



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

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

**TEMA: MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE UN TREN MOTRIZ  
PARA CHASIS TUBULAR DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO  
MONOPLAZA TIPO NEV PARA PERSONAS PARAPLÉJICAS**

**AUTOR: FRANCISCO XAVIER ROSERO JARAMILLO**

**DIRECTOR: ING. DAVID SEBASTIÁN PUMA BENAVIDES MSc., PhD. (c)**

**IBARRA-ECUADOR**

**JULIO 2022**



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

### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100285058-2		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	ROSERO JARAMILLO FRANCISCO XAVIER		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ibarra, Francisco de Goya 1-40 y Luis Felipe Borja		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:fxroseroj@utn.edu.ec">fxroseroj@utn.edu.ec</a>		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062955881	<b>TELÉFONO MÓVIL</b>	0969987282

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE UN TREN MOTRIZ PARA CHASIS TUBULAR DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO MONOPLAZA TIPO NEV PARA PERSONAS PARAPLÉJICAS
<b>AUTOR (ES):</b>	ROSERO JARAMILLO FRANCISCO XAVIER
<b>FECHA:</b>	1 de julio de 2022
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero en Mecatrónica
<b>ASESOR/DIRECTOR:</b>	Ing. David Sebastián Puma Benavides MSc., PhD. (c)

## 2. CONSTANCIA

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

Ibarra, a los 28 días del mes de julio de 2022

### AUTOR:



---

Firma

Francisco Xavier Rasero Jaramillo

C.I.: 100285058-2



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CERTIFICACIÓN**

En calidad de director del trabajo de grado titulado “MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE UN TREN MOTRIZ PARA CHASIS TUBULAR DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO MONOPLAZA TIPO NEV PARA PERSONAS PARAPLÉJICAS”, certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Señor Francisco Xavier Rosero Jaramillo para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica bajo mi dirección.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

*SEBASTIÁN*

Ing. David Sebastián Puma Benavides MSc., PhD. (c)

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO**

## DEDICATORIA

A Dios, por brindarme salud y por medio de la fe y la perseverancia poder llevar a cabo mis metas y cumplir uno de mis más grandes objetivos.

A la Virgen María, por ser mi amparo y protección divina siendo mi luz, mi guía y motivación para ser una persona íntegra y con valores humanos.

A mis abuelitos maternos, Juan Jaramillo y María Sevilla, por ser mis segundos padres siendo mi fortaleza e inspiración, estando presentes con sus consejos llenos de sabiduría, su apoyo incondicional e incluso desde el cielo derramando mucho amor sobre mí.

A mi madre, Lucía Jaramillo, por ser una mujer fuerte llena de amor y valentía que además de luchar por sus ideales siempre ha custodiado el bienestar y sueños de sus hijos demostrando que con entereza y disciplina se puede forjar una vida mejor.

A mis hermanos, Santiago David, Miguel Ángel y Carlos Gabriel, por ser la mejor compañía durante mi travesía académica y de toda la vida siendo incondicionales con su apoyo en los buenos o malos momentos de la vida estando presentes con una gran sonrisa.

FRANCISCO XAVIER ROSERO JARAMILLO

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios y la Virgen María por concederme el temple necesario para llevar a cabo con mis objetivos, trazarme nuevas metas y la dicha de disfrutar cada día de la compañía de mi familia.

A mi tutor de tesis, MSc. Sebastián Puma, por ser más que un consejero, por la paciencia mostrada y encaminarme correctamente proporcionándome todos sus conocimientos para la ejecución del presente trabajo de grado.

A mis cotutores, MSc. Víctor Erazo y MSc. Diego Ortiz, que por medio de sus consejos y experiencia poder mejorar en mis conocimientos académicos y la realización del trabajo de tesis.

A la Universidad Técnica del Norte, la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica y cada uno de sus docentes por ser un gran sustento a lo largo de la evolución en mi aprendizaje y ser partícipes en la culminación de esta meta personal.

A mi familia, quienes siempre han estado a mi lado brindándome todo su amor y su apoyo siendo un pilar fundamental en cada aspecto a lo largo de mi vida convirtiéndome en una persona de valores y de bien.

FRANCISCO XAVIER ROSERO JARAMILLO

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	XVII
ABSTRACT .....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
CAPÍTULO I.....	1
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	1
1.1. OBJETIVOS.....	1
1.1.1. OBJETIVO GENERAL.....	1
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	1
1.3. ALCANCE.....	3
1.4. ANTECEDENTES.....	4
1.5. CONCEPTO DE VEHÍCULO ELÉCTRICO Y SU HISTORIA .....	6
1.6. TIPOLOGÍA DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.....	8
1.7. ELEMENTOS PRINCIPALES QUE CONFORMAN EL AUTOMÓVIL ELÉCTRICO.....	9
1.7.1. TOMA DE CORRIENTE AC DE RED .....	10
1.7.2. CARGADOR A BORDO .....	10
1.7.3. BATERÍA DE TRACCIÓN .....	11
1.7.3.1. Sistema de Gestión de la Batería.....	12
1.7.4. CONVERTIDOR DE CORRIENTE E INVERSOR.....	13
1.7.5. MOTOR ELÉCTRICO .....	13
1.7.5.1. Motores en rueda.....	14
1.7.5.2. Unidad de control del motor .....	15
1.7.6. TRANSMISIÓN .....	15
1.7.7. BATERÍA AUXILIAR.....	16
1.7.8. UNIDAD CENTRAL DE CONTROL.....	16
1.8. RECARGA DE LOS AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS.....	17
1.8.1. INFRAESTRUCTURA .....	17
1.8.2. TIEMPO DE CARGA .....	18
1.8.3. ESTANDARIZACIONES.....	18

1.8.4.	MODOS DE CARGA.....	19
1.8.4.1.	Modo 1 .....	19
1.8.4.2.	Modo 2 .....	20
1.8.4.3.	Modo 3 .....	20
1.8.4.4.	Modo 4 .....	20
1.8.5.	CONECTORES DE CARGA.....	21
1.8.5.1.	Conector SAE J1772.....	21
1.8.5.2.	Conector de Sistema de Carga Combinada.....	22
1.8.5.3.	Conector IEC 62196 Tipo 2.....	22
1.8.5.4.	Conector Mennekes CCS.....	23
1.8.5.5.	Conector CHAdeMO .....	23
1.8.5.6.	Conector Tesla .....	24
1.9.	CICLOS DE MANEJO .....	24
1.9.1.	CICLO ECE 15 .....	25
1.9.2.	CICLO FTP-72 .....	26
1.9.3.	CICLO JP 10 MODE.....	27
	CAPÍTULO II.....	28
2.	MARCO METODOLÓGICO .....	28
2.1.	ELEMENTOS Y CARACTERÍSTICAS.....	28
2.1.1.	TIPOS DE INVESTIGACIÓN .....	28
2.1.2.	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	29
2.2.	DINÁMICA LONGITUDINAL DEL VEHÍCULO.....	30
2.2.1.	MATEMATIZACIÓN DE LA DINÁMICA LONGITUDINAL .....	31
2.2.1.1.	Arrastre Aerodinámico.....	32
2.2.1.2.	Resistencia a la Rodadura .....	33
2.2.1.3.	Fuerza en Pendiente .....	34
2.2.1.4.	Fuerza Neta .....	35
2.2.1.5.	Fuerza a la Tracción Total .....	36
2.2.1.6.	Cálculo del Torque máximo.....	36
2.2.1.7.	Potencia Mecánica .....	37
2.2.1.8.	Potencia Eléctrica.....	37
2.2.1.9.	Pendiente superable.....	38
2.2.1.10.	Modelo de la batería de tracción .....	38



2.3.	INTEGRACIÓN Y SIMULACIÓN DE LA DINÁMICA DEL VEHÍCULO EMPLEANDO MATLAB®/SIMULINK®.....	39
2.3.1.	<i>BACKWARD FACING VEHICLE MODEL</i> .....	39
2.4.	ANÁLISIS EN EL SOFTWARE MATLAB®/SIMULINK® .....	41
2.4.1.	SIMULACIÓN CON BASE EN EL CICLO DE MANEJO MODO 10 JAPONÉS ( <i>JAPANESE 10 MODE</i> ) .....	41
2.4.1.1.	Velocidad .....	41
2.4.1.2.	Aceleración .....	42
2.4.1.3.	Fuerza a la Tracción Total .....	43
2.4.1.4.	Torque .....	43
2.4.1.5.	Potencia Mecánica .....	44
2.4.1.6.	Potencia Eléctrica.....	45
2.4.1.7.	Pendiente superable.....	45
2.4.1.8.	Energía .....	46
2.4.1.9.	Corriente.....	47
2.4.1.10.	Voltaje respecto al tiempo.....	47
2.4.1.11.	<i>SOC</i> respecto al tiempo.....	48
2.5.	DIMENSIONAMIENTO DEL CABLEADO NECESARIO .....	49
2.5.1.	CAÍDA DE TENSIÓN MÁXIMA .....	49
2.5.2.	CONDUCTIVIDAD EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL CONDUCTOR Y DEL MATERIAL.....	50
2.5.3.	SECCIÓN MÍNIMA DEL CONDUCTOR POR INTENSIDAD Y CAÍDA DE TENSIÓN.....	51
	CAPÍTULO III .....	52
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	52
3.1.	INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE MASA Y PENDIENTE EN DIFERENTES PARÁMETROS DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO.....	52
3.1.1.	INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE MASA Y PENDIENTE EN LA FUERZA A LA TRACCIÓN TOTAL.....	53
3.1.2.	INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE MASA Y PENDIENTE EN EL TORQUE.....	53
3.1.3.	INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE MASA Y PENDIENTE EN LA VELOCIDAD MÁXIMA DEL VEHÍCULO .....	54

3.1.4. INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE MASA EN LA ENERGÍA REQUERIDA POR LA BATERÍA.....	55
3.1.5. INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE MASA EN EL SOC (SIN FRENO REGENERATIVO Y CON FRENO REGENERATIVO) .....	56
3.2. SELECCIÓN COMPONENTES DEL TREN MOTRIZ ELÉCTRICO.....	57
3.2.1. SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO .....	58
3.2.2. SELECCIÓN DEL KIT DE CONVERSIÓN A VEHÍCULO ELÉCTRICO	
59	
3.2.2.1. Controlador .....	60
3.2.2.2. Otros componentes.....	61
3.3. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CARGA.....	61
CAPÍTULO IV .....	62
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	62
4.1. CONCLUSIONES .....	62
4.2. RECOMENDACIONES .....	63
BIBLIOGRAFÍA .....	64
ANEXOS .....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b>	Tiempos estimados de carga.....	18
<b>Tabla 1.2</b>	Tipos de carga según estándar IEC .....	19
<b>Tabla 1.3</b>	Parámetros principales del ciclo de manejo ECE 15 .....	25
<b>Tabla 1.4</b>	Parámetros principales del ciclo de manejo FTP-72 .....	26
<b>Tabla 1.5</b>	Parámetros principales del ciclo de manejo JP 10 MODE.....	27
<b>Tabla 2.1</b>	Especificaciones de diversos parámetros que intervienen en el vehículo .....	31
<b>Tabla 2.2</b>	Parámetros del paquete de baterías.....	40
<b>Tabla 3.1</b>	Matriz comparativa de masa y pendiente en diferentes parámetros del EV.....	52
<b>Tabla 3.2</b>	Matriz de selección del tipo de motor eléctrico.....	58
<b>Tabla 3.3</b>	Especificaciones del motor en cubo QSMOTOR 273 8000 W V4 .....	59
<b>Tabla 3.4</b>	Especificaciones del controlador Kelly KLS7218S .....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Evolución histórica de los EVs .....	7
<b>Figura 1.2</b> Tipos de Vehículos Eléctricos .....	8
<b>Figura 1.3</b> Esquema básico de un coche eléctrico .....	9
<b>Figura 1.4</b> Cargador de batería instalado en el propio EV .....	11
<b>Figura 1.5</b> Diagrama de un cargador de batería interno de un EV .....	11
<b>Figura 1.6</b> Comparación de tecnologías de almacenamiento entre la densidad de energía y la densidad de potencia.....	12
<b>Figura 1.7</b> Tipos de motores eléctricos para EVs.....	13
<b>Figura 1.8</b> Motor en rueda.....	14
<b>Figura 1.9</b> Diseño general de un sistema de control.....	15
<b>Figura 1.10</b> Transmisión de dos marchas del Porsche Taycan.....	16
<b>Figura 1.11</b> Esquema del flujo de energía en un vehículo eléctrico.....	17
<b>Figura 1.12</b> Conector SAE J1772.....	21
<b>Figura 1.13</b> Conector CCS .....	22
<b>Figura 1.14</b> Conector IEC Tipo 2.....	22
<b>Figura 1.15</b> Conector Mennekes CCS .....	23
<b>Figura 1.16</b> Conector CHAdeMO .....	23
<b>Figura 1.17</b> Conector Tesla .....	24
<b>Figura 1.18</b> Ciclo de manejo ECE 15 .....	25
<b>Figura 1.19</b> Ciclo de manejo FTP-72 .....	26
<b>Figura 1.20</b> Ciclo de manejo JP 10 MODE.....	27
<b>Figura 2.1</b> Metodología de desarrollo .....	30
<b>Figura 2.2</b> Fuerzas que actúan en el EV en una pendiente.....	30
<b>Figura 2.3</b> Esquema de bloque del modelo <i>backward facing vehicle</i> del vehículo eléctrico a realizar en MATLAB®/Simulink® .....	40
<b>Figura 2.4</b> Diagrama de velocidad respecto al tiempo .....	42
<b>Figura 2.5</b> Diagrama de Aceleración respecto al tiempo .....	42
<b>Figura 2.6</b> Diagrama de Fuerza a la tracción total respecto al tiempo .....	43
<b>Figura 2.7</b> Diagrama del Torque respecto al tiempo .....	44
<b>Figura 2.8</b> Diagrama de Potencia mecánica respecto al tiempo.....	44

<b>Figura 2.9</b> Diagrama de Potencia eléctrica respecto al tiempo .....	45
<b>Figura 2.10</b> Diagrama de Potencia del motor eléctrico @ 15° y velocidad del vehículo... 46	46
<b>Figura 2.11</b> Diagrama de Energía respecto al tiempo .....	46
<b>Figura 2.12</b> Diagrama de Corriente respecto al tiempo.....	47
<b>Figura 2.13</b> Diagrama de Voltaje respecto al tiempo .....	48
<b>Figura 2.14</b> Diagrama del SOC respecto al tiempo.....	48
<b>Figura 3.1</b> Influencia de la masa y pendiente en la Fuerza a la tracción total.....	53
<b>Figura 3.2</b> Influencia de la masa y pendiente en el Torque.....	54
<b>Figura 3.3</b> Influencia de la masa y pendiente en la Velocidad máxima del coche.....	55
<b>Figura 3.4</b> Influencia de la masa en la Energía requerida .....	56
<b>Figura 3.5</b> Influencia de la masa en el SOC .....	57

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO I</b> Nomenclatura para los diferentes grupos de ciclo de manejo .....	67
<b>ANEXO II</b> Modelamiento del tren motriz eléctrico en MATLAB®/Simulink® .....	68
<b>ANEXO III</b> Tabla de selección de diferentes calibres de cables eléctricos .....	69
<b>ANEXO IV</b> Motor QSMOTOR 2000W 205 45H V3 .....	70
<b>ANEXO V</b> Controlador Kelly KLS7218S .....	70
<b>ANEXO VI</b> Velocímetro .....	71
<b>ANEXO VII</b> Acelerador/freno de mano de coche eléctrico .....	71
<b>ANEXO VIII</b> Selector de marcha .....	72
<b>ANEXO IX</b> Sistema de dos unidades de freno de disco posterior .....	72

## LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS Y SIGLAS

<b>AC</b>	<i>Eng: (Alternating Current) – Esp: Corriente Alterna</i>
<b>BEV</b>	<i>Eng: (Battery Electric Vehicle) – Esp: Vehículo Eléctrico a Baterías</i>
<b>Biplaza</b>	Vehículo con capacidad únicamente para dos personas
<b>BLDC</b>	<i>Eng: (Brushless DC motor) – Esp: Motor DC Sin Escobillas</i>
<b>BMS</b>	<i>Eng: (Battery Management System) – Esp: Sistema de Gestión de la Bateria</i>
<b>CHAdEMO</b>	<i>Eng: (CHArge de MOve) – Esp: Carga para Moverse</i>
<b>CIME</b>	Carrera de Ingeniería en Mecatrónica
<b>CO</b>	Monóxido de Carbono
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>DC</b>	<i>Eng: (Direct Current) – Esp: Corriente Directa o Continua</i>
<b>E-car</b>	<i>Eng: (Electric Car) – Esp: Carro o Coche Eléctrico</i>
<b>ECE</b>	<i>Eng: (Economic Commission for Europe) – Esp: Comisión Económica para Europa</i>
<b>ECU</b>	<i>Eng: (Electronic Control Unit) – Esp: Unidad de Control Electrónica o Unidad Central de Control</i>
<b>ECVs</b>	<i>Eng: (Electrically Chargeable Vehicles) – Esp: Vehículos Cargables Eléctricamente</i>
<b>EREV</b>	<i>Eng: (Extended Range Electric Vehicle) – Esp: Vehículo Eléctrico de Rango Extendido</i>
<b>EV</b>	<i>Eng: (Electric Vehicle) – Esp: Vehículo Eléctrico</i>
<b>EVs</b>	<i>Eng: (Electric Vehicles) – Esp: Vehículos Eléctricos</i>
<b>FCEV</b>	<i>Eng: (Fuel Cell Electric Vehicle) – Esp: Vehículo Eléctrico con Pila de Combustible de Hidrógeno</i>
<b>FIA</b>	<i>Franç: (Federation Internationale de l'Automobile) – Esp: Federación Internacional del Automóvil</i>
<b>FTP</b>	<i>Eng: (Federal Test Procedure) – Esp: Procedimiento de Prueba Federal</i>
<b>HC</b>	Hidrocarburos

<b>HEV</b>	<i>Eng: (Hybrid Electric Vehicle)</i> – Esp: Vehículo Eléctrico Híbrido no enchufable
<b>ICCB</b>	<i>Eng: (In-Cable Control Box)</i> – Esp: Caja de Control en el Cable
<b>IEC</b>	<i>Eng: (The International Electrotechnical Commission)</i> – Esp: Comisión Electrotécnica Internacional
<b>ISA</b>	<i>Eng: (International Standard Atmosphere)</i> – Esp: Atmósfera Estándar Internacional
<b>LSV</b>	<i>Eng: (Low Speed Vehicle)</i> – Esp: Vehículo de Baja Velocidad
<b>MHEV</b>	<i>Eng: (Mild Hybrid Electric Vehicle)</i> – Esp: Vehículo Eléctrico Híbrido Suave
<b>NEV</b>	<i>Eng: (Neighborhood Electric Vehicle)</i> – Esp: Vehículo Eléctrico de Vecindario
<b>Ni-MH</b>	Níquel-Metal hidruro
<b>PHEV</b>	<i>Eng: (Plug in Hybrid Electric Vehicle)</i> – Esp: Vehículo Eléctrico Híbrido Enchufable
<b>PM</b>	<i>Eng: (Particulate Matter)</i> – Esp: Materia Particulada
<b>SAE</b>	<i>Eng: (Society of Automotive Engineers)</i> – Esp: Sociedad de Ingenieros Automotrices
<b>SOC</b>	<i>Eng: (State Of Charge)</i> – Esp: Estado de Carga
<b>UTA</b>	Universidad Técnica de Ambato
<b>UTN</b>	Universidad Técnica del Norte
<b>V AC</b>	<i>Eng: (Volts of Alternating Current)</i> – Esp: Voltios de Corriente Alterna
<b>V DC</b>	<i>Eng: (Volts of Direct Current)</i> – Esp: Voltios de Corriente Directa o Continua
<b>WLTP</b>	<i>Eng: (World Harmonized Light-duty Vehicle Test Procedure)</i> – Esp: Procedimiento Mundial de Test Armonizado para Vehículos Ligeros



## RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo trata de modelar y simular un tren motriz que estará destinado para una posterior implementación en un chasis con perfil tubular de un vehículo eléctrico monoplaza tipo NEV de uso urbano para personas parapléjicas.

Se inició con la investigación teórica con las diferentes metodologías y definir así el tren motriz, de potencia o de propulsión eléctrico. La herramienta computacional a elección fue el software MATLAB®/Simulink®, para el modelamiento y simulación se basó en el modelo vehicular *backward facing*.

Se realizó el cálculo matemático de la dinámica longitudinal con mediciones específicas del vehículo, con un coeficiente de arrastre de  $C_d = 0,67$ , área frontal  $A = 2,122 \text{ m}^2$ , pendiente máxima de  $15^\circ$  equivalente al  $26,795 \%$ , radio dinámico del neumático igual a  $r = 0,282 \text{ m}$ , relación de la caja de cambios  $\epsilon_j = 1$ , relación del diferencial  $\epsilon_d = 1$  y una masa de  $m = 325 \text{ kg}$  incluido el ocupante. Se empleó el ciclo de manejo Modo 10 japonés limitado a una velocidad máxima de  $35 \text{ km/h}$  y sus parámetros para calcular todas las fuerzas y potencias necesarias para el vehículo.

Se analizaron los resultados de la simulación proporcionando datos que permitieron seleccionar los componentes adecuados para el tren motriz, este consta de dos motores de cubo en rueda *hub motor* de  $2 \text{ kW}$  y de eficiencia  $0,84$  cada uno para tracción trasera con sus respectivos controladores, batería de litio de  $74 \text{ V}$  y capacidad nominal de  $30 \text{ A-h}$ .

El sistema carece de elementos mecánicos como diferenciales o caja de cambios permitiendo aligerar el peso obteniéndose una autonomía cercana a  $40 \text{ km}$  con  $65$  ciclos repetitivos del ciclo de manejo utilizado con un consumo energético del  $66,19 \%$  y un porcentaje de energía sobrante del  $33,81 \%$  como respuesta del SOC, esto sin sistema de freno regenerativo.

## ABSTRACT

The main objective of this work is to model and simulate a powertrain that will be intended for later implementation in a chassis with a tubular profile of a single-seater electric vehicle type NEV for urban use for paraplegic people.

Theoretical research was started with the different methodologies to define the electric powertrain. The computational tool of choice was MATLAB®/Simulink® software, based on the backward facing vehicle model for modeling and simulation.

The mathematical calculation of the longitudinal dynamics was performed with specific measurements of the vehicle, with a drag coefficient of  $C_d = 0.67$ , frontal area  $A = 2.122 \text{ m}^2$ , the maximum slope of  $15^\circ$  equivalent to 26.795 %, dynamic tire radius equal to  $r = 0.282 \text{ m}$ , gearbox ratio  $\varepsilon_j = 1$ , differential ratio  $\varepsilon_d = 1$  and a mass of  $m = 325 \text{ kg}$  including the occupant. The Japanese Mode 10 driving cycle was limited to a maximum speed of 35 km/h and its parameters were used to calculate all the forces and powers required for the vehicle.

The simulation results were analyzed providing data that allowed the selection of the appropriate components for the powertrain, which consists of two 2 kW hub wheel motors with an efficiency of 0.84 each for rear wheel drive with their respective controllers, 74 V lithium battery, and nominal capacity of 30 A-h.

The system lacks mechanical elements such as differentials or gearbox allowing to lighten the weight obtaining an autonomy close to 40 km with 65 repetitive cycles of the driving cycle used with an energy consumption of 66.19% and a percentage of energy surplus of 33.81% as the response of the SOC, this without regenerative braking system.

## INTRODUCCIÓN

Los vehículos eléctricos han tenido un gran impacto tanto a escala tecnológica como social siendo muy importantes en la reducción de emisiones de gases contaminantes contribuyendo a disminuir el calentamiento global y cambio climático, además de promover la eficiencia energética.

Estas tecnologías pueden ser aprovechadas por diversos grupos y es así como se propone el presente trabajo enfocado a las personas parapléjicas o usuarias de sillas de ruedas quienes puedan disponer de su medio de movilización disminuyendo la dependencia de transporte y elevando su autoestima como factores primordiales de colaboración en la sociedad.

En el primer capítulo hace referencia a la reseña bibliográfica o marco teórico, donde se detallan el objetivo general, objetivos específicos, la justificación, alcance, antecedentes del proyecto y se identifica la tipología de vehículos eléctricos, tipos de cargas, conectores y ciclos de manejo siendo el tipo de vehículo BEV o eléctrico puro el seleccionado con carga lenta empleando el ciclo de manejo Modo 10 japonés.

En el segundo capítulo se realiza la metodología que se llevará a cabo, la matematización de la dinámica longitudinal del tren motriz eléctrico para el vehículo y el modelamiento haciendo uso del software MATLAB®/Simulink® para el cálculo y simulación del proyecto.

El tercer capítulo es fundamental, donde se analizan los resultados obtenidos de la herramienta computacional seleccionada permitiendo así dimensionar y seleccionar los componentes adecuados del tren motriz eléctrico y visualizar el impacto de la variación de masa y pendiente en los parámetros del vehículo eléctrico.

Por último, en el capítulo se redactan las conclusiones y recomendaciones más relevantes, asimismo se proponen diversos trabajos futuros que pueden incorporarse o mejorar el presente trabajo de grado.

# CAPÍTULO I

## 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. OBJETIVOS

#### 1.1.1. OBJETIVO GENERAL

Modelar y simular un tren motriz adaptable para un chasis con perfil tubular para un vehículo eléctrico monoplaza utilitario tipo NEV para uso urbano de personas parapléjicas haciendo uso de herramientas computacionales para su correcta ejecución

#### 1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir los elementos necesarios que conformen el sistema de propulsión para el vehículo eléctrico monoplaza tipo NEV
- Dimensionar los componentes y diseñar el sistema motriz con los requerimientos necesarios para su funcionamiento empleando software MATLAB®/Simulink®
- Integrar el modelo matemático que represente todos los componentes del tren motriz en MATLAB®/Simulink®
- Realizar el análisis del consumo energético de la batería simulando diferentes parámetros y entornos de funcionamiento del vehículo utilitario tipo NEV

### 1.2. JUSTIFICACIÓN

Las tecnologías automotrices han crecido vertiginosamente, ahora inmiscuyéndose en el aspecto ambiental, integrando diferentes conceptos multidisciplinarios, donde el impacto hacia el ambiente se considera un factor primordial y, por ende, generando menos contaminación con nuevos transportes.

El presente estudio busca diseñar un tren motriz o de propulsión eléctrico, el cual será implementado a un chasis ya diseñado y construido de un vehículo tipo NEV para usuarios que utilicen sillas de ruedas, donde se persiga una reducción considerable en la emisión de partículas y gases nocivos para el ser humano y de efecto invernadero con respecto con vehículos con motores de combustión interna, igualmente sea funcional con las necesidades y requerimientos básicos propios de un vehículo eléctrico de carga mediante un enchufe, disminuyendo en lo posible su peso y aumentando la autonomía en una carga.

Además este trabajo se encuentra dentro de los Objetivos Nacionales del Ecuador, los cuales se encuentran regidos por el “Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una Vida” de Ecuador, haciendo referencia al Eje 1 “Derechos para Todos Durante Toda la Vida”, Objetivo 1 “Garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas”, en las políticas 1.2 “Generar capacidades y promover oportunidades en condiciones de equidad, para todas las personas a lo largo del ciclo de vida” y 1.5 “Fortalecer el sistema de inclusión y equidad social, protección integral, protección especial, atención integral y el sistema de cuidados durante el ciclo de vida de las personas, con énfasis en los grupos de atención prioritaria, considerando los contextos territoriales y la diversidad sociocultural” [1].

Igualmente, se hace énfasis en el Eje 2 “Economía al Servicio de la Sociedad”, Objetivo 5 “Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria”, en las políticas 5.2 “Promover la productividad, competitividad y calidad de los productos nacionales, como también la disponibilidad de servicios conexos y otros insumos, para generar valor agregados y procesos de industrialización en los sectores productivos con enfoque a satisfacer la demanda nacional y de exportación”, 5.3 “Fomentar el desarrollo industrial nacional mejorando los encadenamientos productivos con la participación de todos los actores de la economía”, 5.6 “Promover la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, la protección de la propiedad intelectual, para impulsar el cambio de la matriz productiva mediante la vinculación entre el sector público, productivo y las universidades” y 5.8 “Fomentar la producción nacional con responsabilidad social y ambiental, potenciando el manejo eficiente de los recursos naturales

y el uso de tecnologías duraderas y ambientalmente limpias, para garantizar el abastecimiento de bienes y servicios de calidad” [1].

Asimismo, se centra dentro de los trabajos realizados en la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica (CIME) de la Universidad Técnica del Norte (UTN), indagando en las líneas y sublíneas de investigación de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica, dentro de Prototipos Industrial que abarca Sistemas de control y potencia y Motores y actuadores [2].

### 1.3. ALCANCE

El desarrollo de los vehículos eléctricos promueve la movilidad sostenible aminorando la contaminación ambiental, como también impulsando al desarrollo de nuevas tecnologías acordes a la situación actual permitiendo una mejor calidad de vida.

Es así como para el diseño se estudiarán diversos elementos que mejor se adecúen para la integración del modelo matemático y posterior la simulación del tren motriz eléctrico modelado, también conocido como tren de potencia, tren de propulsión o *powertrain*, el cual conste de motores en la rueda o motores de cubo, también conocido en inglés como motor “*in wheel*” para su propulsión.

Además, se evaluará el tipo de batería a emplearse en el modelamiento, voltaje y corriente para los requisitos de manejo en una ciudad, se contrastarán las tecnologías distintas de las baterías realizando una comparativa costo-beneficio y seleccionar la que más se ajuste, asimismo la carga de baterías que sea mediante enchufe a tomacorriente sin ser un vehículo de rango extendido y sin poseer freno regenerativo.

Se empleará MATLAB®/Simulink® como software de diseño por sus excelentes prestaciones las cuales sirvan de complemento y posterior implementación del tren motriz.

El vehículo será tipo NEV por sus siglas en inglés, el cual no excederá la velocidad máxima permitida en la ciudad (inferior a 50 km/h) y con una autonomía máxima de 40 kilómetros el cual pueda recargarse diariamente mediante carga lenta durante la noche.

#### 1.4. ANTECEDENTES

Se estima que a nivel mundial se vendieron más de 91 millón de unidades en el año 2019 y se estima que se han superado las 1 400 millones de unidades existentes, lo que implica un vehículo cada seis habitantes emitiendo toneladas de gases y partículas contaminantes nocivas como son Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarburos (HC), Materia Particulada (PM), entre otros y emisión de CO<sub>2</sub> que no es contaminante del aire que respiramos, sin embargo, es un principal agente que contribuye al calentamiento global [3]–[5].

Los nuevos métodos de transporte, con energías más limpias, amigables con el ambiente y renovables, otorgan una mejor calidad de vida y aire más limpio, a su vez exhortando al crecimiento tecnológico y el aprovechamiento eficiente de la energía evitando porcentajes considerables de pérdidas energéticas de cualquier índole.

Existen varios trabajos para la aplicación y creación de vehículos y trenes motrices eléctricos elaborados por institutos, fábricas, empresas especializadas en proyectos tecnológicos entre otros, por ende, se tomarán los trabajos más significativos a nivel nacional e internacional que posean variables similares en un lapso de cinco años de antigüedad como máximo, estudios que servirán de aporte y orientación para la realización del diseño e implementación de tren motriz eléctrico.

En el estudio realizado por Rosero Vargas y López Balcazar “Diseño y construcción del sistema de propulsión para un prototipo de auto eléctrico BIPLAZA UTA-CIM17” se estableció su sistema de transmisión por cadena mostrando una velocidad máxima de 45,36 km/h con un motor eléctrico de 48 V a una velocidad de 2 800 RPM [6].

En otro trabajo por Luzuriaga Delgado titulado “Adecuación de un tren motriz de un *go kart* de combustión interna a una de propulsión eléctrica provista de baterías de Ni-MH” se evidenció la necesidad de utilizar un BMS que gestione la batería y el tipo de química de la batería a utilizar [7].

Según Morocho Ganzhi y Rivera Altamirano en el proyecto de titulación “Diseño e implementación del tren de propulsión eléctrico de un prototipo para la competencia Eco

Shell Marathon” se empleó un motor eléctrico Brushed Speed motor y se consiguió por medio de una transmisión accionada por cadena mejorar el rendimiento [8].

Como trabajos realizados a nivel internacional se tienen los siguientes estudios que servirán de apoyo para el presente proyecto.

En el trabajo de Liu y Feng *“Integrated Motor and Two-speed Gearbox Powertrain System Development for Electric Vehicle”* se utilizó el ciclo WLTP y desarrollando un nuevo sistema de propulsión eléctrico con sistema integrado con caja de cambios de dos velocidades permitiendo al motor funcionar en áreas de mayor eficiencia originando un ahorro de energía [9].

Según Dong et al., con el tema *“Calibration and optimization of an electric vehicle powertrain system”* comprobaron que la potencia mejora el rendimiento de la aceleración y la pendiente de ascenso, sin embargo, la velocidad cambia considerablemente al reducir la relación de transmisión disminuyendo el rendimiento de la escalada y la autonomía aumenta al aumentar la capacidad de la batería [10].

De acuerdo con Lei et al., en el artículo titulado *“A novel approach for electric powertrain optimization considering vehicle power performance energy consumption and ride comfort”* concluyeron que el consumo de energía es la principal preocupación en los vehículos con motores en las ruedas y el confort de conducción se puede optimizar para satisfacer el rendimiento del vehículo [11].

Por ende, con el presente trabajo se busca aportar al desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías renovables para un transporte sostenible para el ambiente, reduciendo notablemente material particulado, gases nocivos y de efecto invernadero generados por los combustibles fósiles, asimismo exhortar al desarrollo y cambio de la matriz energética del Ecuador, originando nuevos productos de carácter social y ecológico.



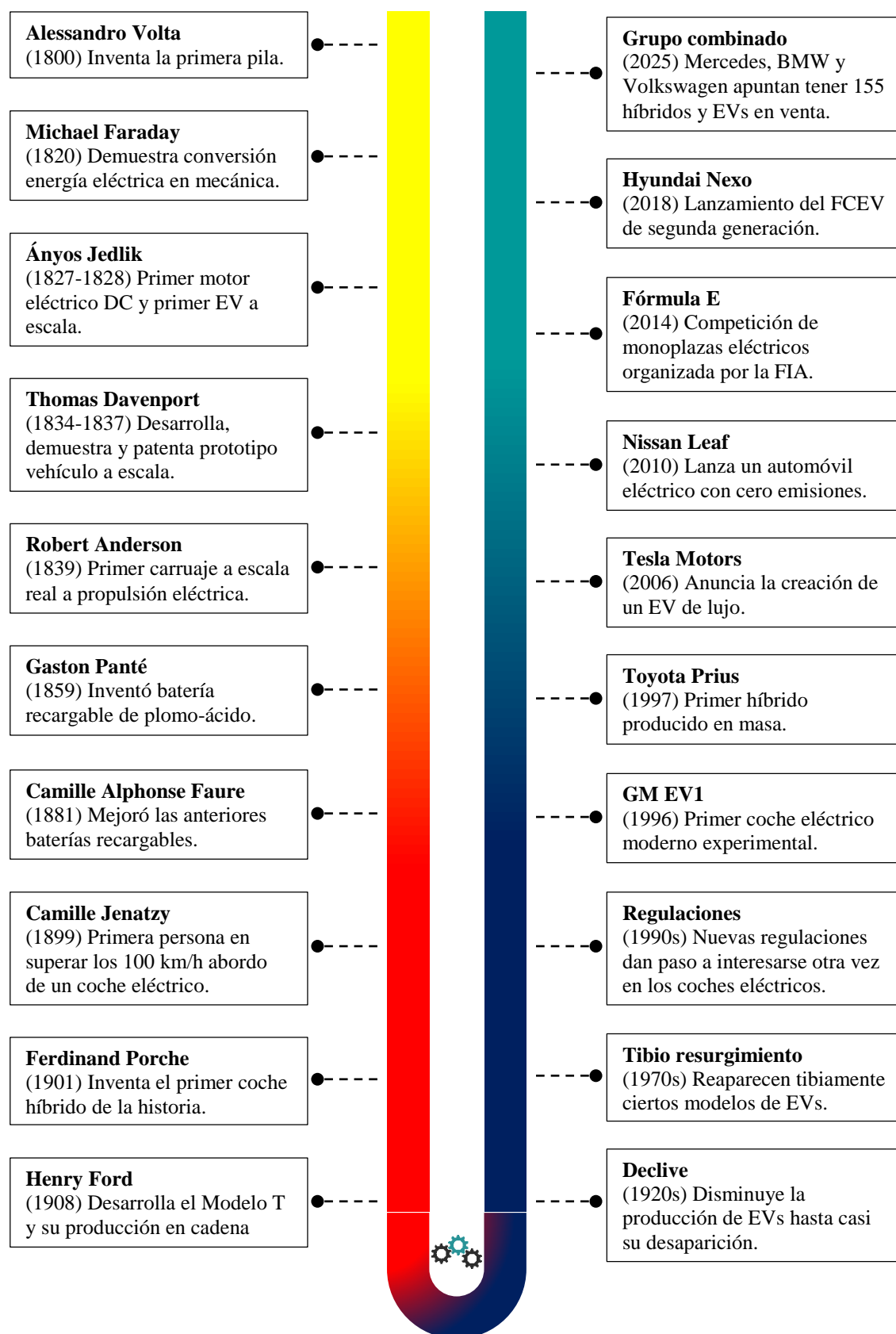
## 1.5. CONCEPTO DE VEHÍCULO ELÉCTRICO Y SU HISTORIA

Los EVs (Vehículos Eléctricos por sus siglas en inglés) o ECVs (Vehículos Cargables Eléctricamente por sus siglas en inglés) suelen tener diversos conceptos, uno de ellos se refiere a cualquier vehículo que se alimente, en parte o en su totalidad, de una batería que puede enchufarse directamente a la red eléctrica [12].

De forma general se entiende a los EVs como aquellos que son propulsados por uno o más motores eléctricos, donde la tracción puede ser otorgada por ruedas o hélices impulsadas por motores rotativos, o motores no rotativos como por ejemplo motores lineales o inerciales, o también las aplicaciones del magnetismo como fuente de propulsión, como es el caso de los trenes de levitación magnética [13].

Si bien existe una vasta variedad de vehículos eléctricos (motos, bicicletas, entre otros), normalmente se refiere en su mayoría al coche eléctrico o en ciertas ocasiones conocido como “*e-car*” [13].

Un coche eléctrico es un vehículo impulsado por uno o más motores eléctricos que utilizan la energía eléctrica almacenada en baterías recargables y la transforman en energía mecánica, y a diferencia de los convencionales vehículos de combustión interna, que funcionan quemando combustible; un coche eléctrico obtiene la tracción de los motores eléctricos [13].



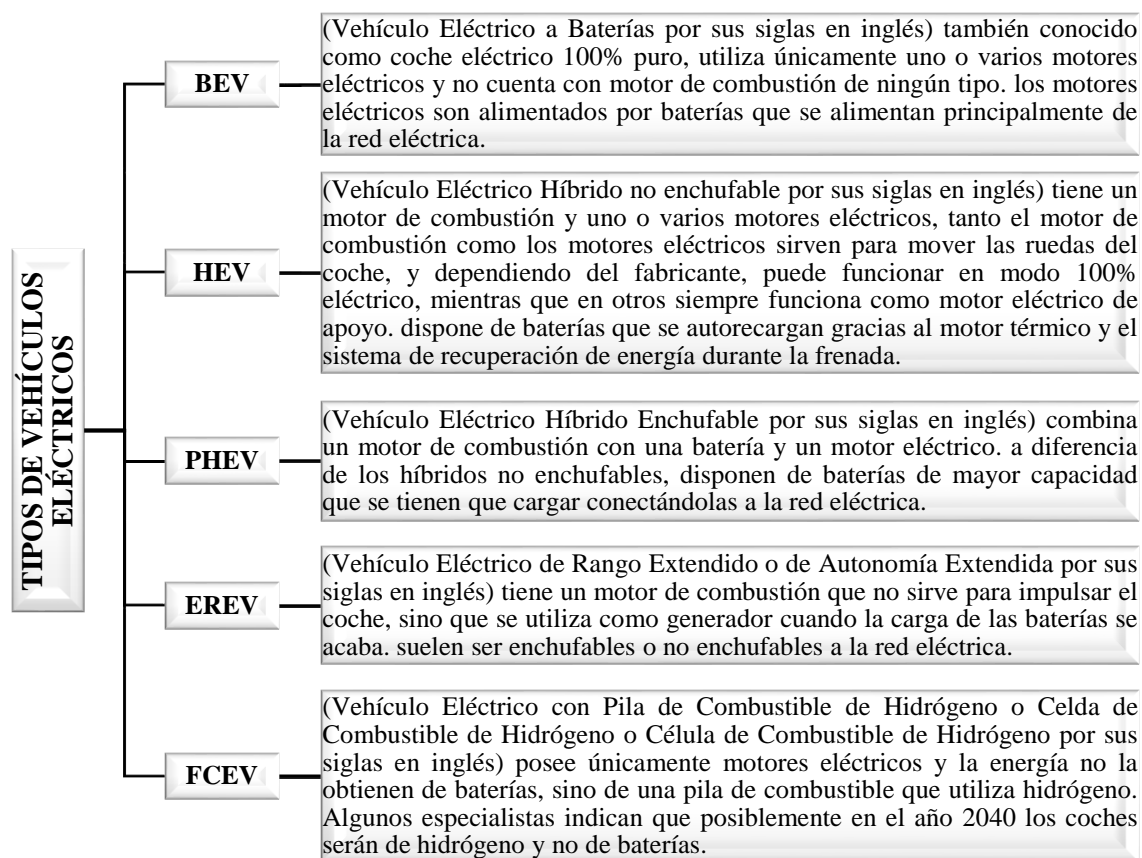
**Figura 1.1** Evolución histórica de los EVs

[14]–[17]

Los EVs o ECVs han tomado trascendencia debido al impacto ambiental ocasionado por los automóviles tradicionales, sin embargo, los EVs tienen sus orígenes a partir de la tercera década del siglo XIX, mucho antes que los primeros vehículos con motores de combustión gracias a la invención de la pila de Alessandro Volta creada en 1800, entre otras invenciones dando lugar al desarrollo de esta rama al permitir la realización de experimentos repetibles con corrientes eléctricas y sentando las bases para crear los motores eléctricos, esto suscitó que se diera origen a los EVs hasta la actualidad con diversos avances en ciencia y tecnología para modernizar los coches eléctricos [16], [18], [19]

## 1.6. TIPOLOGÍA DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Los EVs se dividen dependiendo sus características, tecnología y grado de electrificación, existen diversos tipos de EVs [13], los cuales son:



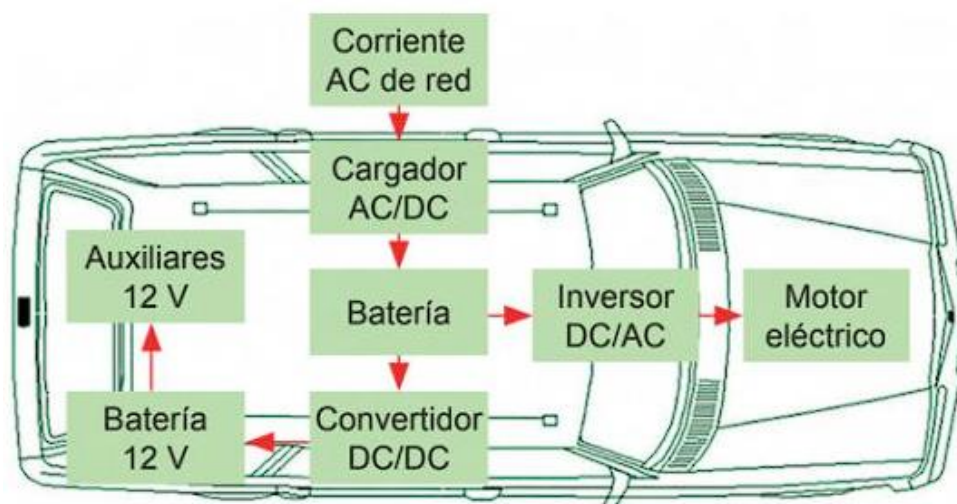
**Figura 1.2** Tipos de Vehículos Eléctricos  
[13]

La clasificación antes vista muestra la tipología más amplia y frecuente dentro de los vehículos eléctricos según su grado de electrificación, donde se visualiza el tipo de almacenamiento y combustible que emplea para generar energía eléctrica como la aplicación entre solo motores eléctricos o combinados con motores a combustión.

Hay que destacar que se extienden otras tipologías o clasificaciones de vehículos eléctricos e híbridos, estas se dividen atendiendo a su principio de funcionamiento en híbridos en paralelo, en serie, y combinado; y por su integración eléctrica en MHEV y PHEV [13], [20], [21].

### 1.7. ELEMENTOS PRINCIPALES QUE CONFORMAN EL AUTOMÓVIL ELÉCTRICO

Los EVs constan de diferentes partes que conjuntamente cumplen una función específica en el vehículo, el esquema básico de un coche eléctrico se muestra a continuación con sus elementos principales [13].



**Figura 1.3** Esquema básico de un coche eléctrico [13]

En la Figura 1.3 se visualiza las principales partes que conforman el automóvil eléctrico, el sistema de propulsión, también llamado tren motriz, tren de potencia o *powertrain* se compone de una toma de corriente, un cargador embarcado, un pack de batería, una

transmisión que casi siempre es de una sola marcha, una unidad de control del motor, una batería auxiliar tradicional de 12 V, uno o varios motores eléctricos y, finalmente una unidad electrónica de control que gestiona todos los sistemas y funcionamiento del vehículo en general [22]. A continuación, se detalla brevemente cada uno de sus elementos.

### **1.7.1. TOMA DE CORRIENTE AC DE RED**

Permite la conexión del coche a un punto de carga, ya sea una toma de corriente doméstica o un cargador rápido público (que puede venir de una electrolinera o de un servicio de carga) [22].

### **1.7.2. CARGADOR A BORDO**

Su misión es convertir la corriente alterna (AC) de entrada de la red eléctrica en corriente continua o directa (DC), la cual es la única que necesita la batería para poder almacenar; análogamente es como el cargador de un teléfono celular, pero que soporta potencias y voltajes muy superiores [13], [22].

Debido a que se conecta a la red eléctrica, conlleva importantes aumentos de temperatura, existiendo el riesgo de sobrecalentamiento cuando las intensidades y los tiempos de carga son elevados, por este motivo, la potencia que pueden manejar estos rectificadores está limitada [13].

Si se excede los 250 V e intensidades superiores a 75 A se aconseja que una estación de recarga exterior suministre de manera directa a las baterías la corriente continua y el principio en el que se basan estos cargadores es el de la rectificación por medio de componentes electrónicos (por ejemplo: diodos, transistores, entre otros) [13].



**Figura 1.4** Cargador de batería instalado en el propio EV  
[13]

Cuando el EV realiza la conversión AC/DC se utiliza el cargador a bordo, además otros tipos de recarga que se encuentran en desarrollo son recarga por inducción magnética, recarga por inductiva dinámica, etc [13].

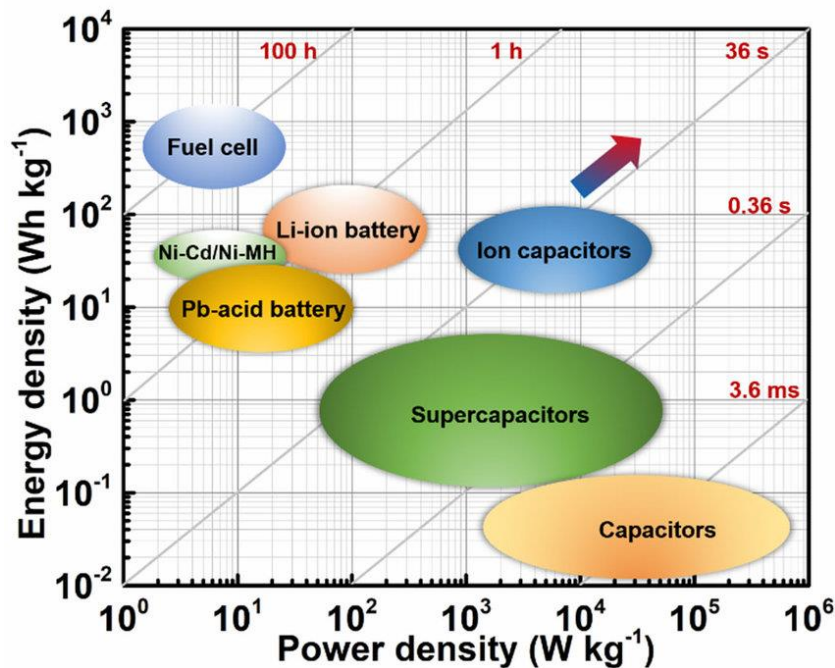


**Figura 1.5** Diagrama de un cargador de batería interno de un EV  
[13]

Los cargadores pueden ser unidireccionales o bidireccionales, donde los actuales cargadores internos disponen de convertidor AC/DC, convertidor DC/DC [13].

### 1.7.3. BATERÍA DE TRACCIÓN

También llamada paquete de batería, es la parte más importante del EV, la energía que almacena sirve exclusivamente para mover el vehículo; los coches eléctricos poseen una batería tradicional de 12 v, como los coches térmicos, para alimentar los sistemas auxiliares, como la climatización, la iluminación, entre otros [22].



**Figura 1.6** Comparación de tecnologías de almacenamiento entre la densidad de energía y la densidad de potencia [23]

Existen diversos tipos de baterías aplicadas a los coches eléctricos, estas pueden ser de Plomo-Ácido, Níquel-Cadmio, Níquel-Metal Hidruro, ion-Lito y variaciones de litio, zebra, Súper-Capacitores, baterías de estado sólido o con nanotecnologías a futuro, entre otras, siendo las baterías de Plomo-Ácido, Níquel-Metal Hidruro y ion-Litio las más utilizadas en la actualidad en diversos vehículos eléctricos y las ion-Litio las más utilizadas en los coches eléctricos por sus prestaciones [12], [13].

### 1.7.3.1. Sistema de Gestión de la Batería

Más conocido como BMS (*Battery Management System*) por sus siglas en inglés está compuesto por un hardware y un software que controlan la carga y descarga de una batería garantizando al mismo tiempo una operación confiable y segura [24].

El BMS sería como la Unidad Electrónica de Control, pero de la batería, la cual mide la tensión de cada celda, corta la carga cuando está completa, equilibra la carga entre celdas evitando el desequilibrio de energía entre celdas [13].

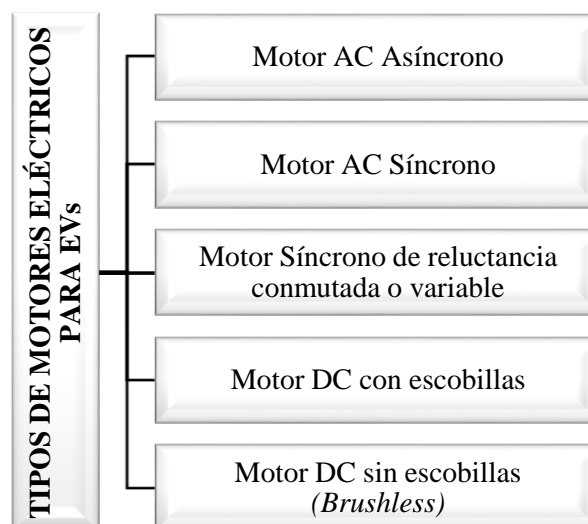
#### 1.7.4. CONVERTIDOR DE CORRIENTE E INVERSOR

El Inversor de corriente es un dispositivo que convierte la energía de corriente continua del paquete de baterías en energía del tipo de corriente necesaria que requieren los motores para su correcto funcionamiento (sean de DC o AC) [22].

Existe un convertidor secundario llamado Inversor que reduce el voltaje de alimentación V DC a una tensión de 12 V DC para suministrar a los sistemas auxiliares que necesita el vehículo [13], [22].

#### 1.7.5. MOTOR ELÉCTRICO

El motor eléctrico convierte la energía eléctrica en movimiento (propriadamente dicho en energía mecánica), este además actúa como generador de electricidad, tanto de aceleración, como en las fases de desaceleración; el motor de un coche eléctrico puede ser de corriente continua (DC) o corriente alterna (AC); la mayoría de los fabricantes eligen usar motores de inducción o de imanes permanentes y por su diseño pueden emplear uno o varios motores eléctricos [13], [22].



**Figura 1.7** Tipos de motores eléctricos para EVs  
[13]



Los tipos y tecnologías de motores eléctricos implementados en los automóviles eléctricos se pueden clasificar según su construcción y función como su tipo de corriente en la que operan.

La disposición de los BEV clásicos utilizan un solo motor, este puede ser usado para traccionar las ruedas traseras o frontales, sin embargo, existe otro tipo de motores, los cuales vienen integrados dentro de las ruedas, son conocidos como motores en rueda, motores en cubo o *motor in wheel*, donde se puede integrar dos o más motores de este tipo al vehículo evitando el uso de ejes o diferenciales.

#### 1.7.5.1. Motores en rueda

Los motores en la rueda o motores *in wheel* en inglés integran un motor en el interior del cubo de la rueda creando una disposición estator-rotor para generar par cuando se aplica energía a las bobinas estacionarias, los diseños más sofisticados están refrigerados por líquido y algunos incluyen componentes de suspensión, los motores trifásicos de imanes permanentes suelen tener una potencia máxima de 84 kW durante 20 segundos y 54 kW continuos, dependiendo de la potencia de la batería [12].

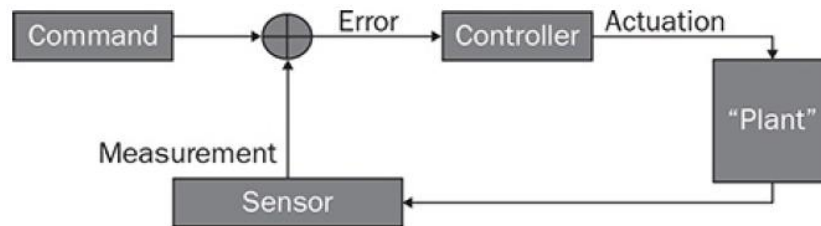


**Figura 1.8** Motor en rueda  
[12]

Una desventaja es que añaden peso no suspendido afectando negativamente al manejo y la dirección, sin embargo, esto se puede compensar en cierta medida ajustando la amortiguación de la suspensión y la dureza de los muelles [12].

### 1.7.5.2. Unidad de control del motor

La unidad de control del motor o también conocido como controlador es un convertidor que controla el flujo de energía entre la batería de tracción y el motor, este dispositivo se encarga de regular la velocidad, el par y la dirección del motor [22].



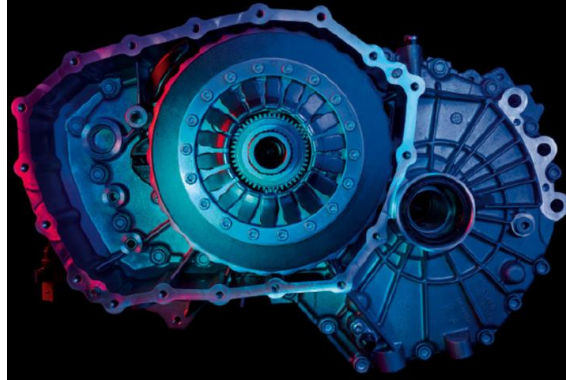
**Figura 1.9** Diseño general de un sistema de control [25]

En función del motor utilizado, será un convertidor de corriente continua (DC) a corriente continua (DC) o de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC), sin embargo, a diferencia de los otros convertidores del coche este es bidireccional, debido a que envía energía al motor eléctrico para su propulsión, y al mismo tiempo es capaz de recibir energía del sistema de frenado regenerativo [22].

### 1.7.6. TRANSMISIÓN

Por excelencia, todos los vehículos eléctricos cuentan con una sola marcha, a diferencia de los coches convencionales con motor a combustión que poseen una transmisión desde 5 hasta 7 marchas debido a sus limitantes en la multiplicación de velocidad y de revoluciones.

Los coches eléctricos tienen un mayor rango de revoluciones y por ende un aumento significativo de velocidad, esto se traduce en una mejor adaptabilidad del motor eléctrico frente a los distintos cambios de velocidad y revoluciones subiendo y bajando con mayor rapidez brindando mayor adaptabilidad a estos cambios haciendo innecesario un sistema de transmisión de varias marchas, únicamente necesitan un inversor de corriente.



**Figura 1.10** Transmisión de dos marchas del Porsche Taycan [22]

El Porsche Taycan es uno de los pocos vehículos que cuenta con una transmisión de dos marchas hasta el momento, esto se debe a que un motor eléctrico entrega la totalidad del par motor en todo momento [22].

#### **1.7.7. BATERÍA AUXILIAR**

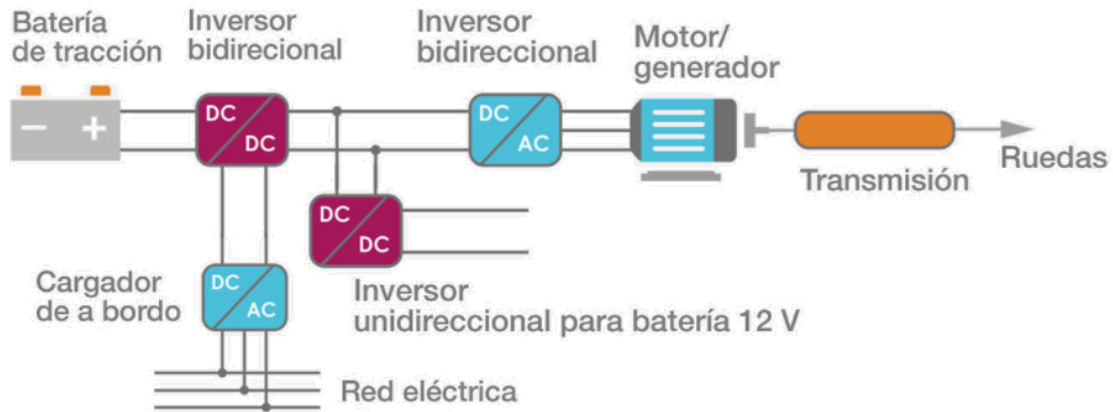
Es una batería convencional como la de los coches tradicionales con motores a combustión que posee 12 V, esta batería genera energía por medio de reacciones electroquímicas y sirve para proveer la electricidad necesaria al vehículo antes del encendido de la batería de tracción, como también de alimentar a los sistemas auxiliares que posea el automóvil [22].

#### **1.7.8. UNIDAD CENTRAL DE CONTROL**

También conocida como ECU gestiona todos los sistemas existentes en el coche regulando desde las funciones del motor, como también supervisando todas las operaciones del vehículo trabajando en conjunto con sensores y actuadores informando a la ECU de todos los parámetros leídos por los sensores, para ser procesados por la ECU, para posteriormente enviar las señales a los actuadores para que trabajen dentro de los rangos permitidos en cada sistema [22].

Además, la ECU controla todo el proceso de flujo de energía que es entregado bien sea desde las baterías o del frenado regenerativo, el cargador de abordo y la unidad de gestión de la

batería o BMS (*Battery Management System*) la cual vigila el estado de carga, controla la temperatura entre otras funciones.



**Figura 1.11** Esquema del flujo de energía en un vehículo eléctrico [22]

El cargador es conectado a la red eléctrica que suministra la energía y es transportada para recargar la batería de tracción pasando antes por un convertidor bidireccional, la batería envía la corriente necesaria hacia el motor cuando este requiere mover el coche a través de un convertidor DC/DC y la unidad de control del motor (convertidor DC/AC) siendo esta unidad de control quien envía la energía hacia el motor eléctrico, el cual transforma la energía eléctrica suministrada en energía mecánica proporcionando el movimiento final vía la transmisión hacia la ruedas para impulsar el EV [22].

## 1.8. RECARGA DE LOS AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS

Todo el ámbito que abarca la carga en los coches eléctricos, donde se encuentra regulado por diferentes entidades a nivel mundial, estos van desde su infraestructura, tiempos de carga, estandarizaciones, entre otros.

### 1.8.1. INFRAESTRUCTURA

Muchos de los vehículos se cargarán en casa, por lo que se necesitará un punto de carga específico para la carga del automóvil, con enchufes y cableado pertinente realizado por

personal capacitado para la operación y aprobados según normas lo que garantizará el correcto desempeño y seguridad, cabe recalcar que para la carga rápida se requiere equipos especiales y suministro eléctrico actualizado, lo que hace poco probable que adquieran esto en los hogares, debido a que en su mayoría utilizará la carga estándar por la noche mientras duermen [12].

Pese a esto, se requerirán puntos específicos de carga a nivel público, por lo cual el desarrollo de infraestructuras en cada nación es indispensable, la competencia de compañías y empresas comerciales por adquirir la concesión de mayores puntos de carga se traduce en una afiliación o registro a estas empresas para acceder a sus diferentes puntos de carga [12].

### 1.8.2. TIEMPO DE CARGA

El tiempo de carga puede depender del tipo de vehículo y del estado de la batería, generalmente los BEVs emplean la carga estándar y demoran en cargarse totalmente entre 6 a 8 horas [12].

**Tabla 1.1** Tiempos estimados de carga

Tiempo de carga para autonomía de 100 km	Fuente de alimentación	Energía	Voltaje	Corriente máxima
6-8 horas	Monofásico	3,3 kW	230 V AC	16 A
3-4 horas	Monofásico	7,4 kW	230 V AC	32 A
2-3 horas	Trifásico	10 kW	400 V AC	16 A
1-2 horas	Trifásico	22 kW	400 V AC	32 A
20-30 minutos	Trifásico	43 kW	400 V AC	63 A
20-30 minutos	DC	50 kW	400-500 V DC	100-125 A
10 minutos	DC	120 kW	300-500 V DC	300-350 A

**Fuente:** [12]

### 1.8.3. ESTANDARIZACIONES

Es necesario estandarizar los cables, puertos de carga y métodos para que todos los coches eléctricos se puedan cargar en cualquier lugar sin dar origen a problemas de conexión [12],

a continuación, se enumera algunos de los estándares más importantes asociados a la carga de vehículos eléctricos según la IEC:

**Tabla 1.2** Tipos de carga según estándar IEC

<b>IEC 62196-1</b>	<b>IEC 62196-2</b>	<b>IEC 62196-3</b>	<b>IEC 61851-1</b>
Enchufes, tomas de corriente, conectores de vehículos y entradas de vehículos. Carga conductiva de vehículos eléctricos.	Requisitos de compatibilidad dimensional e intercambiabilidad de los accesorios de clavijas y tubos de contacto de AC. Se describen los tipos de enchufes y tomas de corriente admisibles.	Requisitos de compatibilidad dimensional e intercambiabilidad para acopladores de vehículos con clavijas y tubos de contacto dedicados de DC y AC/DC combinados.	Sistema de carga conductiva para EVs. Diferentes variantes de la configuración de la conexión, así como la comunicación básica con el vehículo, se definen en esta norma.
<b>IEC 61851-21-1</b>	<b>IEC 61851-21-2</b>	<b>IEC 60364-7-722</b>	
Sistema de carga conductiva para EVs. Cargador de a bordo del vehículo eléctrico requisitos EMC para conexión conductiva a una fuente AC/DC.	Sistema de carga conductiva de EVs requisitos de EMC para los sistemas de carga de vehículos eléctricos fuera de a bordo.	Instalaciones eléctricas de baja tensión. Requisitos para el suministro de instalaciones especiales para EVs.	

Fuente: [12]

#### 1.8.4. MODOS DE CARGA

Existen cuatro modos diferentes de carga segura definidos de acuerdo con la demanda, estos modos difieren en función la fuente de alimentación utilizada (contacto de protección, CEE, toma de carga AC o DC) [12].

Se diferencian en relación de la potencia máxima de carga y de las posibilidades de comunicación [12], estos modos de carga se detallan a continuación:

##### 1.8.4.1. Modo 1

Es un método de carga no recomendable que se realiza desde una toma de corriente hasta un máximo 16 A trifásico sin comunicación con el vehículo, donde el dispositivo de carga está

integrado al vehículo conectándose a la red por medio de una toma de corriente y enchufe estandarizados y protegidos por un dispositivo de protección de corriente residual [12].

#### **1.8.4.2. Modo 2**

Se realiza desde una toma de corriente de máximo 32 A, trifásico con una función de control y protección integrada en el cable o enchufe de pared, donde el dispositivo de carga se instala en el vehículo [12].

La norma prescribe para este modo un dispositivo móvil para aumentar el nivel de protección y un dispositivo de comunicación con el vehículo que satisfaga los requisitos de seguridad donde se combinan en una caja de control conocida como *ICCB* por sus siglas en inglés [12].

#### **1.8.4.3. Modo 3**

Este modo es para cargar en estaciones de carga de AC, donde el dispositivo de carga es un componente fijo de la estación de carga con su debida protección [12].

El vehículo puede cargarse de forma trifásica hasta 63 A, por lo que es posible una potencia de carga de hasta 43,5 kW siendo posible cargar la batería en menos de 1 hora dependiendo de la capacidad de la batería y el estado de carga [12].

#### **1.8.4.4. Modo 4**

Este modo es para cargar en estaciones de carga de DC; el dispositivo de carga es un componente de la estación de carga con su debida protección [12].

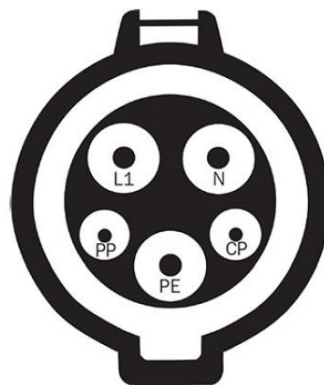
El vehículo se puede cargar con dos sistemas de enchufe y toma de corriente, el sistema de carga combinada tiene dos contactos de DC adicionales hasta 200 A y una potencia de carga de hasta 170 kW [12].

La otra opción es un enchufe y toma de corriente con menor capacidad de carga hasta 80 A y hasta 38 kW; las normas se siguen revisando y modificando para garantizar la seguridad, facilidad de uso y compatibilidad [12].

### 1.8.5. CONECTORES DE CARGA

Adicionalmente a los modos o niveles de carga existen una variedad de conectores de carga el cual es empleado para enchufar el cable de carga en el vehículo [25].

#### 1.8.5.1. Conector SAE J1772

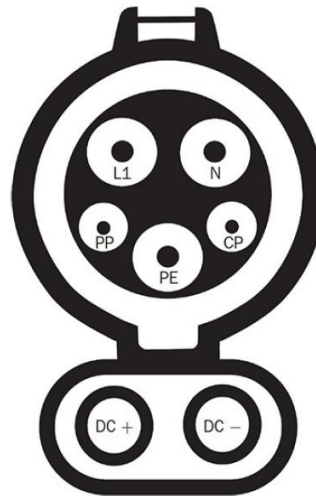


**Figura 1.12** Conector SAE J1772  
[25]

Desarrollado por la Sociedad de Ingenieros de Automoción (*SAE por sus siglas en inglés*), es el conector estándar para vehículos eléctricos en Estados Unidos, es utilizado por la mayoría de los fabricantes de EVs y estaciones de carga, puede utilizarse tanto para la carga de nivel 1 (120 V AC) como de nivel 2 (240 V AC) con una transferencia de potencia máxima de 1,92 kW y 19,2 kW, respectivamente [25]



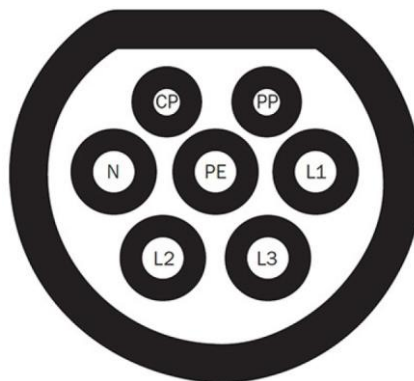
### 1.8.5.2. Conector de Sistema de Carga Combinada



**Figura 1.13** Conector CCS  
[25]

El Sistema de Carga Combinada (*CCS por sus siglas en inglés*) es un conector SAE J1772 con dos clavijas adicionales en la parte inferior para permitir la carga rápida de DC [25].

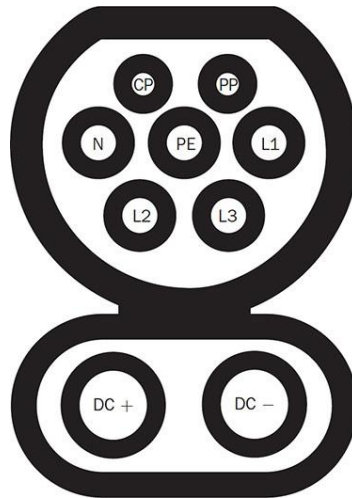
### 1.8.5.3. Conector IEC 62196 Tipo 2



**Figura 1.14** Conector IEC Tipo 2  
[25]

El conector IEC 62196 Tipo 2 (comúnmente conocido como conector Mennekes) es el estándar para la carga de vehículos eléctricos en Europa [25].

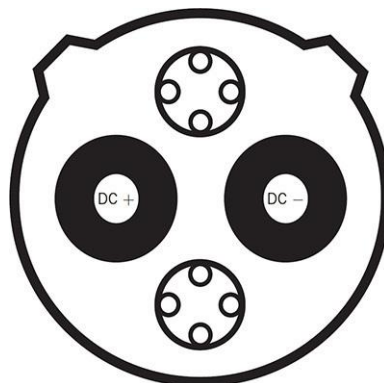
#### 1.8.5.4. Conector Mennekes CCS



**Figura 1.15** Conector Mennekes CCS  
[25]

Al igual que el conector J1772 CCS, el conector Mennekes CCS incluye dos pines adicionales para la carga rápida de DC [25].

#### 1.8.5.5. Conector CHAdeMO



**Figura 1.16** Conector CHAdeMO  
[25]

Desarrollado por la Asociación CHAdeMO (que incluye a Nissan, Mitsubishi y Toyota), el conector CHAdeMO es un conector de carga rápida de corriente continua, capaz de suministrar hasta 62,5 kW; es un conector popular para la carga rápida en Japón que incluye dos clavijas de alimentación para la carga de CC y ocho clavijas adicionales para el control y la comunicación [25].

### 1.8.5.6. Conector Tesla



**Figura 1.17** Conector Tesla  
[25]

La compañía Tesla tiene su propio conector para sus vehículos eléctricos que utilizan para conectarse a sus cargadores domésticos y a la red de supercarga, aunque las clavijas están dispuestas de forma un poco diferente, su función es esencialmente la misma que la del conector J1772, con la excepción de que el conector de Tesla también puede aceptar una carga rápida de DC [25].

En Estados Unidos, Tesla también vende adaptadores que permiten a sus conductores conectarse a J1772, CHAdeMO y a tomas de corriente estándar, asimismo, en Europa, los Tesla están equipados con el conector Mennekes para permitir la carga trifásica [25].

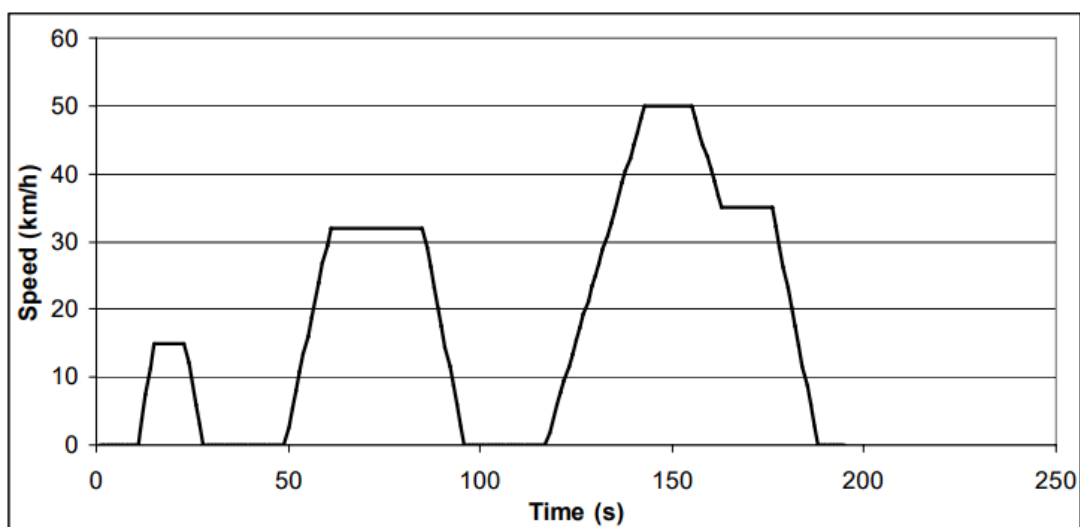
## 1.9. CICLOS DE MANEJO

Un ciclo de manejo al ser reproducido por un vehículo el consumo de combustible y las emisiones resultantes son similares a los valores promedio de todos los vehículos de la misma tecnología que circulan en esa región; se puede declarar que el patrón de conducción puede describirse mediante un conjunto de parámetros característicos como la velocidad media, la energía cinética positiva y el porcentaje de tiempo de ralentí [26].

Los ciclos de manejo son un conjunto de consignas de velocidad longitudinal variables en el tiempo y en el contexto de los vehículos eléctricos, los ciclos de conducción desempeñan un papel fundamental a la hora de determinar el consumo de energía y la autonomía [27].

Existen una gran variedad de ciclos de manejo a nivel mundial (ANEXO I) por lo cual se tomarán unos pocos ciclos de manejo relevantes a modo de explicación de sus parámetros y características.

### 1.9.1. CICLO ECE 15



**Figura 1.18** Ciclo de manejo ECE 15  
[28]

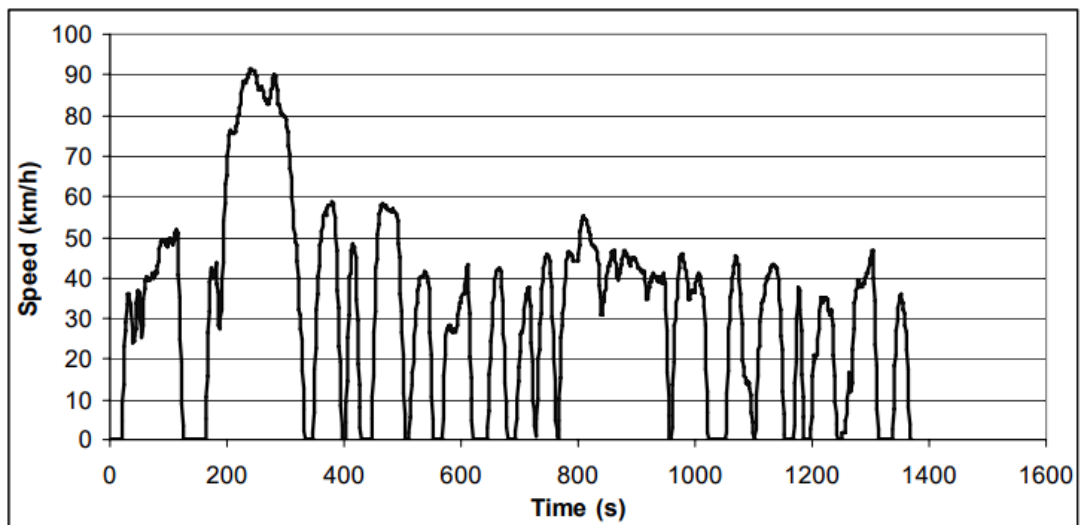
Este ciclo de manejo se encuentra dentro de la legislación de la Unión Europea y su aplicación es para coches.

**Tabla 1.3** Parámetros principales del ciclo de manejo ECE 15

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Distancia total	994,6 m
Tiempo total	195 s
Velocidad máxima	50,07 km/h
Velocidad media	18,4 km/h
Aceleración media positiva	0,348 m/s <sup>2</sup>
Aceleración media negativa	- 0,393 m/s <sup>2</sup>

**Fuente:** [28]

### 1.9.2. CICLO FTP-72



**Figura 1.19** Ciclo de manejo FTP-72  
[28]

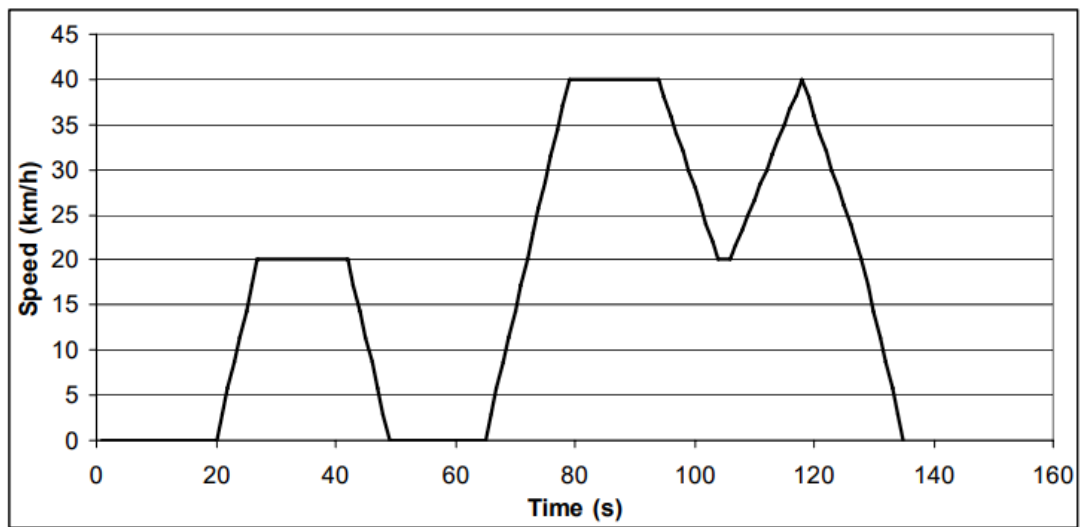
Este ciclo de manejo se encuentra dentro de la legislación de Estados Unidos y su aplicación es para coches.

**Tabla 1.4** Parámetros principales del ciclo de manejo FTP-72

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Distancia total	11996,85 m
Tiempo total	1369 s
Velocidad máxima	91,15 km/h
Velocidad media	31,6 km/h
Aceleración media positiva	0,429 m/s <sup>2</sup>
Aceleración media negativa	- 0,464 m/s <sup>2</sup>

**Fuente:** [28]

### 1.9.3. CICLO JP 10 MODE



**Figura 1.20** Ciclo de manejo JP 10 MODE  
[28]

Este ciclo de manejo se encuentra dentro de la legislación de Japón y su aplicación es para coches.

**Tabla 1.5** Parámetros principales del ciclo de manejo JP 10 MODE

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Distancia total	663,43 m
Tiempo total	135 s
Velocidad máxima	40 km/h
Velocidad media	17,7 km/h
Aceleración media positiva	0,407 m/s <sup>2</sup>
Aceleración media negativa	- 0,406 m/s <sup>2</sup>

**Fuente:** [28]

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. ELEMENTOS Y CARACTERÍSTICAS

Para la ejecución del presente tema de tesis, se tienen previstos ciertos materiales de relevancia, los cuales permiten el diseño e implementación del tren motriz para el vehículo eléctrico tipo NEV o conocido también como LSV (*Low Speed Vehicle*) Vehículo de Baja Velocidad y los cuales se seleccionan según sus requerimientos de funcionamiento para la correcta adquisición que genere un adecuado desplazamiento del coche y gestión energética.

Los elementos que se deban adquirir deben estar en concordancia con los parámetros obtenidos en la simulación, los componentes en general que integran un kit de conversión de coche eléctrico son los siguientes:

Kit de conversión de coche eléctrico

- 2 motores en la rueda (Potencia a definir en simulación)
- 2 controladores electrónicos (de acuerdo con los motores a solicitar)
- 1 acelerador
- 1 velocímetro
- 1 selector de marcha
- 1 sistema de freno de disco hidráulico

#### 2.1.1. TIPOS DE INVESTIGACIÓN

Partiendo para el desarrollo del presente trabajo de tesis, se requiere de una investigación histórico-bibliográfica, la cual permita enriquecer la investigación con fuentes y antecedentes documentales verídicos que permita la elaboración del estudio.

Posteriormente se maneja una investigación tecnológica, la cual parte de una investigación analítica, investigación aplicada e investigación experimental permitiendo la deducción de variables, comparación de casos, diseño y manipulación de las distintas variables para llegar a un fin el cual es el diseño e implementación de un tren de potencia eléctrico que trabaje conjuntamente de manera efectiva entre los diferentes componentes brindando un apropiado funcionamiento.

### **2.1.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN**

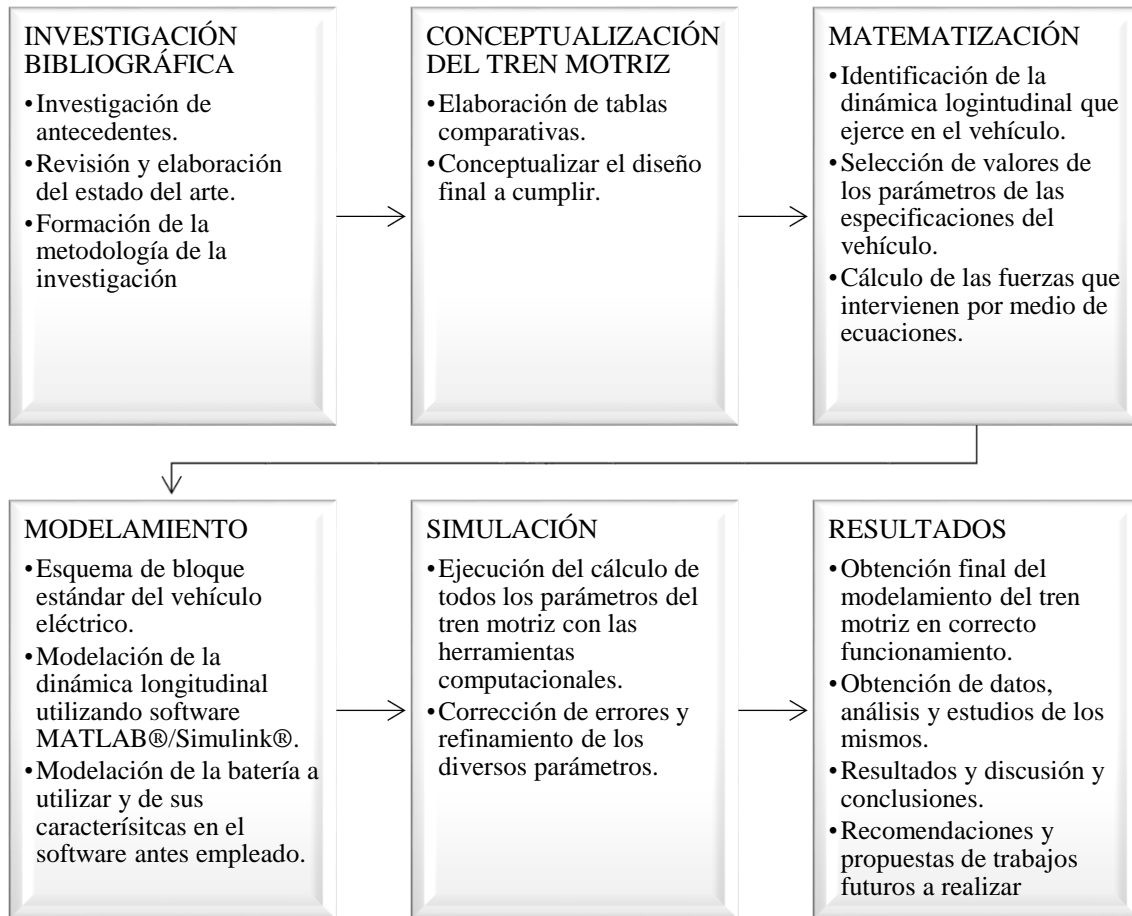
Para identificar los parámetros que permitan enrumbar el trabajo de titulación, se requiere tener claro los métodos y técnicas de investigación que se emplearán teniendo en cuenta unos con mayor énfasis que otros métodos y así generar los pasos que conformen la metodología a aplicar.

Los principales métodos y técnicas utilizados para el desarrollo y ejecución del trabajo de titulación son:

- Analítico
- Sintético
- Comparativo
- Matematización
- Modelación
- Simulación

La metodología de la investigación abarca un conjunto de actividades y pasos metódicos que atraviesan un conglomerado de etapas para llegar desde la investigación para el estado del arte, la concepción, modelación y simulación del tren motriz eléctrico para el chasis de un vehículo monoplaza tipo NEV.

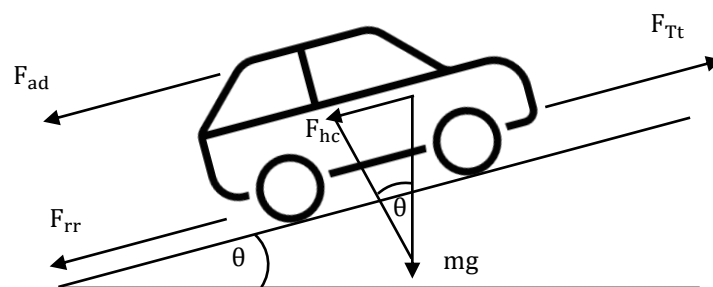




**Figura 2.1** Metodología de desarrollo

## 2.2. DINÁMICA LONGITUDINAL DEL VEHÍCULO

Para poder dimensionar el tren motriz, se acude a diferentes aspectos de la dinámica del vehículo, que por medio de su análisis se calculan las fuerzas necesarias que intervienen en el automóvil y así obtener la potencia total requerida.



**Figura 2.2** Fuerzas que actúan en el EV en una pendiente

Las fuerzas que serán analizadas para el cálculo de la potencia para el tren motriz del vehículo eléctrico son: Arrastre aerodinámico o fuerza aerodinámica ( $F_{ad}$ ), resistencia a la rodadura o fuerza de arrastre ( $F_{rr}$ ), fuerza en pendiente o resistencia al ascenso en pendiente ( $F_{hc}$ ) y fuerza neta, o fuerza por aceleración, o resistencia a la aceleración ( $F_{nt}$ ). Para la obtención de estas fuerzas se trabajó con el ciclo de manejo modo 10 japonés (*Japanese 10 Mode*).

### 2.2.1. MATEMATIZACIÓN DE LA DINÁMICA LONGITUDINAL

Según [29] se realizan los siguientes cálculos para conocer la potencia necesaria [29] bajo condiciones de ruta con pendiente cero y pendiente máxima de 20°, para ello es necesario también contar con los siguientes parámetros del vehículo:

**Tabla 2.1** Especificaciones de diversos parámetros que intervienen en el vehículo

DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS
Altura del vehículo	1,31 m
Ancho del vehículo	1,62 m
Coefficiente aerodinámico	0,67
Masa total (vehículo más ocupante)	325 kg
Velocidad máxima	9,722 m/s
Aceleración máxima	0,694 m/s <sup>2</sup>
Eficiencia del motor eléctrico	0,84
Radio dinámico del neumático	0,282 m
Altitud de la ciudad	2 225 m
Constante del aire seco	287,05 J/(°K·kg)
Temperatura promedio	292,15 °K
Gravedad	9,81 m/s <sup>2</sup>
Pendiente en planicie	0°
Pendiente máxima	15°
Relación de la caja de cambios	1
Relación del diferencial	1

### 2.2.1.1. Arrastre Aerodinámico

El arrastre aerodinámico es la resistencia que sufre el vehículo al oponerse al desplazamiento a través del aire. Su ecuación de cálculo es:

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 \quad (2.1)$$

donde  $F_{ad}$  es el arrastre aerodinámico en [N],  $C_d$  es el coeficiente de resistencia aerodinámica [adimensional],  $A$  es el área frontal del vehículo en [m<sup>2</sup>],  $\rho$  es la densidad del aire [kg · m<sup>-3</sup>], y  $v$  es la velocidad máxima del vehículo en [m · s<sup>-1</sup>].

Para obtener el coeficiente de resistencia aerodinámica ( $C_d$ ), se puede simular en túnel de viento en el software SolidWorks®, el cual calculará la fuerza aerodinámica promedio o recurrir a tablas de coeficientes aerodinámicos promedio.

El área frontal, o superficie frontal del vehículo se obtiene multiplicando las dimensiones de base por altura del coche expresado en [m · s<sup>-2</sup>].

$$A = b \cdot h$$

Para el cálculo de la densidad del aire, se puede utilizar bien el valor constante del aire que se proporciona en tablas, como también calcular la densidad del aire en la localidad o ciudad en la que se encuentra.

Según datos climatológicos la presión atmosférica en Ibarra bordea entre los 580 [mmHg] a 584 [mmHg], estos valores transformados a pascales son entre 77326,974 [Pa] y 77860,263 [Pa] respectivamente.

Como se puede observar estos datos varían según el clima y hacer un promedio no es tan exacto, entonces se recurre a obtener la presión atmosférica de Ibarra por medio de tablas y

calculadoras en línea en función de la altura de Ibarra que es 2225 [msnm] teniendo una presión atmosférica de 0.763 [atm] equivalente a 772.99 [mbar] o 77299 [Pa].

La ecuación empleada que relaciona la presión atmosférica y la altitud viene dada según la ISA (*International Standard Atmosphere*) por sus siglas en inglés empleando algunas constantes como el valor de 101325 [Pa] que es el valor medio de la presión atmosférica al nivel del mar [30], la ecuación:

$$P = 101325 (1 - 0,0000225577 \times H)^{5,2559} \quad (2.2)$$

donde P es la presión atmosférica en [Pa], y H es la altitud del lugar sobre el nivel del mar en [m].

Para obtener el valor de la densidad del aire se utiliza (2.3) para su cálculo y se reemplazan los valores anteriores para la obtención de la densidad del aire en la ciudad de Ibarra:

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T} \quad (2.3)$$

donde  $\rho$  = Densidad del aire en [kg · m<sup>-3</sup>], P es la presión atmosférica del lugar en [Pa], R es la constante de gas aire seco en [J · °K<sup>-1</sup> · kg<sup>-1</sup>], y T es la temperatura promedio del lugar en grados [°K].

Se toma una temperatura promedio de 19 °C para la ciudad de Ibarra siendo su clima muy agradable, y se toma la presión atmosférica en función de la altitud de la ciudad de Ibarra que es 2 225 m sobre el nivel del mar.

### 2.2.1.2. Resistencia a la Rodadura

La resistencia a la rodadura se origina al contacto de dos cuerpos generando una resistencia en la rodadura, en este caso los neumáticos del vehículo con el material de la calzada. Para

determinar esta fuerza de arrastre se aplica (2.4) donde se necesita definir varios parámetros para su cálculo los cuales son:

$$F_{rr} = \mu_{rr} \cdot m \cdot g \cdot \cos(\theta) \quad (2.4)$$

donde  $F_{rr}$  es la fuerza de arrastre o resistencia a la rodadura en [N],  $\mu_{rr}$  el coeficiente de fricción a la rodadura [adimensional],  $m$  es la masa total del vehículo en [kg],  $g$  es la gravedad en [ $m \cdot s^{-2}$ ], y  $\theta$  el ángulo de pendiente en grados [ $^{\circ}$ ].

Para obtener el coeficiente de fricción ( $\mu_{rr}$ ), se puede recurrir a tablas con diferentes coeficientes o diversas ecuaciones existentes, para el cálculo del coeficiente de fricción circulando en asfalto se empleó,

$$\mu_{rr} = 0,0136 + 0,40 \cdot 10^{-7} \cdot v^2 \quad (2.5)$$

donde  $\mu_{rr}$  es el coeficiente de fricción a la rodadura [adimensional], y  $v$  es la velocidad máxima del vehículo en [ $m \cdot s^{-1}$ ].

En este caso se toma el ángulo con un valor de  $0^{\circ}$  debido a que se considera que el vehículo transita por una planicie.

### 2.2.1.3. Fuerza en Pendiente

También conocida como resistencia a la pendiente o a la gradiente, es la fuerza que debe tener el vehículo para ser impulsado cuesta arriba en una pendiente. Su expresión viene dada por:

$$F_{hc} = m \cdot g \cdot \sin(\theta) \quad (2.6)$$

donde  $F_p$  es la fuerza de arrastre o resistencia a la rodadura en [N],  $m$  es la masa total del vehículo en [kg],  $g$  es la gravedad en [ $m \cdot s^{-2}$ ], y  $\theta$  es el ángulo de pendiente en grados [ $^\circ$ ]. Se debe tener en cuenta que muchas de las veces la pendiente viene dada en valores de porcentajes, para eso se procede a transformar el porcentaje en valores de grados mediante (2.7),

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\theta \%}{100} \right) \quad (2.7)$$

donde  $\theta$  es el ángulo de pendiente en grados [ $^\circ$ ], y  $\theta \%$  es el porcentaje del ángulo de pendiente [%].

Para el siguiente caso se toma una pendiente de 0% al ser una planicie y se obtiene:

$$\begin{aligned} \theta &= \tan^{-1} \left( \frac{\theta \%}{100} \right) \\ \theta &= \tan^{-1} \left( \frac{0 \%}{100} \right) \\ \theta &= 0^\circ \end{aligned}$$

Para el presente estudio se considera una pendiente del 26,795 % obteniendo:

$$\begin{aligned} \theta &= \tan^{-1} \left( \frac{\theta \%}{100} \right) \\ \theta &= \tan^{-1} \left( \frac{26,795 \%}{100} \right) \\ \theta &= 15^\circ \end{aligned}$$

#### 2.2.1.4. Fuerza Neta

La fuerza por aceleración, resistencia a la aceleración o momento es la fuerza que se necesita para mover el vehículo del reposo. Su expresión viene dada por:

$$F_{nt} = Y_m \cdot m \cdot a_c \quad (2.8)$$

donde  $F_{nt}$  es la fuerza neta en [N],  $Y_m$  es el coeficiente de las partes móviles [adimensional],  $m$  es la masa total del vehículo en [kg], y  $a_c$  es la aceleración del vehículo en [ $m \cdot s^{-2}$ ].

La ecuación de los coeficientes móviles viene dada por:

$$Y_m = 1,04 + 0,0025 (\varepsilon_j \cdot \varepsilon_d)^2 \quad (2.9)$$

donde  $Y_m$  es el coeficiente de las partes móviles [adimensional],  $\varepsilon_j$  es la relación de la caja de cambios [adimensional], y  $\varepsilon_d$  es la relación del diferencial [adimensional].

### 2.2.1.5. Fuerza a la Tracción Total

La fuerza a la tracción total viene dada por la sumatoria de todas las fuerzas anteriormente calculadas donde @ 0° se obtiene:

$$F_{Tt} = F_{ad} + F_{rr} + F_{hc} + F_{nt} \quad (2.10)$$

donde  $F_{Tt}$  es la fuerza a la Tracción Total en [N],  $F_{ad}$  es el arrastre aerodinámico en [N],  $F_{rr}$  es la resistencia a la rodadura en [N],  $F_{hc}$  es la fuerza en pendiente en [N], y  $F_{nt}$  es la fuerza neta en [N].

### 2.2.1.6. Cálculo del Torque máximo

Para poder saber si el vehículo puede romper la inercia se recurre al torque, su cálculo se realiza mediante (2.11),

$$T = F \cdot r \quad (2.11)$$

donde T es el torque necesario en [N-m], F es la fuerza máxima en pendiente en [N], y r es el radio dinámico del neumático en [m].

### 2.2.1.7. Potencia Mecánica

La potencia mecánica se obtiene multiplicando la fuerza a la tracción total por la velocidad máxima, Su expresión viene dada por:

$$P_{Tmec} = F_{Tt} \cdot v \quad (2.12)$$

donde  $P_{Tmec}$  es la potencia mecánica en [W],  $F_{Tt}$  es la fuerza de tracción total en [N], y v es la velocidad máxima del vehículo en  $[m \cdot s^{-1}]$ .

### 2.2.1.8. Potencia Eléctrica

La potencia eléctrica se calcula empleando la potencia mecánica y la eficiencia que posee el motor eléctrico utilizando (2.13),

$$P_{Telect} = \frac{P_{Tmec}}{\eta_t} \quad (2.13)$$

donde  $P_{Tmec}$  es la potencia mecánica en [W], y  $\eta_t$  es la eficiencia del motor eléctrico [adimensional].



### 2.2.1.9. Pendiente superable

Se debe considerar que, si el vehículo intenta superar una pendiente a la misma velocidad que en planicie, su potencia aumentará considerablemente, por ende, para mantener la potencia inicial su velocidad se reduce cuando el coche afronta una pendiente.

La capacidad de pendiente se define como la pendiente máxima que un vehículo puede superar a una velocidad constante determinada, donde la fuerza de tracción total tiene que superar la resistencia a la pendiente, la resistencia a la rodadura y la resistencia aerodinámica [27], para su cálculo se aplica (2.14),

$$\psi_{\max} = \left( \frac{P_m \cdot \eta_t}{m \cdot g \cdot v} - \frac{\rho \cdot A \cdot C_d \cdot v^2}{2 \cdot m \cdot g} - \mu_{rr} - \frac{\gamma_m \cdot a_c}{g} \right) \quad (2.14)$$

donde  $\psi_{\max}$  es la máxima pendiente de la vía que puede superar el vehículo en grados [°], y  $P_m$  es la potencia del motor en [W].

Esta ecuación sirve para calcular tanto la pendiente superable, como también estipular un grado de inclinación y despejar la velocidad para saber la velocidad a la que recorrerá el vehículo en dicha inclinación.

### 2.2.1.10. Modelo de la batería de tracción

La batería de tracción es un paquete que se encuentra constituida por celdas de iones de litio (misma química, voltaje, amperaje, etc.), donde dichas celdas conectadas en serie y paralelo otorgan el voltaje y capacidad necesaria que necesitan los motores para impulsar el vehículo.

El *SOC (State Of Charge)* o estado de carga por sus siglas en inglés hace referencia a la cantidad de energía que se encuentra almacenada en la batería de tracción o cualquier acumulador de energía siendo un indicador porcentual que cuantifica la energía donde a carga completa denota el 100 % y 0 % completamente descargada [27], su modelo es,

$$f_{dc} = E_0 - K \frac{Q}{Q - it} i^* - K \frac{Q}{Q - it} it + \alpha e^{-\beta it} \quad (2.15)$$

$$f_c = E_0 - K \frac{Q}{it + 0,1 \cdot Q} i^* - K \frac{Q}{Q - it} it + \alpha e^{-\beta it} \quad (2.16)$$

donde  $f_{dc}$  es la energía que ingresa (carga),  $f_c$  es la energía que sale (descarga),  $t$  es el tiempo en [s],  $E_0$  es el voltaje nominal en [V],  $K$  es la constante de polarización,  $i$  es el corriente de la batería en [A],  $i^*$  es la corriente de la batería con un filtro pasa-bajas ( $\tau = 10$  s),  $Q$  es la capacidad máxima de la batería en [A – h],  $\alpha$  es el voltaje exponencial, y  $\beta$  es la capacidad exponencial.

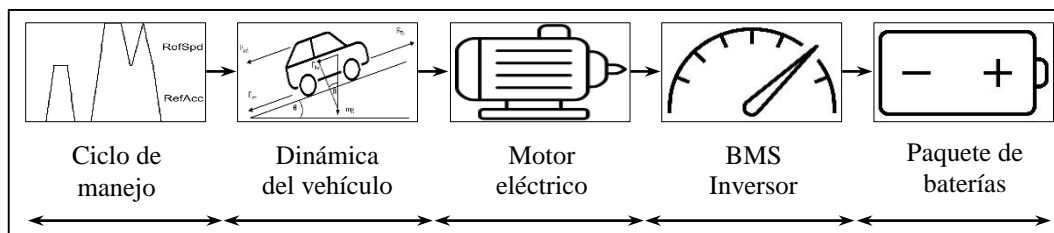
### 2.3. INTEGRACIÓN Y SIMULACIÓN DE LA DINÁMICA DEL VEHÍCULO EMPLEANDO MATLAB®/SIMULINK®

La integración del modelo de la dinámica longitudinal del EV es un paso primordial, para ello se deben identificar los parámetros que intervienen en el vehículo eléctrico en la herramienta computacional a trabajar para el modelamiento y simulación.

Existen dos formas de modelado los cuales son: *forward facing vehicle model* (modelo hacia adelante) y el *backward facing vehicle model* (modelo hacia atrás) utilizando el segundo modelado para el presente proyecto en MATLAB®/Simulink® (ANEXO II).

#### 2.3.1. BACKWARD FACING VEHICLE MODEL

En este modelo se parte desde el ciclo de manejo yendo por los diferentes elementos que conforman al vehículo hasta llegar al último elemento que es la batería.



**Figura 2.3** Esquema de bloque del modelo *backward facing vehicle* del vehículo eléctrico a realizar en MATLAB®/Simulink®

La Figura 2.3 muestra un esquema en general partiendo desde un ciclo de manejo pasando por el cálculo de la dinámica del vehículo, luego la conversión a potencia eléctrica se origina multiplicando la potencia mecánica por la eficiencia del motor eléctrico el cual demanda cierta corriente y voltaje en forma de energía la cual otorga el paquete de baterías por una cantidad de tiempo que es el que se contempla el ciclo de manejo [27].

Para realizar el dimensionamiento de la batería y simular su estado de carga se especifican los siguientes parámetros:

**Tabla 2.2** Parámetros del paquete de baterías

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Tipo	Ion-Litio
Tensión nominal (V)	74
Capacidad nominal (Ah)	30
Estado de carga inicial (%)	100
Tiempo de respuesta de la batería (s)	30
Capacidad máxima (Ah)	30
Tensión de corte (V)	56
Tensión de carga completa (V)	74
Corriente nominal de descarga (A)	30
Resistencia interna (Ohms)	0,030
Capacidad (Ah) a la tensión nominal	24
Zona exponencial Tensión [(V), (Ah)]	[74 30]

Los parámetros de la batería son fundamentales para evaluar el comportamiento energético y autonomía que tendrá el vehículo. Para obtener el valor de cantidad de energía que posee la batería se multiplica la tensión o voltaje nominal [V] por la capacidad nominal [A-h].

En el dimensionamiento del paquete de baterías se debe considerar alrededor de un 30 % restante de energía para evitar la descarga total y cuidar el estado de salud.

## **2.4. ANÁLISIS EN EL SOFTWARE MATLAB®/SIMULINK®**

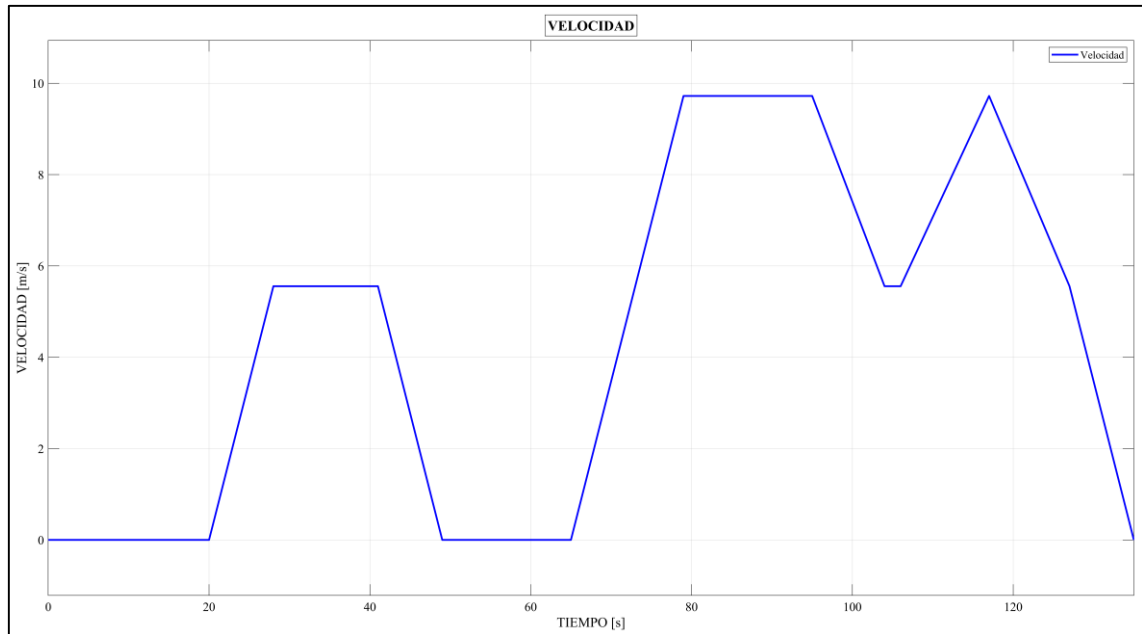
Se empleó el software MATLAB®/Simulink® para realizar la integración del modelado matemático de la dinámica longitudinal del vehículo utilizando un ciclo de manejo basado en el modo 10 japonés limitando su velocidad máxima a 35 km/h y su aceleración obteniendo después la fuerza de tracción total, torque, potencia mecánica, potencia eléctrica que es la que debe obtener el motor eléctrico y pasando por el modelo de la batería que brinde una autonomía aproximada de 40 km con un SOC restante aproximado del 30 % para evitar la descarga total.

### **2.4.1. SIMULACIÓN CON BASE EN EL CICLO DE MANEJO MODO 10 JAPONÉS (JAPANESE 10 MODE)**

Se emplea el ciclo de manejo modo 10 japonés como base en la simulación, debido a que el vehículo es pequeño de uso personal, de baja velocidad y de uso urbano.

#### **2.4.1.1. Velocidad**

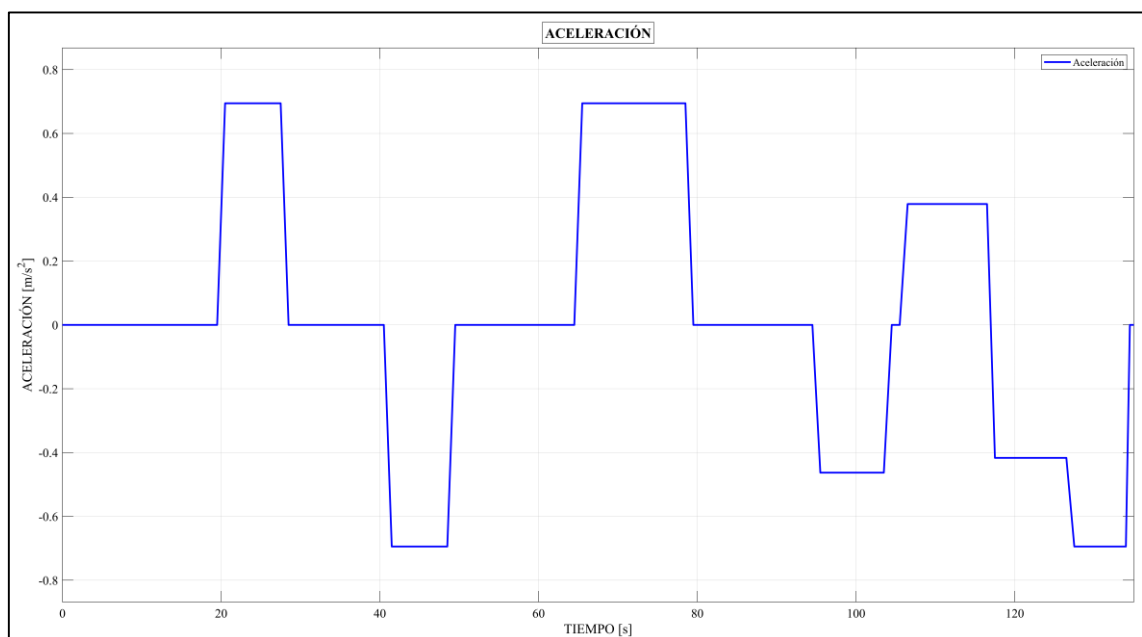
Para el diagrama de velocidad se redujo la velocidad máxima del ciclo de manejo Modo 10 japonés presentando la siguiente forma:



**Figura 2.4** Diagrama de velocidad respecto al tiempo

Este ciclo de manejo dentro de sus parámetros tiene una velocidad máxima de 9,722 m/s y su velocidad promedio de 4,449 m/s recorriendo una distancia de 600,554 m en 135 s.

#### 2.4.1.2. Aceleración



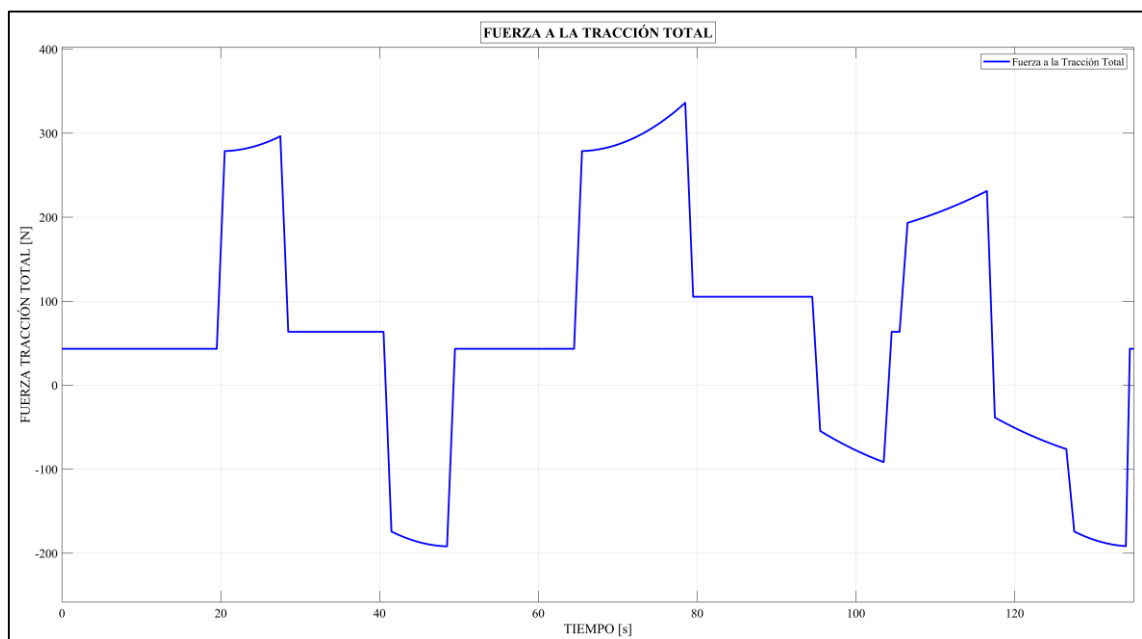
**Figura 2.5** Diagrama de Aceleración respecto al tiempo

Este ciclo tiene una aceleración máxima de 0,694 m/s<sup>2</sup> en un tiempo de 135 s.

### 2.4.1.3. Fuerza a la Tracción Total

La fuerza de tracción total viene dada por la sumatoria de todas las fuerzas longitudinales antes mencionadas que se ejercen sobre el vehículo.

Esta fuerza sirve para encontrar tanto el torque como la potencia mecánica.

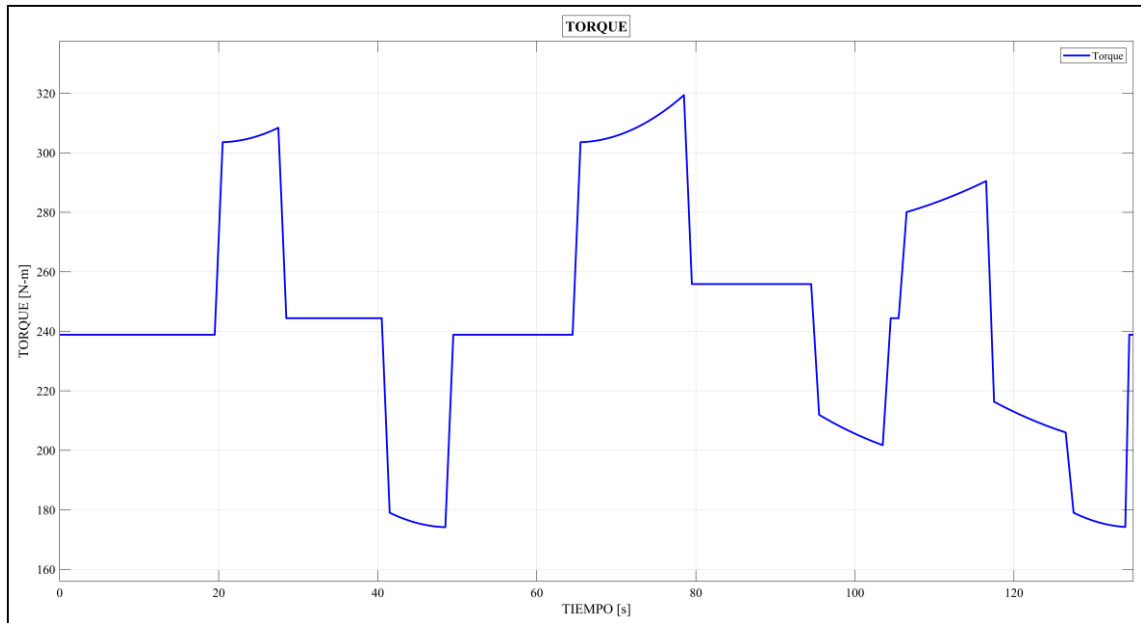


**Figura 2.6** Diagrama de Fuerza a la tracción total respecto al tiempo

La Fuerza de tracción total máxima es 336,3 N.

### 2.4.1.4. Torque

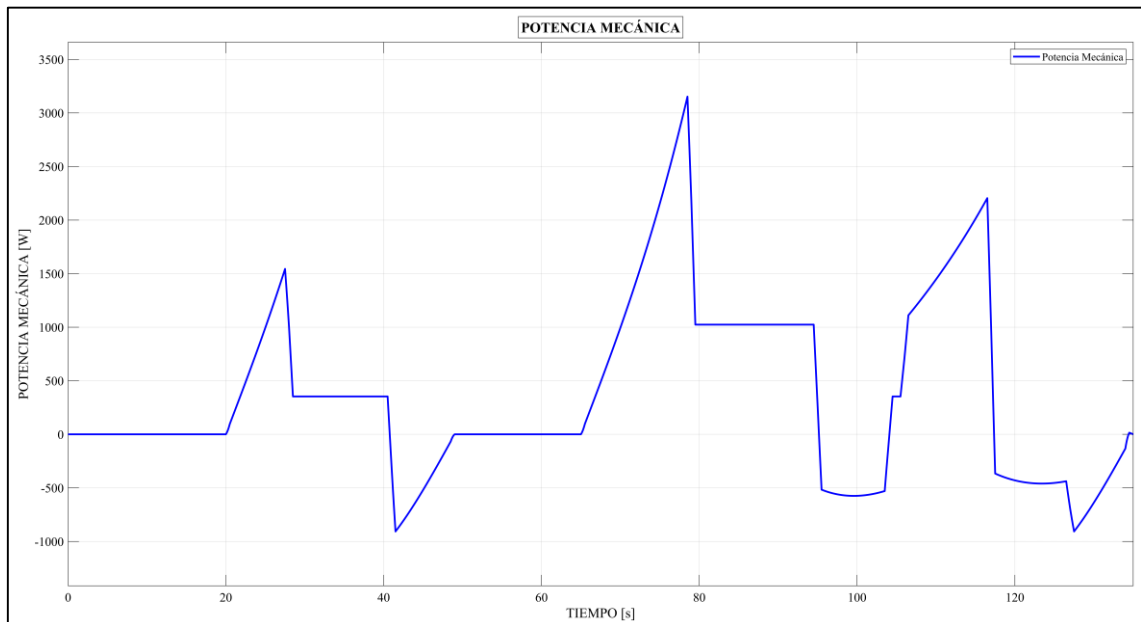
Para la obtención del torque se basó en un neumático R 13



**Figura 2.7** Diagrama del Torque respecto al tiempo

El torque máximo con una pendiente @  $15^\circ$  es de 319,4 N-m.

#### 2.4.1.5. Potencia Mecánica

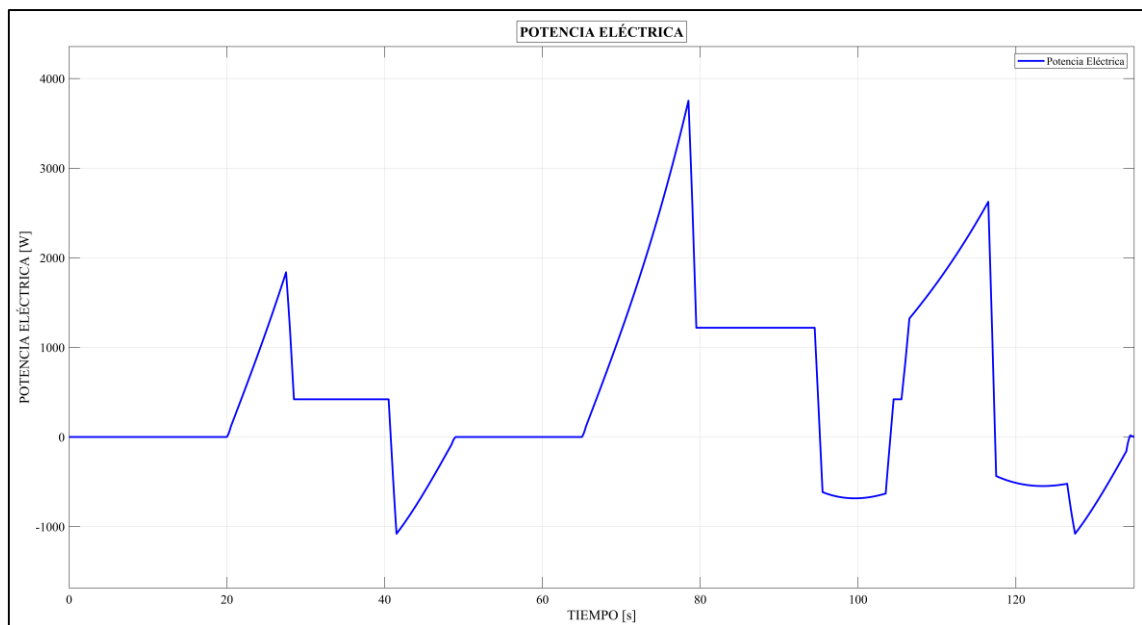


**Figura 2.8** Diagrama de Potencia mecánica respecto al tiempo

La potencia mecánica se encuentra por el producto de la fuerza de tracción total y la velocidad máxima del vehículo, donde la potencia mecánica máxima en pendiente @  $0^\circ$  es de 3 152 W.

#### 2.4.1.6. Potencia Eléctrica

Esta potencia se obtiene dividiendo la potencia mecánica entre la eficiencia del motor, este valor permite dimensionar la potencia mínima que requiere el motor eléctrico.



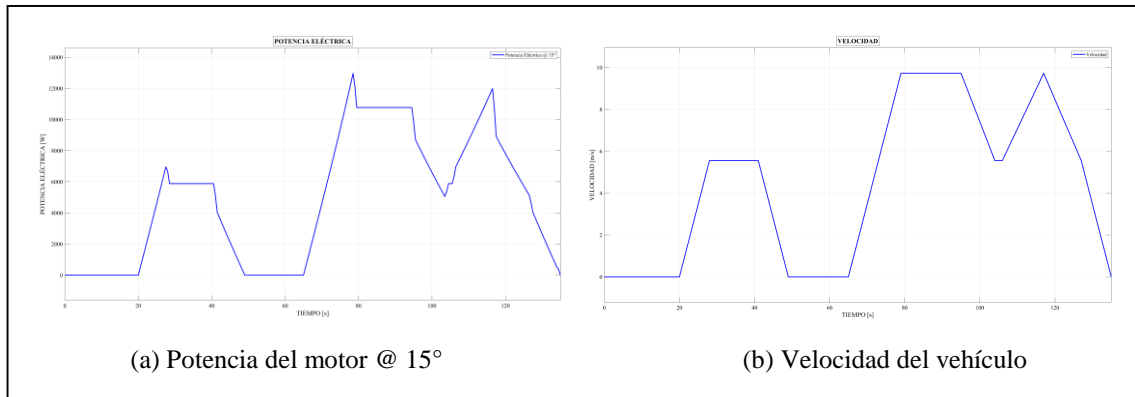
**Figura 2.9** Diagrama de Potencia eléctrica respecto al tiempo

La potencia eléctrica máxima @  $0^\circ$  es de 3 753 kW.

#### 2.4.1.7. Pendiente superable

Para evaluar la pendiente superable por medio de la simulación, se recurre a calcular la potencia eléctrica con una pendiente de  $15^\circ$  y se verifica en que tiempo da una potencia de 4000 W. Se extrapola el tiempo encontrado a la velocidad del vehículo y se encuentra la velocidad a la que supera el vehículo dicha pendiente.



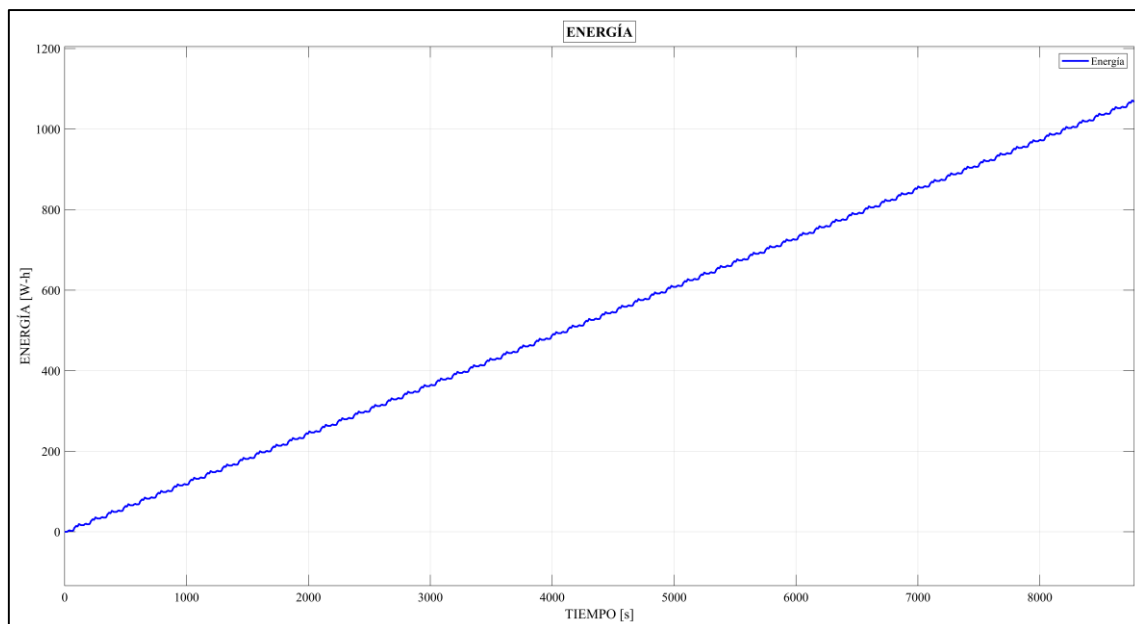


**Figura 2.10** (a) Diagrama de Potencia del motor eléctrico @ 15° (b) velocidad del vehículo

Se revisa el tiempo donde interseca con una potencia de 4000 W, el tiempo que cumple con esta característica es de 24,36 s. Posteriormente se extrapola este tiempo de 24,36 s a la respuesta de la velocidad para analizar con que valor se interseca y la velocidad obtenida a la que supera la pendiente @ 15° es de 3,028 m/s o 10,9 km/h.

#### 2.4.1.8. Energía

La cantidad de energía viene expresada por la potencia en unidad de tiempo

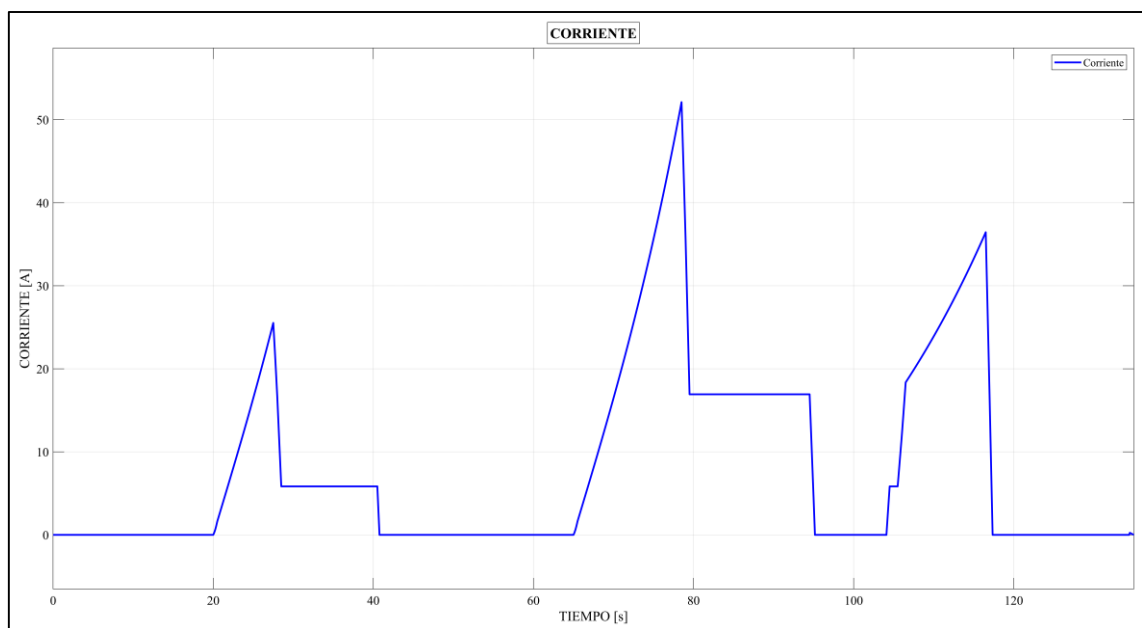


**Figura 2.11** Diagrama de Energía respecto al tiempo

Se emplearon 65 repeticiones al ciclo de manejo en la simulación utilizando una energía total de 1 068 kW-h.

#### 2.4.1.9. Corriente

La corriente es un parámetro importante el cual está ligado directamente con torque de los motores eléctricos ayudando a romper la inercia rotacional.

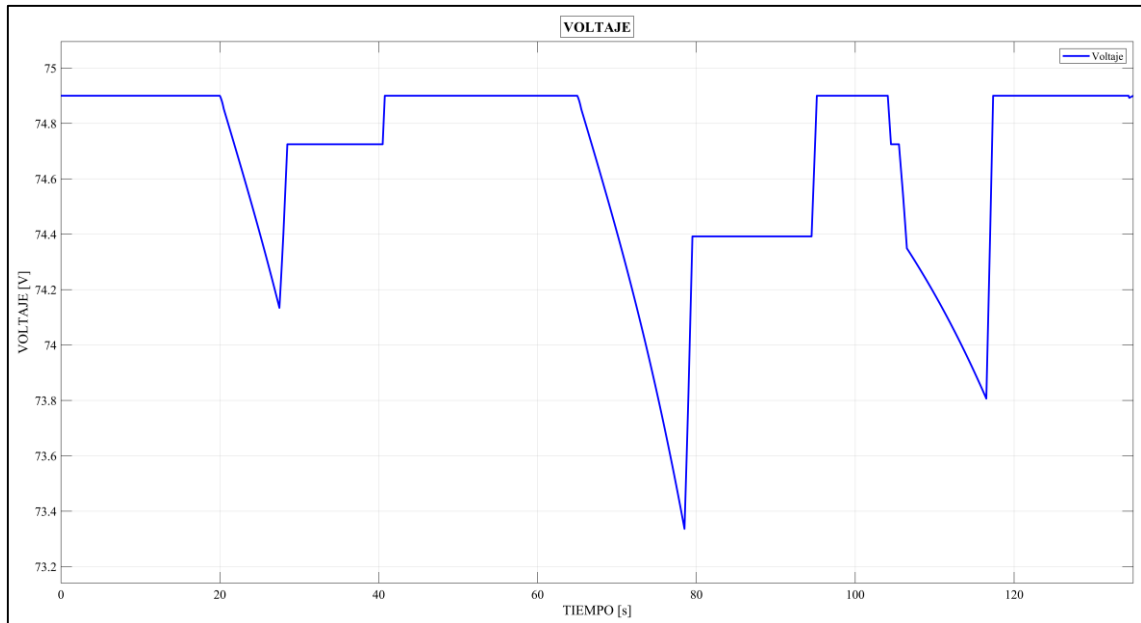


**Figura 2.12** Diagrama de Corriente respecto al tiempo

El pico de corriente máximo es de 52,12 A.

#### 2.4.1.10. Voltaje respecto al tiempo

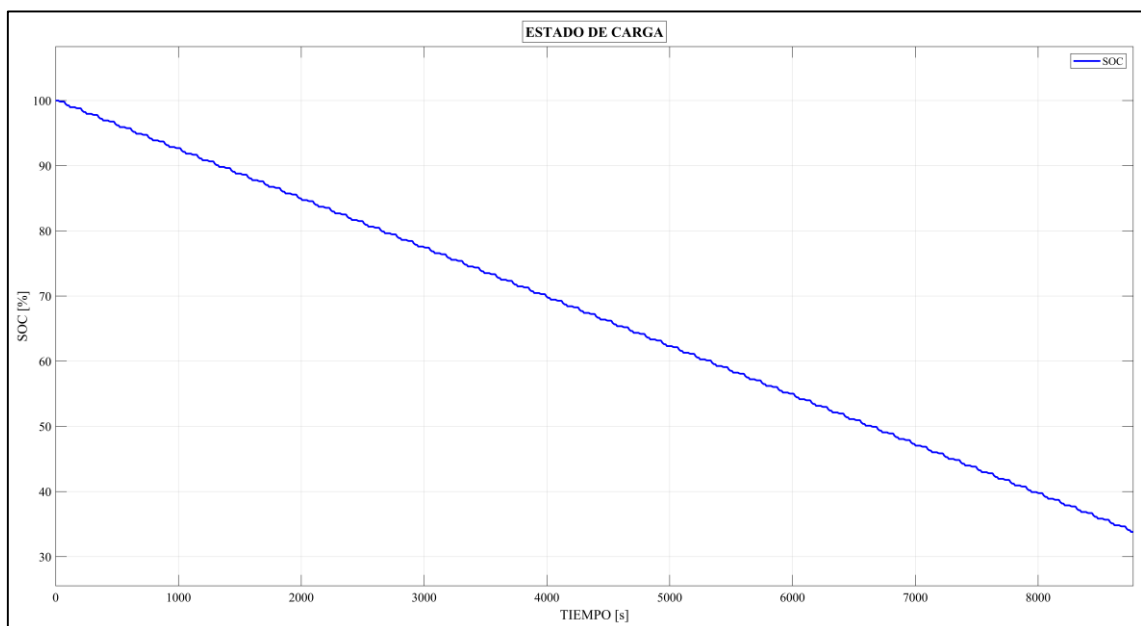
El voltaje disminuye al aumentar la velocidad del vehículo eléctrico.



**Figura 2.13** Diagrama de Voltaje respecto al tiempo

La variación de voltaje que existe es mínima pasando de un voltaje de 74,9 V hasta un valor de 73,34 V.

#### 2.4.1.11. SOC respecto al tiempo



**Figura 2.14** Diagrama del SOC respecto al tiempo

Con los parámetros de la batería de la Tabla 3.1 bajo el ciclo de manejo utilizado con 65 ciclos de repetición partiendo desde una carga completa del 100% se obtiene un consumo del 66,19 % restando un total del 33,81 % de carga total de la batería lo que permitiría mantener una autonomía de 39,036 km cumpliendo con la autonomía estipulada en el alcance de aproximadamente 40 km.

## 2.5. DIMENSIONAMIENTO DEL CABLEADO NECESARIO

Es necesario tener en cuenta parámetros como la caída de tensión máxima y el valor de la conductividad del material del que se compone el cable conductor para poder obtener el valor de la sección mínima del cable.

### 2.5.1. CAÍDA DE TENSIÓN MÁXIMA

La caída de tensión se expresa en voltios, el tipo de corriente con la que se trabaja es corriente directa o corriente continua; para ciertos circuitos se recomiendan caídas entre el 3% y el 5%, pero se deben considerar que en cables automotrices caídas de tensión menores que 2%, se toma el valor más desfavorable de 0,7 % en (2.13),

$$\Delta U_{dc} = \frac{U \cdot \%U_{dc}}{100} \quad (2.17)$$

donde  $\Delta U_{dc}$  es la caída de tensión o voltaje máxima admisible en la línea de corriente directa en [V], U es la tensión o voltaje en la línea de corriente directa en [V], y  $\%U_{dc}$  es la caída de tensión o de voltaje porcentual [adimensional].

Reemplazando en (2.13) los valores con los que se alimenta el motor con 72 V y 80 A se obtiene:

$$\Delta U_{dc} = \frac{U \cdot \%U_{dc}}{100}$$

$$\Delta U_{dc} = \frac{72 [V] \cdot 0,7}{100}$$

$$\Delta U_{dc} = 0,504 [V]$$

### 2.5.2. CONDUCTIVIDAD EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL CONDUCTOR Y DEL MATERIAL

La conductividad es un valor muy importante que se debe considerar, varios cálculos toman en cuenta la conductividad del material a temperatura ambiente (20 °C), sin embargo, es un error tomar este valor desconociendo datos precisos de la temperatura de trabajo del cable conductor.

Por razones de seguridad se toman temperaturas superiores a la de temperatura ambiente a la que trabajará el cable conductor en función de su material. Para un conductor de cobre y a una temperatura de trabajo 90 °C se puede recurrir a tablas o emplear (2.14),

$$\gamma = \frac{1}{\left(\frac{1}{58}\right) (1 + 0,00393 (T - 20))} \quad (2.18)$$

donde  $\gamma$  es la conductividad del conductor de cobre recocido en [ $S \cdot m \cdot mm^{-2}$ ], y T es la temperatura máxima de trabajo del cable conductor en [°C]. Reemplazando los valores en (2.14) a 90 °C se obtiene:

$$\gamma_{90} = \frac{1}{\left(\frac{1}{58}\right) (1 + 0,00393 (T - 20))}$$

$$\gamma_{90} = \frac{1}{\left(\frac{1}{58}\right) (1 + 0,00393 (90 - 20))}$$

$$\gamma_{90} = 45,49 [S \cdot m \cdot mm^{-2}]$$

### 2.5.3. SECCIÓN MÍNIMA DEL CONDUCTOR POR INTENSIDAD Y CAÍDA DE TENSIÓN

Con los parámetros anteriormente obtenidos, se calcula la sección mínima del cable en función de la caída de tensión y de la intensidad de corriente aplicando (2.15),

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\Delta U_{dc} \cdot \gamma_{90}} \quad (2.19)$$

donde S es la sección mínima en [mm<sup>2</sup>], L es la longitud de la línea en [m], I es la intensidad de corriente o amperaje prevista en la línea en [A],  $\Delta U_{dc}$  es la caída de tensión o voltaje máxima admisible en la línea de corriente directa en [V], y  $\gamma_{90}$  es la conductividad del conductor de cobre recocido a 90 °C en [S · m · mm<sup>-2</sup>]. Reemplazando cada valor en (2.15) se obtiene lo siguiente:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\Delta U_{dc} \cdot \gamma_{90}}$$

$$S = \frac{2 \cdot 3 \text{ [m]} \cdot 80 \text{ [A]}}{0,504 \text{ [V]} \cdot 45,49 \text{ [S} \cdot \text{m} \cdot \text{mm}^{-2}\text{]}}$$

$$S = 20,936 \text{ [mm}^2\text{]}$$

El valor de la sección se debe multiplicar por un factor de seguridad de 1,25 y se obtiene el valor real de la sección mínima expresándose de la siguiente forma:

$$S = 20,936 \text{ [mm}^2\text{]} \cdot 1,25$$

$$S = 26,17 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Para poder evaluar el calibre comercial disponible al que se hace referencia se recurre a tablas normalizadas. De acuerdo con la tabla de equivalencias (ANEXO III), la sección calculada real es 26,17 [mm<sup>2</sup>], la sección nominal inmediatamente superior que cumple con los requisitos técnicos en la tabla es 35 [mm<sup>2</sup>] y su equivalente en el sistema británico es 2 AWG siendo el calibre para seleccionar.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE MASA Y PENDIENTE EN DIFERENTES PARÁMETROS DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

Se realiza una tabla comparativa para evaluar como impactan los diferentes valores de masa y pendiente, además de evaluar la energía empleada y el estado de carga sin freno regenerativo y con freno regenerativo en los diferentes parámetros.

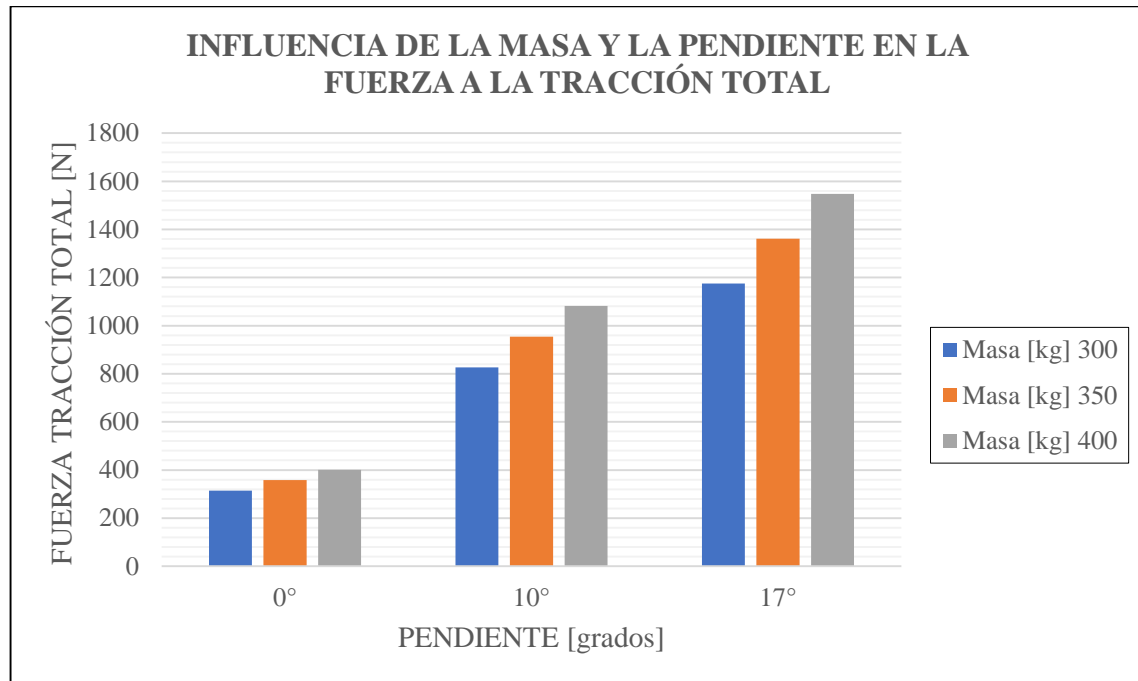
**Tabla 3.1** Matriz comparativa de masa y pendiente en diferentes parámetros del EV

MATRIZ COMPARATIVA			Masa [kg]		
			300	350	400
Fuerza a la tracción total [N]	Pendiente [grados]	0°	314,8	357,7	400,6
		10°	825,9	953,9	1 082
		17°	1 175	1 362	1 548
Torque [N – m]	Pendiente [grados]	0°	86,57	98,36	110,2
		10°	227,1	262,3	297,5
		17°	323,2	374,4	425,7
Velocidad máxima en pendiente [m/s]	Pendiente [grados]	0°	9,722	9,722	8,587
		10°	4,306	3,711	3,258
		17°	2,99	2,568	2,25
Energía requerida [W – h]			1 024	1 111	1 198
SOC sin freno regenerativo [%]			37,61	30,08	22,55
SOC con freno regenerativo [%]			52,59	48,57	44,55

Para que los resultados se aprecien mejor se procede a realizar gráficos comparativos de las diferentes simulaciones.

### 3.1.1. INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE MASA Y PENDIENTE EN LA FUERZA A LA TRACCIÓN TOTAL

La Fuerza a la tracción total sirve como parámetro fundamental para evaluar la sumatoria de todas las fuerzas longitudinales que se ejercen en el vehículo.



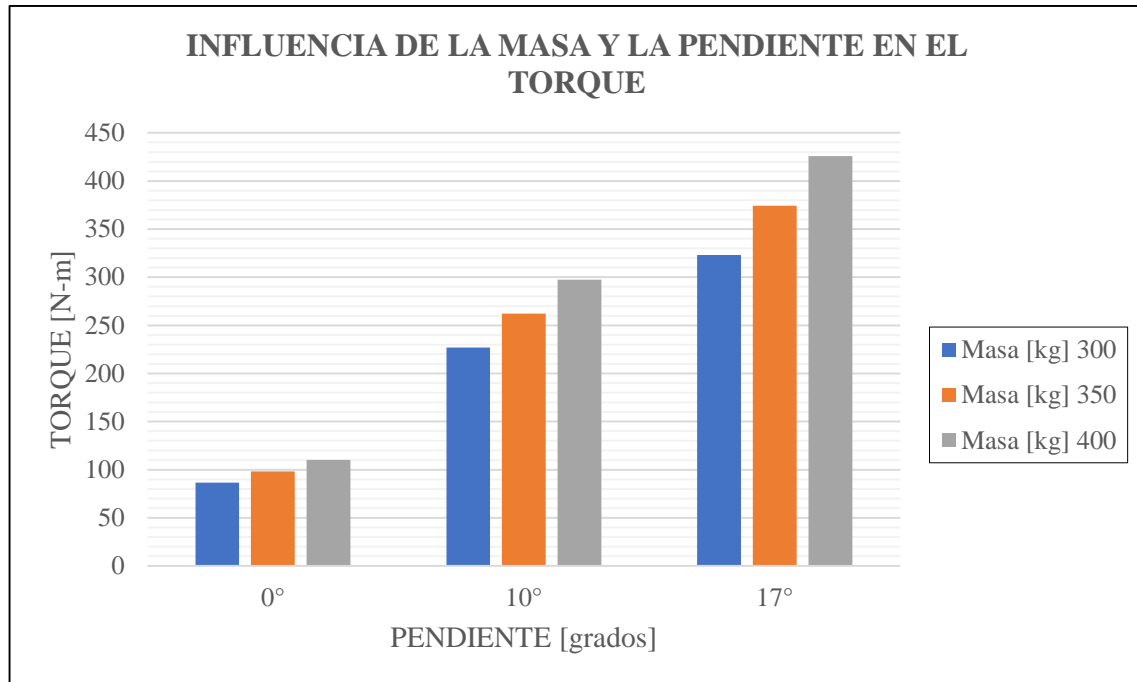
**Figura 3.1** Influencia de la masa y pendiente en la Fuerza a la tracción total

Como se puede ver en la Figura 3.1 a mayor pendiente y masa suben los valores de la fuerza a la tracción total siendo importante para calcular la potencia que tendrán los motores y posteriormente el torque.

### 3.1.2. INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE MASA Y PENDIENTE EN EL TORQUE

El torque sirve para evaluar en qué condiciones de masa y pendiente pueden los motores eléctricos superar la inercia del vehículo.



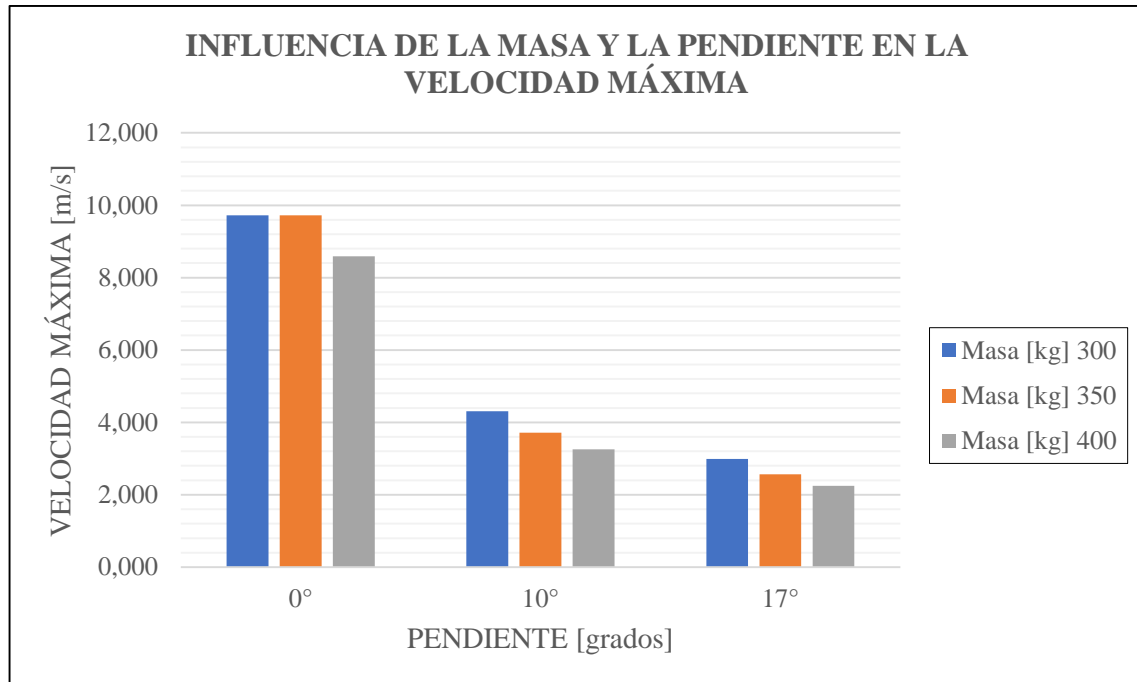


**Figura 3.2** Influencia de la masa y pendiente en el Torque

En la Figura 3.2 se puede visualizar los diferentes valores de torque bajo diferentes parámetros de pendiente y masa, cada motor tiene un torque aproximado de 168 N-m, lo que puede tener un torque total de 336 N-m. Los motores pueden superar sin problema las dos primeras condiciones de 0° y 10° con los tres valores de masa, sin embargo, en pendiente a 17° solo podría escalar con una masa total de 300 kg.

### 3.1.3. INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE MASA Y PENDIENTE EN LA VELOCIDAD MÁXIMA DEL VEHÍCULO

El vehículo recorre a una determinada velocidad en planicie y pendiente donde su velocidad se reduce al transitar una pendiente a velocidad constante con la potencia máxima determinada en el motor eléctrico.

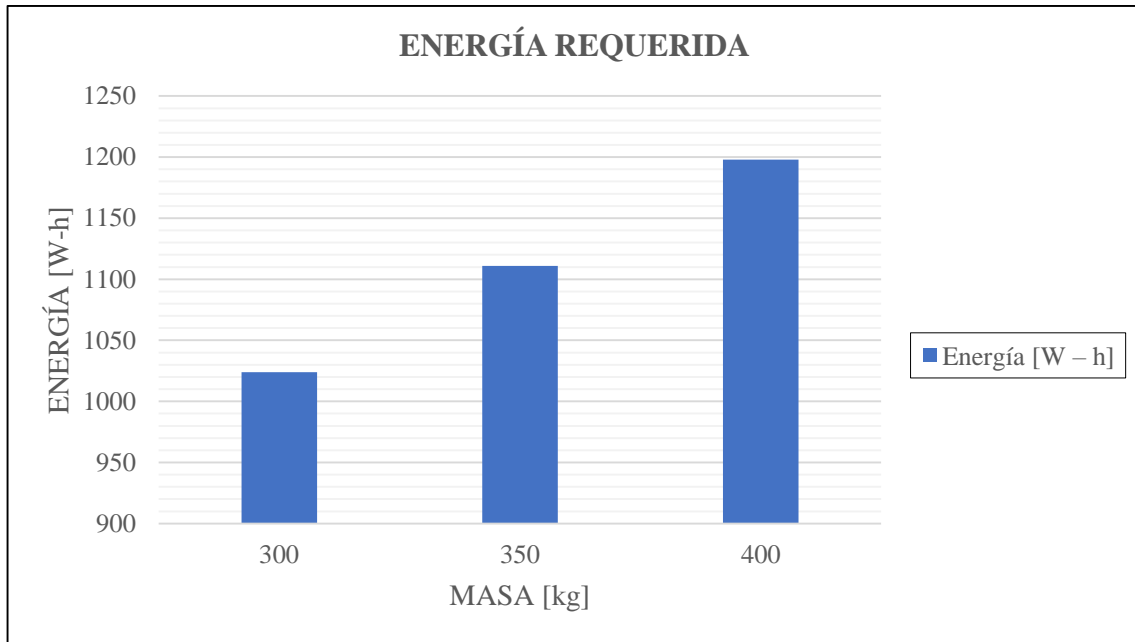


**Figura 3.3** Influencia de la masa y pendiente en la Velocidad máxima del coche

En la Figura 3.3 se aprecia como en pendiente a 0° el coche puede transitar a velocidad máxima con masa de 300 kg y 350 kg, a partir de 400 kg la velocidad disminuye hasta cumplir el parámetro de 17° de pendiente y masa de 300 kg recorriendo a una velocidad máxima del vehículo de 2,99 m/s equivalente a 10,764 km/h.

#### **3.1.4. INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE MASA EN LA ENERGÍA REQUERIDA POR LA BATERÍA**

A mayor masa del vehículo la batería debe contar con mayor energía para suministrar corriente y voltaje a los motores eléctricos

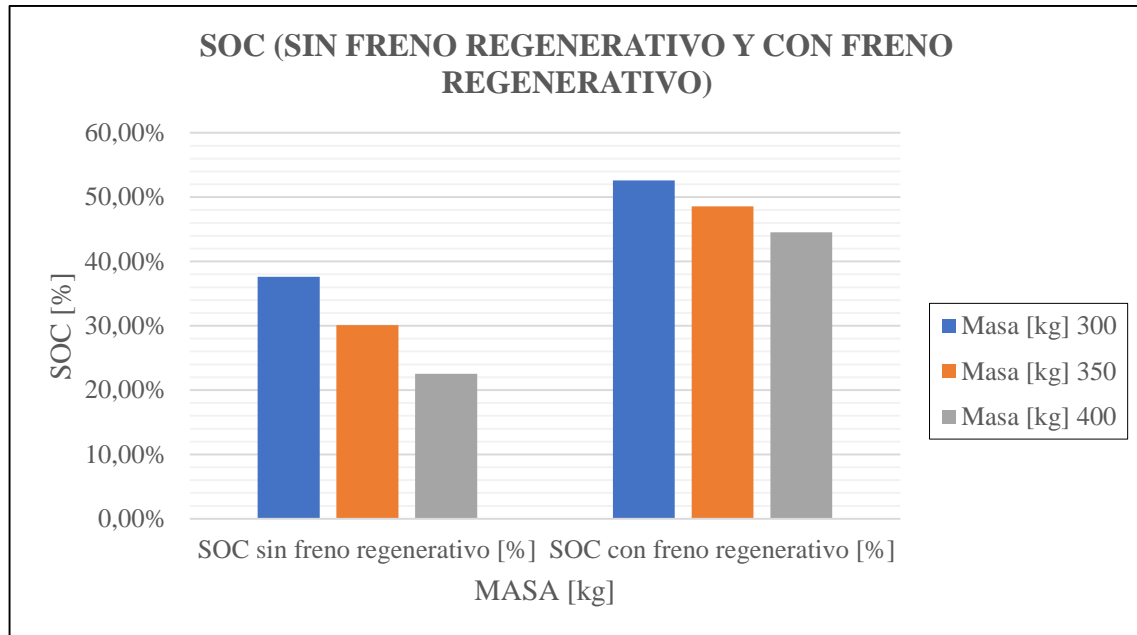


**Figura 3.4** Influencia de la masa en la Energía requerida

En condiciones de 0° de pendiente y una masa de 300 kg, la cantidad de energía es menor, sin embargo, cuando la masa del vehículo aumenta también lo hace la cantidad de energía que se requiere como muestra la Figura 3.4 llegando hasta un valor de 1 198 W – h con una masa de 400 kg.

### **3.1.5. INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE MASA EN EL SOC (SIN FRENO REGENERATIVO Y CON FRENO REGENERATIVO)**

Es imprescindible analizar el impacto que tiene la variación de la masa en el SOC de la batería y evaluar el porcentaje de descarga tanto sin freno regenerativo como con freno regenerativo y si se cumple la autonomía estipulada aproximada a los 40 km.



**Figura 3.5** Influencia de la masa en el SOC

En condiciones de 0° de pendiente y sin freno regenerativo existe un porcentaje sobrante sin llegar al 0 %, no obstante, con una masa de 400 kg reduce del 30 % hasta un valor aproximado de 22,55 %. Con freno regenerativo el aumento del SOC es considerable con un valor del 52,59 % para una masa de 300 kg, 48,57 % para una masa de 350 kg y un porcentaje del 44,55 % para una masa de 400 kg.

### 3.2. SELECCIÓN COMPONENTES DEL TREN MOTRIZ ELÉCTRICO

Las partes primordiales que componen el tren motriz eléctrico son las siguientes:

- Motor(es) eléctrico(s)
- Elementos mecánicos como diferencias o cajas de cambios en el caso de existir
- BMS y Controlador(es)
- Batería y cableado eléctrico

### 3.2.1. SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO

Es indispensable utilizar una tabla comparativa con sus respectivas ponderaciones para identificar y seleccionar el tipo de motor a emplear que más convenga y se ajuste a la aplicabilidad y los objetivos de la investigación.

**Tabla 3.2** Matriz de selección del tipo de motor eléctrico

Características	Porcentaje	Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
		Hub Motor DC		Síncrono		Asíncrono	
Adaptabilidad	0,2	10	2	8	1,6	8	1,6
Mantenimiento	0,2	9	1,8	9	1,8	8	1,6
Eficiencia y rendimiento	0,2	7	1,4	10	2	9	1,8
Tipo de control	0,2	10	2	8	1,6	9	1,8
Durabilidad	0,1	9	0,9	9	0,9	9	0,9
Opción a freno regenerativo	0,1	8	0,8	9	0,9	9	0,9
<b>TOTAL</b>	<b>1</b>		<b>8,9</b>		<b>8,8</b>		<b>8,6</b>

La eficiencia del motor AC síncrono es muy alta y es una de las tecnologías preferidas por los fabricantes de vehículos eléctricos comerciales, sin embargo, esta tecnología puede ser empleada cuando se requieren eficiencias altas y potencias superiores.

Se selecciona el motor de rueda en cubo *hub motor* de corriente directa e imanes permanentes conocido como BLDC que permite su fácil aplicación, debido a que el vehículo es de tipo NEV.

La elección de este tipo de motor evita el uso de más elementos mecánicos como diferenciales, cajas de cambios, ejes de transmisión y el uso de embragues aligerando el peso y además proporcionando un sistema de control más fácil que con los otros tipos de motores eléctricos. Los motores seleccionados corresponden al QS MOTOR 2000W 205 45H V3 motor en la rueda de vehículo eléctrico BLDC sin escobillas y sus especificaciones son:

**Tabla 3.3** Especificaciones del motor en cubo QSMOTOR 273 8000 W V4

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Tipo de motor	Motor de cubo de rotor exterior BLDC con sensor Hall
Marca	QS Motor, QSMOTOR
Diseño del motor	Eje simple sin llanta de ciclomotor (integrado)
Tamaño de la llanta	12 pulgadas, 13 pulgadas y más, CB $\geq$ 60mm, PCD $\leq$ 110mm (PCD 4*100mm, CB60mm por defecto)
Altura del imán:	45mm, 16 pares de polos
Estató	Núcleo de aluminio
Potencia nominal	2 000 W
Velocidad	24KPH-80KPH, es personalizado, generalmente diseñaremos como 72V65KPH
Rango de voltaje de trabajo:	48V-96V, será 72V por defecto
Par máximo aproximado	168.0 N-m
KV	8.5/9.6/10.4/11.9/13.1/14.6 (opcional)
Sonda térmica	KTY83-122 (por defecto, opcional)
Eficiencia máxima aproximada	84 %
Temperatura de trabajo	70-120 °C, pico 150 °C
Tipo de freno	Freno de disco de ciclomotor (por defecto), PCD: 3*80 mm, CB: 58 mm
Sensor Hall	Doble Halls con conectores a prueba de agua (uno para usar, uno para repuesto)
Cable de fase	8 mm <sup>2</sup> Sección transversal (no incluye la capa de aislamiento)
Ángulo de fase del sensor Hall	120 grados
Grado de impermeabilidad	IP 54
Color	Negro (por defecto)
N.W/ G.W	17,0 kg/18,5 kg

**Fuente:** [31]

Este tipo de motores ayudan a la reducción de piezas mecánicas a acoplar, se puede personalizar según el aumento de peso o pendientes donde se transite para entregar mayor potencia o restringir la potencia disminuyendo el voltaje de entrada.

### 3.2.2. SELECCIÓN DEL KIT DE CONVERSIÓN A VEHÍCULO ELÉCTRICO

Identificado el tipo de motor que se ajusta más a los objetivos a cumplir se define la potencia que necesita, se obtuvo una potencia eléctrica máxima de 3 753 W en la simulación realizada

en MATLAB®/Simulink®. La potencia inmediata superior más cercana es 4 kW, por ende, se seleccionó el kit de 2 kW por cada motor, QS MOTOR 2000 W 205 45H V3 BLDC (ANEXO IV) que se implementarán como tracción trasera, el kit viene con los siguientes elementos que son adecuados y configurables para trabajar según la aplicación.

### 3.2.2.1. Controlador

Se necesitan dos controladores los cuales gestionen la alimentación hacia los motores como también garanticen la integridad de los motores por desperfectos que puedan ocurrir, las especificaciones generales del controlador Kelly KLS7218S son:

**Tabla 3.4** Especificaciones del controlador Kelly KLS7218S

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Frecuencia de Operación	20kHz
Corriente de batería en espera	< 0.5mA
Corriente de alimentación del sensor de 5V o 12V	40mA
Gama de tensión de alimentación del controlador	PWR, 18V a 90V para controladores con una tensión igual o inferior a 72V
Corriente de alimentación	PWR, 30mA típica
Rango de tensión de la batería configurable, B+	Rango de funcionamiento máximo: 18V a 1,25*Tensión nominal
Entrada de acelerador estándar	0-5 voltios (potenciómetro resistivo de 3 hilos), 1-4 voltios (acelerador activo)
Entrada del acelerador	0-5 voltios. Puede usar un potenciómetro de 3 hilos para producir una señal de 0-5V
Controlador de la bobina del contactor principal	<2A
Rango de temperatura de funcionamiento a plena potencia	0°C a 70°C (temperatura del MOSFET)
Rango de temperatura de funcionamiento	-40°C a 100°C (temperatura del MOSFET)
Límite de corriente del motor, aumento de 10 segundos	200 A, según el modelo
Límite de corriente del motor, continuo	80A, dependiendo del modelo
Corriente máxima de la batería	Configurable
Corriente de 10 segundos	200 <sup>a</sup>
Corriente continua	80 <sup>a</sup>
Regeneración	Sí
Tensión	24-72V

**Fuente:** [32]

Este controlador (ANEXO V) viene integrado con el kit de conversión de coche eléctrico, lo que garantiza el correcto funcionamiento y se ajusta a los parámetros de funcionamiento que ofrece el motor en cubo.

### **3.2.2.2. Otros componentes**

El kit de conversión de coche eléctrico además de integrar los motores eléctricos y sus controladores, también incluyen los siguientes elementos:

- Velocímetro (ANEXO VI)
- Acelerador/freno manual (tipo moto) (ANEXO VII)
- Selector de marcha (ANEXO VIII)
- Sistema de freno de disco posterior (ANEXO IX)

## **3.3. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CARGA**

Como se revisó en el capítulo de Reseña Bibliográfica existen algunos tipos de cargas de vehículos eléctricos, el objetivo del vehículo es prolongar la vida útil de la batería, usar el tiempo de la noche para la carga del vehículo, como también realizar la carga en la vivienda sin ningún tipo de adaptación especial en el hogar; por ende, se selecciona el tipo de carga lenta para este vehículo.



## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

- Se definieron los elementos fundamentales y de apoyo que conformen el tren motriz eléctrico gracias a la investigación en fuentes confiables como artículos científicos, libros y trabajos de tesis determinando al paquete de baterías y el BMS como partes principales que conforman este sistema de propulsión seguido por los motores eléctricos y sus controladores.
- Se dimensionaron los componentes del tren motriz eléctrico utilizando el software MATLAB®/Simulink® empleando los diferentes parámetros que intervienen en el vehículo. De esta forma se permitieron establecer las diversas fuerzas actuantes en el coche y las características de los elementos del tren motriz.
- La utilización del modelo *backward facing vehicle* permitió la integración apropiada del modelo matemático en el software MATLAB®/Simulink® visualizando la variación de la pendiente máxima a escalar el vehículo disminuyendo su pendiente al aumentar la masa del vehículo.
- El análisis energético permitió identificar una estrecha relación entre la variación de masa con el consumo energético reduciendo la capacidad de energía de las baterías al aumentar la masa o pendiente del vehículo. Además, el empleo de freno regenerativo consigue un menor consumo energético aprovechando la energía al frenar o desacelerar el vehículo.

## 4.2. RECOMENDACIONES

- Emplear softwares especializados para un mejor y preciso cálculo
- Utilizar tecnologías de baterías actuales y evaluar mediante simulación su desempeño justificando su costo/beneficio
- Crear ciclos de manejo propios de la urbe y en autopista que se ajusten más a la conducción real en la ciudad de Ibarra
- Diseñar y construir un sistema de conducción mediante joystick para personas con problemas de manipulación y movilidad en miembros superiores
- Diseñar y adaptar los sistemas eléctricos del vehículo
- Estudiar diferentes tipos materiales alternativos livianos y resistentes para el chasis y carrocería del vehículo aligerando su masa sin afectar el factor de seguridad
- Optimizar el sistema de dirección, el sistema de suspensión y el sistema de frenado del vehículo permitiendo aligerar la masa y proporcionando mejor confort y seguridad
- Diseñar e implementar un diferencial electrónico a la tracción posterior
- Diseñar un sistema mecánico de velocidades que permita mejorar el rendimiento del vehículo y comparar su impacto frente al aumento de masa y desempeño

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Senplades, “Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida,” Quito, 2017.
- [2] UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, “Líneas de Investigación,” 2018.  
[https://www.utn.edu.ec/fica/carreras/mecatronica/?page\\_id=906](https://www.utn.edu.ec/fica/carreras/mecatronica/?page_id=906) (accessed Nov. 25, 2020).
- [3] M. Baeza, “Este es el último récord mundial del automóvil,” *El Motor*, May 12, 2018.
- [4] J. Espinosa, “¿Cuántos autos circulando hay en el mundo y cuántos se producen cada año?,” *AUTOS RPM*, Nov. 01, 2019.
- [5] OICA, “2019 Statistics,” *OICA*, 2019. <http://www.oica.net/category/production-statistics/2019-statistics/> (accessed Oct. 07, 2020).
- [6] D. S. Rosero Vargas and E. F. López Balcazar, “Diseño y construcción del sistema de propulsión para un prototipo de auto eléctrico BIPLAZA UTA-CIM17,” Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica, 2018.
- [7] A. D. Luzuriaga Delgado, “Adecuación de un tren motriz de un go kart de combustión interna a una de propulsión eléctrica provista de baterías de Ni MH,” Universidad del Azuay, 2018.
- [8] J. P. Morocho Ganzhi and J. F. Rivera Altamirano, “Diseño e implementación del tren de propulsión eléctrico de un prototipo para la competencia Eco Shell Marathon,” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2020.
- [9] P. Liu and S. Feng, “Integrated Motor and Two-speed Gearbox Powertrain System Development for Electric Vehicle,” in *2020 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Oct. 2020, pp. 1499–1504. doi: 10.1109/ECCE44975.2020.9236397.
- [10] Q. Dong, H. Qi, X. Liu, and Y. Wang, “Calibration and optimization of an electric vehicle powertrain system,” *Journal of the Chinese Institute of Engineers, Transactions of the Chinese Institute of Engineers, Series A*, vol. 41, no. 7, pp. 539–546, Oct. 2018, doi: 10.1080/02533839.2018.1530952.
- [11] F. Lei, Y. Bai, W. Zhu, and J. Liu, “A novel approach for electric powertrain optimization considering vehicle power performance, energy consumption and ride comfort,” *Energy*, vol. 167, pp. 1040–1050, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.energy.2018.11.052.
- [12] T. Denton, *Electric and Hybrid Vehicles*, First. New York: CRC Press, 2016.

- [13] J. Trashorras Montecelos, *Vehículos eléctricos - TRASHORRAS MONTECELOS, JESÚS - Google Libros*. Madrid: Paraninfo, 2019. Accessed: May 04, 2021. [Online]. Available: [https://books.google.com.ec/books?id=FMqwDwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=FMqwDwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- [14] Electromovilidad, “Historia del vehículo eléctrico,” *Electromovilidad*, 2015. <http://electromovilidad.net/historia-del-vehiculo-electrico/> (accessed May 03, 2021).
- [15] Tecmovia, “La historia del coche eléctrico: un largo proceso de desarrollo,” *diariomotor*, Tecmovia, Jul. 2011.
- [16] J. Lucendo, *Las Edades del Automóvil: Historia del Automóvil*. Jorge Lucendo, 2019.
- [17] D. Murias, “Historia de los coches eléctricos,” *motorpasion*, Mar. 2019.
- [18] LA VANGUARDIA, “El coche eléctrico: una historia que se repite,” *LA VANGUARDIA*, Barcelona, Feb. 27, 2018.
- [19] F. Martín Moreno, “Vehículos Eléctricos. Historia, Estado Actual Y Retos Futuros,” *European Scientific Journal*, vol. 7881, no. May, pp. 118–131, 2016, [Online]. Available: <http://eujournal.org/index.php/esj/article/view/7393>
- [20] R. Pareja and J. C. Luque, “Eléctricos e híbridos: ¿Qué tipos de coches hay en el mercado?,” *Car and Driver*, Feb. 2021.
- [21] L. P. Rodríguez, “Tipos de vehículo eléctrico,” 2018.
- [22] D. Murias Andrade, “Anatomía de un coche eléctrico: su sencilla mecánica, al desnudo,” *motorpasion*, Apr. 2020.
- [23] Y. Zhang *et al.*, “Sodium-ion capacitors: Materials, Mechanism, and Challenges,” *ChemSusChem*, vol. 13, no. 10, pp. 2522–2539, May 2020, doi: 10.1002/CSSC.201903440.
- [24] D. J. Rodríguez Patarroyo, R. A. Gómez Porras, and A. F. Campos Fajardo, “Sistemas de gestión de baterías (BMS) y su importancia para los sistemas de almacenamiento de baterías (BESS),” *Tecnura*, vol. 19\*, pp. 51–56, 2015, doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.ICE.a05.
- [25] P. Enge, N. Enge, and S. Zoepf, *ELECTRIC VEHICLE ENGINEERING*, McGraw-Hil. New York: McGraw-Hill, 2021.
- [26] J. I. Huertas, M. Giraldo, L. F. Quirama, and J. Díaz, “Driving Cycles Based on Fuel Consumption,” *Energies (Basel)*, vol. 11, no. 11, pp. 1–13, 2018, doi: 10.3390/en11113064.

- [27] D. S. Puma-Benavides, J. Izquierdo-Reyes, R. Galluzzi, and J. de D. Calderon-Najera, "Influence of the Final Ratio on the Consumption of an Electric Vehicle under Conditions of Standardized Driving Cycles," *Applied Sciences* 2021, Vol. 11, Page 11474, vol. 11, no. 23, p. 11474, Dec. 2021, doi: 10.3390/APP112311474.
- [28] T. J. Barlow, S. Latham, I. S. McCrae, and P. G. Boulter, "A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions," IHS, Crowthorne, 2009.
- [29] J. Y. Wong, *THEORY OF GROUND VEHICLES*, 3rd ed. New York, 2001.
- [30] Herramientas de Ingeniería, "Cálculo online de la presión atmosférica al variar la altitud sobre el nivel del mar."  
<https://www.herramientasingeneria.com/onlinecalc/spa/altitud/altitud.html> (accessed Feb. 13, 2022).
- [31] QSMOTOR, "QS Motor 2000W 205 45H V3 Brushless BLDC Electric Car Hub Motor for tricycle vehicle conversion," 2016.  
[http://www.cnqsmotor.com/en/article\\_read/QS%20Motor%202000W%20205%2045H%20V3%20Brushless%20BLDC%20Electric%20Car%20Hub%20Motor%20for%20tricycle%20vehicle%20conversion/268.html](http://www.cnqsmotor.com/en/article_read/QS%20Motor%202000W%20205%2045H%20V3%20Brushless%20BLDC%20Electric%20Car%20Hub%20Motor%20for%20tricycle%20vehicle%20conversion/268.html) (accessed Mar. 01, 2022).
- [32] KELLYCONTROLLERS.EU, "KLS7218S - KLS - Sinusoidal Wave Brushless Motor Controller - KellyControllers.eu," 2015. <https://www.kellycontrollers.eu/kls7218s> (accessed Mar. 02, 2022).
- [33] JAR UK Industries, "American Wire Gauge (AWG) to MM2 Conversions," 2018.

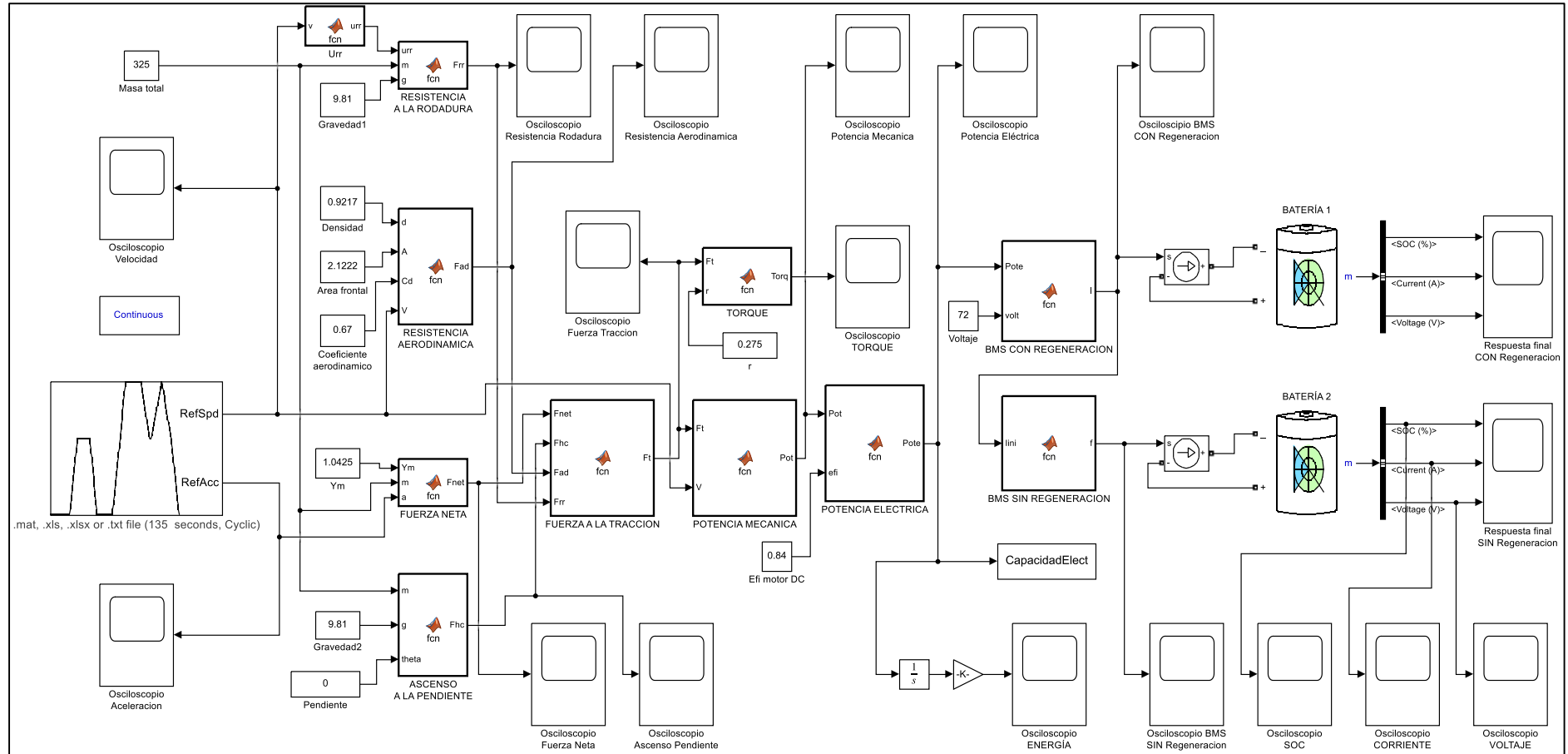
## ANEXOS

### ANEXO I Nomenclatura para los diferentes grupos de ciclo de manejo

Driving cycle group	Comments
EU legislative cycles	European test cycles used for type approval purposes – cars, HGVs & buses
US cycles	A variety of test cycles from the USA including their type approval cycles– cars, HGVs & buses
Japanese legislative cycles	Test cycles used for type approval purposes in Japan – cars
Legislative motorcycle cycles	Harmonised world-wide type approval test cycles for motorcycles
Warren Spring Laboratory (WSL) cycles	Car test cycles developed by TRL over the Stevenage and Hitchin routes, used by the former Warren Spring Laboratory for road tests
TRAMAQ UG214	Test cycles developed within the DfT TRAMAQ programme, project UG214 – cars, vans, HGVs & buses
Millbrook	Test cycles developed by Millbrook Proving Ground – HGVs & buses
OSCAR	Test cycles developed within the European 5 <sup>th</sup> Framework project: OSCAR – cars
ARTEMIS driving cycles	Test cycles developed within the European 5 <sup>th</sup> Framework project: ARTEMIS - cars
EMPA driving cycles	Swiss test cycles developed by EMPA for the UBA
Handbook driving cycles	The German/Austrian/Swiss (DACH) Handbook of emission factors. Swiss driving cycles extracted in this summary
MODEM-IM driving cycles	Short test cycles developed for inspection & maintenance purposes within the JCS project
INRETS driving cycles	Test cycles developed by INRETS from data logged around Lyon, France
INRETS short cycles (cold start)	Short versions of the INRETS driving cycles
MODEM driving cycles	Realistic driving cycle developed within MODEM project, based on data from 60 cars in normal use in 6 towns in the UK, France and Germany
ARTEMIS WP3141	Additional test cycles for cars derived within the ARTEMIS project, based on data collected in Naples
Modem-HyZem for passenger cars	Test cycles developed for evaluating hybrid vehicles
Driving cycles for passenger cars with a professional use	Test cycles developed by INRETS from data collected from cars used for business purposes
Driving cycles for light vans (1,3 to 1,7 tonnes)	Test cycles developed by INRETS for small vans
Driving cycles for 2.5 tonne vans	Test cycles developed by INRETS for medium vans
Driving cycles for 3.5 tonne vans	Test cycles developed by INRETS for large vans
MTC cycles	Test cycles developed by MTC for cars
TUG cycles	Test cycle developed by TUG, Graz, to evaluate the effects of gradient
TRRL cycles	Stylised test cycles developed by TRRL, based on logged data.
TRL M25	High speed car test cycle developed by TRL, based on data collected on the M25 motorway.
BP bus cycle	Bus test cycle developed by BP
TNO bus	Bus test cycle developed by TNO, The Netherlands
FHB motorcycle cycles	Motorcycle test cycles developed by Biel University of applied science, Switzerland

Fuente: [28]

ANEXO II Modelamiento del tren motriz eléctrico en MATLAB®/Simulink®



**ANEXO III** Tabla de selección de diferentes calibres de cables eléctricos

<b>AWG Size</b>	<b>Equivalent Cross-Section</b>	<b>Nearest mm<sup>2</sup> Cable Size</b>
24 AWG	0,205 mm <sup>2</sup>	0,25 mm <sup>2</sup>
22 AWG	0,326 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>
20 AWG	0,519 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup> – mm <sup>2</sup>
18 AWG	0,823 mm <sup>2</sup>	1 mm <sup>2</sup>
16 AWG	1,31 mm <sup>2</sup>	11,5 mm <sup>2</sup>
14 AWG	2,08 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
12 AWG	3,31 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>
10 AWG	5,26 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>
8 AWG	8,37 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>
6 AWG	13,3 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>
4 AWG	21,15 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>
2 AWG	33,62 mm <sup>2</sup>	35 mm <sup>2</sup>
1 AWG	42,41 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>
1/0 AWG	53,49 mm <sup>2</sup>	70 mm <sup>2</sup>
2/0 AWG	67,23 mm <sup>2</sup>	70 mm <sup>2</sup>
3/0 AWG	85,01 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>
4/0 AWG	107,2 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>

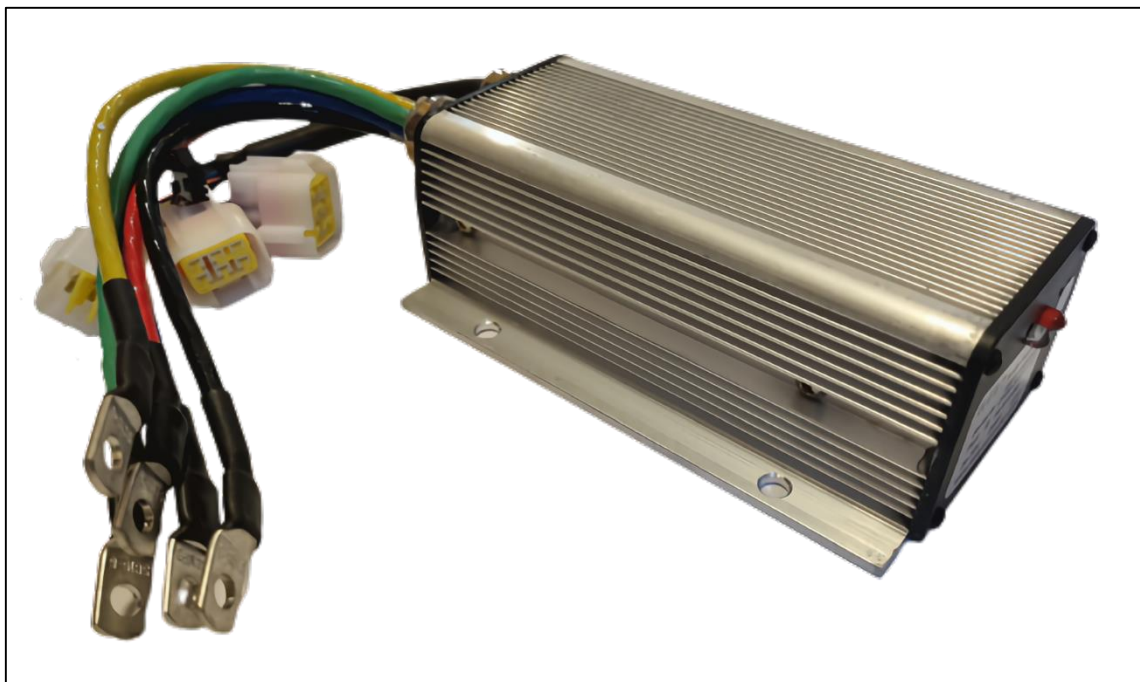
Fuente: [33]



**ANEXO IV** Motor QSMOTOR 2000W 205 45H V3



**ANEXO V** Controlador Kelly KLS7218S



**ANEXO VI Velocímetro****ANEXO VII Acelerador/freno de mano de coche eléctrico**

**ANEXO VIII** Selector de marcha



**ANEXO IX** Sistema de dos unidades de freno de disco posterior

