajes, distribución de viajes, partición modal y asignación de rutas en cuanto se refiere a estudios de Patrones de Movilidad.
- Se recomienda para estudios futuros aumentar un analizador específico de corriente para el EV mayor a 50 voltios y mayor a 150 amperios el cual permita medir y obtener los parámetros más precisos del comportamiento de la batería y del controlador.
- Dentro de la parametrización del vehículo es recomendable el desmontaje de diferentes partes del tren motriz con el objetivo de obtención de valores reales con las que cuenta en la transmisión, el motor, el controlador y el paquete de baterías teniendo en cuenta los protocolos de seguridad eléctrica.
- En investigaciones futuras se recomienda la utilización de la Librería Simscape de Simulink, ya que cuenta con una gran gama de sistemas de bloques electrónicos y eléctricos con respecto modelado de vehículos eléctricos que permiten modelar el tren de potencia de manera más realista al vehículo físico, y además que su introducción de parámetros permite diseñar el tren de potencia de acuerdo con las necesidades que requiera un ciclo de conducción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Antonio Serra Palerm, A. (2015). Estudio del Impacto en el Análisis de ciclo de vida de dar o no una segunda vida a las baterías de Vehículos eléctricos. Grado En Ingeniería de Tecnologías Industriales, UPC, 70.
2. Bitar, Z., & Al Jabi, S. (2014). Studying the Performances of Induction Motor Used in Electric Car. *Energy Procedia*, 50, 342–351. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.041>
3. Castro Mediavilla, J. J., Orbea Hinojosa, L. X., Toapaxi Csanoba, J. A., & Guano Calvache, C. A. (2017a). Análisis de incentivos y proyecciones del vehículo 100% eléctrico en el ecuador. *INNOVA Research Journal*, 2(4), 112–124. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n4.2017.243>
4. Castro Mediavilla, J. J., Orbea Hinojosa, L. X., Toapaxi Csanoba, J. A., & Guano Calvache, C. A. (2017b). Análisis de incentivos y proyecciones del vehículo 100% eléctrico en el ecuador. *INNOVA Research Journal*, 2(4), 112–124. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n4.2017.243>
5. Cerero, D. (2015). Simulador de vehículos eléctricos en MATLAB. XXXVI Jornadas de Automática, 2–4.
6. Cuesta, G. (2017). Caracterización del tren de potencia de un vehículo eléctrico de categoría L7 tipo Smart.
7. De, A., Xavier, L., & Hinojosa, O. (2017). Ecuador” “Analysis of incentives and projections of the 100 % electric vehicle in Ecuador” *Materiales y Métodos*. 2(4), 112–124.
8. Delgado, M., & Camargo, M. (2013). UNIVERSIDAD DE CUENCA - TESIS.pdf. *Artículo Ecuador*, 1(5), 1–127.
9. Deloitte. (2017). New market. New entrants. New challenges. *Battery Electric Vehicles*. 5.
10. Díez, P. (2019a). Principios básicos del vehículo eléctrico. 1–77.
11. Díez, P. (2019b). Principios básicos del vehículo eléctrico. 1–77.
12. Duque, D. A., & Rocano, J. A. (2017). Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico mediante ciclos controlados. 167.
13. El Vehículo Eléctrico. Desafíos tecnológicos, infraestructuras y ... - Sociedad de Tecnicos de Automocion (STA) - Google Libros. (n.d.). Retrieved October 11, 2021, from <https://books.google.com.ec/books?id=z6VIQmSodD8C&printsec=frontcover&dq>

=inauthor:%22Sociedad+de+Tecnicos+de+Automocion+(STA)%22&hl=es&sa=X
&redir_esc=y#v=onepage&q&f=true

14. Emiro Diez, A., & Yepes, O. (2018). Aplicativo para el dimensionamiento de un sistema de tracción eléctrica. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3809.2960>
15. Falcón, S., Tacoronte, V., & Santana, G. (2016). La movilidad urbana sostenible y su incidencia en el desarrollo turístico. *Gestión y Ambiente*, 19(1), 48–62.
16. Gen4 Applications Reference Manual. (n.d.). www.sevcon.com
17. Gestión de la producción. (2008).
18. Hariyati, 2017. (2017). Инновационные подходы к обеспечению качества в здравоохранении. *Вестник Росздравнадзора*, 6, 5–9.
19. Ilustre Municipalidad de Santiago. (2015). Plan Integral de Movilidad.
20. Ioannis Tsiropoulos, Dalius Tarvydas, & Natalia Lebedeva. (2018). Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications - Scenarios for costs and market growth . <https://doi.org/10.2760/8717>
21. Irene, E., Farnham, J., De, A. C., & Jaimez, E. I. (2019). Análisis comparativo de elementos del tren de potencia de vehículos eléctricos de clase m y n.
22. Jaimurzina, A., Salas, G. P., & Sánchez, R. J. (2015). Políticas de logística y movilidad para el desarrollo sostenible y la integración regional. *Naciones Unidas Cepa*, 75.
23. Jáuregui Huayapa, F. (2020). Regulación legal sobre la contaminación sonora producida por los medios de transporte público y privado en la ciudad de Juliaca. *Revista De Derecho*, 1(2), 29–38. <https://doi.org/10.47712/rd.2014.v1i2.3>
24. 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*, 106, 329–342. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.075>
25. Leonardo, F., & Estrella, L. (2018). Implementación y uso de autos eléctricos en el transporte público y su impacto en la red de distribución, *Loja* 2017. 130.
26. Liu, W., Liu, H., Liu, W., & Cui, Z. (2021). Life cycle assessment of power batteries used in electric bicycles in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 139(October 2020), 110596. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110596>
27. Lo último en baterías para coches eléctricos: 650km de autonomía real. (n.d.). Retrieved March 15, 2021, from <https://www.xataka.com/automovil/esto-sera-lo-proximo-en-baterias-para-coches-electricos-mas-de-650-km-de-autonomia-real>
28. Macció, Á. S. T. (2018). Comparativa del Renault Twizy con diferentes trenes de potencia.
29. Madariaga, J., & Tekniker, F. (n.d.). Deliverable 4.1 Electric Drive Specifications Document title: Electric Drive Specifications.

29. Maiti, & Bidinger. (1981). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
30. Maria Goreti usboko. (2018). Title. *Gastrointestinal Endoscopy*, 10(1), 279–288.
31. No Title. (2017).
32. Onat, N. C., Kucukvar, M., & Afshar, S. (2019). Eco-efficiency of electric vehicles in the United States: A life cycle assessment based principal component analysis. *Journal of Cleaner Production*, 212, 515–526. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.058>
33. Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). *Temas Habitat III - Transporte y movilidad*.
34. Padilla-Padilla, C. A., Buenaño-Moyano, L. F., Cuaical-Angulo, B. A., Ramos-Flores, J. M., Sánchez-Chávez, L. H., & Caicedo-Reyes, J. I. (2018). Aplicación del grafeno en baterías para vehículos eléctricos. *Polo Del Conocimiento*, 3(6), 307. <https://doi.org/10.23857/pc.v3i6.579>
35. Pañero, E. (2019). *Mecánica y electrónica A*.
36. Pinto, L., & Sigchos, F. (2020). *SIMULACIÓN MEDIANTE SIMULINK DE UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL HÍBRIDO EN UN CICLO WLTC Escuela* (Vol. 3, Issue 2017).
37. Presente y futuro de las tecnologías verdes: Contribuciones desde la ... - Google Libros. (n.d.). Retrieved March 17, 2021, from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2uYHEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA95&dq=seat+toledo+coche+electrico+historia+2020+pdf&ots=iRFBYMi7-E&sig=s3MhdGZSg0bfuFExl4KzF1uSZOI#v=onepage&q&f=false>
38. Rado, G. R. Di, & Devincenzi, G. H. (2016). Modelo de Simulación de Desaceleración de un Vehículo de Paseo Terrestre Utilizando Freno por Fricción. *Mecánica Computacional*, 34(39), 2755–2766.
39. Ramírez, J. (2017). Estudio de la dinámica de tracción de un vehículo eléctrico. 33.
40. Renault. (2020). Renault Twizy. 11,18. <https://www.renault.de/elektrofahrzeuge/twizy.html>
41. Sanchez Yunga, L. P., & Zuñiga Guzhñay, A. P. (2018). Análisis de la contaminación de gases de vehículos tipo L1 y L3, mediante el muestreo de emisiones para la determinación de niveles de contaminación en la ciudad de Loja.
42. Schallenberg, J. C., Gonzalo, R., Izquierdo, P., Hernández Rodríguez, C., Unamunzaga, P., Ramón, F., Déniz, G., Díaz, M., Delia, T., Pérez, C., Martel Rodríguez, G., Pardilla, J., Vicente, F., & Ortin, S. (n.d.). *Energías renovables y eficiencia energética*.
43. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida*. 84. http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf

44. Structures, M. B. (n.d.). No title.
45. Symposium, E., Underwater, O. N., Symposium, E., & Sustainable, O. N. (n.d.). ENCUENTRO IBÉRICO DE ACÚSTICA ACOUSTICS TRAMO EXPERIMENTAL CON ALTO CONTENIDO EN POLVO.
46. Técnica, U., & Norte, D. E. L. (2020). Universidad técnica del norte.
47. Todos, L. S. De. (n.d.). Guía del Vehículo Eléctrico II.
48. Toledo, S., Seat, E., Ibiza, S., Seat, E., Toledo, S., Polo, V., & Ibiza, S. (2021). Seat Toledo : historia y antecedentes - 2 de 3 : Seat Córdoba. 2–4.
49. Universidad politécnica de valencia. (2020).
50. Vozzi Lucas, & Acquaviva Luciano. (2017). Modelización Del Sistema De Transporte De Rosario. *Mecánica Computacional*, XXX, 2891–2903.
51. Yuksel, T., & Michalek, J. J. (2015). Effects of regional temperature on electric vehicle efficiency, range, and emissions in the united states. *Environmental Science and Technology*, 49(6), 3974–3980. <https://doi.org/10.1021/es505621s>
52. Zacatenco, U. (2013). T e s i s.
53. Zhou, T., Roorda, M. J., MacLean, H. L., & Luk, J. (2017). Life cycle GHG emissions and lifetime costs of medium-duty diesel and battery electric trucks in Toronto, Canada. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 55, 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.06.019>
54. 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*, 89(March), 292–308. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.002>
55. Zuñiga, V. A. (2014). Tesis PUCP - PROPUESTA DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO PARA USO PRIVADO EN LIMA METROPOLITANA. Tesis PUCP, 96

ANEXOS

ANEXO I

FORMATO DE ENCUESTA PARA DETERMINAR EL ORIGEN Y DESTINO DE LA POBLACION DE IBARRA

Encuesta origen destino de la población de la ciudad de Ibarra	
Por favor, responda a las siguientes preguntas referentes a viajes realizados en los últimos 7 días:	
Describa el viaje que usted haya realizado entre semana (lunes a viernes).	
1. Seleccione el sector de origen de su viaje	2. Seleccione el sector de destino de su viaje
3. ¿Cuántas veces entre semana (lunes a viernes) realizó el recorrido antes descrito?	4. ¿Cuál fue el propósito del viaje?
a) Una sola vez	a) Estudios
b) 2 veces	b) Compras
c) 3 veces	c) Atención médica, salud
d) 4 veces	d) Trabajo
e) 5 o más veces	e) Visitar amigos o familiares
	f) Ocio, recreación, vacaciones
5. ¿Qué medio de transporte utilizó para desplazarse?	6. ¿Ha realizado algún viaje el fin de semana (sábado y domingo)?
a) Vehículo particular	a) Si
b) Autobús	b) No
c) Taxi	
Describa el viaje que usted haya realizado el último fin de semana.	
7. Seleccione el sector de origen de su viaje	8. Seleccione el sector de destino de su viaje
9. ¿Cuántas veces (en el fin de semana) se realizó el recorrido antes descrito?	10. ¿Cuál fue el propósito del viaje?
a) Una sola vez	a) Estudios
b) 2 o más veces	b) Compras
	c) Atención médica, salud
	d) Trabajo
	e) Visitar amigos o familiares
	f) Ocio, recreación, vacaciones
11. ¿Qué medio de transporte utilizó para desplazarse?	12. ¿Además del viaje antes descrito, ha realizado alguno más en los últimos 7 días?
a) Vehículo particular	a) Si
b) Autobús	b) No
c) Taxi	
Describa el viaje que usted haya realizado en los últimos 7 días.	
13. Seleccione el sector de origen de su viaje	14. Seleccione el sector de destino de su viaje
15. ¿Cuántas veces a la semana se realizó el recorrido antes descrito?	16. ¿Cuál fue el propósito del viaje?
a) 1 sola vez	a) Estudios
b) 2 veces	b) Compras
c) 3 veces	c) Atención médica, salud
d) 4 veces	d) Trabajo
e) 5 veces	e) Visitar amigos o familiares
f) 6 veces	f) Ocio, recreación, vacaciones
g) 7 veces o más	
17. ¿Qué medio de transporte utilizó para desplazarse?	
a) Vehículo particular	
b) Autobús	
c) Taxi	

Figura AI.1. Modelo de la encuesta aplicada la ciudad de Ibarra

ANEXO II

UTILIZACION DEL GPS GL-770

GENERAL	DESCRIPCIÓN
Chip GPS	SiRFstarV, Soporte de GPS y GLONASS
Frecuencia	GPS: 1575.42 ± 1.023MHz, GLONASS: 1602 ± 5MHz
RENDIMIENTO	DESCRIPCIÓN
Exactitud	<3m CEP, sin aid 2.5m DGPS (WAAS, EGNOS, MSAS)
Tiempo de readquisición	<1s
TTF	35/30/1s para el arranque en frío/normal/caliente respectivamente
Sensibilidad	Adquisición: -14 7 dBm máx. / Seguimiento: -165 dBm máx.
DINÁMICA	DESCRIPCIÓN
Altura	<60,000 Ft.
Velocidad	<1,000 nudos.
Aceleración	4g máx.
INTERFAZ	DESCRIPCIÓN
Velocidad de transmisión	115200 bps (predeterminado)
Protocolos	NMEA 0183 v3.01. Soporta GGA, GSA, GSV, RMC (predeterminado); GLL, VTG (opcional)
PUENTE USB	DESCRIPCIÓN
Modelo	USB 2.0
Velocidad de datos	12 Mbps
Conector	Tipo A hembra
BLUETOOTH INTELIGENTE	DESCRIPCIÓN
Frecuencia / número de canal	2402-2480 MHz / 40 canales
Tipo de modulación	Bluetooth 4.0 (GFSK)
LNS	Velocidad, Distancia, Latitud, Longitud, Elevación, Rumbo, Tiempo de balanceo, Hora UTC.
Frecuencia de salida	1 Hz o 5 Hz
REGISTRO DE DATOS	DESCRIPCIÓN
Memoria	64 Mbit
Waypoints	250,000 (predeterminado) o más
Dato de registro	Fecha, Hora, Fijar válido, Fijar válido, Latitud, Longitud, Velocidad, RCR, Registro de datos GPS por intervalo de tiempo / distancia / límite de velocidad.
Frecuencia de actualización	1-5 Hz
POTENCIA	DESCRIPCIÓN
Entrada de voltaje	A través del conector USB tipo A, 5 V ± 5%
Batería	Batería recargable Li-Polymer
Tiempo de operación	35 horas
AMBIENTE	DESCRIPCIÓN
Temperatura de operación	-10°C a +60°C
Temperatura de almacenamiento	-20°C a +60°C
Cargando	-0°C a +45°C
Humedad relativa	20% - 80% R.H. sin condensación
Impermeable	IPX3 a prueba de agua
FÍSICO	DESCRIPCIÓN
Dimensión	52 x 82 x 19mm

Figura AII.1. Características del datalogger GL - 770

ANEXO III
DATOS DEL TREN DE POTENCIA

	Motor	Gearbox	Drive-train (drive-train+gearbox)
Weight	37 kg	11.3 kg	48.3 kg
Volume	13.1 (D250.L270)	11 l (192x160x358)	24 l
Power Torque, Speed	S1: 8 kw. 2100 rpm. 36 Nm) S2: 60s 12kw. 2100 rpm. 57 Nm	.	S1: 8 kw. 2100 rpm. 36 Nm) S2: 60s 12kw. 2100 rpm. 57 Nm
Efficiency	83% (*)	96%	80% (*)

Figura AIII.1. Características de motor de tracción y transmisión

ANEXO IV

REPRESENTACION DEL MODELADO VEHICULAR

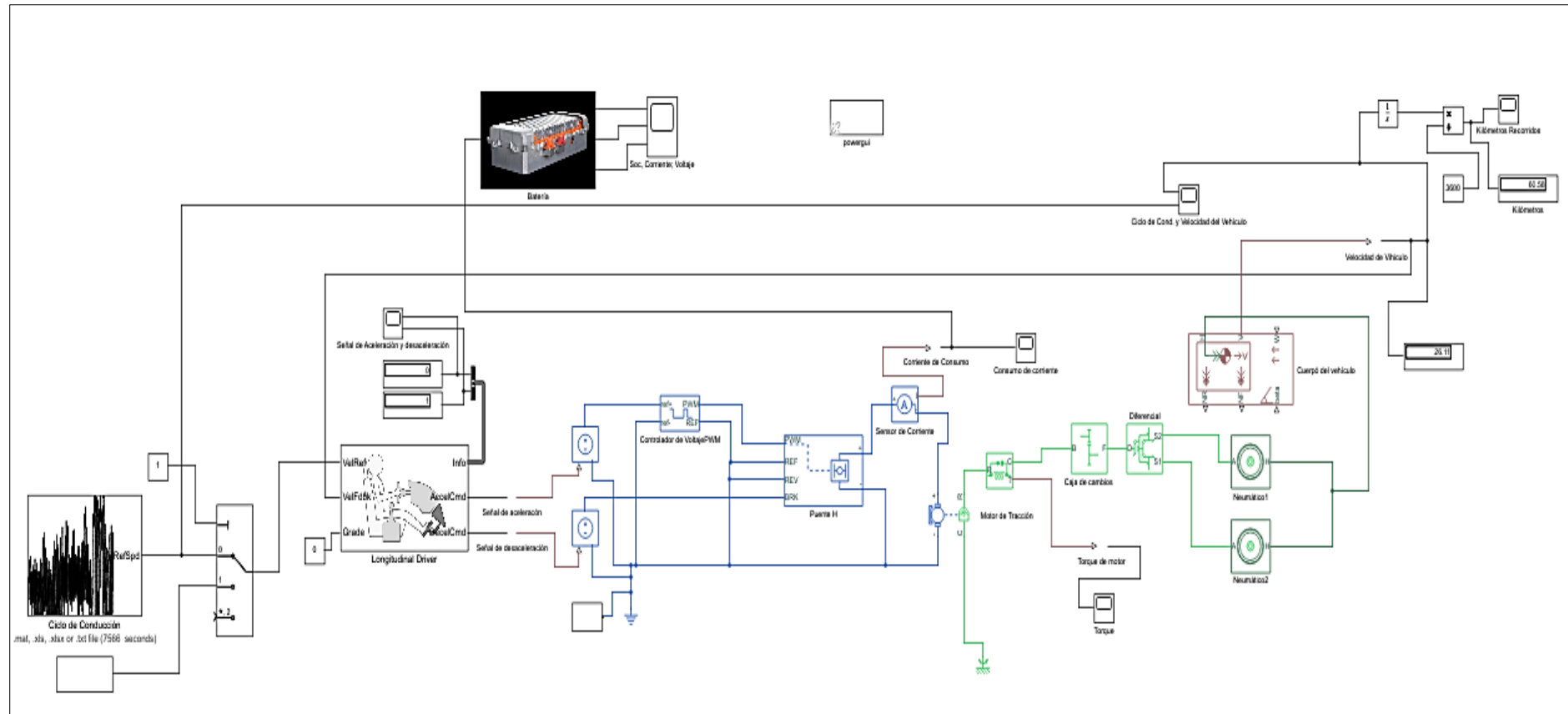


Figura IV.1. Representación final del simulador desplegado