



Análisis tecnológico y de operación de los sistemas de movilidad eléctrica como alternativa para disminuir el uso de combustibles fósiles en el Ecuador.

Paredes Chávez, Daniel Alexander y Rea Cedeño, Jordano Patricio

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz.

Ing. Erazo Laverde, Washington Germán.

09 de agosto del 2022

Latacunga

Reporte de verificación de contenido



Paredes_Rea_Erazo_Tesis Analisis Tecnologico.pdf

Scanned on: 21:22 August 5, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	1268
Words with Minor Changes	1137
Paraphrased Words	1097
Omitted Words	0

Firmado digitalmente por
WASHINGTON GERMAN ERAZO
LAVERDE
Fecha: 2022.08.08 08:43:09 -05'00'

Certificación



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, "Análisis tecnológico y de operación de los sistemas de movilidad eléctrica como alternativa para disminuir el uso de combustibles fósiles en el Ecuador", fue realizado por los señores Paredes Chávez, Daniel Alexander y Rea Cedeño, Jordano Patricio; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permite acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 09 de agosto del 2022

Firma:

Ing. Erazo Laverde, Washington Germán

C.E. 0501432637

Responsabilidad de autoría



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de autoría

Nosotros **Paredes Chávez, Daniel Alexander** y **Rea Cedeño, Jordano Patricio**, con cédulas de ciudadanía N° 1728284215 y N° 0503821480 declaramos que en el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación, **Análisis tecnológico y de operación de los sistemas de movilidad eléctrica como alternativa para disminuir el uso de combustibles fósiles en el Ecuador**, fue realizado por los señores **Daniel Paredes, Jordano Rea**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 09 de agosto del 2022

Paredes Chávez Daniel Alexander

C.C: 1728284215

Rea Cedeño Jordano Patricio

C.C: 0503821480

Autorización de publicación



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Autorización de publicación

Nosotros, **Paredes Chávez, Daniel Alexander** y **Rea Cedeño, Jordano Patricio**, con cédulas de ciudadanía N° 1728284215 y N° 0503821480 autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Análisis tecnológico y de operación de los sistemas de movilidad eléctrica como alternativa para disminuir el uso de combustibles fósiles en el Ecuador**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 09 de agosto del 2022

Paredes Chávez Daniel Alexander

C.C: 1728284215

Rea Cedeño Jordano Patricio

C.C: 0503821480

Dedicatoria

En primer lugar, quiero dedicar este logro a Dios quien me supo direccionar por un buen camino, darme todas las fuerzas para surgir adelante y nunca desfallecer en el intento y encarar los problemas que se presentan en esta vida.

En segundo a mi madre quien me dio la vida, y quien es el pilar más importante y por siempre demostrarme ese cariño incondicional, por haberme forjado al llevarme por el camino del bien con buenos valores.

A mi padre por ser el eje importante del hogar brindarme su apoyo incondicional y su motivación constante con palabras de aliento en cada momento de mi vida y sin él no lo hubiera logrado este triunfo.

Dedicatoria

Este trabajo de titulación está dedicado en primer lugar a dios por cuidarme y no dejarme caer en los momentos difíciles que conlleva la etapa universitaria, tuve momentos en los que mi fuerza se estaba agotando, pero con una oración dios fue la salida para subir mi ánimo y nunca perder el camino correcto.

En segundo lugar, dedico este trabajo a mis padres. Ellos siempre estuvieron hay para aconsejarme y subirme el ánimo con su cariño y sus buenos deseos. A mi padre que es el principal pilar con su comprensión y apoyo incondicional que a pesar de la distancia supo brindarme.

A mis abuelos porque gracias ellos soy una persona correcta con un carácter formado y con buenos sentimientos, A mi abuela que ya se encuentra en el cielo gracias a sus cuidados y buenas costumbres. Dedico este proyecto a mi novia que siempre me apoyo con su cariño y comprensión y al fruto de nuestro amor que se encuentra en su vientre gracias a él obtuve más ganas de lograr esta meta.

Agradecimiento

Quiero agradecer a Dios por darme la salud y la vida y por haberme acompañado en toda mi carrera así con pertinencia de ir cumpliendo cada uno mis objetivos propuestos dándome sabiduría y fortalezas para lograrlo.

A mis padres Hugo Paredes y Delia Chávez y decirle que gracias a ustedes soy la persona más afortunada por tenerlos siempre estuvieron para mi dándome por su inmenso apoyo y cariño que desde siempre lo han venido haciendo.

Asimismo, quiero agradecer a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por haberme dado la oportunidad de formalizarme, las oportunidades que me a brindado esta prestigiosa universidad son incomparables.

A mi tutor el Ingeniero German Erazo por brindarme su colaboración, paciencia y por su asesoría y apoyo basados con sus grandes conocimientos y orientación para el desarrollo de esta investigación.

Finalmente quiero agradecer a toda mi familia, amigos por ese inmenso apoyo que me brindaron en todo este ciclo.

Paredes Daniel

Agradecimiento

En este trabajo quiero agradecer a mi querido dios por nunca desampárame y darme la fuerza necesaria para enfrentar todos los momentos difíciles en este largo viaje llamado vida. Por cuidarme y enviarme las señales adecuadas para poder tomar buenas decisiones.

Por poner a las personas correctas y de bien de camino hacia esta tan anhelada meta.

Agradezco a mi madre por haber tenido la fuerza y la decisión para darme la vida. A mi querido padre por su apoyo incondicional para lograr este objetivo, aunque el no estuvo presente en todo este proceso de formación siempre deseó que su primer hijo fuera un profesional de esta prestigiosa institución.

Agradezco toda mi familia por nunca perder la esperanza de que yo fuera un profesional. Principalmente agradezco a mis amados abuelos, que me cuidaron y me enseñaron buenos valores desde muy temprana edad, gracias a ellos soy una persona de carácter y buenos sentimientos.

Finalmente agradezco a la ESPE por todo lo que aprendí en sus aulas, a los maestros que tuvieron paciencia y valor para transmitir sus conocimientos. Agradezco al ingeniero German Erazo por todo el tiempo que entregó para poder culminar este trabajo de grado.

Rea Jordano

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Índice de contenido	10
Índice de figuras	18
Índice de tablas	22
Resumen.....	24
Abstract	25
Capítulo I: Marco metodológico de la investigación	26
Antecedentes investigativos	26
Planteamiento del problema.....	29
Descripción resumida del proyecto	30
Justificación e importancia.	31
Objetivos del proyecto.....	32
<i>Objetivo General</i>	32
<i>Objetivo Específico</i>	32
Meta.....	33

Hipótesis	33
Variables de la investigación.....	33
<i>Variable independiente</i>	33
<i>Variables dependientes</i>	34
Metodología de desarrollo del proyecto	36
<i>Método comparativo</i>	36
<i>Método Experimental</i>	36
<i>Método de matematización</i>	36
<i>Método de modelación</i>	36
<i>Método de medición</i>	36
<i>Método científico</i>	36
<i>Método inductivo</i>	37
<i>Método deductivo</i>	37
Capítulo II: Fundamento teórico	40
Movilidad eléctrica sostenible a nivel mundial	40
Movilidad eléctrica sostenible en Ecuador.....	40
Introducción a los Híbridos	41
Definición del vehículo eléctrico	42
Clasificación de los vehículos eléctricos	42
<i>Vehículos híbridos no enchufable (HEV)</i>	43
<i>Vehículos híbridos eléctricos enchufables</i>	43
<i>Vehículos 100% eléctricos (BEV)</i>	44
Motocicletas eléctricas	45

Componentes de la motocicleta eléctrica.....	46
<i>Power Train</i>	46
<i>Controles</i>	46
<i>Baterías</i>	47
<i>Inversor</i>	48
<i>Motor eléctrico</i>	49
Componentes del Vehículo Eléctrico.....	49
Motores eléctricos.....	50
Tipos de Motores Eléctricos	50
<i>Motor asíncrono o de inducción</i>	50
<i>Motor de flujo axial</i>	51
<i>Motor sincrónico de imán permanente</i>	52
<i>Motor de corriente continua sin escobillas</i>	52
Inversor DC/AC	53
Partes principales del Inversor.....	54
<i>Condensadores del circuito inversor</i>	54
<i>Conjunto de resistencias</i>	54
<i>Módulo IPM</i>	54
<i>Transistores IGBT</i>	55
Convertidor DC/DC.....	55
Cargador AC/DC	56
Tipos de Cargadores.....	56
<i>SAE J1772-2009</i>	56

<i>IEC 60309</i>	57
<i>IEC 62196</i>	57
<i>Mennekes</i>	58
<i>Conector único combinado o CCS</i>	59
<i>Scame o tipo 3</i>	59
<i>Chademo</i>	60
Batería de alta tensión	60
Sistema Jumper de la batería	61
Pasos para la desconexión del jumper en el pack de batería hv:	62
Tipos de Baterías	62
<i>Baterías de Plomo-Ácido</i>	62
<i>Baterías de Níquel-Metal</i>	62
<i>Baterías de Ion-Litio</i>	63
Dinámica del vehículo	63
<i>Fuerza aerodinámica</i>	64
<i>Fuerza de arrastre</i>	65
<i>Fuerza en pendiente</i>	65
<i>Fuerza neta</i>	66
<i>Fuerza de tracción</i>	67
<i>Potencia mecánica</i>	67
<i>Potencia eléctrica</i>	68
Ciclos de conducción	68
<i>Ciclo de conducción NEDC</i>	68

<i>Ciclo de conducción FTP-75</i>	69
<i>WLTP (Procedimiento mundial de prueba de vehículos armonizados)</i>	69
Modelado dinámico y simulación	70
Geo Tracker	71
Capítulo III: Modelación y simulación mecánica eléctrica	72
Cuadro estadístico de movilidad eléctrica existentes en el Ecuador	74
Obtención de datos de vehículos y motocicletas eléctrica en el Ecuador	80
<i>Kia Soul</i>	80
<i>Dayang DY-GD04B (Chok G2)</i>	81
<i>Dongfeng Rich6 Ev</i>	82
<i>Moto Classic II</i>	83
Análisis tecnológico	84
<i>Contaminación</i>	84
<i>Tecnología</i>	86
Modelación de circuitos de alta, media y baja tensión de una moto eléctrica ..	88
<i>Batería</i>	89
<i>Controlador</i>	89
<i>Controles</i>	92
<i>Motor eléctrico</i>	94
<i>Cargador</i>	95
Obtener parámetros característicos de la motocicleta eléctrica	96
<i>Análisis del estado del acelerador, selector de velocidades y freno</i>	97
<i>Resultados y comprobación del controlador</i>	98

<i>Datos y comprobación del motor</i>	99
Modelación de circuitos de alta, media y baja tensión de un vehículo	101
<i>Batería</i>	101
<i>Electric Power Control Unit (EPCU)</i>	103
<i>Motor eléctrico</i>	104
<i>Cargador</i>	105
Capítulo IV: Análisis de resultados obtenidos en el software especializado	107
Modelación de la moto eléctrica en software CFD	107
Ciclos de conducción para definir los parámetros eléctricos de la moto	109
<i>Ruta moto eléctrica</i>	110
<i>Perfil de elevación de la ruta</i>	111
Densidad del aire	112
Dinámica de la moto Classic II	113
<i>Fuerza de arrastre</i>	113
<i>Fuerza aerodinámica</i>	115
<i>Fuerza en pendiente</i>	116
<i>Fuerza neta</i>	117
<i>Fuerza de tracción</i>	118
<i>Potencia mecánica</i>	118
<i>Potencia eléctrica</i>	118
Diseño del modelo matemático en software de la moto Classic II	118
Resultados obtenidos de la simulación en software de la moto	122
<i>Fuerza de tracción vs tiempo</i>	122

<i>Potencia eléctrica vs tiempo</i>	123
<i>Corriente vs tiempo</i>	124
<i>Caída de voltaje vs tiempo</i>	125
<i>Estado de carga vs tiempo</i>	126
Modelación del vehículo eléctrico en software CFD	127
Ciclo de conducción vehículo eléctrico Kia Soul	129
<i>Ciclo de conducción del distrito metropolitano de Quito</i>	129
<i>Perfil de elevación del ciclo de conducción en el distrito de Quito</i>	130
Dinámica del vehículo	131
<i>Fuerza de arrastre</i>	131
<i>Fuerza aerodinámica</i>	132
<i>Fuerza en pendiente</i>	133
<i>Fuerza neta</i>	133
<i>Fuerza de tracción</i>	134
<i>Potencia mecánica</i>	134
<i>Potencia eléctrica</i>	134
Diseño del modelo matemático en software especializado del vehículo	134
Resultados obtenidos de la simulación en software del vehículo	135
<i>Fuerza de tracción vs tiempo</i>	135
<i>Potencia eléctrica vs tiempo</i>	136
<i>Corriente vs tiempo</i>	137
<i>Caída de voltaje vs tiempo</i>	138
<i>Estado de carga vs tiempo</i>	139

Capítulo V: Marco administrativo	140
<i>Recursos humanos</i>	140
<i>Recursos materiales</i>	140
<i>Recursos tecnológicos</i>	140
<i>Costo neto del proyecto</i>	141
Conclusiones	142
Recomendaciones	144
Bibliografía	145
Anexos.....	149

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Árbol de problemas</i>	29
Figura 2 <i>Ventas mensuales de vehículos eléctricos</i>	41
Figura 3 <i>Partes principales del Toyota Prius</i>	42
Figura 4 <i>Componentes principales del vehículo híbrido no enchufable</i>	43
Figura 5 <i>Componentes principales del vehículo híbrido enchufable</i>	44
Figura 6 <i>Componentes principales del vehículo eléctrico</i>	45
Figura 7 <i>Motocicleta eléctrica</i>	45
Figura 8 <i>Componentes de la motocicleta eléctrica</i>	46
Figura 9 <i>Sensor acelerador</i>	47
Figura 10 <i>Baterías</i>	48
Figura 11 <i>Inversor</i>	48
Figura 12 <i>Motor eléctrico</i>	49
Figura 13 <i>Esquema principal de un vehículo eléctrico</i>	50
Figura 14 <i>Motor AC de inducción</i>	51
Figura 15 <i>Ensamble de un motor axial</i>	51
Figura 16 <i>Motor síncrono de imanes permanentes de Audi</i>	52
Figura 17 <i>Desarmado de Motor Brushelss DC</i>	53
Figura 18 <i>Inversor</i>	53
Figura 19 <i>Módulo IPM</i>	55
Figura 20 <i>Transistores IGBT</i>	55
Figura 21 <i>Conector SAE J1772 -2009</i>	57
Figura 22 <i>Conector IEC 60309</i>	57
Figura 23 <i>Conector IEC 62196</i>	58
Figura 24 <i>Conector Mennekes</i>	58
Figura 25 <i>Conector CCS</i>	59
Figura 26 <i>Conector Scame o Tipo 3</i>	59
Figura 27 <i>Conector Chademo</i>	60

Figura 28 <i>Jumper</i>	61
Figura 29 <i>Batería de Ion de Litio</i>	63
Figura 30 <i>Fuerzas que interactúan en el EV</i>	64
Figura 31 <i>Flujo de aire que interacciona con del vehículo</i>	64
Figura 32 <i>Fuerza de arrastre</i>	65
Figura 33 <i>Fuerza en pendiente</i>	66
Figura 34 <i>Fuerza de tracción</i>	67
Figura 35 <i>Ciclo de conducción NEDC</i>	69
Figura 36 <i>Ciclo de conducción WLTP</i>	70
Figura 37 <i>Matlab & Simulink</i>	70
Figura 38 <i>Flujograma</i>	73
Figura 39 <i>Venta de vehículos MCI</i>	75
Figura 40 <i>Venta de vehículos EV</i>	77
Figura 41 <i>Venta de motos</i>	78
Figura 42 <i>Venta de motos eléctricas</i>	80
Figura 43 <i>Esquema eléctrico completo moto classic II</i>	88
Figura 44 <i>Conexión en serie de las baterías</i>	89
Figura 45 <i>Controlador</i>	90
Figura 46 <i>Esquema eléctrico del controlador</i>	90
Figura 47 <i>Diagrama de cableado del controlador</i>	91
Figura 48 <i>Acelerador electrónico y selector de velocidad</i>	92
Figura 49 <i>Circuito del acelerador electrónico y selector de velocidad</i>	93
Figura 50 <i>Motor eléctrico y sensor resolver moto eléctrica</i>	94
Figura 51 <i>Circuito del motor eléctrico y sensor resolver</i>	94
Figura 52 <i>Cargador</i>	95
Figura 53 <i>Circuito del cargador de baterías</i>	96
Figura 54 <i>Circuito del módulo de batería</i>	101
Figura 55 <i>Circuito eléctrico batería de alto voltaje</i>	102

Figura 56 <i>Inversor</i>	103
Figura 57 <i>Diagrama eléctrico motor trifásico</i>	104
Figura 58 <i>Conector SAE J1772</i>	105
Figura 59 <i>Circuito eléctrico del cargador nivel 1</i>	106
Figura 60 <i>Simulación aerodinámica Moto eléctrica classic II</i>	107
Figura 61 <i>Área frontal Moto eléctrica classic II</i>	108
Figura 62 <i>Fuerza del aire con sus interacciones</i>	109
Figura 63 <i>Ruta en los alrededores de la universidad</i>	110
Figura 64 <i>Velocidad vs tiempo</i>	111
Figura 65 <i>Altura vs tiempo</i>	111
Figura 66 <i>Datos del tiempo en Latacunga</i>	112
Figura 67 <i>Interacción de todas las fuerzas</i>	113
Figura 68 <i>Grafica de elevación de la ruta</i>	117
Figura 69 <i>Simulación en software especializado</i>	119
Figura 70 <i>Bloque Drive Cycle</i>	119
Figura 71 <i>Bloques de las diferentes fuerzas</i>	120
Figura 72 <i>Bloques para obtención de la corriente consumida</i>	121
Figura 73 <i>Bloques de comportamiento de la batería</i>	121
Figura 74 <i>Fuerza de tracción vs tiempo</i>	122
Figura 75 <i>Potencia eléctrica vs tiempo</i>	123
Figura 76 <i>Corriente vs tiempo</i>	124
Figura 77 <i>Caída de voltaje vs tiempo</i>	125
Figura 78 <i>Estado de carga (SOC) vs tiempo</i>	126
Figura 79 <i>Simulación aerodinámica Kia Soul</i>	127
Figura 80 <i>Área frontal Kia Soul EV</i>	128
Figura 81 <i>Fuerza del aire e iteraciones</i>	128
Figura 82 <i>Ciclo de conducción combinado Quito</i>	130
Figura 83 <i>Datos experimentales resistencia a la rodadura</i>	131

Figura 84 <i>Fuerza de tracción vs tiempo</i>	135
Figura 85 <i>Potencia eléctrica vs tiempo</i>	136
Figura 86 <i>Corriente vs tiempo</i>	137
Figura 87 <i>Caída de voltaje vs tiempo</i>	138
Figura 88 <i>Estado de carga (SOC) vs tiempo</i>	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Operación de la variable independiente</i>	33
Tabla 2 <i>Operación de la variable dependiente</i>	34
Tabla 3 <i>Metodología de la investigación</i>	37
Tabla 4 <i>Número de vehículos MCI vendidos en 2021</i>	74
Tabla 5 <i>Número de vehículos eléctricos vendidos en 2021</i>	75
Tabla 6 <i>Número de motos MCI vendidos en 2021</i>	77
Tabla 7 <i>Marcas más representativas en motos eléctricas en Ecuador</i>	78
Tabla 8 <i>Datos técnicos Kia Soul</i>	80
Tabla 9 <i>Datos técnicos Dayang Chok G2</i>	81
Tabla 10 <i>Datos técnicos Dongfeng Rich6 EV</i>	82
Tabla 11 <i>Datos técnicos moto eléctrica Classic II</i>	83
Tabla 12 <i>Límites máximos de emisiones con motor a gasolina</i>	84
Tabla 13 <i>Valores límites máximos para motocicletas y tricimotos</i>	86
Tabla 14 <i>Comparación de las tecnologías</i>	87
Tabla 15 <i>Descripción de cableado</i>	91
Tabla 16 <i>Conmutación de diferentes velocidades</i>	93
Tabla 17 <i>Valores característicos y graficas del acelerador, selector y freno</i>	97
Tabla 18 <i>Verificación de las fases y transistores del controlador</i>	99
Tabla 19 <i>Comprobación del motor trifásico y sensores resolver</i>	100
Tabla 20 <i>Secuencia de funcionamiento relés</i>	102
Tabla 21 <i>Distribución de fases en ranuras</i>	105
Tabla 22 <i>Prueba de desaceleración</i>	114
Tabla 23 <i>Datos para calcular la fuerza aerodinámica</i>	116
Tabla 24 <i>Fuerza aerodinámica para diferentes velocidades</i>	116
Tabla 25 <i>Variación de la fuerza de tracción</i>	122
Tabla 26 <i>Variación de potencia eléctrica</i>	123
Tabla 27 <i>Variación de corriente</i>	124

Tabla 28 <i>Variación de voltaje</i>	125
Tabla 29 <i>Estado de carga (SOC)</i>	126
Tabla 30 <i>Parámetros ciclo de conducción Quito-Ecuador</i>	130
Tabla 31 <i>Datos para calcular fuerza aerodinámica</i>	132
Tabla 32 <i>Fuerza aerodinámica para diferentes velocidades</i>	133
Tabla 33 <i>Datos para el modelo matemático en Matlab</i>	134
Tabla 34 <i>Variación de la fuerza de tracción</i>	135
Tabla 35 <i>Variación de la potencia eléctrica</i>	136
Tabla 36 <i>Variación de corriente</i>	137
Tabla 37 <i>Variación voltaje batería</i>	138
Tabla 38 <i>Variación del SOC</i>	139
Tabla 39 <i>Recursos Humanos</i>	140
Tabla 40 <i>Recursos materiales</i>	140
Tabla 41 <i>Recursos tecnológicos</i>	140

Resumen

En este presente proyecto de titulación consta en el análisis tecnológico de los sistemas de movilidad eléctrica, como alternativa fundamental para disminuir el uso de los combustibles fósiles y reducir las emisiones de gases nocivos emitidos por vehículos a combustión, dado que mediante datos estadísticos investigados y obtenidos por la AEADE que se dan sobre el crecimiento del parque automotor se determinó el aporte que da el uso de vehículos eléctricos y motocicletas eléctricas a la reducción de contaminación del aire que nos rodea. Se creó un ciclo de conducción óptimo con la moto Classic II dentro del campus de la Universidad de las Fuerzas Armadas por medio de aplicaciones GPS y convertidores de archivos en línea para obtener una base de datos de velocidad y tiempo del recorrido realizado por la moto eléctrica. Con diagramas eléctricos se ilustra cada uno de los componentes que conforman el vehículo y la motocicleta eléctrica, detallando el funcionamiento que cumplen estos elementos. Otro de los puntos que se generó fue la comprobación de parámetros eléctricos de la moto en donde también se especifica la forma correcta de comprobar cada uno de los componentes mediante un osciloscopio Hantek 1008c y un multímetro automotriz. En base a la modelación y simulación se sustentó las fuerzas que se están interactuando en el vehículo eléctrico en base a la dinámica del vehículo. Con la ayuda del programa Matlab versión estudiantil se obtuvo un simulador del vehículo y la motocicleta eléctrica para obtener parámetros sobre el comportamiento de la batería en un circuito específico del Ecuador.

Palabras clave: Electromovilidad, Simulación, Dinámica de fluidos, dinámica del vehículo, tren de potencia, osciloscopio, diagrama eléctrico.

Abstract

This degree project consists of the technological analysis of electric mobility systems, as a fundamental alternative to reduce the use of fossil fuels and reduce emissions of harmful gases emitted by combustion vehicles, since through statistical data researched and obtained by the AEADE that are given on the growth of the vehicle fleet, the contribution that gives the use of electric vehicles and electric motorcycles to the reduction of air pollution that surrounds us was determined. An optimal driving cycle was created with the Classic II motorcycle within the campus of the University of the Armed Forces by means of GPS applications and online file converters to obtain a database of speed and time of the route taken by the electric motorcycle. Electrical diagrams were used to illustrate each of the components that make up the vehicle and the electric motorcycle, detailing the operation of these elements. Another point that was generated was the verification of electrical parameters of the motorcycle where the correct way to check each of the components using a Hantek 1008c oscilloscope and an automotive multimeter is also specified. Based on the modeling and simulation, the forces that are interacting in the electric vehicle were supported based on the vehicle dynamics. With the help of the Matlab program, student version a simulator of the vehicle and the electric motorcycle was obtained to obtain parameters on the behavior of the battery in a specific circuit of Ecuador.

Keywords: Electromobility, Simulation, Fluid dynamics, vehicle dynamics, power train, oscilloscope, electrical diagram.

Capítulo I

Marco metodológico de la investigación

Antecedentes investigativos

La quema de combustibles fósiles se ha convertido en un gran problema para la contaminación de las ciudades ya que son la mayor fuente de contaminación medio ambiental, una solución propuesta para este problema es aumentar el uso de movilidad eléctrica (Amaguaña & Solano 2010) menciona que:

“Los vehículos eléctricos contribuyen a la reducción de las emisiones de carbono en comparación a los sistemas de propulsión basados en ciclos de combustión”. (p. 10).

En la etapa de escape de los motores de combustión se generan gases nocivos para la salud humana (Llanes, Rocha, et Al., 2018) mencionan que:

Las emisiones de hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO), tienen un serio impacto en la salud pública por su concentración de contaminantes atmosféricos en el aire capitalino. Una de las principales fuentes de contaminantes atmosférico son las fuentes móviles (vehículos a gasolina y a diésel), lo cual ha motivado que a nivel mundial se establezcan normas que regulan el nivel de contaminación vehicular según su año de fabricación, sistema de alimentación y tipo de combustible. (p. 150)

Los vehículos eléctricos no contaminan el medio ambiente en su etapa de funcionamiento sin embargo la contaminación que le corresponde está dado por la generación de la energía en las centrales hidroeléctricas, (Córdova, 2015) establece que:

Los vehículos eléctricos no emiten contaminación de ningún tipo en su funcionamiento, sin embargo las emisiones de gases de efecto invernadero que les corresponden son las debidas a la generación de la energía eléctrica con la que han sido recargados, salvo que fueran recargados con energía eléctrica proveniente del carbón o del petróleo exclusivamente, las emisiones resultantes son menores dado

que la eficiencia global del proceso desde la planta de energía eléctrica hasta el movimiento de la cadena cinemática es mayor.(p. 16)

Los vehículos eléctricos son muy accesibles económicamente para cualquier usuario y su costo de mantenimiento es bajo, también tiene ventajas económicas a largo plazo ya que el combustible en el Ecuador tiene un alto precio.

(Cando & Cayo, 2021) asegura que:

Un vehículo eléctrico al cabo de 2 años se logra ahorrar hasta un 62% en gastos de mantenimiento, y en cuanto al consumo de combustible se determinó que el vehículo eléctrico nos brinda un ahorro de hasta el 80% en comparación al consumo del motor de combustión interna. (p. 19).

Dentro de las tendencias actuales tenemos al vehículo eléctrico como el principal avance tecnológico de los últimos años, el componente principal y el más estudiado es la batería. Existen varios tipos de baterías, pero la preferencia en este momento son las celdas de Ion Litio.

(Pillco, 2018) manifiesta que:

En relación a las tecnologías de los acumuladores de energía eléctrica para aplicaciones en vehículos de tracción eléctrica, se puede concluir que los acumuladores que basan su química constructiva en el Ion Litio son los más idóneos para este tipo de aplicaciones. Gracias a la alta energía específica y densidad de energía, lo cual repercute en un menor peso y volumen del sistema de almacenamiento de energía respectivamente, el vehículo puede conseguir mayor autonomía y eficiencia. (p. 133)

La simulación por software especializado es una poderosa herramienta que abarata costos de investigación, gracias a que no se realizan ensayos de prueba error con vehículos reales, se pueden obtener datos de autonomía de diferentes vehículos existentes en el

mercado en ciclos de conducción similares a los que se tiene en el país (Irurueta, Lima, et al., 2020) asegura que:

Mediante software especializado se puede crear una simulación que servirá como base para interiorizar aspectos técnicos necesarios para desarrollos posteriores en materia de vehículos eléctricos. Como resultado la herramienta permitirá despejar dudas sobre el comportamiento de estos vehículos para usuarios interesados en adquirir un vehículo eléctrico. (p. 7).

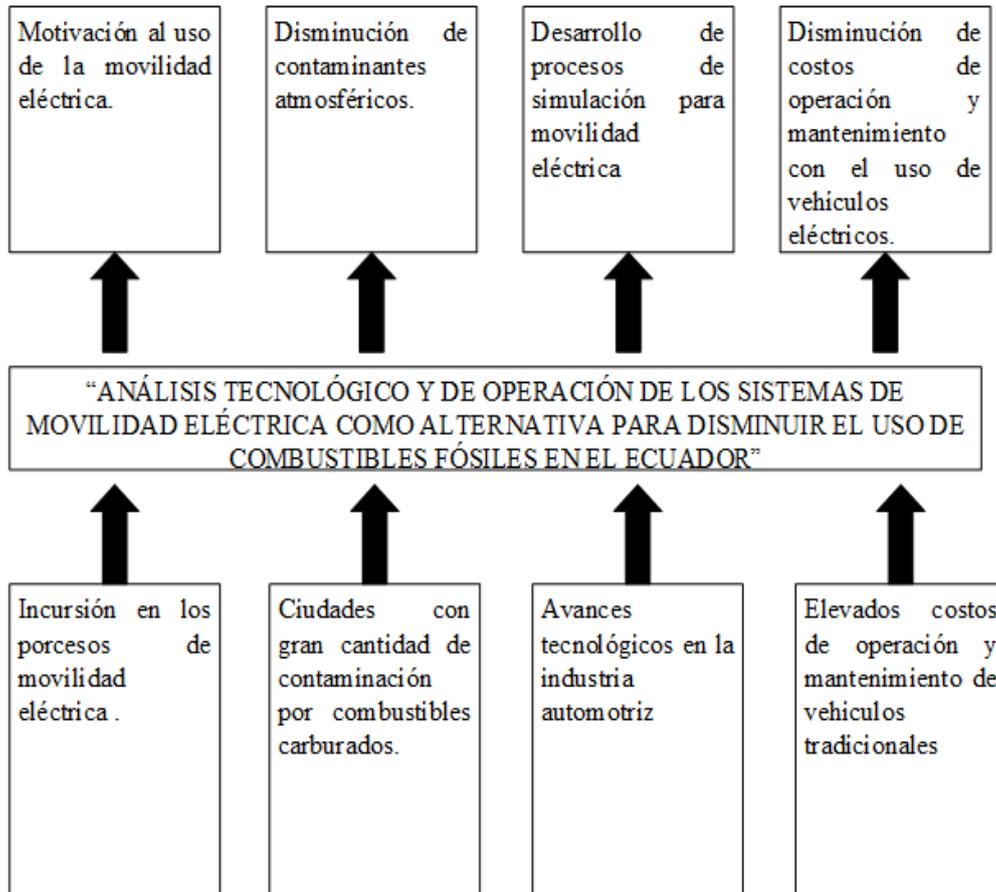
Para que esta nueva tecnología de movilidad sea aceptada por un gran número de usuarios es necesario que en el país se instalen electrolineras en puntos específicos para poder realizar viajes interurbanos (Castaño, 2020) establece que:

Dado el crecimiento que se espera del número de vehículos eléctricos que circularán por nuestras carreteras, se convierte en una urgencia nacional el aumento del número de puntos de recarga rápida disponibles. Para ello sería muy deseable que, además de fomentar las redes públicas propias de puntos de recarga, las administraciones competentes (nacionales y locales, especialmente), apoyen los distintos planes de despliegue de puntos de recarga que tienen en marcha las empresas, eliminando las múltiples barreras burocráticas, administrativas y de permisos y licencias, que están impidiendo, en el momento actual, la implantación de numerosos puntos en plazos razonables. Resultan sorprendentes y muy desagradables las barreras de todo tipo con las que se encuentra, hoy en día, una tramitación de un punto de recarga público, que debería tener un camino mucho más simple para alcanzar los objetivos de descarbonización y lucha contra el cambio climático que todos dicen apoyar. (p. 12).

Planteamiento del problema

Figura 1

Árbol de problemas



La industria automotriz, cada vez evoluciona más, con el pasar de los años se mejora la electrónica y los métodos de almacenamiento de energía eléctrica, muy de la mano está la mejora en la generación de energía eléctrica en el Ecuador gracias al gran aumento de centrales hidroeléctricas. Una de las principales aplicaciones de la electrónica en la actualidad es la movilidad eléctrica y es una tendencia mundial, la más aceptada por países desarrollados con el fin de disminuir la contaminación ambiental de sus ciudades. Con la motivación al uso de movilidad eléctrica se llegará a contribuir de manera positiva al medio ambiente eliminando las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera. Los sistemas de movilidad eléctrica son vehículos impulsados por energía eléctrica que pueden tomar energía de la red domiciliaria, los costos de operación de estos sistemas de movilidad son casi nulos ya que la energía eléctrica tiene un precio bajo en nuestra región, unos de

las principales limitantes para la baja aceptación de la movilidad eléctrica es la baja autonomía de sus baterías.

Entonces el problema a investigar es el análisis tecnológico e influencia de la implementación de movilidad eléctrica en el Ecuador, para incrementar el uso de energías renovables y motivar la utilización de movilidad eléctrica. Mediante el diseño de una simulación con software especializado y modelamiento de los diferentes sistemas de movilidad.

Descripción resumida del proyecto

La investigación del “ANÁLISIS TECNOLÓGICO Y DE OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MOVILIDAD ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA PARA DISMINUIR EL USO DE ENERGÍAS FÓSILES EN EL ECUADOR.” se consideró los siguientes aspectos:

Se obtuvo información técnica, confiable y relevante que fundamente la tecnología que lleva cada uno de los sistemas eléctricos y electrónicos de los sistemas de movilidad eléctrica tales como Electric vehicle (VE) y motocicletas eléctricas.

Se levantó información estadística sobre vehículos que usan combustibles fósiles y de vehículos eléctricos disponibles en el Ecuador.

Se generaron ciclos de conducción en base a la geografía del medio, para conjugar con la dinámica vehicular con el propósito de establecer los requerimientos eléctricos necesarios para estimar la unidad eléctrica a obtener.

Se realizó un análisis y simulación mediante software especializado para los sistemas mecánicos (coeficiente aerodinámico, fuerzas en el vehículo, pendientes entre otros), así como los sistemas eléctricos de: alta, media y baja tensión de vehículos eléctricos y motocicletas aplicados a los móviles que se encuentran en el país.

Se efectuó la programación en software especializado de los diferentes sistemas de movilidad eléctrica disponibles en el país para obtener el consumo energético en los ciclos creados.

En base al móvil que circule en el país se obtuvo el ciclo de conducción y se lo simuló y comparó con el comportamiento real mostrado por el mismo en pruebas prácticas de desplazamiento.

Finalmente se realizó las verificaciones de los datos obtenidos de la simulación, se establecerán bases de cálculos para que sean considerados en implementaciones y desarrollo de planes de movilidad eléctrica.

Justificación e importancia.

Es necesario contribuir a reducir las emisiones de gases contaminantes en la atmósfera y la gran contaminación de las ciudades, la tecnología automotriz se ha ido desarrollando a tal punto que es necesario cambiar los vehículos de combustión interna por vehículos más limpios o por lo menos disminuir el uso de motores MCI dentro de las ciudades. Con la crisis del covid 19 se pudo evidenciar que las ciudades estaban menos contaminadas por las restricciones a los vehículos con este antecedente se puede evidenciar que la movilidad eléctrica se convirtió en tendencia mundial.

La movilidad eléctrica cada vez más va incursionando en el Ecuador, en un futuro no muy lejano desplazará a los motores de combustión, por lo que es importante ir preparándose para obtener y generar conocimientos y experiencias relevantes en estas nuevas tecnologías.

El desarrollo del presente proyecto de investigación se justifica porque existe bajo conocimiento y preparación en los procesos de movilidad eléctrica.

Con esta nueva tendencia es importante también que los interesados en este tema tengan más conocimientos sobre la tecnología eléctrica y que la aceptación de esta nueva tecnología sea incrementada ya que es la movilidad del futuro.

Esta investigación ayudará a los interesados en el tema a saber que vehículo eléctrico existente en el mercado es la mejor opción para sus necesidades de movilidad, también servirá como referencia para futuros programas de electromovilidad sostenible porque se tendrá la información para poder predecir la ubicación de electrolineras en zonas perfectamente estudiadas no sólo por el sitio de construcción sino que también se toma en cuenta el estado de carga de la batería de los diferentes sistemas de movilidad eléctrica.

Objetivos del proyecto

Objetivo General

- Desarrollar el análisis tecnológico y de operación de los sistemas de movilidad eléctrica mediante simulación como alternativa para disminuir el uso de combustibles fósiles en el Ecuador.

Objetivo Específico

- Buscar información técnica y teórica relevante que aporten un alto grado de contenido científico a la investigación.
- Realizar un cuadro estadístico de los vehículos híbridos y eléctricos existentes en el Ecuador.
- Obtener diferentes ciclos de conducción basados en la geografía del país.
- Realizar el análisis y simulación de los sistemas mecánicos y eléctricos de vehículos eléctricos y motocicletas eléctricas.
- Comparar los resultados obtenidos de la simulación con los datos de una moto eléctrica.
- Detallar las partes y operación de los componentes principales del sistema de alta tensión y de control del sistema eléctrico en vehículos eléctricos y motocicletas eléctricas.

- Elaborar los diferentes circuitos eléctricos de potencia y control de los sistemas de movilidad eléctrica.

Meta

- Obtener la base del sistema de simulación que permita modelar un vehículo eléctrico, así como determinar la evolución y avance de la movilidad eléctrica en el Ecuador.

Hipótesis

“El análisis tecnológico y de operación de los sistemas de movilidad eléctrica como alternativa para disminuir el uso de combustibles fósiles en el Ecuador, permitirá fomentar e incursionar en el desarrollo de nuevas temáticas y técnicas de simulación de vehículos eléctricos.”

Variables de la investigación

Variable independiente

Sistemas de movilidad eléctrica

Tabla 1

Operación de la variable independiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es el medio que permite el transporte de personas o de carga y usa como medio propulsor un motor eléctrico en lugar de un motor de combustión interna. Este motor eléctrico es alimentado por una batería que le proporciona	Batería de alto voltaje	Voltaje	V	Simulación	Guía metodológica
		Intensidad	A	Simulación	Guía metodológica
		Energía	kWh	Simulación	Guía metodológica
	Motor eléctrico	Potencia	kW	Simulación	Guía metodológica
		Torque	Nm	Simulación	Guía metodológica
		Voltaje	V	Simulación	Guía metodológica

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
energía para su movimiento.	Controlador motor eléctrico (inversor)	Potencia	kW	Simulación	Guía metodológica
		Voltaje	V	Simulación	Guía metodológica
	Convertidor DC/DC	Potencia	kW	Simulación	Guía metodológica
		Voltaje	V	Simulación	Guía metodológica
	Cargador a bordo	Voltaje	V	Simulación	Guía metodológica
		Corriente	A	Simulación	Guía metodológica
		Potencia	kW	Simulación	Guía metodológica
	Mantenimiento	Kilómetros	Km	Investigación	Guía metodológica
		Meses	M	Investigación	Guía metodológica
	Costos	Dólares	\$	Investigación	Guía metodológica
	Software	Unidad	U	Simulación	Guía metodológica

Nota. En la tabla 1, se describe la variable independiente, misma que permite conocer la categoría, indicadores, ítem, técnicas e instrumentos.

Variables dependientes

Uso de combustibles fósiles en el país

Tabla 2

Operación de la variable dependiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Los combustibles fósiles son	Calidad del combustible	Poder calorífico	BTU	Investigación	Guía metodológica

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos	
recursos no renovables. Se agrupan bajo esta denominación el carbón, el petróleo y el gas natural, Se han formado naturalmente a través de complejos procesos biogeoquímicos, durante millones de años. La materia prima a partir de la cual se generaron incluye restos vegetales y antiguas comunidades planctónicas.		Octanaje (ROM)	---	Investigación	Guía metodológica	
		Presión de vapor	kPa	Investigación	Guía metodológica	
		Contenido de azufre	%	Investigación	Guía metodológica	
		Emisiones	Dióxido de carbono (CO ₂)	%	Investigación	Guía metodológica
			Oxígeno (O ₂)	%	Investigación	Guía metodológica
			Monóxido de carbono (CO)	kWh	Investigación	Guía metodológica
			Hidrocarburos (HC)	PPM	Investigación	Guía metodológica
			Óxidos de nitrógeno (NO _x)	PPM	Investigación	Guía metodológica
		Mantenimiento	Kilómetros	Km	Investigación	Guía metodológica
			Meses	M	Investigación	Guía metodológica
Costos	Dólares	\$	Investigación	Guía metodológica		

Nota. En la tabla 2, se describe la variable independiente, misma que permite conocer la categoría, indicadores, ítem, técnicas e instrumentos.

Metodología de desarrollo del proyecto

Método comparativo

Para el proyecto el método comparativo, permite establecer una relación entre los valores del estado de carga, corriente consumida y caída de voltaje de la batería de diferentes sistemas de electromovilidad en un ciclo de conducción.

Método Experimental

Con la ayuda de este método se realizaron pruebas para obtener valores del voltaje, amperaje y caída de voltaje variando condiciones como el sistema de electromovilidad, el ciclo de conducción, fuerza de acenso pendiente y fuerza aerodinámica con la ayuda de software especializado.

Método de matematización

Este método ayudo a obtener los datos de estado de carga de batería, consumo de corriente, y caída de voltaje de la batería, por media de fórmulas matemáticas de la dinámica del vehículo.

Método de modelación

Con la ayuda de este método se pudo simular el comportamiento de la batería de los diferentes sistemas de electromovilidad disponibles en el país, se desarrolló la simulación en 3D y también en diagramas de bloque mediante software especializado.

Método de medición

Método por el cual se realizan toma de datos de caída de voltaje de la batería, torque, distancia, velocidad y fuerza de tracción en tiempo real de los diferentes sistemas de movilidad, en un ciclo de conducción creado dentro de la universidad.

Método científico

Este método permitió tabular los datos obtenidos del experimento en base al sistema de movilidad eléctrica, variación del ciclo de conducción para poder determinar el estado de carga y autonomía de la batería.

Método inductivo

Este método permitió determinar el estado de carga de la batería de alta tensión y la potencia eléctrica que el sistema de movilidad eléctrica demanda en un ciclo de condición de un trayecto específico dentro de la universidad, esto nos permite obtener una comparación entre los sistemas de movilidad eléctrica disponibles en el mercado ecuatoriano.

Método deductivo

El método deductivo permite analizar los datos obtenidos de la simulación dando como resultado cuál de los sistemas de electromovilidad es el más eficiente en cierto ciclo de conducción.

Tabla 3

Metodología de la investigación

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Método comparativo	Para el proyecto el método comparativo, establecerá una relación entre los valores del estado de carga, corriente consumida y caída de voltaje de la batería de diferentes sistemas de electromovilidad en un mismo ciclo de conducción.	Computador, Microsoft Excel	Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"
Método experimental	Con la ayuda de este método se realizan pruebas para obtener valores del voltaje, amperaje y caída de voltaje variando condiciones como: el sistema de electromovilidad, el ciclo de conducción, fuerza de ascenso pendiente y fuerza aerodinámica.	Computador, Microsoft Excel, Software SolidWorks	Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Matematización	Este método se obtendrán los datos de estado de carga de batería, consumo de corriente, y caída de voltaje de la batería, por medio de fórmulas matemáticas de la dinámica del vehículo.	Computador, software Matlab Simulink estudiantil	Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"
Modelación	Con la ayuda de este método se simulará el comportamiento de la batería de los diferentes sistemas de electromovilidad disponibles en el país, se desarrolló la simulación en 3D y también en diagramas de bloque mediante software especializado.	Computador, software Matlab Simulink estudiantil	Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"
Medición	Método por el cual se realizan toma de datos de caída de voltaje de la batería, torque, distancia, velocidad y fuerza de tracción en tiempo real de los diferentes sistemas de movilidad, en un ciclo de conducción interprovincial del Ecuador.	Computador, software Matlab Simulink estudiantil	Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"
Científico	Este método permitirá tabular los datos obtenidos del experimento en base al sistema de movilidad eléctrica, variación del ciclo de conducción para poder determinar el estado de carga y autonomía de la batería.	Computador, software Matlab Simulink, Excel	Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Inductivo	Este método permitirá determinar el estado de carga de la batería de alta tensión y la potencia eléctrica que el sistema de movilidad eléctrica demanda en un ciclo de condición de un trayecto institucional, esto nos permite obtener una comparación entre los sistemas de movilidad eléctrica disponibles en el mercado ecuatoriano.	Computador, software Matlab Simulink versión estudiantil	Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"
Deductivo	El método deductivo permitirá analizar los datos obtenidos de la simulación dando como resultado cuál de los sistemas de electromovilidad es el más eficiente en cierto ciclo de conducción.	Computador, software Matlab Simulink versión estudiantil	Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"

Nota. En la tabla 3, se describe cada una de las metodologías que se van a emplear en la investigación.

Capítulo II

Fundamento teórico

Movilidad eléctrica sostenible a nivel mundial

La cantidad de vehículos eléctricos ha aumentado de forma progresiva en todo el planeta en la última década. En el año 2017 circulaban más de tres millones de estos vehículos, principalmente en Estados Unidos, Asia y Europa. Si bien, América Latina es una de las regiones con menor ingreso de vehículos eléctricos en todo el mundo. (Madrigal, 2019)

En los últimos años la tecnología ha generado cambios en los vehículos. La preocupación por cuidar el medio ambiente ha dado lugar a la tracción eléctrica y poner atrás a los motores de combustión interna. Mediante esto se pretende minimizar el uso de combustibles fósiles, porque este recurso no es renovable y garantizar la protección del medio ambiente. Con este perfil nace la movilidad eléctrica sostenible, la cual surge de una opción en el transporte para cuidar la quema indiscriminada de combustibles fósiles por ser una fuente de energía no renovable, con esto se aporta también a la reducción del impacto al ambiente por uso de transportes convencionales, como son las emisiones de gases a la atmósfera que provocan el cambio climático y la disminución de la contaminación acústica.

Movilidad eléctrica sostenible en Ecuador

En Ecuador se mira una tendencia al aumento de electromovilidad, gracias a esto se han tomado medidas con respecto a este tema, aunque la demanda de vehículos eléctricos va en aumento en Ecuador. El primer semestre 2021, Se aprecia que tres de las provincias son las más interesadas en comprar estos vehículos; Guayas (71%), Pichincha (12%), Galápagos (10%), resto del país (7%).

En la ciudad de Quito Ecuador según AEADE el año 2021 cuenta solo con 152 autos eléctricos matriculados, pero, desde el punto de vista económico los volúmenes de ventas han tenido un crecimiento importante, en abril se vendieron 6 autos eléctricos y en mayo se apuntan 61 autos eléctricos más a la lista de vendidos, es decir que la tendencia

a adquirir un vehículo eléctrico aumenta 10 veces más, ayudando también a la economía del país.

Figura 2

Ventas mensuales de vehículos eléctricos



Nota. La figura muestra el número de unidad vendida hasta el mes de mayo del 2021 según la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE). Tomado de la página web.

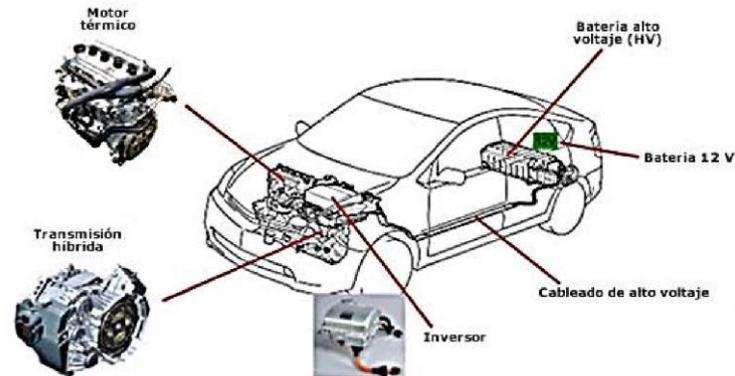
<https://www.fayals.com/2021/08/autos-electricos-en-ecuador-aumentan.html>

Introducción a los Híbridos

Hybrid electric vehicle (HEV), son reconocidos por poder combinar dos o más fuentes de energía para su propulsión. Los vehículos híbridos son famosos por poseer un motor de combustión interna por lo general de ciclo Atkinson y uno o más motores eléctricos trifásicos, Con el avance tecnológico actual también se han desarrollado otra clase de sistemas de propulsión en vehículos híbridos, los que traen instalado un sistema de pila de combustible, que es nada más que un dispositivo electroquímico que transforma el gas hidrogeno almacenado con el oxígeno del aire en electricidad para almacenarla en una batería. En los vehículos híbridos, el "motor eléctrico" es el que funciona cuando se desarrollan bajas velocidades en el vehículo y no existe un esfuerzo mecánico elevado. El MCI funciona cuando se aumenta la velocidad o se tiene la necesidad de un esfuerzo mecánico mayor para atravesar obstáculos. (Cordova, 2015)

Figura 3

Partes principales del Toyota Prius



Nota. Muestra los componentes del vehículo eléctrico Toyota Prius. Tomado de la fuente de “Vehículos Híbridos: Toyota Prius.”

Definición del vehículo eléctrico

Se denomina vehículo eléctrico al sistema que utiliza la energía química almacenada en varias celdas de batería recargables. Los conjuntos de celdas forman el pack de batería con voltaje de alta tensión. Con la energía almacenada se opera un motor eléctrico trifásico que impulsa las ruedas, estos vehículos se conectan a una red de energía eléctrica para recargar las baterías.

Un motor eléctrico es el encargado de transformar la energía eléctrica almacenada en el pack de batería, en energía mecánica causada por interacciones de imanes de alta calidad con campos magnéticos conmutados. Los motores eléctricos tienen muchas ventajas en relación a los de combustión interna, son diseñados con un tamaño reducido y peso óptimo para aplicaciones en vehículos eléctricos, disminuyendo las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera. (Quetzal, 2017)

Clasificación de los vehículos eléctricos

Se denomina vehículo eléctrico a todo móvil que sea empujado parcial o totalmente por motores eléctricos trifásicos, dentro de estos están los vehículos híbridos, vehículos

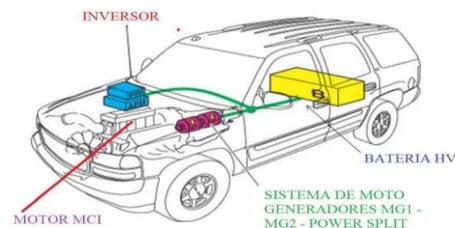
eléctricos y motocicletas eléctricas, se detallan las características de estos aquellos vehículos:

Vehículos híbridos no enchufable (HEV)

Estos vehículos utilizan dos fuentes de energía para dar propulsión a las ruedas. Un vehículo híbrido es aquel automóvil que relaciona un motor de combustión interna ciclo Atkinson con uno o más motores eléctricos trifásicos. El pack de baterías de un vehículo híbrido se recarga mediante el motor eléctrico cuando actúa como generador por el mismo motor de combustión interna o cuando entra en funcionamiento el freno regenerativo. En el vehículo híbrido el motor eléctrico funciona cuando se conduce a bajas velocidades y no hay una demanda excesiva de fuerza mecánica. El motor de combustión interna funciona cuando se requiere más velocidad y potencia. (Cordova, 2015).

Figura 4

Componentes principales del vehículo híbrido no enchufable



Nota. Componentes principales que están presentes en un vehículo híbrido. Tomado de la página web. <https://aprendafaciles.com/2021/06/07/vehiculo-hibrido-manual-de-componentes-y-funciones/>

Vehículos híbridos eléctricos enchufables

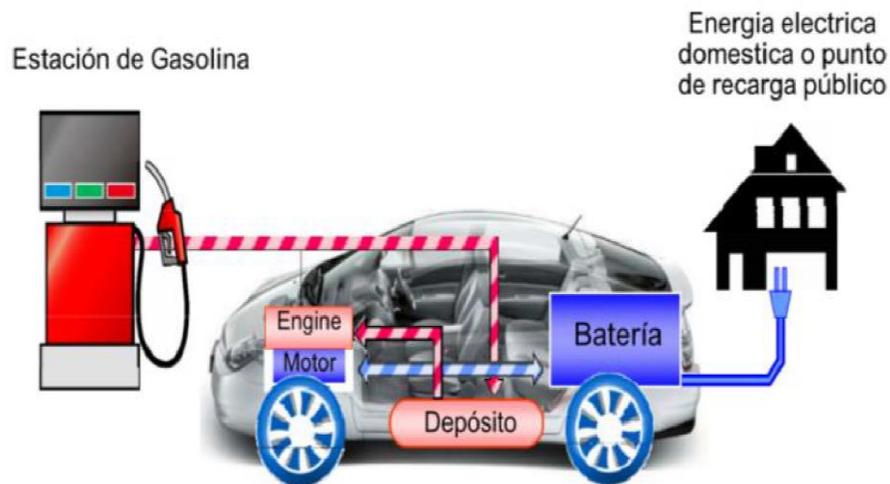
Tiene la característica principal de poder recargar sus baterías, conectado el vehículo a red de energía eléctrica.

También combina los sistemas de carga de un vehículo híbrido eléctrico tradicional, cuando el motor eléctrico funciona como generador, y de un vehículo eléctrico, cuando se lo recarga conectándolo a red de energía eléctrica. Una de las desventajas del vehículo híbrido es su complejidad y gran número de elementos necesarios para poder montar dos sistemas de propulsión y así poder transmitir el movimiento desde el motor a las ruedas.

En comparación a la forma simple de control y transmisión del movimiento que ofrecen los vehículos 100% eléctricos. (Cordova, 2015)

Figura 5

Componentes principales del vehículo híbrido enchufable



Nota. Esta figura muestra la configuración que tiene un vehículo híbrido enchufable.

Tomado de (S. L. U, p. 27)

Vehículos 100% eléctricos (BEV)

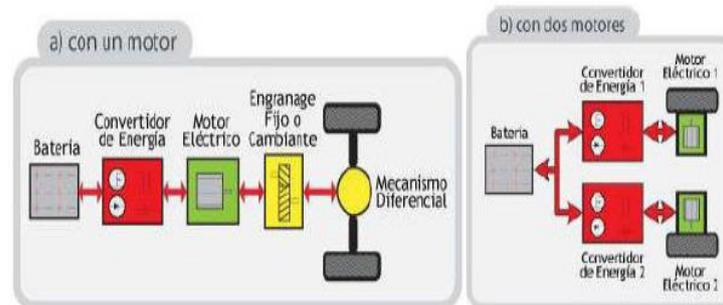
Su sistema implementa principalmente uno o varios motores eléctricos trifásicos, van unidos al eje de las ruedas por medio de una caja de reducción y diferencial o con motores Wheel instalados directamente en las ruedas para impulsar el movimiento del vehículo o para generar energía eléctrica convirtiendo energía cinética de las ruedas gracias a un freno regenerativo y de este modo recargar el pack de batería. (Cordova, 2015)

En el diseño de vehículos eléctricos se toma en consideración que los vehículos eléctricos con un solo motor y caja de reducción se ajusta muy bien al diseño convencional de vehículos MCI, por su posición del motor, de esta forma se puede implementar un motor con más potencia y se obtendrá un vehículo con distribución de peso similar. Este beneficio tiene su contra porque al implementar un diferencia y caja de reducción, se tiene pérdidas de eficiencia a través de la fricción.

Por otro lado, los vehículos con motor Wheel presentan menos pérdidas por los pocos componentes utilizados para la transmisión disminuyendo así la fricción. Este diseño es el más usado para vehículos pequeños donde no hay exigencia de grandes potencias.

Figura 6

Componentes principales del vehículo eléctrico



Nota. Esquemas del vehículo eléctrico impulsado por un motor eléctrico y dos motores eléctricos independientes. Tomado de (Arsuaga, 2010).

Motocicletas eléctricas

Las motos eléctricas utilizan un motor eléctrico trifásico que transforma la energía eléctrica en mecánica para la propulsión de su estructura. Esta forma de movilidad eléctrica es amigable con el medio ambiente y no produce contaminación atmosférica ni contaminación acústica. Para su recarga se conecta directamente el cargador a la red de distribución eléctrica y tiene una tecnología de almacenamiento basada en baterías de ion - litio que son más ligeras que las baterías convencionales de ácido plomo. (López & Galarza, 2016)

Figura 7

Motocicleta eléctrica



Nota. La figura representa una Moto Harley eléctrica con autonomía de 60km doble asiento.
Tomado de (Ojea, 2018).

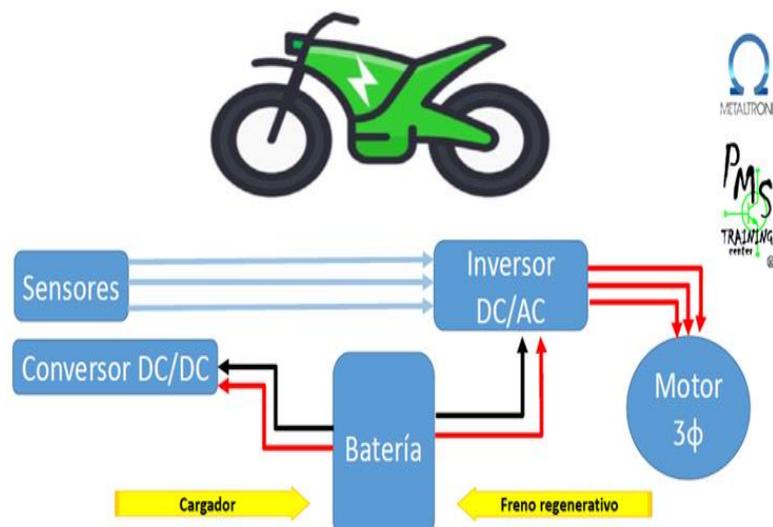
Componentes de la motocicleta eléctrica

Power Train

Es el conjunto de componentes de mando, control y almacenamiento de energía, los cuales cuando trabajan en conjunto interviene en la generación del movimiento del motor eléctrico que se transmite a la rueda impulsora de la moto eléctrica. Mediante la transformación de corriente eléctrica continua almacenada en la batería de ion litio o cualquier otro tipo de tecnología, a corriente eléctrica alterna trifásica que es conmutada por medio de los transistores de potencia para generar distintos campos magnéticos que dan el giro al motor. (Esteven, 2015)

Figura 8

Componentes de la motocicleta eléctrica



Nota. El esquema representa los componentes del tren de potencia de una motocicleta eléctrica. Tomado de (Ayala, 2020)

Controles

Los dispositivos de control en las motos eléctricas son el freno, acelerador y marcha atrás para obtener mejor maniobrabilidad y control, por el motivo de que esta clase de

vehículos no utilizan un sistema de embrague como el de las motos convencionales. Para realizar el trabajo del embrague la moto cuenta con el acelerador que sirve para arrancar y controlar la velocidad. (Ayala, 2020)

Figura 9

Sensor acelerador



Nota. La imagen representa el sensor de aceleración de una motocicleta eléctrica. Tomado de (Ayala, 2020)

Baterías

Se denomina batería eléctrica o acumulador al dispositivo que es capaz de almacenar energía eléctrica producto de reacciones electroquímicas y después puede devolver en su totalidad la energía guardada; este ciclo se puede repetir por un determinado número de veces hasta que la batería se degrada y disminuye su capacidad de generar y guardar energía. La batería es un generador eléctrico secundario; esto quiere decir que es un generador que no puede funcionar sin que se le haya suministrado electricidad previamente mediante el proceso de carga, existen motocicletas eléctricas con baterías de ion litio, esta tiene una buena autonomía gracias a que el litio su descarga es más lenta y tiene un voltaje más constante que las baterías normales de plomo ácido. (García & Vásquez, 2008)

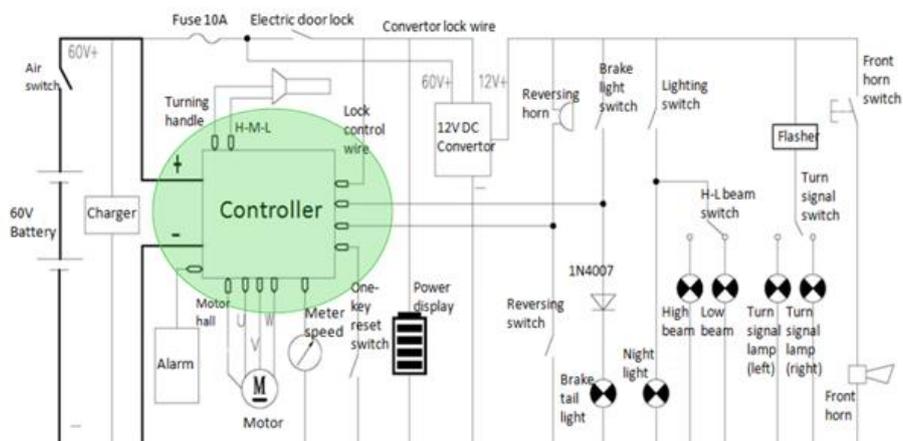
Figura 10*Baterías*

Nota. La imagen representa los tipos de baterías utilizados en las motocicletas eléctrica.

Tomado de (Ayala, 2020)

Inversor

Es el encargado de transformar la corriente directa de la batería en corriente alterna trifásica para alimentar al motor. Con ayuda de los transistores de potencia se logra una conmutación para variar el campo magnético del motor. (Esteven, 2015)

Figura 11*Inversor*

Nota. La imagen representa el circuito del inversor y los diferentes componentes de control de una motocicleta eléctrica. Tomado de (Ayala, 2020)

Motor eléctrico

Es el encargado de transformar la energía eléctrica trifásica y conmutada que procede del inversor en energía mecánica para mover el motor y posteriormente la motocicleta. La mayoría de motos eléctricas con motor Wheel el rotor es la carcasa y el estator es el eje. Por esto hay motores con el bobinado en el eje.

También en motocicletas eléctricas existen los motores de tipo imanes en el rotor y el bobinado en el estator. (Esteve, 2015)

Figura 12

Motor eléctrico



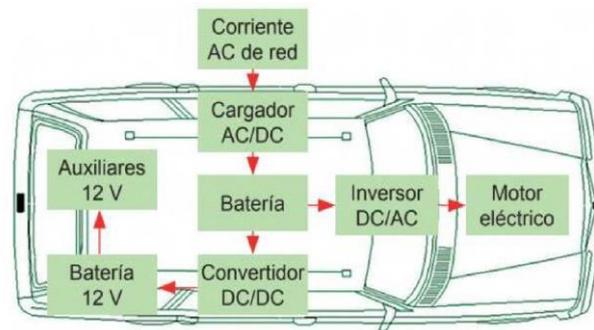
Nota. La imagen representa un motor eléctrico de una motocicleta eléctrica. Tomado de (Ayala, 2020)

Componentes del Vehículo Eléctrico

Los vehículos eléctricos pueden ser empujados únicamente por uno o más motores eléctricos dependiendo su tamaño y la posición donde estos los llevan. Aprovechan la energía previamente almacenada de la red de distribución eléctrica en el pack de batería para mover el motor eléctrico, la caja de reducción y el conjunto diferencial moviendo finalmente las ruedas del vehículo

Figura 13

Esquema principal de un vehículo eléctrico



Nota. La figura representa el esquema básico de un vehículo eléctrico. Tomado de (Trashorras, 2019)

Motores eléctricos

Un motor eléctrico es un receptor, porque es alimentado mediante una corriente eléctrica en su mayoría alterna, este flujo de energía hacia el motor causa un movimiento giratorio en el eje. Que, a través de los acoplamientos mecánicos adecuados como diferenciales y cajas de reducción, se aprovecha para efectuar diferentes trabajos en el sector industrial. (Martín & García, 2016)

Dentro del mercado mundial existen varios tipos de motores eléctricos diseñados previamente para ser implementados a los automóviles, el fabricante del vehículo eléctrico realiza un estudio para poder determinar el motor preciso que satisfaga el ciclo de conducción establecido para un vehículo, sea este en un sector urbano o rural.

Tipos de Motores Eléctricos

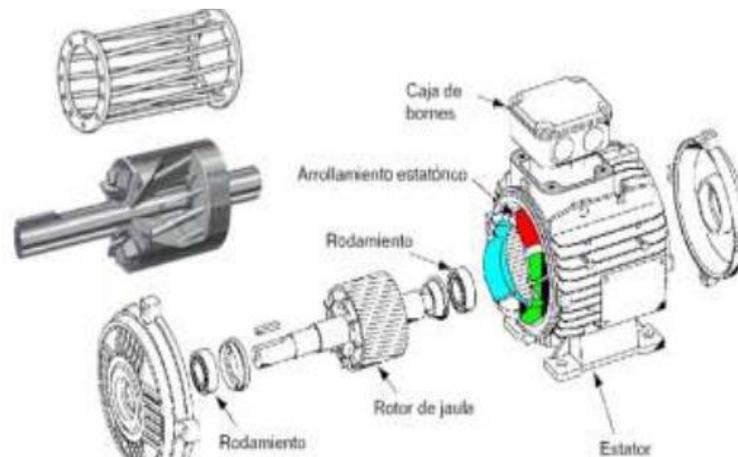
Motor asíncrono o de inducción

Funciona en base de inducción electromagnética, es posible ponerlo en marcha por sí solo, produce un par suficiente sin la necesidad de usar anillos deslizantes. El rotor más utilizado en este tipo de motores es el "rotor de jaula de ardilla" el cual está formado de un núcleo de hierro laminado y ranurado, en las ranuras se colocan conductores sólidos de cobre a presión. Los cuales con el flujo de la corriente produce un campo magnético rotacional, en donde estas líneas de flujo obligan a girar al rotor. Este diseño fue pensado

para que el motor no se trabase al momento de cambiar el flujo del campo magnético y es llamado así por la similitud con una jaula para las ardillas. (García, 2015)

Figura 14

Motor AC de inducción



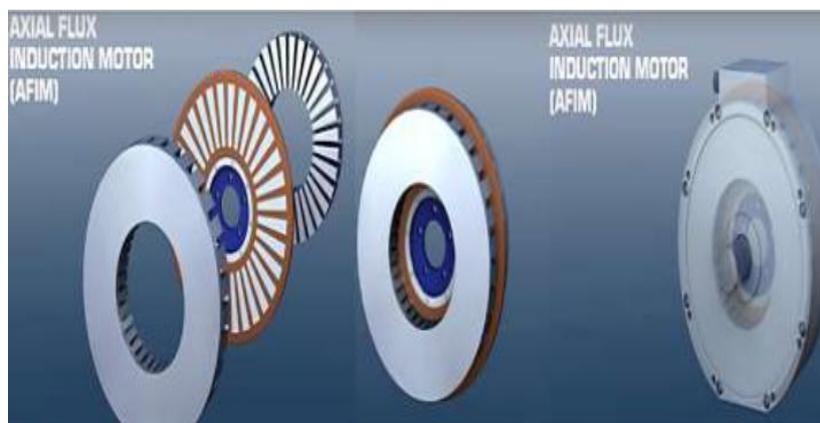
Nota. La figura muestra las partes que está conformado un Motor AC de inducción. Tomado de (García, 2015)

Motor de flujo axial

Su principal aplicación es ser instalados en las ruedas del vehículo debido a la tecnología que estos utilizan. Permiten variar su posición de los imanes y los devanados del rotor y estator para crear un flujo magnético, este flujo del campo magnético permite al eje girar. Gracias a la fuerza electromagnética entre el rotor y estator de forma axial, no se ven afectados en los rodamientos que soporta al eje. (Electromovilidad, 2015)

Figura 15

Ensamble de un motor axial



Nota. La figura muestra las partes que está conformado un Motor AC de inducción, tomado de (Electromovilidad, 2015)

Motor sincrónico de imán permanente

Son conocidos por que la velocidad del rotor o inducido y la velocidad del campo magnético del estator o inductor son iguales. El rotor puede tener imanes permanentes o bobinas alimentadas con corriente CONTÍNUA obteniendo campos magnéticos de polaridad alterna parecido a los imanes. Por esta razón giran sincronizados dependiendo la frecuencia de la red de alimentación de corriente alterna del campo magnético, estos disponen de una buena respuesta a las variaciones de carga. Son de construcción robusta y de bajo mantenimiento. Llevan instalado un regulador electrónico el cual permite arrancar el motor, ayuda a la protección del mismo, regular el par de salida y ayuda al ahorro de energía este tipo de motores es utilizado en vehículos de alta gama por su buena eficiencia energética. Los bobinados para crear el campo magnético se encuentran en el estator. (Dyna, 2014)

Figura 16

Motor síncrono de imanes permanentes de Audi



Nota. La figura muestra las partes de un motor síncrono de imanes permanentes de Audi. Tomado de (Dyna, 2014)

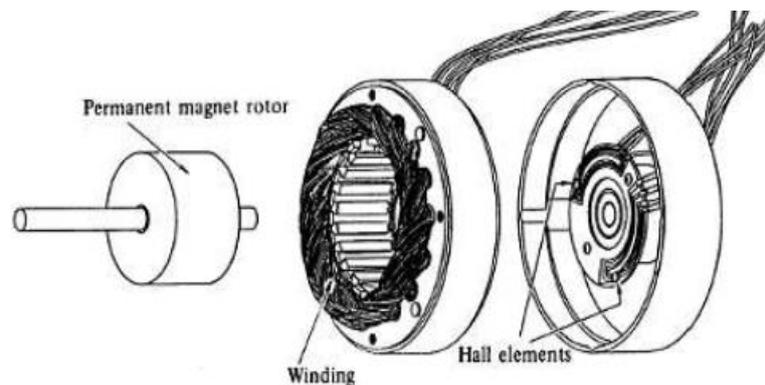
Motor de corriente continua sin escobillas

Esta conocido también como motor brushless “es un motor que no tiene escobillas para realizar el cambio de polaridad en el rotor”. (García, 2015)

En lo que respecta a su funcionamiento "la corriente eléctrica pasa directamente por los bobinados del estator o carcasa, por lo tanto, aquí no son necesarias ni las escobillas ni el colector". (Bueno, 2017)

Figura 17

Desarmado de Motor Brushless DC



Nota. La figura muestra las partes y el desarmado de Motor Brushless DC. Tomado de (González, 2005)

Inversor DC/AC

La energía que alimenta a un vehículo eléctrico generalmente suele ser de forma continua pero también existe la posibilidad de alimentarlo con corriente alterna, producto del freno regenerativo. (Simon, 2019) Menciona que:

Los inversores se utilizan para transformar la corriente continua que almacena la batería principal, en corriente alterna. este equipo permite la transformación de corriente continua a alterna mediante el uso de transistores de potencia para que se pueda alimentar el motor y así poder girar las ruedas del vehículo eléctrico.

Figura 18

Inversor



Nota. La figura muestra el inversor de un vehículo eléctrico. Tomado de (Vidal Pastor, Mas Fito, & González López, 2014)

Partes principales del Inversor

Los elementos principales en las que conforma el inversor son los que más relevancia aportan.

Condensadores del circuito inversor

(Barros, 2015) deduce que “Para las diferentes etapas donde se aplica la electrónica de potencia, es necesario que la batería de alto voltaje este recargada, y en esto se involucrados varios condensadores, los que permiten cargarse y descargarse según sea necesario para aprovechar la energía. Son de gran importancia para la potencia y así mismo para la disipación.”

Conjunto de resistencias

De acuerdo con (Barros, 2015) “el circuito de las resistencias es de gran importancia porque tienen la función de proteger los elementos y sin estas el circuito puede quedarse cargado, también sirven para disipar la energía en forma de calor después que se apagó el vehículo y queda una tensión dentro de este sistema. Por este motivo estas pueden llegar a provocar daños sumamente grandes en donde afectan directamente en el sistema y componentes.”

Módulo IPM

Conforme con (Barros, 2015) “este módulo IPM es el que permite controlar a los transistores IGBT, los cuales permiten la activación y desactivación en tiempos muy pequeños para generar unas ondas sinusoidales que alimenta al motor eléctrico. Poseen ciertas características de tipo eléctricas las cuales estas le permite trabajar a muy elevadas frecuencias y también cargas grandes. Este módulo permite proteger la memoria del circuito”

Figura 19

Módulo IPM



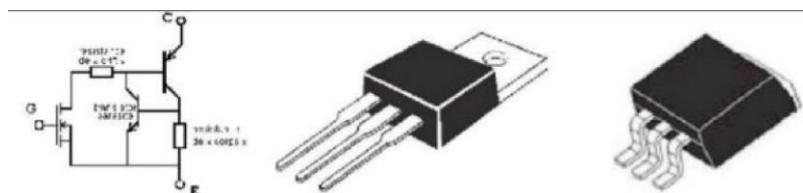
Nota. La figura muestra el módulo IPM. Tomado de (Barros, 2015)

Transistores IGBT

“Con la conmutación de estos transistores IGBT el inversor es idóneo de transformar la corriente continua que recibe de la batería de alto tensión en corriente alterna para el motor. Esto se puede logra gracias a la excitación del pack de los seis transistores que se encuentran internamente que utilizan una compuerta aislada tipo MOSFET con lo cual se controla la conmutación por voltaje y no por corriente. Se trata de una activación mediante el MOSFET de acuerdo a la excitación se tendrá en la base, y se emplea como bipolar en la llave electrónica se tendrá un colector para la fuente y un emisor para el circuito a conmutar”. (Barros, 2015)

Figura 20

Transistores IGBT



Nota. La figura muestra el Transistor IGBT. Tomado de (Barros, 2015)

Convertidor DC/DC

“Ayuda a variar la tensión que recibe de la batería de alto voltaje a una tensión más baja para carga la batería de bajo voltaje que se usa para dispositivos multimedia del vehículo”. (Sociedad de Técnicos de Automoción, 2011)

Mediante esto reduce el voltaje de forma precisa, lo que permite que esta energía se utilice para aplicaciones distintas de la conducción. Este convertidor DC/DC tiene como función bajar la tensión de alimentación de la batería de alto voltaje. Ya que reduce el voltaje de 244 V DC (aproximadamente 250 V DC) de la batería a 12 V DC, para ser utilizado por sistemas auxiliares del motor. (Trashorras, 2019)

Cargador AC/DC

En la actualidad el componente más crítico en un vehículo eléctrico es la batería, por motivos de coste, peso y en particular proporcionar un buen rango de autonomía que permita cumplir un ciclo de conducción. Es por ello que se han diseñado varios modelos de cargadores de baterías de alta tensión, pero hay que saber cuál es el cargador idóneo para una batería con el fin de disponer de toda su capacidad y conservar la vida útil.

Todos los vehículos eléctricos llevan incorporado en su interior un cargador a bordo (OBC) cuya misión es convertir la corriente alterna de la red eléctrica en corriente continua para poder ser almacenada en las baterías. (Trashorras, 2019)

Cuando el propio EV realiza la conversión de AC en DC se utiliza el denominado cargador a bordo. En general, el principio en el que se basan estos cargadores es de la rectificación por medio de componentes electrónicos (diodos, transistores, entre otros). (Trashorras, 2019)

Tipos de Cargadores

SAE J1772-2009

Se considera como un estándar norteamericano específico solo para vehículos eléctricos. Contiene cinco bornes, los dos de corriente, el de tierra, y dos complementarios, de detección de proximidad y de control.

Mediante este enchufe puede suministrar 16,8 kW (240V, 70A) y permite varios modos de recarga, dos en alterna y dos en continua, llegando así a reducir el tiempo de carga de 8 horas a 20 minutos, cargando a 100 kW de potencia. Esto a su vez permite muchas funciones de control comandadas por las necesidades del vehículo, a más de la conexión a las redes de distribución inteligentes, (Smart Grids). (Cordova, 2015)

Figura 21*Conector SAE J1772 -2009*

Nota. La figura muestra el conector SAE J1772-2010. Tomado de (Cordova, 2015)

IEC 60309

Se estima un standard internacional de la Comisión Electrotécnica Internacional para "Enchufes de uso industrial". El mayor voltaje que es permitido por la norma es 690 VCC; la corriente más alta, 250 A; y la mayor frecuencia, 500 Hz. El rango de temperaturas es de $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Estos enchufes IEC 60309 se identifican por colores. Para instalaciones típicas (donde la frecuencia es 50 Hz ó 60 Hz), la codificación se basa en el voltaje (voltaje entre fases en el caso de instalaciones con sistemas polifásicos). (IEC, 2010)

Figura 22*Conector IEC 60309*

Nota. La figura muestra el conector IEC 60309. Tomado de (IEC, 2010)

IEC 62196

Su toma al igual que el anterior es un estándar internacional para conectores eléctricos y los modos de recarga para vehículos eléctricos. Este conector se basa en la

carga para vehículos eléctricos hasta 250 A en corriente alterna y 400 A en corriente continua. Su carga máxima es de 3,7 kW y soporta una temperatura ambiental de -30°C hasta +50°C a más de un sensor térmico integrado.

Figura 23

Conector IEC 62196



Nota. La figura muestra el conector IEC 62196. Tomado de (IEC, 2010)

Mennekes

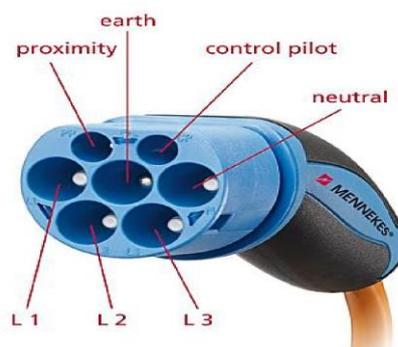
Se determina en un conector alemán de tipo industrial, VDE-AR-E 2623-2-2, este es utilizado para vehículos de tipo eléctricos. Dispone de siete bornes, los cuatro son para corriente (trifásica), uno es de tierra y dos para comunicaciones:

- Monofásico, hasta 16 A, para recarga lenta.
- Trifásico, hasta 63 A (43,8 kW) para recarga rápida.

Estas tomas de corriente se provén de mejor a la protección contra la corrosión que se encuentran al ambiente agresivo y con niveles de humedad altos gracias a sus contactos niquelados. Con soporte de contacto de alta termo resistencia. (Mathur, 2011)

Figura 24

Conector Mennekes



Nota. La figura muestra el conector Mennekes. Tomado de (Mathur, 2011)

Conector único combinado o CCS

Este tipo de conector dispone de cinco bornes, los cuales son para la corriente, protección a tierra y comunicación con la red. Este conector posee de una sola fase en su red de 100-120/240 voltios denominándose así también (tipo 1). Admite una recarga tanto lenta como rápido.

Figura 25

Conector CCS



Nota. La figura muestra el conector CCS. Tomado de (BATTERI, 2014)

Scame o tipo 3

También nombrado como EV Plug-in Alliance. Dispone de cinco o siete bornes, está ya sea para una corriente monofásica o trifásica, tierra y la comunicación con la red. Donde admite 32 A (para recarga semi-rápida). Este se puede distinguir por la presencia de un contacto adicional CP para este circuito piloto para la demostración de la continuidad de este conductor de protección.

Figura 26

Conector Scame o Tipo 3



Nota. La figura muestra el conector Scame o Tipo 3. Tomado de (BATTERI, 2014)

Chademo

Su principal función específicamente es en la generar una recarga rápida en corriente continua. Esta tiene a poseer de diez bornes, toma de tierra y comunicación con la red, donde este admite un valor de hasta 200 A de intensidad de corriente (para recargas ultra - rápidas). Posee a su vez de un controlador que recibe comandos desde el VE, y el cargador ejerce la función de fijar la corriente para cumplir dichos valores del sistema del VE. Con este mecanismo, esta carga rápida y óptima es posible en generar una respuesta al rendimiento de la batería y el entorno de su uso. En este tipo de cargador de carga rápida CHADEMO se utiliza una transmisión de señal tanto analógica y una comunicación digital vía bus CAN.

Figura 27

Conector Chademo



Nota. La figura muestra el conector CHADENO. Tomado de (BATTERI, 2014)

Batería de alta tensión

Se considera a las baterías o paquete de batería, que se encuentran en los vehículos híbridos y eléctricos ya que son considerados el componente fundamental del sistema. En principio los autos híbridos, el sistema de Batería y Motor Eléctrico, complementan el motor de combustión interna. Los EV, la batería es la que juega el papel principal, y su mal funcionamiento llega a desfavorece la operación del funcionamiento del vehículo. Dentro de los vehículos híbridos y eléctricos cuentan con diferentes tipos de baterías dependiendo el origen de fabricación. Las más conocidas son las baterías de Iones

de Litio. También es común la batería de Níquel-Metal (NiMH) y la batería de ácido de plomo sellada. (AutoAvance, 2020)

Una de las tendencias son las baterías de los coches eléctricos es la de ir a voltajes más altos. Básicamente estas tensiones de una batería de alta tensión de un coche eléctrico varían en diferentes rangos de (125 V, 220 V, 288 V, 360 V, 385 V Y 400 V, entre otras). (Trashorras, 2019)

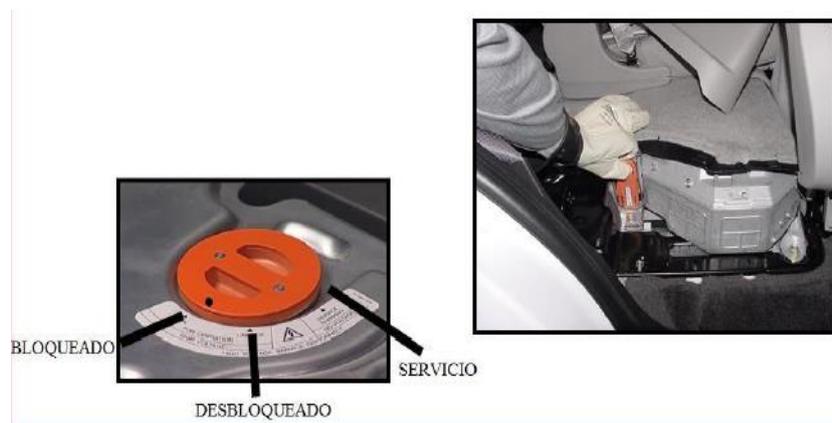
Sistema Jumper de la batería

Este permite que no exista corriente alguna a los bornes de salida de la BATERIAHV, este dispositivo de fácil remoción se le nombra JUMPER y está en un lugar donde se le puede ver en el PACK de la batería, en el manual de servicio de cada vehículo existe un procedimiento para realizar esta desconexión, no se recomienda bajo ningún criterio desconectar el JUMPER con el vehículo en funcionamiento. (PMS, 2021)

Ahora si este dispositivo esta desconectado genera varios códigos de falla que permiten al técnico imaginar que existe problema en este componente, ahora tampoco es recomendable realizar este JUMPER con algún otro cable o dispositivo puesto que puede ser peligroso y además el JUMPER este cuenta con un interruptor que sirve como sensor de instalación el cual garantiza a la ECUHV que el JUMPER está correctamente instalado, en la imagen inferior se pueden apreciar imágenes de este componente.

Figura 28

Jumper



Nota. Las figuras muestran las diferentes posiciones del Jumper. Tomado de (PMS, 2021)

Pasos para la desconexión del jumper en el pack de batería hv:

- a. Desconectar el contacto, o llevar el botón de encendido a la posición OFF.
- b. Desconectar la batería de baja tensión auxiliar de 12V.
- c. Utilizar guantes adecuados según norma CAT.
- d. Desconectar el JUMPER de seguridad.
- e. Esperar 10 minutos antes de empezar a realizar cualquier trabajo en el sistema.
- f. Instalar el JUMPER antes de conectar la batería de 12V.
- g. Borrar DTC que se generen en el proceso de desconexión.

Tipos de Baterías

Existen varios tipos de baterías, basado en su química, ya que cuyo desarrollo actual para alimentar al motor de un vehículo eléctrico: estas baterías de Plomo-Ácido, las baterías de Metal-Níquel y, finalmente, las baterías de Ion-Litio. (Artés, 2012)

Baterías de Plomo-Ácido

Este tipo de baterías son de bajo coste, y se han venido utilizado durante muchas décadas para el funcionamiento de los motores de combustión. Dentro de sus ventajas, desempeña en una gran potencia específica (W/kg), su amplio rango a soportar temperaturas, su virtuosa retención de la carga en el tiempo. Pueden llegar almacenar hasta unos 40 Wh/kg. (Artés, 2012)

Baterías de Níquel-Metal

En estas baterías su ciclo de vida es un rango largo y no presentan problemas medioambientales, dispone de un alto índice de descarga en periodos de inactividad, su costo en la producción es elevado por sumar tierras muy raras en el electrodo positivo.

Se dice que sus 60 Wh/kg son superiores a las de Plomo-Ácido, pero se mantienen todavía a cierta distancia del Litio. (Artés, 2012)

Baterías de Ion-Litio

La batería de ion litio, se considera más ligera en sus componentes, estas cuentan con elevada capacidad energética y también a la resistencia a la descarga, a más de que no poseen el efecto memoria que sufren permitiendo así que su capacidad pueda trabajar con elevado número de ciclos de regeneración. Estas pueden almacenar hasta un alrededor de 150 vatios hora (Wh) de electricidad por kilogramo de peso de la batería, a diferencia de las otras baterías de níquel - metal y plomo- ácido que pueden acumular entre 100 y 25 vatios hora respectivamente. (Artés, 2012)

Figura 29

Batería de Ion de Litio



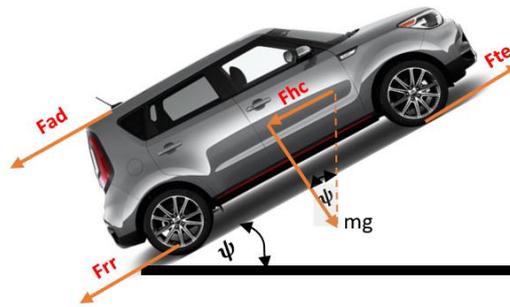
Nota. El esquema representa la batería de Ion de Litio. Tomado de (Sanz, 2011)

Dinámica del vehículo

La dinámica del vehículo es un sistema acorde a un modelo matemático abstracto, tiene la aplicación de las leyes físicas que se basan en su comportamiento, si el vehículo se encuentra en una pendiente este cumple con la Segunda Ley de Newton que menciona que hay una sumatoria de las fuerzas solo en el eje x, esto quiere decir que es igual a la masa del cuerpo que se encuentra en movimiento por las diferentes en las aceleraciones que el EV tenga, a continuación se muestra en la figura. (Rocha Hoyos, Tipanluisa, Reina, & Ayabaca, 2017)

Figura 30

Fuerzas que interactúan en el EV



Nota. La imagen muestra todas las fuerzas que esta aplicadas en la dinámica del vehículo.

Fuerza aerodinámica

La fuerza aerodinámica es aquella que sufre un cuerpo al moverse en un medio gaseoso, en este estudio el cuerpo es la carrocería del vehículo eléctrico y el medio por el cual se mueve es el aire a presión atmosférica.

Figura 31

Flujo de aire que interacciona con del vehículo



Nota. La figura indica las líneas del flujo de aire que chocan con la carrocería del vehículo.

Tomado de (Ramirez, 2017)

Se representa con la siguiente ecuación:

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

Donde:

F_{ad} : Fuerza aerodinámica (N)

ρ : Densidad del aire (kg/m^3)

A : Área frontal (m^2)

C_d : Coeficiente aerodinámico

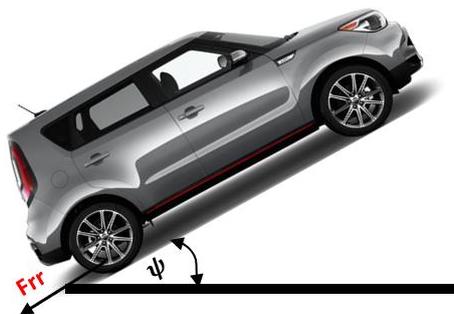
V : Velocidad (m/s)

Fuerza de arrastre

Esta es considerada como la resistencia a dicha rodadura esto debe mayormente al roce del neumático del vehículo con la calzada. La resistencia a la rodadura es precisamente constante en cuanto depende de la velocidad del vehículo. Es conforme al peso del vehículo.

Figura 32

Fuerza de arrastre



Nota. La figura expresa donde se interactúa la fuerza de arrastre.

Se representa con la siguiente ecuación:

$$F_{rr} = u_{rr} * m * g \quad (2)$$

Donde:

F_{rr} : fuerza de arrastre (N)

u_{rr} : Coeficiente de fricción a la rodadura

m : Masa total (m)

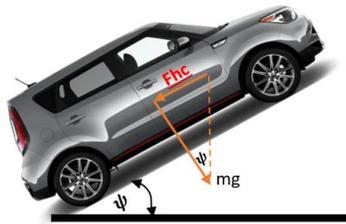
g : Gravedad (m/s^2)

Fuerza en pendiente

La fuerza en pendiente es necesaria para poder impulsar el vehículo en una cuesta, esta fuerza es la proyección del vector al ángulo de inclinación de la cuesta.

Figura 33

Fuerza en pendiente



Nota. La figura indica donde se representa la fuerza en pendiente dependiendo en ángulo a la que se encuentre.

Se representa con la siguiente ecuación:

$$F_{hc} = m * g * \sin\psi \quad (3)$$

Donde:

F_{hc} : Fuerza de escalada de pendiente (N)

m : Masa (kg)

g : Gravedad (m/s^2)

ψ : Angulo de la pendiente(rad)

Fuerza neta

Esta fuerza se produce cuando el movimiento de traslación del vehículo este acoplado al movimiento giratorio de ciertos componentes que están conectados a las ruedas, transmisión y motor. Se introduce un factor de masa que represente el efecto de la inercia de las partes giratorias.

Se representa con la siguiente ecuación:

$$F_{net} = \gamma_m * m * a \quad (4)$$

Donde:

F_{net} : Fuerza neta (N)

γ_m : Factor de masa

m : Masa (Kg)

a : Aceleración (m/s^2)

El factor de masa se determina a partir de los momentos de inercia de las partes que rotan y van conectadas a las ruedas, transmisión y motor. (Wong, 2001)

La ecuación para calcular es la siguiente:

$$\gamma_m = 1.04 + 0.0025(\varepsilon_c * \varepsilon_d)^2 \quad (5)$$

Donde:

γ_m : Factor de masa.

ε_c : Relación de transmisión caja

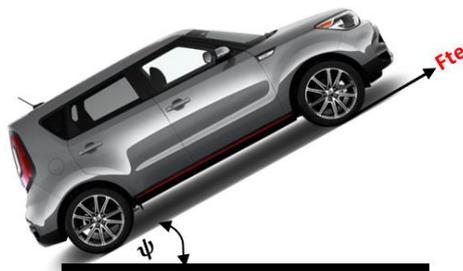
ε_d : Relación de transmisión diferencial

Fuerza de tracción

Esta fuerza es considerada como la sumatoria todas las fuerzas que llega a ser transmitida hacia el suelo mediante los neumáticos, esto permite generar el movimiento para romper dicha inercia. (Rocha Hoyos, Tipanluisa, Reina, & Ayabaca, 2017)

Figura 34

Fuerza de tracción



Nota. La figura representa donde interactúa la fuerza de tracción.

Se representa con la siguiente ecuación:

$$F_{te} = F_{ad} + F_{rr} + F_{hc} + F_{nt} \quad (6)$$

Potencia mecánica

Esta potencia mecánica se considera como la cantidad de fuerza que esta aplicada a un cuerpo cualquiera en base a la relación de la velocidad con la que se llega aplicar.

Se representa con la siguiente ecuación:

$$P_{me} = F_{te} * V \quad (7)$$

Donde:

P_{me} : Potencia mecánica

F_{te} : Fuerza de tracción (N)

V : Velocidad máxima (m/s)

Potencia eléctrica

Esta potencia se la determina a partir de una división de la potencia mecánica para una eficiencia, donde se obtiene la potencia eléctrica.

Se representa con la siguiente ecuación:

$$P_{elec} = \frac{P_{mec}}{\text{Eficiencia del motor}} \quad (8)$$

Ciclos de conducción

Dentro del fabricante de vehículos eléctricos entrega un dato muy importante que establece que la autonomía del tipo de vehículo es obtenida por medio de ciclos de conducción homologados en pruebas de laboratorio en un banco dinamométrico que imita la circulación real del vehículo. (Sarmiento & Yunga, 2018) afirman que:

“Estos tipos de ciclos son una prueba donde se circulan rutas diferentes donde se registran a su vez consumos de combustible y energía eléctrica del vehículo, además pueden tener un protocolo a seguir donde existen velocidades, paradas, distancias a recorrer, las cuales son aplicadas por un conductor al vehículo”.

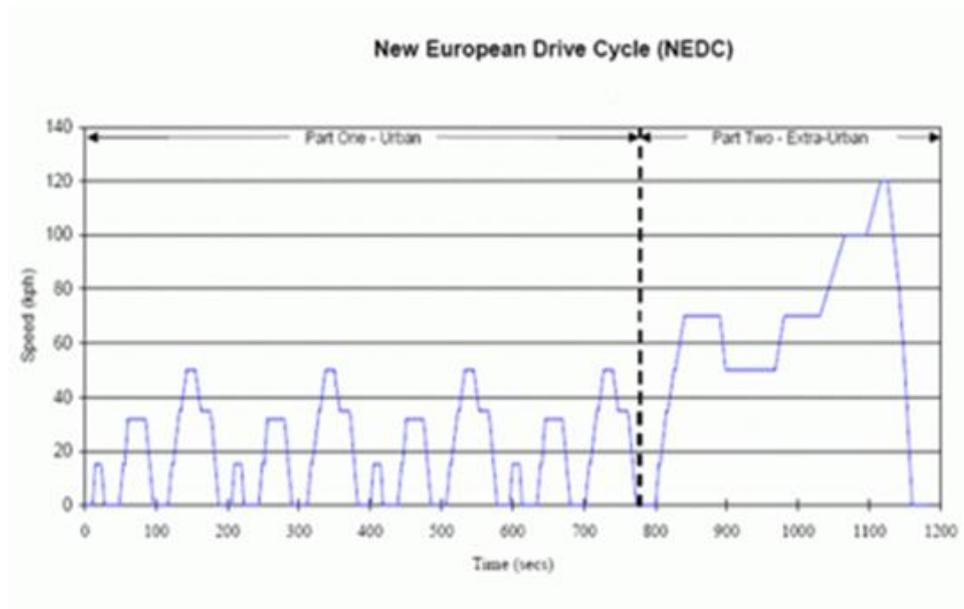
Ciclo de conducción NEDC

En sus iniciales significan New European Driving Cycle. Este ciclo es de homologación que supera cualquier coche que se pone a la venta en el viejo continente. Este ciclo es el que determina el consumo urbano, extraurbano y mixto. (Costas, 2011)

Se considera como la distancia oficial que puede recorrer un vehículo eléctrico según las pruebas que se realizan en base a un protocolo de homologación New European Driving Cycle. (López, 2018)

Figura 35

Ciclo de conducción NEDC



Nota. La imagen representa el ciclo de conducción NEDC. Tomado de (Costas, 2011)

Ciclo de conducción FTP-75

Este ciclo de conducción permite basarse en datos de conducción reales, registrados durante la hora pico en Los Ángeles. Se utiliza para la certificación de emisiones y pruebas de economía de combustible de vehículos ligeros en Estados Unidos.

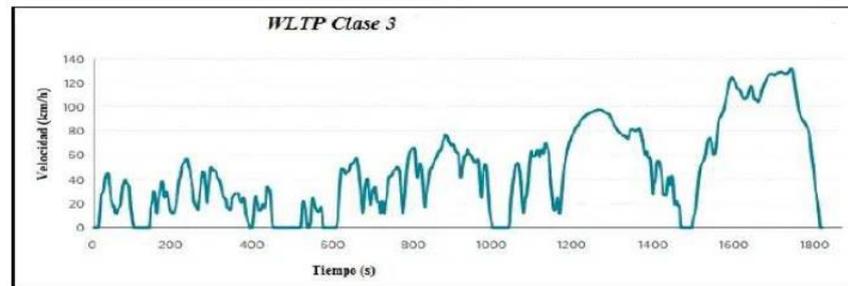
En comparación con el ciclo de conducción europeo este puede representar fases de aceleración y desaceleración más dinámicas, aunque la velocidad promedio es muy similar.

WLTP (Procedimiento mundial de prueba de vehículos armonizados)

Este ciclo de conducción está siendo desarrollado por la CEPE (Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa) y servirá como sucesor del NEDC en la Unión Europea. El objetivo es crear un ciclo de conducción que pueda usarse en todo el mundo y, por lo tanto, reducir los costos. El WLTP se divide en tres ciclos ligeramente diferentes según la relación potencia/masa (PMR) del vehículo, siendo la Clase 3 el ciclo más relevante para la mayoría de los vehículos de pasajeros. Este ciclo combina 4 diferentes fases de conducción: baja, media, alta y extra alta.

Figura 36

Ciclo de conducción WLTP



Nota. El esquema representa el ciclo de conducción WLTP. Tomado de la página web <https://www.theicct.org>

Modelado dinámico y simulación

Existen diferentes softwares que permiten la realización del modelado y circuitos de vehículos eléctricos, como pueden ser: MATLAB / Simulink, SolidWorks, Ansys, entre otros.

(Alegre Buj, 2017) menciona que:

El tipo de modelo de Matlab/Simulink del vehículo calcula instantáneamente con gran precisión la fuerza necesaria debido al rozamiento con el asfalto, a los rozamientos internos, a la resistencia aerodinámica y a las inercias. Permite realizar una simulación por bloques para determinar el cálculo del consumo de corriente en un ciclo de conducción.

Figura 37

Matlab & Simulink



Nota. La figura representa el programa Matlab & Simulink. Tomado de la página web <https://www.theicct.org>

Para la realización de la simulación debe de tomar en cuenta factores externos e internos del vehículo eléctrico como son:

- Ciclo de conducción
- Geometría del vehículo
- Masa del vehículo
- Componentes mecánicos y eléctricos
- Tipo de baterías

Geo Tracker

Es una aplicación simple de usar en dispositivos, configurando con la opción de obtener datos a diferentes unidades que se deseen monitorear por medio del acceso a la ubicación real, con la señal enviada por GPS permite obtener estos datos de ubicación de manera inmediata.

Una de las funciones más importa son las siguientes:

- Ubicación en tiempo real
- Datos de ruta y kilometraje
- Perfil de elevación de una ruta

Capítulo III

Modelación y simulación mecánica eléctrica

Para el desarrollo de esta sección se basó en métodos y procesos necesarios para la obtención de los objetivos planteados. Partiendo principalmente de un análisis estadístico sobre el número actual de los vehículos eléctricos y motocicletas eléctricas existentes en el Ecuador, como las marcas más demandadas, tomando como referencia informes estadísticos de la AEADE.

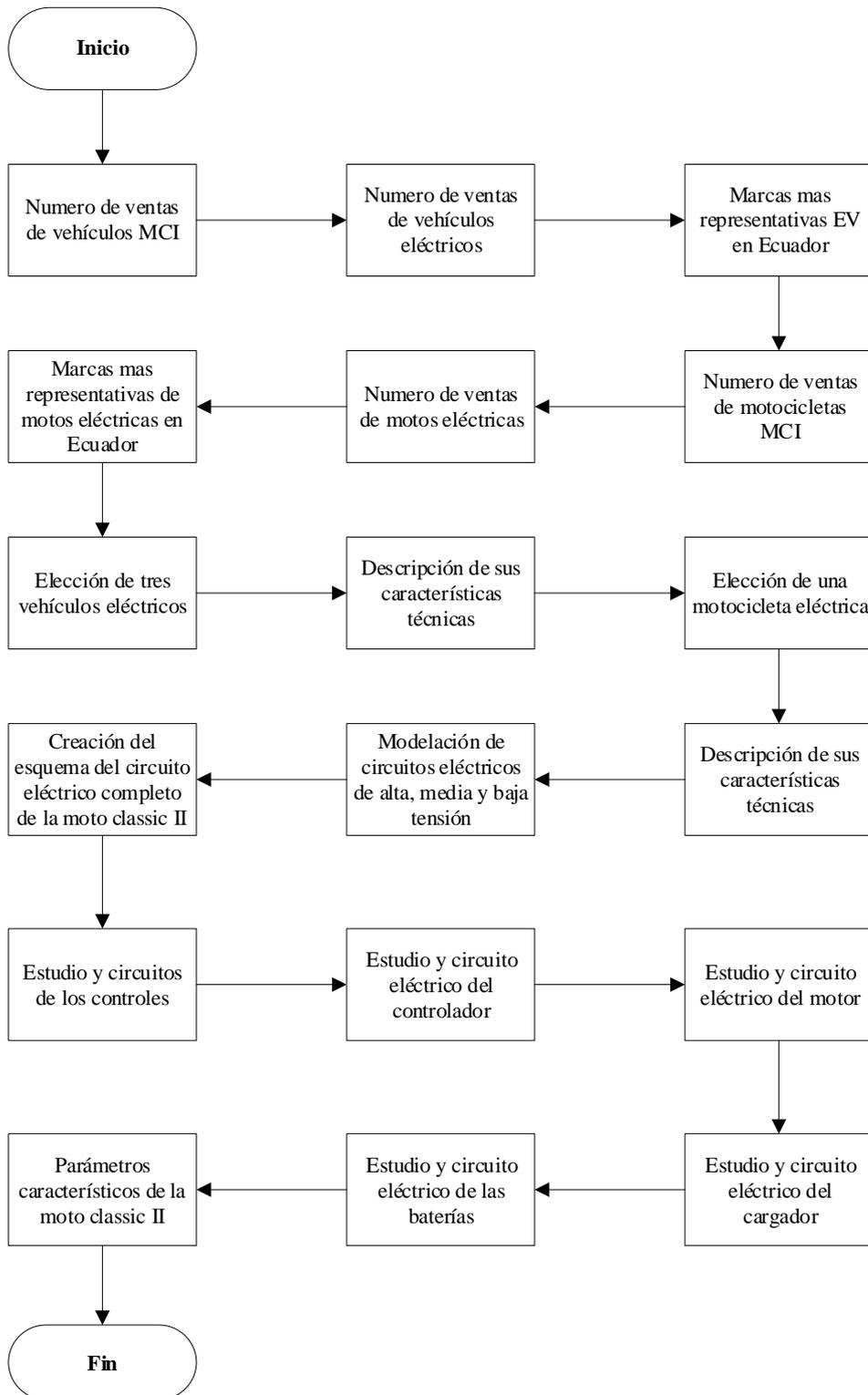
Posteriormente se eligieron tres vehículos eléctricos y una motocicleta eléctrica, presente con mayor comercialización en el mercado ecuatoriano, se detallaron todas sus características técnicas.

A continuación, se realizó el análisis y el estudio general de cada componente eléctrico y electrónico de la moto Classic II. Después se efectuó la representación tanto esquemática y su principio de funcionamiento de los circuitos electrónicos en un software especializado denominado Livewire en la creación de circuitos

Finalmente se llevó a cabo las diferentes pruebas de funcionabilidad de los diferentes componentes para la obtención de parámetros eléctricos básicos de la moto Classic II, mediante el uso de un multímetro automotriz como un osciloscopio Hantek 1008c.

Figura 38

Flujograma



Nota. Flujograma de la metodología del proyecto donde se describe los pasos necesarios para obtener los objetivos planteados en este proyecto.

Cuadro estadístico de movilidad eléctrica existentes en el Ecuador

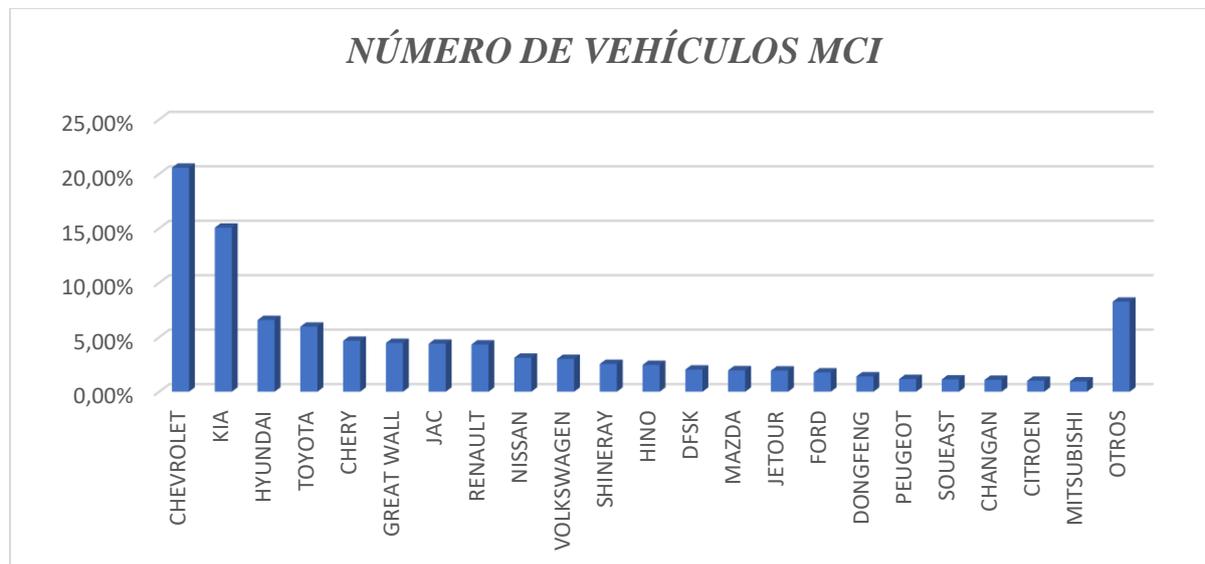
Según la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) evaluó un número de venta en vehículos de combustión interna en el año 2021 de 119316 unidades en diferentes marcas. Según la estadística del número de vehículos de combustión interna se puede evidenciar que en el año 2021 existió una buena cantidad de vehículos nuevos agregados al parque automotor esto también recae en niveles de contaminación más altos en el territorio ecuatoriano.

Tabla 4

Número de vehículos MCI vendidos en 2021

Marca	2021	%
CHEVROLET	24,547	20.57%
KIA	17,980	15.07%
HYUNDAI	7,861	6.59%
TOYOTA	7,131	5.98%
CHERY	5,585	4.68%
GREAT WALL	5,344	4.48%
JAC	5,259	4.41%
RENAULT	5,176	4.34%
NISSAN	3,719	3.12%
VOLKSWAGEN	3,589	3.01%
SHINERAY	3,049	2.56%
HINO	2,939	2.46%
DFSK	2,431	2.04%
MAZDA	2,348	1.97%
JETOUR	2,318	1.94%
FORD	2,110	1.77%
DONGFENG	1,681	1.41%
PEUGEOT	1,396	1.17%
SOUEAST	1,348	1.13%
CHANGAN	1,304	1.09%
CITROEN	1,203	1.01%
MITSUBISHI	1,133	0.95%
OTROS	9,865	8.27%
TOTAL	119,316	100.00%

Nota. En la siguiente tabla se detalla el total de venta de vehículos MCI por marca en el año 2021. Tomado de la AEADE. Anuario 2021.

Figura 39*Venta de vehículos MCI*

Nota. La figura representa el diagrama estadístico de la venta de vehículos en el último año.

Mientras que en la misma fuente se obtuvo el número de vehículos eléctricos vendidos en el año 2021 el cual consta en 348 unidades. Los vehículos eléctricos han tenido una baja demanda en el territorio ecuatoriano debido a la desconfianza y los pocos incentivos que aporta el gobierno a esta nueva tecnología, sin saber que este tipo de movilidad es tendencia mundial para terminar con la problemática de niveles elevados de contaminación del aire.

Tabla 5*Número de vehículos eléctricos vendidos en 2021*

Marca	Modelo	2018	2019	2020	2021	Imagen
Kia	Soul	33	23	3	193	
Dongfeng	Serie Rich	-	-	-	33	

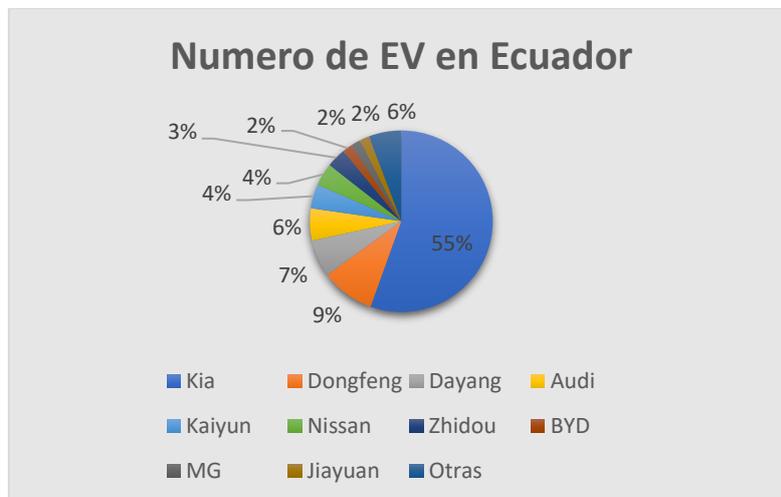
Marca	Modelo	2018	2019	2020	2021	Imagen
Dayang	DY-GD04B	68	23	14	23	
Audi	Audi E-Tron	-	-	-	20	
Kaiyun	Pickman	-	-	37	15	
Nissan	Leaf	-	-	1	14	
Zhidou	D1	-	-	-	12	
BYD	BYD E3	-	-	1	6	
MG	MGZS	-	-	1	6	
Jiayuan	City Spirits	-	-	5	6	
Otras	-	29	57	44	20	
TOTAL		130	103	106	348	

Nota. Se describe las marcas y modelos de vehículos eléctricos vendidos en el año 2021.

Tomado de la AEADE Anuario 2021.

Figura 40

Venta de vehículos EV



Nota. La figura representa el diagrama estadístico de la venta de vehículos eléctricos en el año 2021.

Otro medio de movilidad utilizado en el Ecuador son las motos a combustión interna, por cual ha demandado en sus ventas el año 2021 con 165701 unidades. Las motos por tener un motor de combustión interna también aportan a la contaminación del aire. Según (Loaiza & Gómez , 2019):

Tabla 6

Número de motos MCI vendidos en 2021

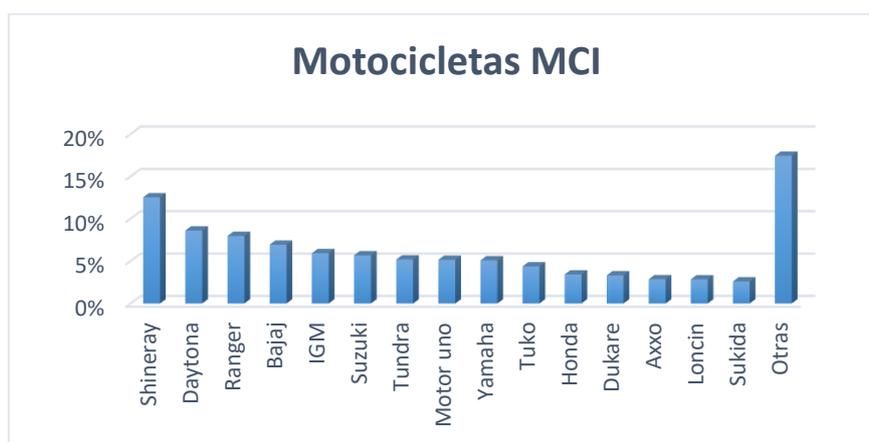
Marca	2021	%
Shineray	20775	13%
Daytona	14272	9%
Ranger	13211	8%
Bajaj	11495	7%
IGM	9843	6%
Suzuki	9413	6%
Tundra	8605	5%
Motor uno	8545	5%
Yamaha	8436	5%
Tuko	7261	4%
Honda	5680	3%
Dukare	5499	3%
Axxo	4749	3%
Loncin	4710	3%

Marca	2021	%
Sukida	4308	3%
Otras	28899	17%
Total	165701	100%

Nota. En la siguiente tabla se describe las marcas de motos vendidos en el año 2021 tomado de AEADE. Anuario 2021.

Figura 41

Venta de motos



Nota. La figura representa el diagrama estadístico de la venta de motos en el año 2021.

Otros de los aspectos importantes en el Ecuador de la movilidad eléctrica son las motos eléctricas. En este segmento se puede evidenciar que en el año 2021 se vendieron 69 unidades. Existe una baja demanda en la adquisición de motos eléctricas, esto se debe a su baja autonomía, su alto tiempo de recarga. Además, los precios son similares a una moto de combustión interna.

Tabla 7

Marcas más representativas en motos eléctricas en Ecuador

Marca	2020	2021	Imagen
SOCO	69	35	

Marca	2020	2021	Imagen
TEKNO	49	24	
ZONGSHEN		4	
FENGCHENG	1	1	
ELEC-MOTION		1	
YONSLAND	2	1	
IMVOLTA		1	
OTRAS	57	2	-
TOTAL	178	69	-

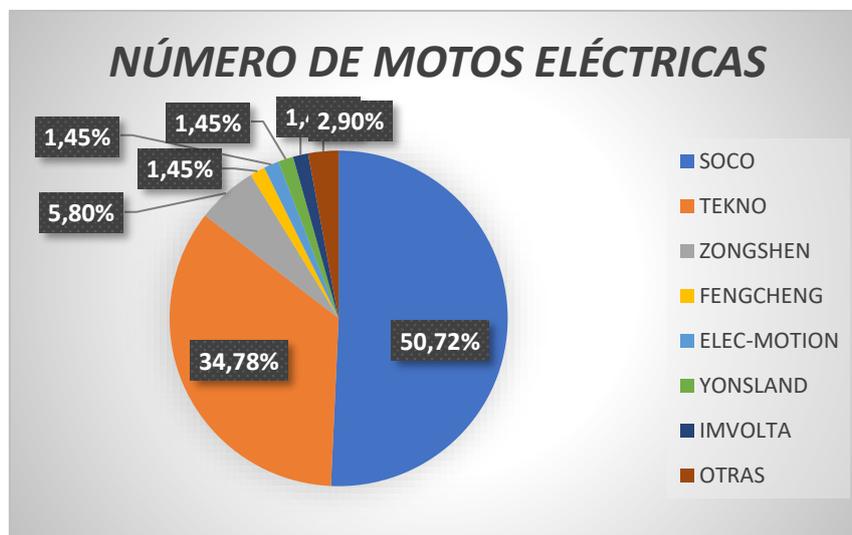
Nota. En la tabla se describe las tres marcas de motos eléctricas más vendidas en el año 2021 en Ecuador.

Dentro de las motocicletas eléctricas están los scooters eléctricos existen una variedad de marcas y modelos, su principio de funcionamiento es el mismo pero su tecnología es de gama baja ya que su velocidad nominal es menor que la velocidad de una

moto eléctrica. Este tipo de movilidad está diseñado para usarlo dentro de la ciudad, empresas o universidades por su muy baja autonomía.

Figura 42

Venta de motos eléctricas



Nota. La figura representa el diagrama estadístico de la venta de motos eléctricas en el año 2021.

Obtención de datos de vehículos y motocicletas eléctrica en el Ecuador

A continuación, se procede a realizar la investigación.

Kia Soul

Tabla 8

Datos técnicos Kia Soul

MOTOR PRESTACIONES Y CONSUMO



Motor eléctrico	Motor síncrono imanes permanentes
Tipo de corriente	AC
Potencia máxima (kW)	81.4 kw
Par máximo	285 N.m
Régimen máximo	9800 rpm
Tensión nominal	413 V
Velocidad máxima	145 Km/h

**MOTOR PRESTACIONES Y
CONSUMO**


Aceleración de 0-100 Km/h	11.2 s
Autonomía NEDC	212 km
TRANSMISIÓN	
Tracción	Delantera
Caja de cambios	Automática
Relación grupo fijo	8.206
BATERÍA	
Tipo	Polímero de iones de litio
Capacidad (Ah)	75
Energía (KWh)	27
Extraíble (S/N)	Si
Tipo de cargador (Connector o enchufe)	66 kW
Numero de celdas	96
Tipo de carga / tiempo 100%	208 => 6h, 240 => 5h
Garantía	7 años
Fabricante	SK Innovation
DIMENSIONES (mm)	
Longitud total	4140
Ancho total	1800
Altura total	1593
Distancia entre ejes	2570
Capacidad de carga	250 l
Peso bruto del vehículo	1960 Kg

Nota. En la tabla se describen los datos técnicos del vehículo Kia Soul.

Dayang DY-GD04B (Chok G2)
Tabla 9
Datos técnicos Dayang Chok G2

**MOTOR PRESTACIONES Y
CONSUMO**


Motor eléctrico	Motor sinusoidal sin escobillas DC
Tipo de corriente	DC
Potencia máxima (kW)	6 kw
Tensión nominal	64 V

**MOTOR PRESTACIONES Y
CONSUMO**


Velocidad máxima	50 Km/h
Autonomía NEDC	120 km
TRANSMISIÓN	
Tracción	Posterior
Caja de cambios	Automática
Diferencial	Si
Tipo de transmisión	Ajuste automatico del controlador
BATERÍA	
Tipo	Acido-Plomo sellada
Capacidad (Ah)	150
Extraíble (S/N)	Si
Tipo de cargador (Connector o enchufe)	Cargador a bordo (110/220)
Numero de celdas	8
Tipo de carga / tiempo 100%	8 h
Garantía	2 años
DIMENSIONES (MM)	
Longitud total	3214
Ancho total	1466
Altura total	1605
Distancia mínima al suelo	205
Número de plazas	4
Peso bruto del vehículo	1015 Kg

Nota. En la tabla se describen los datos técnicos del vehículo Dayang Chok G2.

Dongfeng Rich6 Ev
Tabla 10
Datos técnicos Dongfeng Rich6 EV
**MOTOR PRESTACIONES Y
CONSUMO**


MOTOR	
Potencia	161 HP/ 120 kW
Torque	420 Nm
BATERÍA	
Tipo	Batería de Litio

**MOTOR PRESTACIONES Y
CONSUMO**


Capacidad de batería	67.9 kW/h
Carga rápida	0 a 80 % en 45 minutos
Autonomía	403 Km
TRANSMISIÓN	
Caja	Automática
Tracción	2 WD
Autonomía NEDC	212 km
FRENOS	
Delantero	Disco
Posterior	Disco
Frenos Regenerativos	Si
Freno de estacionamiento	Electrónico (EPB)
DIMENSIONES (MM)	
Longitud total	5.290
Ancho total	1.850
Altura total	1.790
Distancia mínima al suelo	207
Capacidad de carga total	1000 Kg

Nota. En la tabla se describen los datos técnicos del vehículo Dongfeng Rich6 EV.

Moto Classic II
Tabla 11

Datos técnicos moto eléctrica Classic II

**MOTOR PRESTACIONES Y
CONSUMO**


MOTOR	
Régimen Nominal	350RPM
Potencia Nominal	500W
Velocidad Máxima	40Km/h
BATERÍA	
Tipo de Batería	4 de ácido seca
Voltaje Nominal	48V
Capacidad	12/20AH
Tiempo de Carga	8 Horas
Autonomía	40 – 60 Km

MOTOR PRESTACIONES Y CONSUMO



Voltaje de entrada del cargador	AC110V60HZ
Voltaje de salida del cargador	DC59V2.0A
TRANSMISIÓN	
Transmisión	Transmisión por eje
CARGA	
Capacidad de carga	100Kg
Masa	53.5Kg

Nota. En la tabla se describen los datos técnicos de la moto eléctrica Classic II.

Análisis tecnológico

Contaminación

En este análisis se dio a conocer la cantidad de contaminación emitida al medio ambiente por vehículos y motocicletas a combustión, y la cantidad de aporte al medio ambiente y disminución del uso de combustibles fósiles no renovables con el uso de los vehículos eléctricos basado en una estimación para unos años.

Tabla 12

Límites máximos de emisiones con motor a gasolina

Categoría	Clase	Peso de referencia (PR)	CO g/km	HC g/km	HC+ONx g/km	NOx
M^a	--	Todas	2.3	0.2	--	0.15
	I	$PR \leq 1305$	2.3	0.2	--	0.15
$M1^b$	II	$1305 < PR \leq 1760$	4.17	0.25	--	0.18
	III	$1760 < PR$	5.22	0.29	--	0.21

Nota. La tabla indica los límites máximos de emisiones para fuentes móviles a gasolina.

Tomado de (NTE INEN 2204, 2017)

La ecuación básica estimada para realizar el cálculo de las emisiones que presentan los vehículos, se requiere de una multiplicación de los datos de la actividad vehicular por un factor de emisión apropiado como se muestra en la ecuación. (Inche, 2001)

$$EP = KRV * FE_p \quad (9)$$

Donde:

EP : Emisiones totales de contaminante

KRV : Kilómetros recorridos por vehículo

FE_p : Factor de emisión del contaminante

Se efectuó el siguiente cálculo considerando un dato promedio en que un vehículo circula aproximadamente 100 km al día. Para el factor de emisión del contaminante se tomó el valor de INEN 2204 en un peso de referencia de todas como en el CO consta de 2.3g/Km, y el HC que es de 2.0g/Km, estos datos se reemplazan en la ecuación (9).

Calculo del CO

$$EP = (100Km) * (2.3g/KmCO)$$

$$EP = 230gCO$$

Calculo del HC

$$EP = (100Km) * (0.2g/KmHC)$$

$$EP = 20gHC$$

Con los valores calculados anteriormente de las emisiones de CO y HC totales de contaminantes, este valor es multiplicado por el número de vehículos de combustión comercializados en el año 2021 sacado de la AEADE, donde se determinó los gramos de contaminación estimado en un día por el número de vehículos.

Cálculo del CO por el número de vehículos vendidos en el 2021

$$EP_t = 230gCO * 119316$$

$$EP_t = 27442680gCO \rightarrow 27442.68kgCO$$

Cálculo del HC por el número de vehículos vendidos en el 2021

$$EP_t = 20gCO * 119316$$

$$EP_t = 2386320gHC \rightarrow 2386.320kgHC$$

Con el análisis anterior se llegó a obtener la cantidad de contaminación al medio ambiente por el número de vehículos de combustión que dio como resultado $27442.68kgCO$ y $2386.320kgHC$, basado de este mismo método se efectuó para el número de vehículos eléctricos comercializados en el 2021 que fueron de 348, en base a este número se realizó el cálculo estimando como si fueran vehículos de combustión interna dando como valores de $80.04kgCO$ y $6.96kgHC$. Estos valores representan el aporte de contribución con el medio ambiente. Dado una estimación a unos 5 años, estos 348 vehículos eléctricos se duplicarán en cada año llegarían a existir un número significativo de 11136, esto aportaría a la disminución del uso de combustibles fósiles y también al medio ambiente como resultados de $2561.280kgCO$ y $222.720kgHC$.

De igual manera las motos de combustión aportan en la contaminación del aire como se detalló en el siguiente ejemplo:

Tabla 13

Valores límites máximos para motocicletas y tricimotos

Desplazamiento	CO g/km	HC g/km	HC+ONx g/km
0 – 169cm³	12	1.0	--
170 – 279 cm³	12	1.0	--
≥ 280 cm³	12	--	1.4

Nota. Describe los valores máximos de emisiones de CO y HC para motocicletas y tricimotos.

Tomado de (NTE INEN 136, 2014)

Se empleó la ecuación (9) donde se determinó el valor de contaminación del aire que genera una moto a combustión, tomando los datos de CO y HC de la INEN 136, arrojando como resultados de $1.2kgCO$ y $1.0kgHC$. Entonces todas las motos vendidas en el año 2021 de (165701), realicen el mismo recorrido generaran $198841.2kgCO$ y $165701kgHC$.

Tecnología

Mediante aumenta la población también aumenta la contaminación ambiental proveniente de los vehículos, esto ha generado que los Ingenieros busque alternativas para disminuir la contaminación del aire y el uso de combustibles fósiles, por esto se han creado

varios tipos de vehículos cada uno de estos con diferentes tecnologías aumentando la eficiencia energética e intentando minimizar el uso de combustibles fósiles en la siguiente tabla se compara las tecnologías térmicas, híbrida y eléctrica.

Tabla 14

Comparación de las tecnologías

Características	Vehículo a Combustión	Vehículo híbrido eléctrico enchufable (VHEE)	Vehículo Eléctrico (EV)
Combustible	Gasolina	Electricidad y gasolina	Electricidad
Tipo de batería	Plomo - Acido	Plomo – Acido Ion – Litio	Plomo-Acido Ion – Litio
Eficiencia energética	25%	49%	77%
Capacidad de combustible	18.5 gal	11.35 gal Batería 13.2 KWh	Batería 27 KWh
Costo del combustible	1 gal extra = \$2.40	Carga normal 1KWh=\$9.2 ctvs. Carga rápida 1KWh=\$0.25	Carga normal 1KWh=\$9.2 ctvs Carga Rápida 1KWh = \$0.25
Costo de carga completa de combustible	Tanque lleno =\$ 44.4	Carga lenta = \$1.22 Carga rápida= \$ 3.30 Tanque lleno gal = \$15.89	Precio de carga normal = \$2.49 Precio Carga rápida= \$ 6.75
Caja de velocidades	Cambio automático Cambio manual	Cambio manual Cambio automático	Engranaje reductor
Conectores disponibles carga rápida	N/A	AC Mennekes tipo 2 CCS 1 (DC) CHAdemo (DC)	AC Mennekes tipo 2 CCS 1 (DC) CHAdemo (DC)
Tiempo de carga de combustible	5 min	Carga normal 7 a 8 horas Carga rápida de 5 a 30 min	Carga normal De 8 a 9 horas Carga rápida de 5 a 30min
Motor	Motor de cuatro tiempos (Ciclo Otto)	Motor de cuatro tiempos (Ciclo Atkinson) Moto generadora (MG)	Motor asíncrono o de inducción Motor síncrono de imanes permanentes. Motor síncrono de reluctancia conmutada o variable Motor sin escobillas de imanes permanentes
Reducción de Emisiones	0%	(50 – 75) %	100%

Características	Vehículo a Combustión	Vehículo híbrido eléctrico enchufable (VHEE)	Vehículo Eléctrico (EV)
Autonomía	400 km +	De 80 a 100 Km en cero emisiones	160 ± cero emisiones

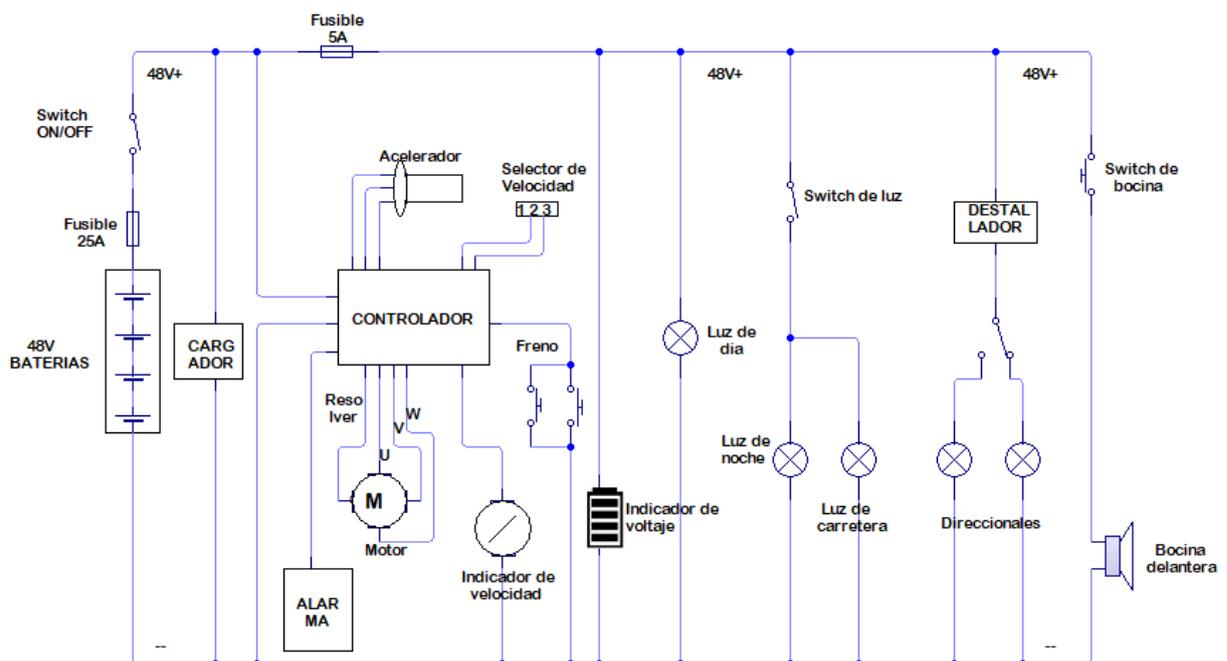
Nota. La tabla indica la comparación de las tecnologías de un vehículo a combustión, híbrido y eléctrico.

Modelación de circuitos de alta, media y baja tensión de una moto eléctrica

A continuación, se visualizó el esquema completo de todos sus componentes de la moto Classic II, la cual está conformado por un conjunto de cuatro baterías que se encuentran conectadas en serie y suman un voltaje nominal de 48V, también consta de dos fusibles de seguridad uno 25A y otro de 5A. Otro dispositivo es el controlador donde es el encargado de gestionar la energía de la batería al motor, al igual que sus otros componentes como el acelerador, alarma, indicador de velocidad. Asimismo, se encuentra accesorios como luz de día, luz de carretera, direccionales y bocina. También se tiene en los dos frenos un pulsador que detiene la corriente hacia el motor para que cuando se presionen los frenos el motor no siga consumiendo energía.

Figura 43

Esquema eléctrico completo moto Classic II



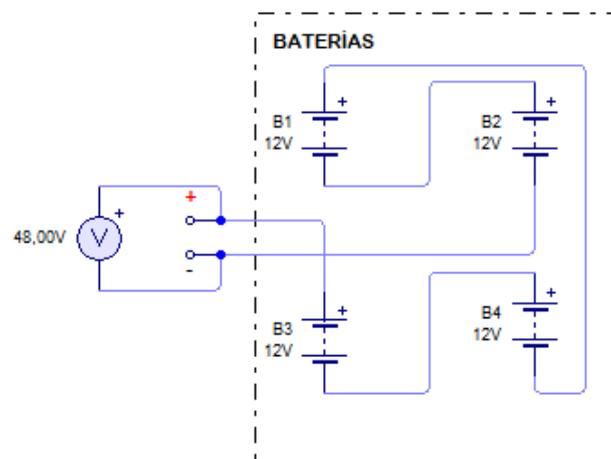
Nota. La figura indica todo el esquema eléctrico, la cual se encuentra conformada en la moto Classic II.

Batería

Es considerada como la fuente de energía que avala todo el funcionamiento de la moto, su carga siempre depende del desplazamiento del vehículo, están compuestas por cuatro baterías de ácido - plomo, conectadas en serie que sumadas estas llegan a un voltaje de 48V a 12Ah. Este tipo de baterías son sin mantenimiento porque están completamente selladas el fabricante es Tianneng battery. Por el plomo que contiene no hay que desecharla en los desechos comunes, es reciclable. No contiene cadmio y hay que mantenerlas lejos del fuego para evitar accidentes. Es muy estable y fácil de usar. Diseñada para aplicaciones de electromovilidad y bicicletas eléctricas.

Figura 44

Conexión en serie de las baterías



Nota. Se indica el tipo de conexión de las baterías de ácido – plomo, que constan de 4 sumando así 48V.

Controlador

Este dispositivo tiene como función de encargarse de administrar la corriente enviada por la batería y esta corriente ser suministrada al motor acompañada de diferentes

elementos que van al controlador. Al igual que los motores eléctricos se clasifican ya sea según su voltaje y potencia de salida.

Figura 45

Controlador

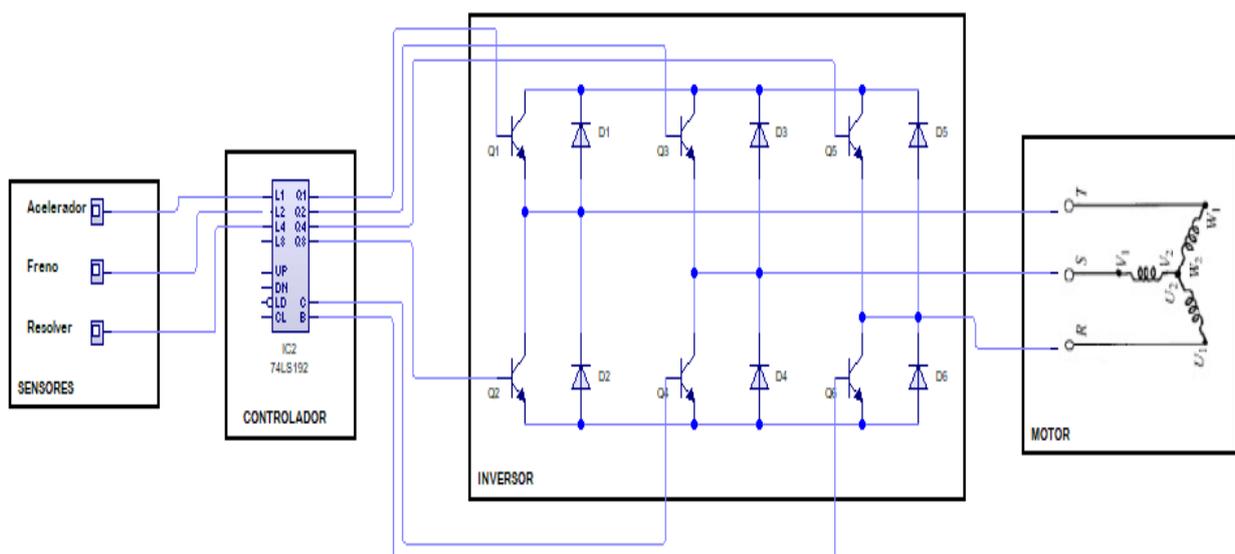


Nota. La figura representa una toma del circuito interno del controlador de mando de la moto Classic II.

Alguno de los elementos que van conectados al controlador son los sensores de (acelerador, freno y resolver o sensor Hall) son los que están presentes en la moto Classic II al igual que su respectivo motor en la rueda trifásico y con aislamiento externo muy bueno no deja penetrar agua ni polvo.

Figura 46

Esquema eléctrico del controlador

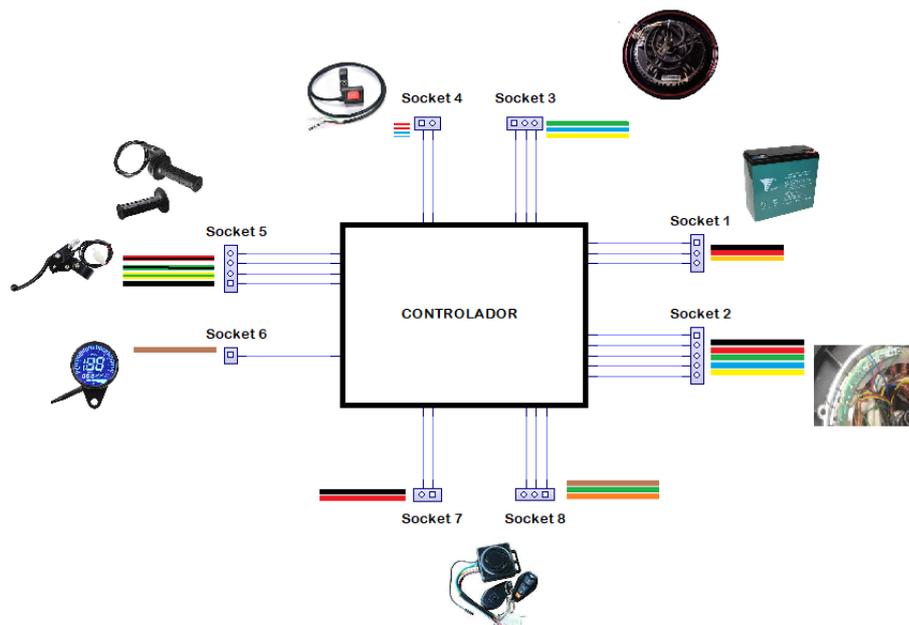


Nota. La imagen representa el circuito eléctrico del controlador con su respectivo inversor que se encuentra dentro del mismo.

El controlador tiene 8 sockets para los diferentes sistemas de control y accionamiento, como son acelerador, selector de velocidad, motor eléctrico, sensor del freno, alarma, salida de señal de velocidad del motor, entrada de tensión de batería de alto voltaje. Los cables son de un calibre más grande para las fases del motor y para la alimentación de 48V. Mientras que para los sensores y actuadores se utiliza un calibre mucho menor.

Figura 47

Diagrama de cableado del controlador



Nota. Presenta el diagrama de cableado de la motocicleta eléctrica Classic II.

Tabla 15

Descripción de cableado

Socket	Color de cables	Descripción
1		- + (52V) + (52V)
2		- + (5V) Señal 1 resolver Señal 2 resolver

Socket	Color de cables	Descripción
		Señal 3 resolver
3		U V W
4		Señal 1 selector de velocidad Señal 2 selector de velocidad
5		+ (5V) Señal de acelerador Señal del pulsador de freno -
6		Señal de la velocidad
7		- +
8		Señal 1 alarma Señal 2 alarma Señal 3 alarma

Nota. Indica los colores de cables del controlador y la descripción de cada uno de ellos.

Controles

El acelerador electrónico se lo define como un potenciómetro que varía según la posición que se encuentre es un componente clave para gestionar la velocidad de motores eléctricos, este componente interactúa directamente con el conductor. En el caso que este componente falle la moto no se moverá. El acelerador de la moto Classic II tiene como componente electrónico una resistencia variable.

El controlador toma la señal del acelerador y este ordena al motor eléctrico en hacer cumplir la variación de velocidad según requiera el conductor. Este tipo de mando es de fabricación de plástico.

Figura 48

Acelerador electrónico y selector de velocidad

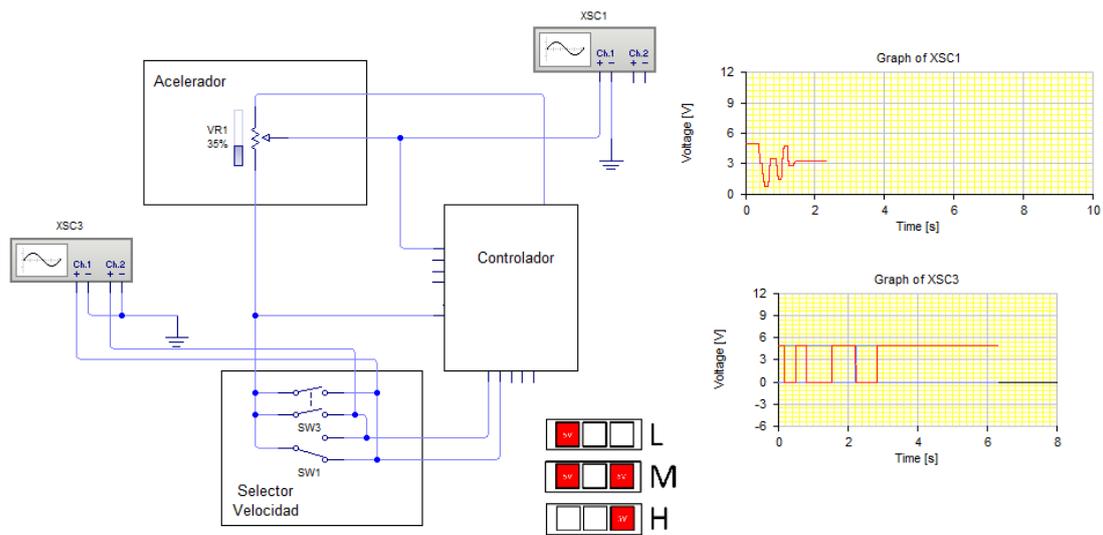


Nota. La figura representa el acelerador de la moto eléctrica Classic II.

Junto al acelerador se puede visualizar el selector de velocidad, cuenta con tres posiciones. Este elemento envía una señal de 0v o 5V al controlador para poder variar la velocidad según lo requiera.

Figura 49

Circuito del acelerador electrónico y selector de velocidad



Nota. La figura representa el circuito eléctrico del acelerador y el selector de velocidades de la moto eléctrica.

En el circuito eléctrico del acelerador se observa que su componente eléctrico es un potenciómetro de 10k ohms y el selector de velocidad es un interruptor de tres posiciones, este elemento tiene 6 pines 3 para el potenciómetro y 3 para el selector de velocidad.

Tabla 16

Conmutación de diferentes velocidades

Velocidad	Señal al controlador
Primera velocidad	L
Segunda velocidad	M
Tercera velocidad	H

Nota. Se especifica la señal en los diferentes pines del selector de velocidad.

Motor eléctrico

El motor eléctrico es el elemento encargado de transformar la energía eléctrica en energía mecánica. El motor Wheel es el más usado en motos eléctricas. Este motor recibe la corriente alterna generada por el inversor para alimentar sus fases y lograr girar la llanta. Para un control preciso el motor incorpora sensores de posición de tipo Hall, estos sensores retroalimenta al controlador la posición de rotor.

Figura 50

Motor eléctrico y sensor resolver moto eléctrica

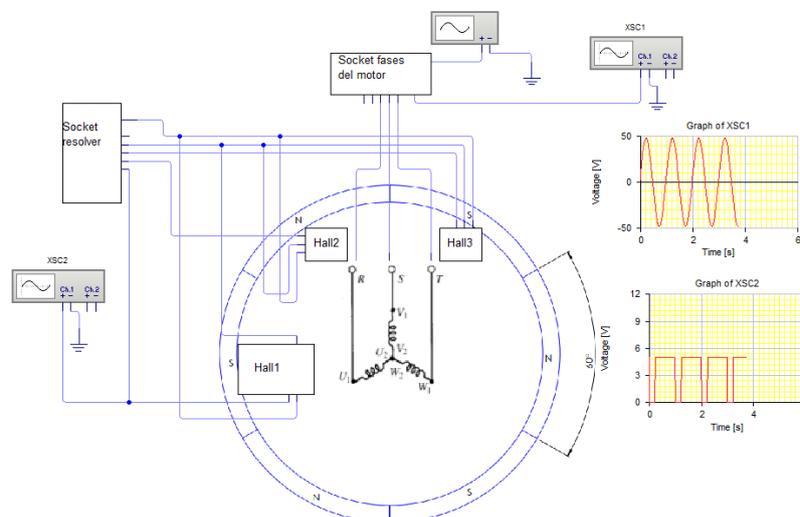


Nota. La figura representa el motor eléctrico con sus 8 pines y el diferente calibre de cables.

Este tipo de motor es trifásico de corriente alterna, su conexión con la fuente trifásica es en forma de estrella con un Angulo de desfase de 120° . Es construido de una aleación de aluminio y sellado herméticamente para que su interior esté libre de agentes contaminantes. En el caso de que una de las fases falle el motor se desbalancea y se sienten a trancones al momento de acelerar, posee rodamientos que disminuyen la fricción.

Figura 51

Circuito del motor eléctrico y sensor resolver



Nota. La figura representa el circuito eléctrico del motor eléctrico, también sus graficas características de la corriente alterna que entra al motor y la señal del sensor resolver.

En el diagrama de circuito eléctrico encontramos 3 cables que corresponden a las diferentes fases (U, V, W). También tiene 5 cables de menor calibre que corresponde al sensor resolver (positivo, negativo, señal1, señal2, señal3). El resolver al ser sensores de efecto Hall su señal de salida es cuadrada variando su voltaje entre 0 y 5V. Mientras mayor es la velocidad de la llanta también aumenta la frecuencia de la gráfica.

Cargador

Otro de los componentes es el cargador de baterías donde tiene la función de hacer circular y transforma de AC a DC, de acuerdo a la tensión de la red su valor notablemente es superior al necesario, mediante el uso de un transformador permite reducir la tensión a valores de 58 y 60 V. También utiliza transistores para proteger las baterías al momento que la carga está completa SOC 100%.

Figura 52

Cargador

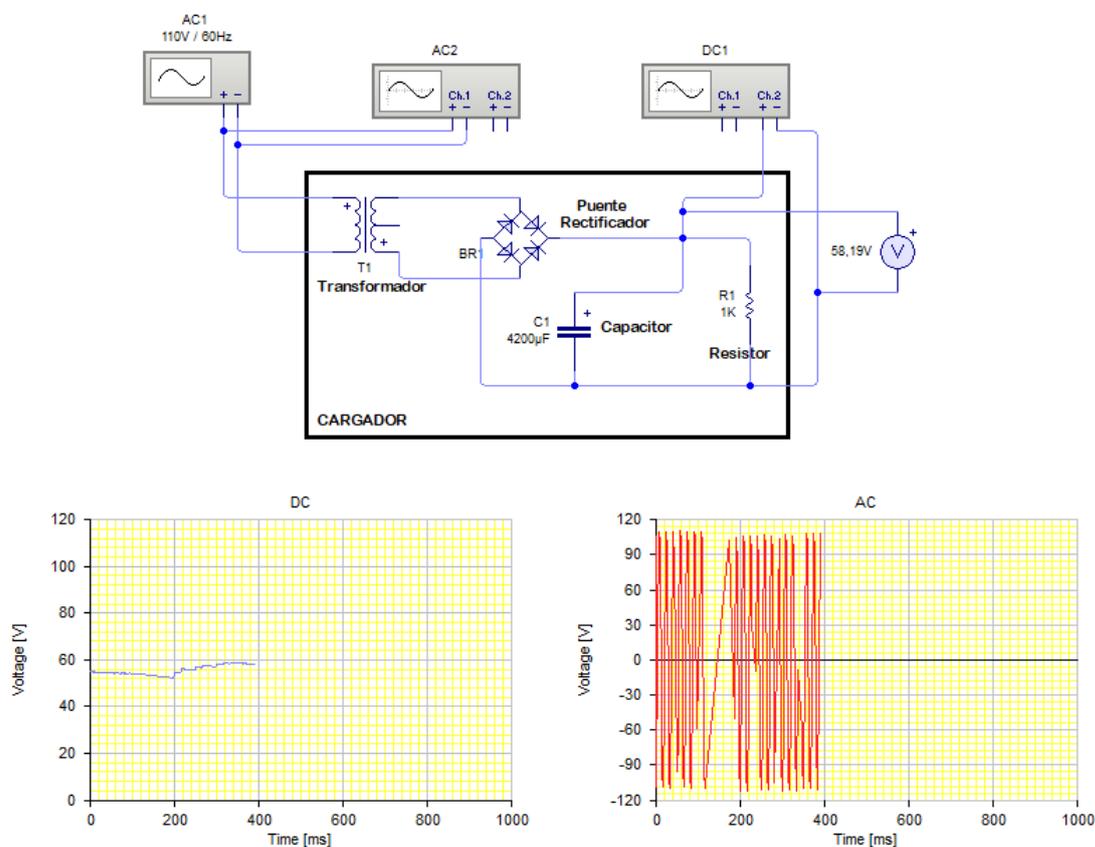


Nota. En la siguiente imagen se representa un cargador y sus componentes internos, la cual transforma los 110V a 59V para la recarga de las baterías de la moto Classic II.

Dentro del circuito de un cargador de baterías esta se conforma de un transformador, un puente rectificador, capacitores y resistencias el cual permiten reducir y transformar dicha energía, al momento de la transformación se genera una cantidad de calor considerable por esto el cargador implementa un ventilador. Su onda de entrada es sinusoidal de 110 V. Su salida es una línea recta con un valor de 59 V para poder recargar la batería en 8 horas aproximadamente tiene un ventilador que ayuda a disipar la energía transformada en temperatura.

Figura 53

Circuito del cargador de baterías



Nota. La imagen representa el circuito el cual está conformado el cargador de baterías para la moto Classic II.

Obtener parámetros característicos de la motocicleta eléctrica

Para la obtención de estos parámetros característicos de la motocicleta Classic II, se optó de un multímetro automotriz y también de un osciloscopio Hantek 1008c, se realizó la

correspondiente instalación de la interfaz gráfica en el computador, luego de esto se comprobó con una calibración del mismo equipo para verificar su correcto funcionamiento.

Análisis del estado del acelerador, selector de velocidades y freno

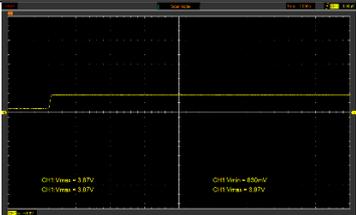
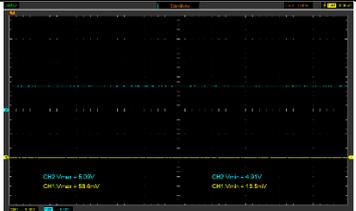
Para estas pruebas se realizó el desmontaje de los componentes de plástico de la correspondiente moto como protectores, carcazas, cobertores, etc. Una vez desmontado estas partes, ubicamos los conectores del acelerador y del selector de velocidades, luego se procede a conectar al computador el osciloscopio Hantek 1008c ya que cuenta con ocho canales de señal, mediante el canal uno conectamos a la señal del acelerador, donde vamos a obtener dos voltajes el uno sin girar el acelerador y el otro girado totalmente.

De la misma forma conectamos el canal uno y dos del osciloscopio a los pines del selector de velocidades, ya que este selector dispone de tres posiciones (1, 2 y 3), tomando así cada grafica al cambiar la posición de cada velocidad.

Luego de esto se identificó los pines del freno este tiene la función como la de un switch en cortar el paso de corriente hacia el motor, conectamos el canal uno del osciloscopio a los penes del freno obteniendo así su respectiva gráfica.

Tabla 17

Valores característicos y graficas del acelerador, selector y freno

Componente	Valores	Grafica
Acelerador	Vmax: 3.87 V Vmin: 830 mV	
Selector de Velocidades	Posición 1 P1: 5V P2: 0V P3: 0V	

Componente	Valores	Grafica
	Posición 2 P1: 5V P2: 0V P3: 5V	
	Posición 3 P1: 0V P2: 0V P3: 5V	
Freno	Accionado V: 4.85v Sin accionar V: 0v	

Nota. La tabla indica los valores nominales para un correcto funcionamiento del acelerador, selector y freno.

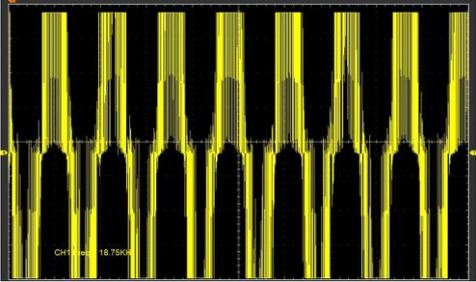
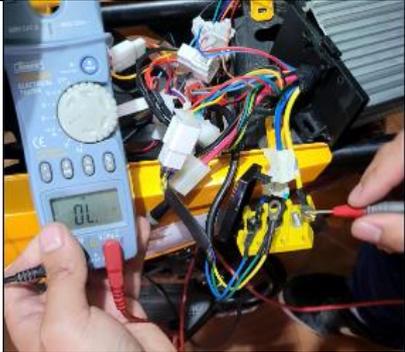
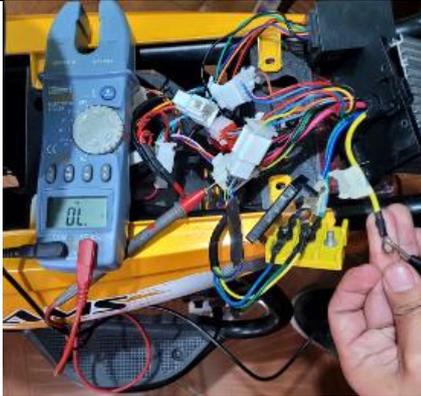
Resultados y comprobación del controlador

Para determinar una de las gráficas de las tres fases del controlador, se procedió a retirar el asiento del acompañante donde se encuentra el mismo, ubicamos las tres fases que van hacia el motor, con el osciloscopio se conectó el canal uno a dos fases después calibramos el voltaje y el tiempo para determinar la gráfica. En esta grafica no se la puede ver perfectamente porque existe mucho ruido que afecta al osciloscopio, pero se nota claramente la activación y desactivación de los transistores IGBT

Otras pruebas para demostrar que el controlador esté funcionando adecuadamente es la de verificar que no exista ningún corto en estas tres fases, se realizó por medio de un multímetro ajustando en la escala de continuidad con las puntas de prueba el negativo va conectado al positivo de la batería y el positivo del multímetro a cada fase del controlador verificando así que no exista ningún corto en los transistores positivos, y posteriormente realizamos la misma prueba en posición contraria para determinar que no exista corto en los transistores negativos.

Tabla 18

Verificación de las fases y transistores del controlador

Componente	Valores	Grafica
Inversor	Fase	
Transistor positivo	Continuidad 0	
Transistor negativo	Continuidad 0	

Nota. La tabla representa el modo de verificación para determinar que no exista corto en los transistores del controlador.

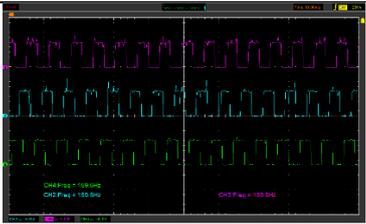
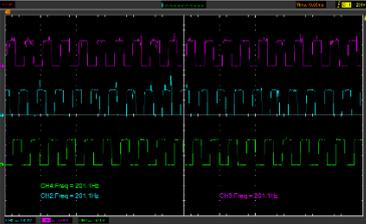
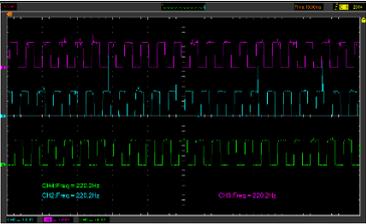
Datos y comprobación del motor

Una de las pruebas para la verificación de los sensores que cumplen dos funciones tanto la posición angular del eje motor como la velocidad del mismo, también denominado (resolver), constan de tres. Mediante tres canales del osciloscopio conectamos los positivos a cada fase y el negativo a un negativo de las baterías, se ajustó las escalas para visualizar las gráficas variando la posición de sus velocidades.

Por medio de un multímetro se comprobó los inducidos de cada fase, seleccionamos la escala de continuidad con las puntas de prueba el positivo se coloca en una de las fases y el negativo se hace tierra con eso se revisa que no esté en corto la fase y el mismo procedimiento se hace en cada fase del motor.

Tabla 19

Comprobación del motor trifásico y sensores resolver

Componente	Valores	Grafica	
Motor	Sensor Resolver	Posición 1 F2: 159.5Hz F3: 159.5Hz F4: 159.5Hz	
		Posición 2 F2: 201.1Hz F3: 201.1Hz F4: 201.1Hz	
		Posición 3 F2: 220.2Hz F3: 220.2Hz F4: 220.2Hz	
Bobinado del estator	Continuidad 0		

Nota. La tabla muestra las gráficas de los tres resolver y la verificación de los inducidos del motor.

Modelación de circuitos de alta, media y baja tensión de un vehículo

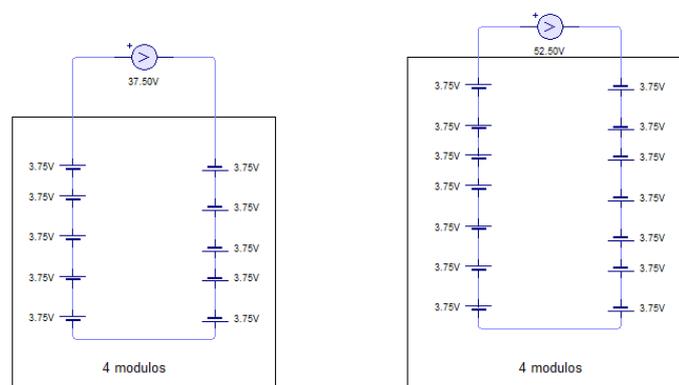
En esta sección se detallan los circuitos eléctricos de los componentes más importantes del vehículo eléctrico Kia Soul. En general un vehículo eléctrico toma la energía eléctrica de su batería de alto voltaje y lo transforma en energía cinética para mover sus llantas. Pero antes de esto la energía debe pasar por algunos procesos para transformarla en corriente trifásica que alimenta al motor eléctrico. La energía consumida para lograr este proceso es tomada directamente de la red de distribución de la energía eléctrica.

Batería

El vehículo incorpora una batería de ion litio de 360V este voltaje se logra gracias a sus 96 celdas conectadas en serie cada una con un voltaje de 3.75 voltios. Los conjuntos de celdas forman módulos. En el vehículo hay 4 módulos de 10 celdas que alcanzan un voltaje de 37.5 V y 4 módulos de 14 celdas que alcanzan los 52.5 V.

Figura 54

Circuito del módulo de batería



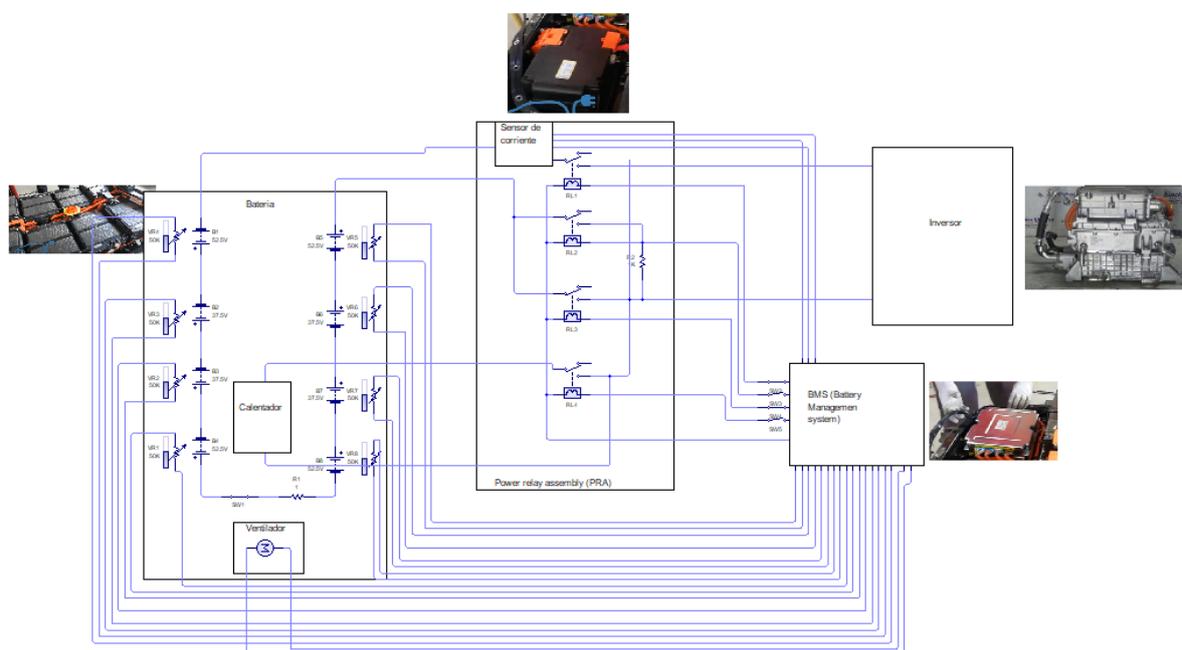
Nota. La imagen presenta los módulos de 10 y 14 celdas.

Los módulos se encuentran distribuidos 4 a la derecha y 4 a la izquierda del vehículo, en cada lado hay 2 módulos de 37.50 V y dos módulos de 52.50V. Dentro de cada módulo hay 8 sensores de temperatura, estos retroalimentan valor de la temperatura al BMS. Si existe un exceso de temperatura los SMR se desactiva cortando toda la energía del sistema, si la temperatura es demasiado baja, el BMS activa el relé del calentador hasta que se llegue a la temperatura normal de funcionamiento de las baterías. El conjunto de relés de

potencia (PRA) contiene 4 relés de alta potencia (negativo, positivo, precarga y calentador) estos son controlados por el BMS para activar y desactivar el paso de la corriente al inversor y al calentador. El relé de precarga tiene una resistencia en serie esto es para proteger la batería en caso de un corto circuito. También el (PRA) lleva un sensor de corriente en el lado negativo de la batería antes del relé negativo, este sensor retroalimenta a la BSM para saber que el sistema está trabajando correctamente.

Figura 55

Circuito eléctrico batería de alto voltaje



Nota. Circuito eléctrico de la batería incluidos (PRA) y (BMS)

La secuencia de encendido y de apagado de los relés es la siguiente:

Tabla 20

Secuencia de funcionamiento relés

Encendido	Apagado
Relé (-) ON	Relé (+) Off
Relé de precarga On	Relé (-) Off
Relé (+) On	
Relé de precarga Off	

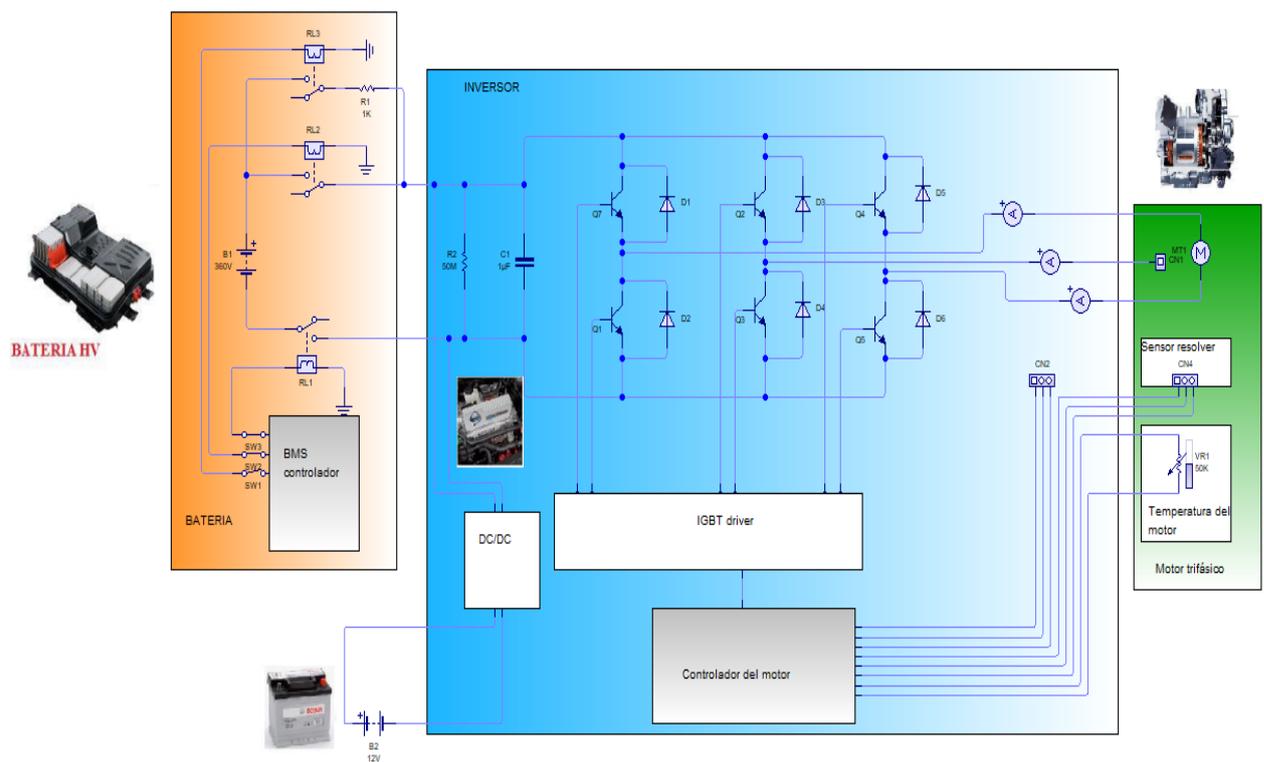
Nota. Secuencia de encendido y apagado. Relés controlados por BMS.

Electric Power Control Unit (EPCU)

El módulo EPCU está compuesto de la unidad de control del vehículo (VCU), el inversor (MCU) y el convertidor DC/DC. El VCU tiene la misión de controlar el sistema de propulsión del vehículo, este usa la batería de alto voltaje.

Figura 56

Inversor



Nota. Circuito del inversor incluido HV batería, motor trifásico, Controlador del motor, Convertidor DC/DC.

Dentro del inversor se encuentra los transistores IGBT que tiene la misión de transformar la corriente continua en alterna trifásica para el motor trifásico. Mediante el conductor cuando pisa el pedal de aceleración, el BMS monitorea la carga de la batería para suministrar al inversor, los transistores accionan las fases U, V, W del motor para accionarlo.

El inversor incorpora el convertidor DC/DC que disminuye el voltaje de 360V a unos 13.5-14V para carga la batería auxiliar de periféricos. El controlador del motor eléctrico

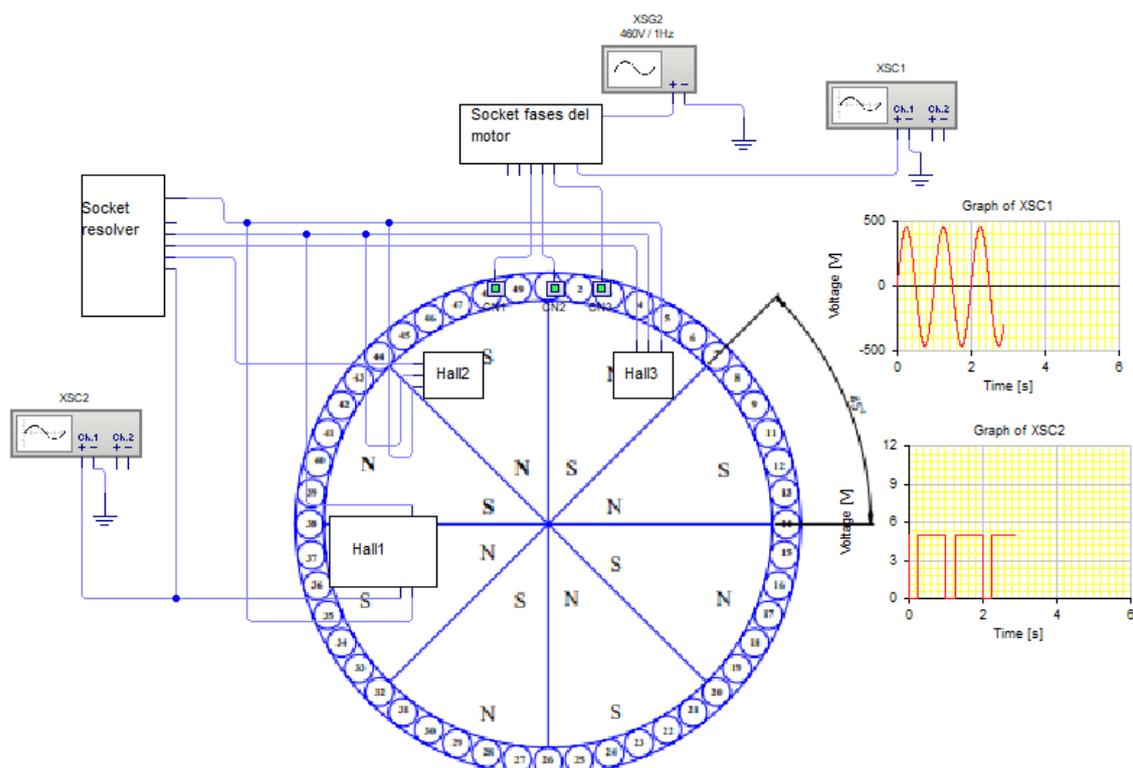
recibe las señales del sensor resolver y también la temperatura del motor, envía pulsos PWM Al driver del IGBT para que conmute las fases según la posición del sensor resolver.

Motor eléctrico

El motor eléctrico es de tipo imán permanente síncrono de CA puede desarrollar una potencia máxima de 109 hp y un torque de 210 lb/ft. El motor eléctrico del vehículo tiene el control absoluto de su par y de la velocidad, por esta razón no necesita caja de cambios. La potencia del motor se envía a un reductor de velocidad conectado al eje del rotor y posteriormente se envía a la rueda motriz a través del eje de transmisión. El motor eléctrico tiene un sistema de enfriamiento con refrigerante que es impulsado por una bomba eléctrica que es controlada por el controlador del motor. El sensor de temperatura esta siempre monitoreando este valor para que no existan daños en el motor cuando se demanda toda la potencia eléctrica del mismo. Es un motor robusto y está ubicado en la parte frontal del vehículo esto para mantener la distribución de peso perfecta, ya que este vehículo también cuenta con la versión a gasolina.

Figura 57

Diagrama eléctrico motor trifásico



Nota. Circuito del motor trifásico, con rotor, estator con sus ranuras, sensor resolver y voltaje AC de funcionamiento.

El estator tiene 48 ranuras por donde se distribuyen los alambres de las diferentes fases (U, V, W), en el rotor se puede ver la distribución de los imanes permanentes que son 8 cada imán esta intercalado Norte, Sur para poder girar según la orientación del campo magnético creado por la conmutación de los transistores IGBT.

Sus fases están distribuidas de la siguiente forma:

Tabla 21

Distribución de fases en ranuras

Fase	Número de ranura
U	(1 y 6, 6 y 7, 7 y 12, 12 y 13)
V	(2 y 3, 8 y 9, y 14 y 16)
W	(4 y 5, 10 y 11, y 16 y 17)

Nota. Se presenta las fases enrolladas en las diferentes ranuras del estator.

Cargador

El conector EVSE tiene 5 pines que envían y reciben información estos pines son (L1, L2, tierra, señal piloto y proximidad) como se ve en la fig. El cargador está dentro del vehículo por eso el EVSE en su carcasa contiene relés y un controlador

Figura 58

Conector SAE J1772

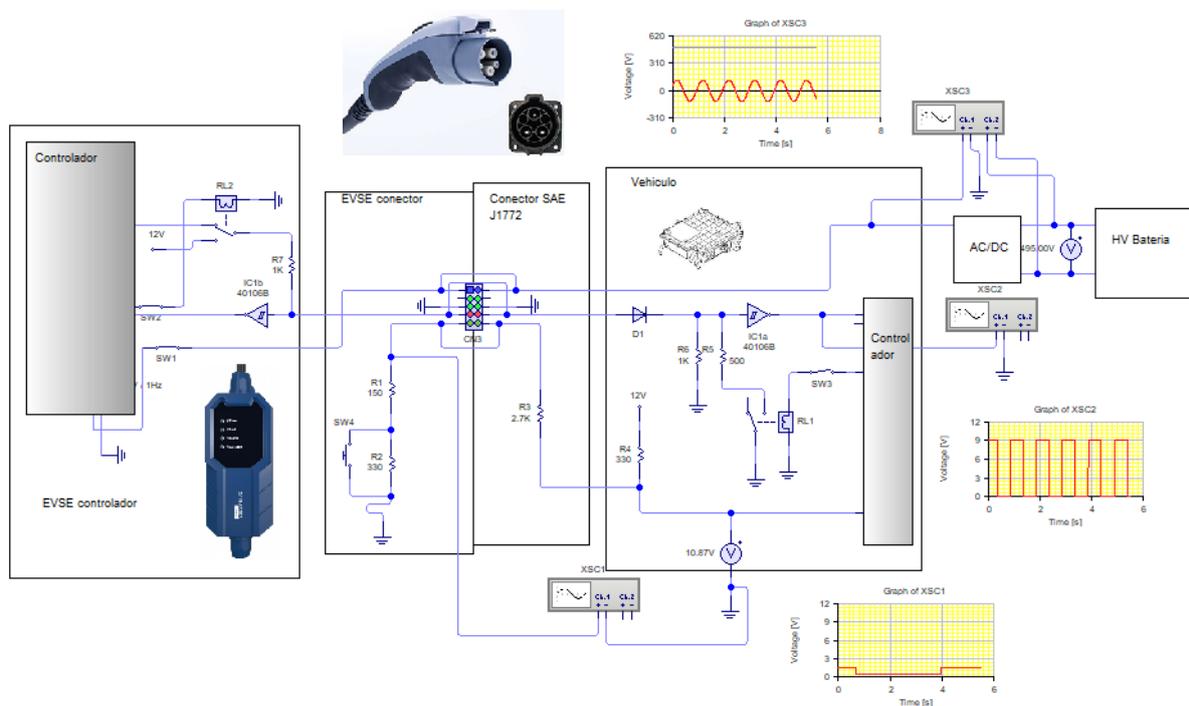


Nota. Conector SAE J1772 y sus respectivos pines.

El On board charger (OBC) del vehículo es de una potencia de 6.6 KW de potencia, usa el conector SAE J1772 con puertos de nivel 1 y nivel 2 para carga rápida y carga normal utiliza corriente de la red de distribución local de 110 V y una corriente de entrada de 33 A la salida del convertidor AC/DC es de 495 V y 25 A de corriente. El EVSE controlador tiene 2 relés uno para conectar la energía de la red y otro para iniciar el protocolo de comunicación con el (OBC). El Evse conector tiene un botón que sirve para destrabar el cargador de conector SAE J1772, este botón cambia el valor de voltaje que llega al controlador de OBC para informar que se conectó el cargador esta señal es llamada proximidad. Después el controlador del EVSE activa el relé para envía una señal de pulsos (PWM) con información de la corriente de carga máxima disponible, esta formación llega al controlador de OBC y activa el relé para empezar la carga. La corriente alterna entra al convertidor AC/DC para tener una corriente continua de alto voltaje a la salida que es enviada a la batería.

Figura 59

Circuito eléctrico del cargador nivel 1



Nota. Circuito del cargador por bloques (controlador, Conector cargador, conector (OBC), OBC, convertidor AC/DC, batería) con sus respectivas señales.

Capítulo IV

Análisis de resultados obtenidos en el software especializado

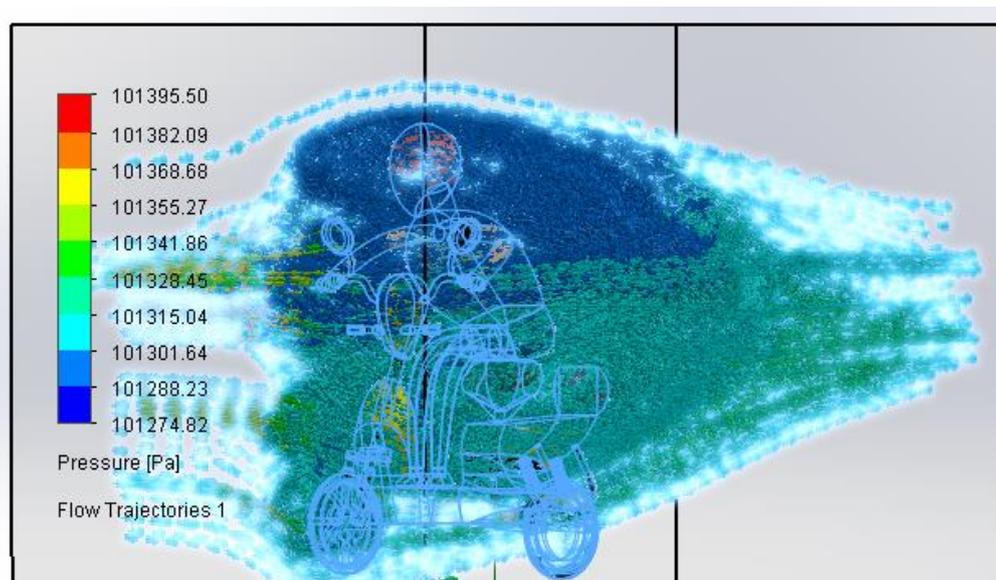
En este capítulo se desarrolló la simulación CFD de la motocicleta eléctrica Classic II para calcular el coeficiente aerodinámico necesario para el cálculo de la dinámica del vehículo. Después se desarrolló un ciclo de conducción de una ruta dentro de la universidad para la motocicleta eléctrica. Luego se analizó la dinámica del vehículo para así determinar las fuerzas que impiden el movimiento del vehículo. A continuación, se realizará el modelado de un vehículo y una moto eléctrica para realizar los cálculos de la dinámica de estos dos sistemas de movilidad, luego se introducirán estos cálculos en un software especializado para obtener diferentes parámetros técnicos de estos vehículos.

Modelación de la moto eléctrica en software CFD

El motivo por el cual se eligió la modelación dinámica de fluidos computacional (CFD) es para obtener el coeficiente aerodinámico de la moto Classic II, y así obtener la fuerza aerodinámica.

Figura 60

Simulación aerodinámica Moto eléctrica Classic II

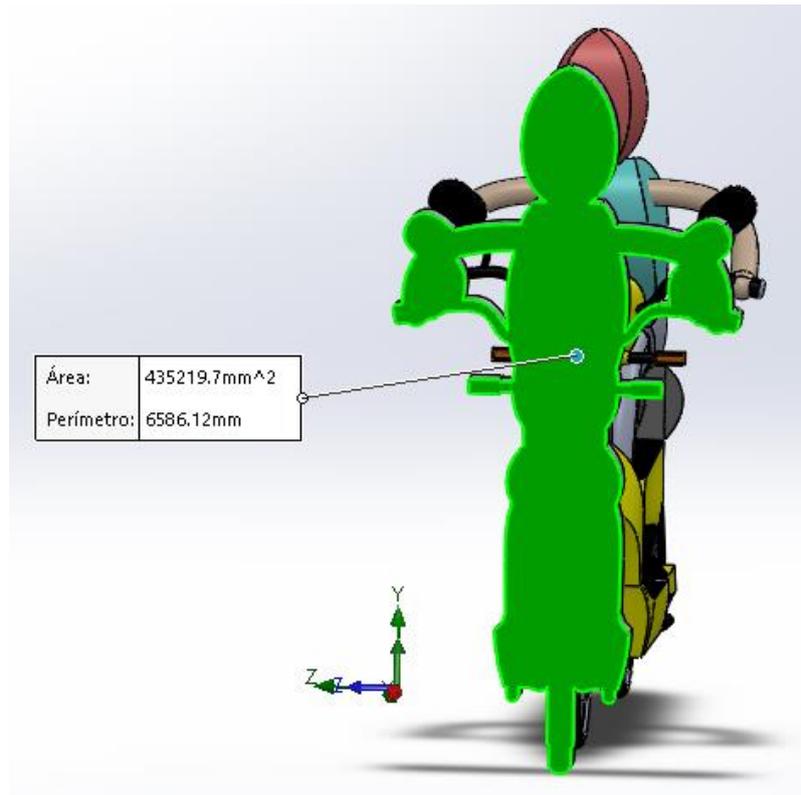


Nota. La figura indica valores sobre presión del aire que choca con la estructura de la moto.

Mediante la simulación en CAD de la moto eléctrica Classic II. Se desarrolló un croquis donde se visualiza la parte frontal de la moto, basado en diferentes operaciones como la extrusión y por medio del comando medir se calculó el área del perfil de la moto arrojando el como resultado. $A=435219.7 \text{ mm}^2 = 0.4352197\text{m}^2$.

Figura 61

Área frontal Moto eléctrica Classic II

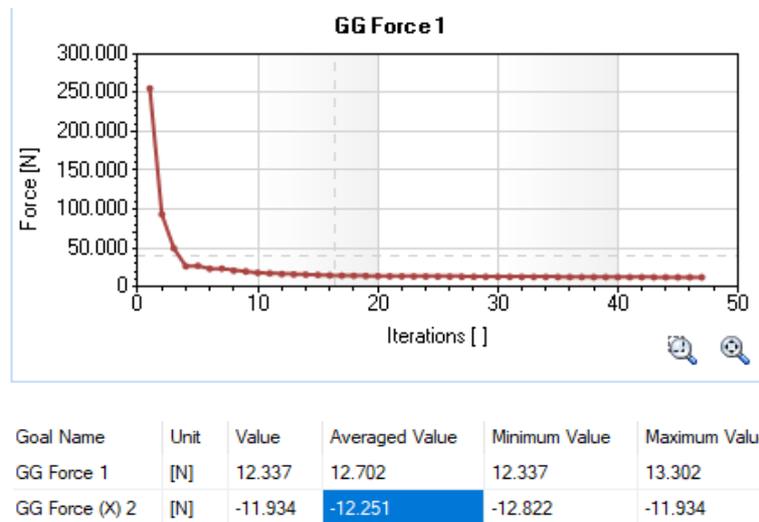


Nota. En la imagen representado en un software especializado se determinó el área frontal de la moto estudiada.

Del mismo CAD se utilizó la herramienta Flow Simulation donde se procedió a obtener datos que arroja el mismo software considerando el tipo de fluido, la presión atmosférica, la velocidad se tomó la variable de la fuerza del viento a una velocidad de 35 km/h, de la moto Classic II, de acuerdo al valor obtenido 12.251N. el software desarrollo 47 iteraciones hasta llegar a un valor neto.

Figura 62

Fuerza del aire con sus interacciones



Nota. La siguiente grafica indica los datos de la fuerza del aire y las iteraciones realizadas por el software hasta un valor neto. Esto se tomó de la simulación CFD.

Después de haber obtenido estos datos se realiza el cálculo del coeficiente aerodinámico tomado de la ecuación (1) para la Moto eléctrica Classic II, tomando como valor la densidad del aire en la ciudad de Latacunga ya que en dicha ciudad se llevan a cabo dichos ciclos de conducción.

$$cd = \frac{2 * 12.251 \frac{kg \cdot m}{s^2}}{1.2705 \frac{kg}{m^3} * \left(9.72 \frac{m}{s}\right)^2 * 0.4352m^2}$$

$$cd = 0.4690 Cx$$

Ciclos de conducción para definir los parámetros eléctricos de la moto

Para este proyecto es necesario obtener el ciclo de conducción de la moto estudiada. El objetivo es introducir este ciclo en la simulación de Matlab para obtener los resultados esperados. Para la motocicleta se obtuvo la ruta dentro de la universidad, en este trayecto hay diferentes grados de inclinación que afectan en el rendimiento de la moto. Se obtuvo las gráficas de velocidad vs tiempo y aceleración vs tiempo. Se realizó una tabla de los datos obtenidos de estas gráficas en formato xlsx. Fue necesario este formato para introducir esta base de datos en Matlab.

Ruta moto eléctrica

La ruta para este vehículo se la desarrollo en el interior de la universidad porque gracias a las pendientes existentes en el trayecto se somete al vehículo a condiciones extremas de funcionamiento. Esta clase de moto es un medio de transporte urbano.

Figura 63

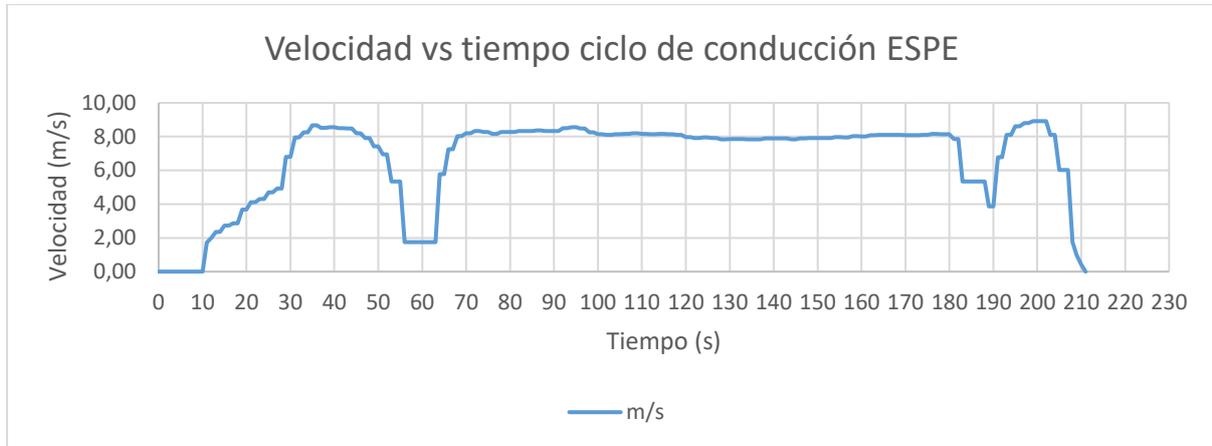
Ruta en los alrededores de la universidad



Nota. La figura indica la ruta realizada para obtener el ciclo de conducción.

El trayecto inicia en la entrada del laboratorio de autotrónica, sigue de frente hasta el parqueadero cerca al laboratorio de petroquímica, gira a la derecha y sigue de frente hasta la redonda cerca al sistema de tratamiento de aguas servidas, gira a la derecha y se desplaza en línea recta hasta la segunda redonda cerca del parqueadero principal, gira a la derecha y continua hasta el camino de adoquín terminando el circuito en la entrada del laboratorio de autotrónica.

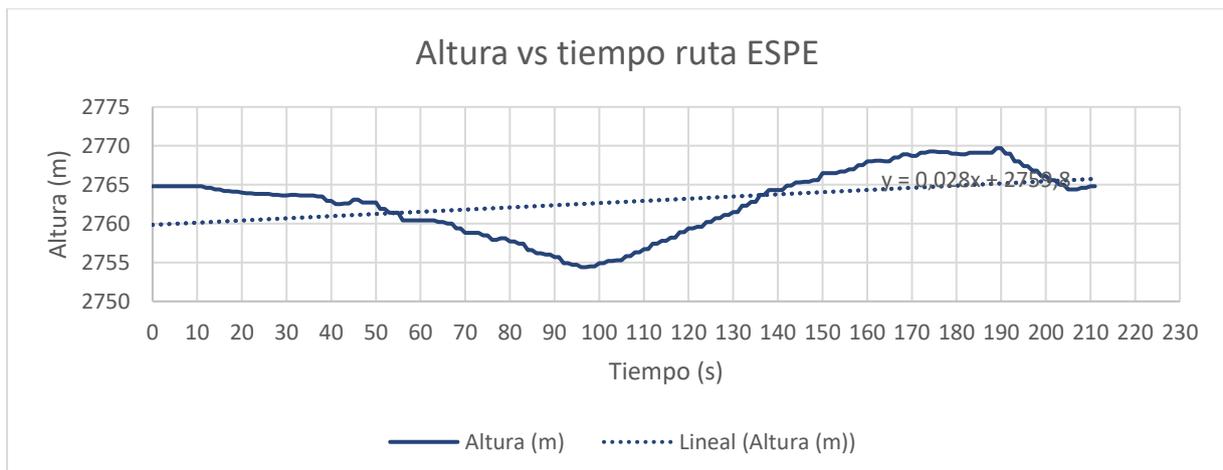
En esta prueba de campo se recolectaron datos de tiempo y velocidades que se obtuvieron de la aplicación Geo Tracker. Se procesan estos datos para tabularlos en una hoja de Excel para obtener el ciclo de conducción que se desarrolló en las instalaciones de la universidad.

Figura 64*Velocidad vs tiempo*

Nota. La figura indica el diagrama de la variación de la velocidad con respecto al tiempo, se tomaron los datos con una frecuencia de 1s.

Perfil de elevación de la ruta

De la misma manera gracias a la aplicación Geo Tracker fue posible determinar la variación de altura del trayecto este dato es muy importante para obtener la fuerza de ascenso de pendiente.

Figura 65*Altura vs tiempo*

Nota. La figura indica el diagrama de la variación de la altura con respecto al tiempo de la ruta elegida, se tomaron los datos con una frecuencia de 1s.

Densidad del aire

Para determinar el coeficiente aerodinámico es necesario calcular la densidad del aire en el lugar donde se realiza el estudio, en este caso la densidad es calculada en la ciudad de Latacunga usando la ecuación (10).

$$\rho = \frac{0.34848p - 0.009h_r \exp(0.061t)}{273.15 + t} \quad (10)$$

Donde:

ρ : densidad de aire (kg m^{-3})

p : presión barométrica en (hPa)

h_r : humedad relativa de aire en (%)

t : temperatura del aire en ($^{\circ}\text{C}$)

Para el cálculo se toman los datos del tiempo de la aplicación Microsoft Start el tiempo.

Figura 66

Datos del tiempo en Latacunga



Nota. La figura representa los datos del clima en la ciudad de Latacunga. Tomado de (Microsoft, 2022)

Se rempazan los valores de humedad, presión y temperatura en la ecuación (10).

$$\rho = \frac{0.34848(1029\text{hPa}) - 0.009(93\%) \exp(0.061 * 8^{\circ}\text{C})}{273.15 + 8^{\circ}\text{C}}$$

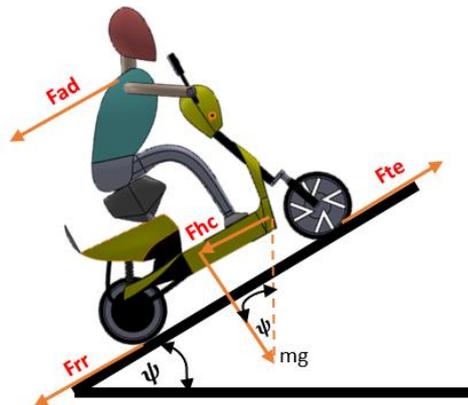
$$\rho = 1.2705 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Dinámica de la moto Classic II

Para obtener los objetivos planteados se realizó un análisis de la dinámica de la moto. Se calcularon las diferentes fuerzas que interactúan sobre la moto, estas fuerzas intentan tener a la moto estática como resultado se obtuvo la fuerza neta que impide al vehículo romper la inercia.

Figura 67

Interacción de todas las fuerzas



Nota. La imagen muestra todas las fuerzas que esta aplicadas en la dinámica de la moto Classic II.

Fuerza de arrastre

A continuación, se detallarán las fuerzas de arrastre de la moto utilizada en el análisis de este proyecto.

Para obtener el coeficiente de fricción a la rodadura se aplica la segunda ley de Newton

$$\sum F = m * a \quad (11)$$

Donde:

ΣF : Sumatoria de fuerzas

m : masa

a : aceleración

Para obtener la aceleración se utiliza la siguiente ecuación

$$a = \frac{\Delta v}{t} \quad (12)$$

Donde:

a : Aceleración

Δv : Variación de velocidad

t : Tiempo

Para calcular la fuerza de arrastre fue necesario obtener la aceleración y encontrar el coeficiente de rodadura. Para el +coeficiente de rodadura se sometió al móvil a una prueba de campo donde se aceleró hasta los 20 km/h y se dejó que el vehículo desacelere hasta los 15 km/h. Esto es para tomar datos del tiempo que demora el vehículo en desacelerar hasta dicha velocidad.

Se realizó la prueba 10 veces para poder obtener un promedio del tiempo que tarda en desacelerar.

Tabla 22

Prueba de desaceleración

Prueba	Norte-Sur (s)	sur- Norte (s)
1	10.06	4.8
2	9.98	5.1
3	10.03	5.09
4	9.96	5.05
5	9.98	4.95
6	10.1	4.99
7	10.06	5.08
8	10.09	5.01
9	9.95	5.1
10	9.96	4.93
Total	100.17	50.1
Promedio	10.017	5.01
Promedio general		7.51 (s)

Nota. La tabla detalla los tiempos que se tardó la moto Classic II en desacelerar de 20 a 15 km/h.

Se calculó la aceleración usando la ecuación (12)

$$a = \frac{5.56 \left(\frac{m}{s}\right) - 4.17 \left(\frac{m}{s}\right)}{7.51 s}$$

$$a = 0.19 \frac{m}{s^2}$$

Para calcular el coeficiente de resistencia a la rodadura entre el asfalto y neumático se usa la ecuación (11)

$$F_y = 0$$

$$N - W = 0$$

$$N = m * g$$

$$F_x = 0$$

$$F - F_r = 0$$

$$F = F_r$$

$$m * a = \mu_{rr} * N$$

$$\mu_{rr} = \frac{m * a}{m * g}$$

$$\mu_{rr} = \frac{0.19 \left(\frac{m}{s^2}\right)}{9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right)}$$

$$\mu_{rr} = 0.019$$

Una vez calculado el coeficiente de fricción entre el asfalto y los neumáticos se procede a calcular la fuerza de arrastre con la ecuación (2). Para el cálculo de esta fuerza es necesario el peso neto de la moto más el ocupante ($75kg + 53.5kg$) = $128.5 kg$.

$$F_{rr} = 0.019 * 128.5(kg) * 9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right)$$

$$F_{rr} = 23.951 N$$

Fuerza aerodinámica

Los datos fueron obtenidos de la simulación CFD de SolidWorks de la moto usando un proceso de diseño 3D.

Tabla 23*Datos para calcular la fuerza aerodinámica*

Datos	Valor
Densidad	$1.2705 \frac{kg}{m^3}$
Área	$0.4352197m^2$
Coeficiente aerodinámico	0.4690
Velocidad	0-9.72 m/s

Nota. En la tabla se presenta los datos para el cálculo de la fuerza aerodinámica. Esta fuerza es calculada a diferentes velocidades.

La ecuación (1) es la expresión matemática para calcular la fuerza aerodinámica

$$F_{ad} = \frac{1}{2} * \rho * A * C_d * v^2$$

$$F_{ad} = \frac{1}{2} * 1.270 \left(\frac{kg}{m^3} \right) * 0.435 m^2 * 0.4690 * \left(9.72 \frac{m}{s} \right)^2$$

$$F_{ad} = 12.239 N$$

Tabla 24*Fuerza aerodinámica para diferentes velocidades*

Velocidad (km/h)	Velocidad (m/s)	Fuerza aerodinámica (N)
0	0	0
10	2.78	1.001
20	5.56	4.004
30	8.33	8.989
35	9.72	12.239

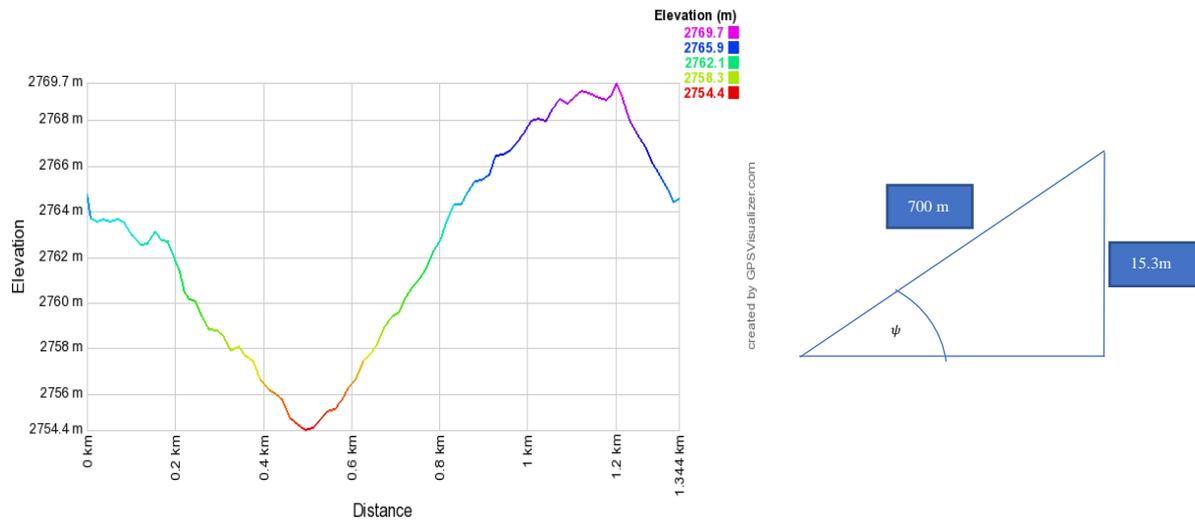
Nota. La fuerza aerodinámica aumenta cuando la velocidad del vehículo es mayor.

Fuerza en pendiente

Para el cálculo de esta fuerza es necesario el peso neto del vehículo esto quiere decir de la moto más el ocupante ($75kg + 53.5kg$) = 128.5 kg. También es necesario la aceleración de la gravedad en este caso es de $9.81 m/s^2$. Para el ángulo de la pendiente se tomó la altura máxima y mínima de la ruta, también la distancia entre estos dos puntos para formar un triángulo y calcular el ángulo de elevación de la ruta realizado en la ESPE Belisario Quevedo.

Figura 68

Grafica de elevación de la ruta



Nota. La siguiente grafica indica la diferencia de altura en el recorrido trazado.

El ángulo se lo calcula de la siguiente ecuación

$$\psi = \text{sen}^{-1}\left(\frac{15.3}{700}\right) \quad (13)$$

$$\psi = 1.252^\circ \approx 0.02186 \text{ rad}$$

Se procede a calcular la fuerza de escalada de pendiente usando la ecuación (3) con los datos obtenidos

$$F_{hc} = 128.5(kg) * 9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right) * \sin(0.02186)$$

$$F_{hc} = 27.554 \text{ N}$$

Fuerza neta

Para calcular la fuerza neta primero se calculó el factor de masa usando la ecuación (5). En este caso la moto no tiene caja de cambio ni diferencial por lo tanto la relación de la caja y la relación del diferencial van a ser igual a 0 y se toma un factor de masa igual a 0.

$$\gamma_m = 1.04 + 0.0025(0)^2$$

$$\gamma_m = 0$$

Se procede a calcular la fuerza neta usando la ecuación (4) y tomado una masa de 128.5 Kg y una aceleración de 1.5 m/s². La aceleración es la máxima de la ruta estudiada.

$$F_{net} = 0 * 128.5 (Kg) * 1.5 \left(\frac{m}{s^2}\right)$$

$$F_{net} = 0 N$$

Fuerza de tracción

Se sustituyen todos los valores obtenidos anteriormente en los cálculos en la ecuación (6).

$$F_{te} = 12.239 N + 22.087 N + 27.554 N + 0 N$$

$$F_{te} = 61.88 N$$

Potencia mecánica

Esta potencia mecánica es requerida para la moto donde se la obtiene sustituyen los valores en la ecuación (7).

$$P_{me} = 61.88 N * 9.72 m/s$$

$$P_{me} = 601.47 W$$

Potencia eléctrica

Para determinar esta potencia la eficiencia eléctrica del motor se obtuvo a partir de la ficha técnica de la moto eléctrica Classic II.

De acuerdo al dato anterior se reemplaza en la ecuación (8).

$$P_{elec} = \frac{601.47 W}{0.90}$$

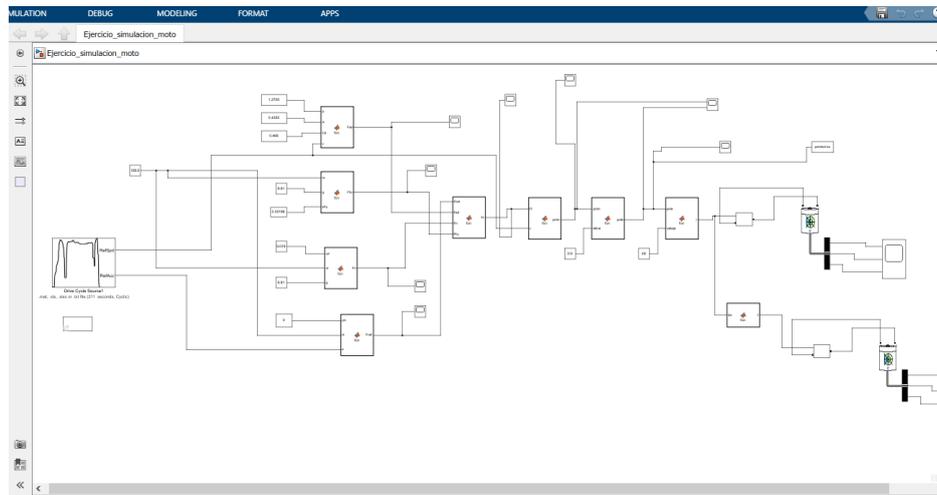
$$P_{elec} = 668.3 W$$

Diseño del modelo matemático en software de la moto Classic II

Para la siguiente simulación se utilizó el software denominado Matlab. Para acceder a la utilización del mismo programa fue como necesario la instalación de una licencia educativa proporcionado por la página web oficial. Después se descargó las librerías para Simulink

Figura 69

Simulación en software especializado

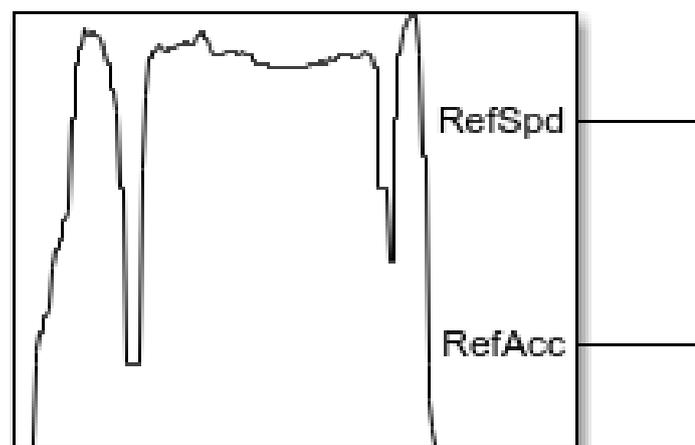


Nota. El siguiente gráfico representa la simulación generada en el software especializado completa.

Este software contiene varias librerías que son muy útiles en el momento del diseño automotriz una de ellas es drive cycle este bloque reproduce varios ciclos de conducción homologados y también ciclos definidos por el usuario, estos son usados para predecir la potencia del motor eléctrico el consumo de las baterías.

Figura 70

Bloque Drive Cycle



Drive Cycle Source1

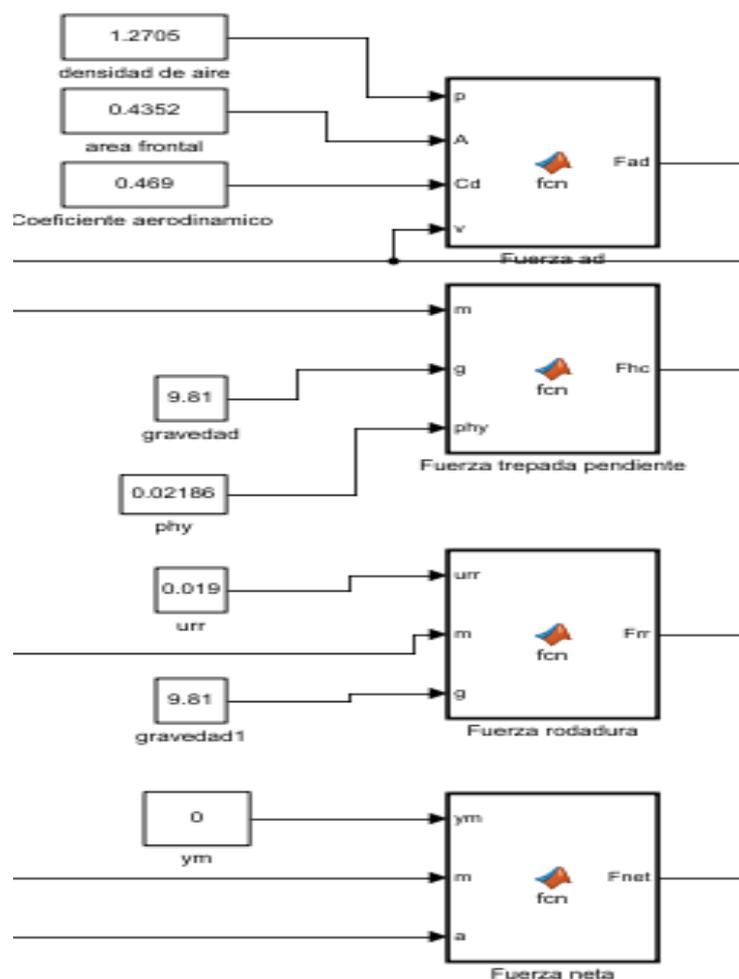
.mat, .xls, .xlsx or .txt file (211 seconds, Cyclic)

Nota. El gráfico representa el bloque Drive Cycle en el cual está cargada la base de datos generada en Excel

Después se procede a crear los bloques para el cálculo de las diferentes fuerzas (fuerza aerodinámica, fuerza de escala colina, fuerza de rodadura y fuerza neta) para predecir el comportamiento de la batería de la moto eléctrica Classic II y el vehículo Kia Soul.

Figura 71

Bloques de las diferentes fuerzas



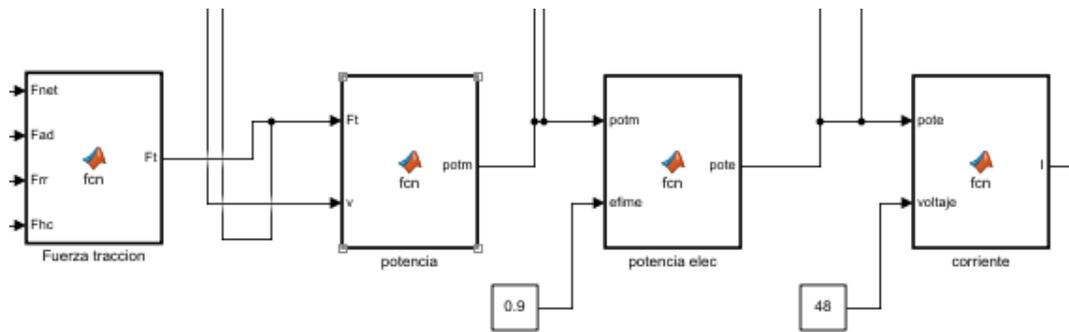
Nota. La imagen representa los bloques donde están programadas las diferentes ecuaciones de la dinámica del vehículo.

La suma de estas fuerzas da como resultado la fuerza de tracción que necesitan los vehículos para moverse en la ruta estudiada. El siguiente bloque calcula la potencia de los

vehículos en dicho circuito. A continuación, se calcula la potencia eléctrica en dicha ruta usando la eficiencia del motor la cual esta especificada en la ficha técnica para finalmente calcular la intensidad de corriente que los vehículos usaron en la ruta estudiada.

Figura 72

Bloques para obtención de la corriente consumida

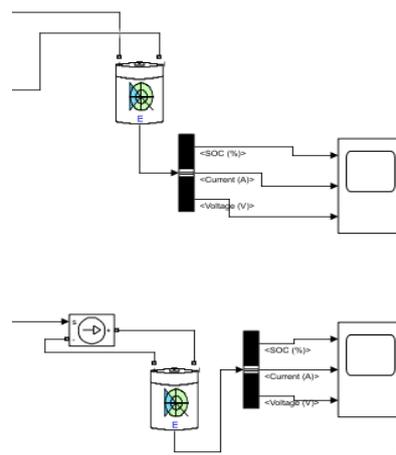


Nota. La imagen representa los bloques donde están programadas las diferentes ecuaciones para obtener la corriente consumida por los vehículos estudiados.

Con el bloque battery se pueden ingresar diferentes parámetros de la batería, en el caso se realiza el estudio con dos baterías una de litio y una de plomo acido con el mismo voltaje. Los resultados de la prueba se muestran en el bloque de osciloscopio.

Figura 73

Bloques de comportamiento de la batería



Nota. La imagen representa el comportamiento de la batería de plomo ácido y la otra batería representa el supuesto caso que la moto Classic II llevara una batería de litio.

Resultados obtenidos de la simulación en software de la moto

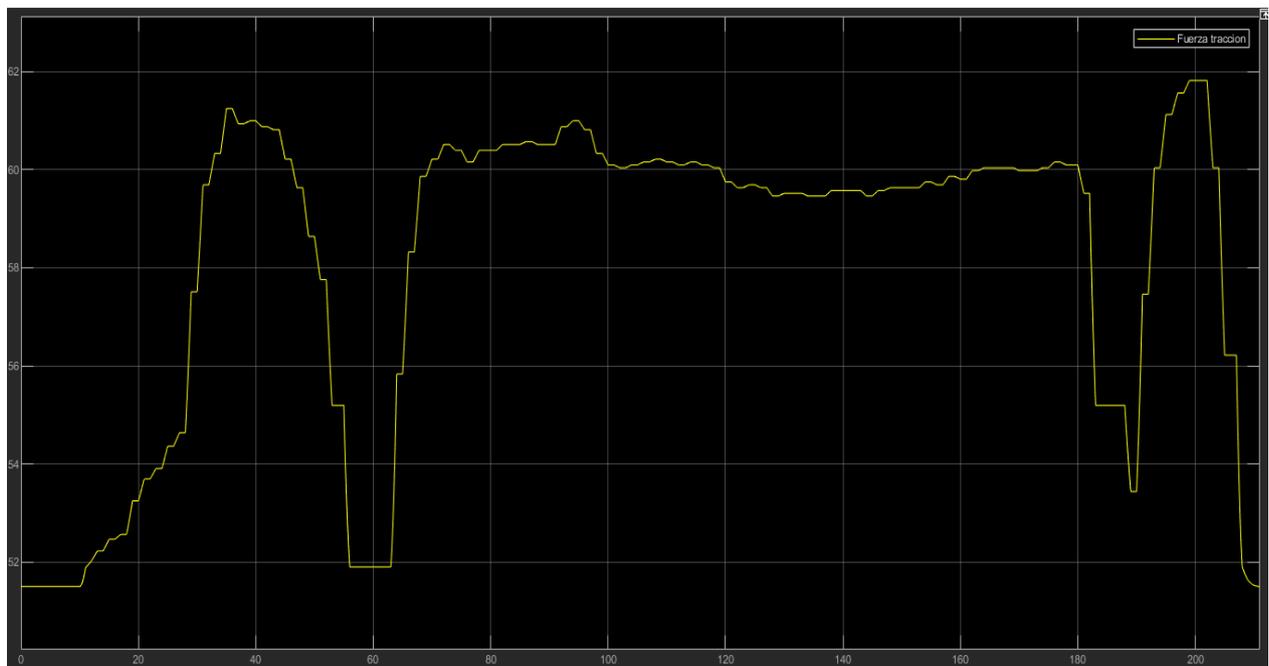
Después de insertar los valores en la ecuación de Matlab y de haber ajustado el tiempo de simulación de acuerdo al ciclo de conducción que se desea estudiar se tiene resultados los cuales se detallan a continuación.

Fuerza de tracción vs tiempo

Se muestra los resultados de la fuerza de tracción que desarrollo la moto eléctrica para completar la ruta estudiada. Como se puede observar en la gráfica la fuerza máxima que desarrollo la moto es de 61.81 N a 199 segundos de la ruta.

Figura 74

Fuerza de tracción vs tiempo



Nota. La imagen representa el comportamiento de la fuerza de tracción en la ruta estudiada.

Se demuestra que la fuerza de tracción aumenta según aumenta la velocidad. No existen componentes como diferenciales y cajas de cambios por lo que la fuerza neta es de 0 y la aceleración no tiene efecto en la gráfica.

Tabla 25

Variación de la fuerza de tracción

Velocidad (Km/h)	Aceleración (m/s ²)	Fuerza de tracción (N)
0	0	51.51

Velocidad (Km/h)	Aceleración (m/s ²)	Fuerza de tracción (N)
10.3	0.06944	52.57
15.5	0.1944	53.91
32.1	0.05556	61.81

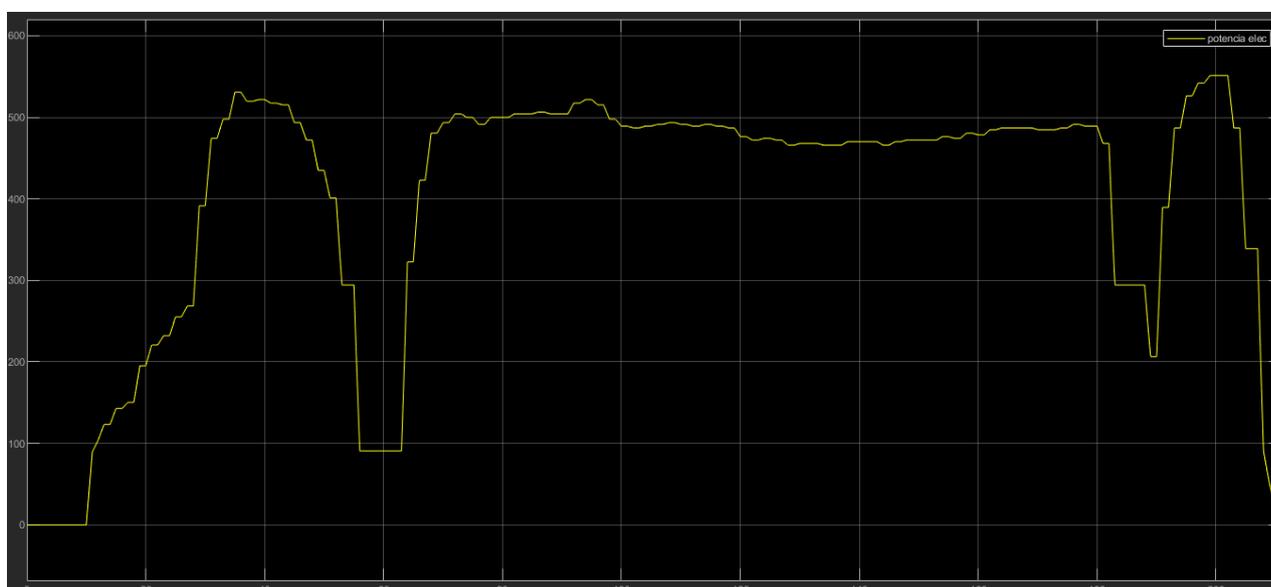
Nota. Se describe la variación de la fuerza de tracción que experimenta la moto respecto a la velocidad y aceleración.

Potencia eléctrica vs tiempo

Se observa en la gráfica la potencia eléctrica máxima que desarrollo la moto fue de 551.2 watts a una velocidad de 32.1 km/h en la ruta estudiada.

Figura 75

Potencia eléctrica vs tiempo



Nota. La imagen representa el comportamiento de la potencia eléctrica en la ruta estudiada.

La potencia eléctrica aumenta mientras mayor es la velocidad. La mayor parte del tiempo la curva se encuentra en un valor de 500 W, la moto está diseñada para poder circular en este trayecto.

Tabla 26

Variación de potencia eléctrica

Velocidad (Km/h)	Aceleración (m/s ²)	Potencia eléctrica (W)
0	0	0
10.3	0.06944	150.4
15.5	0.1944	232.1
32.1	0.05556	551.2

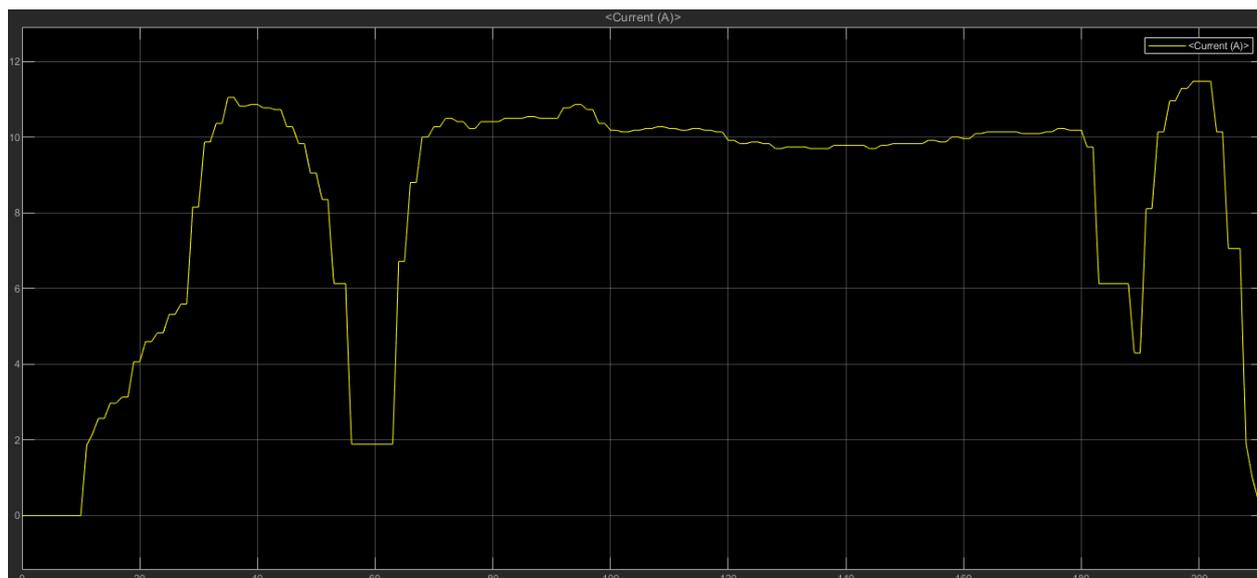
Nota. Describe la variación de potencia eléctrica respecto a la velocidad y aceleración.

Corriente vs tiempo

Como resultado obtuvimos la gráfica de la corriente consumida por la moto eléctrico en determinado tiempo que duró la ruta. El valor máximo de consumo de corriente fue de 11.48 (A) a una velocidad de 32.1 km/h.

Figura 76

Corriente vs tiempo



Nota. La imagen representa el comportamiento de la corriente en la ruta estudiada.

El comportamiento de la corriente aumenta mientras más velocidad requiere la moto eléctrica, el valor medio de consumo es de 8.211 A, este valor está dentro del amperaje que genera la batería.

Tabla 27

Variación de corriente

Velocidad (Km/h)	Aceleración (m/s ²)	Corriente (A)
0	0	0
10.3	0.06944	3.13
15.5	0.1944	4.836
32.1	0.05556	11.48

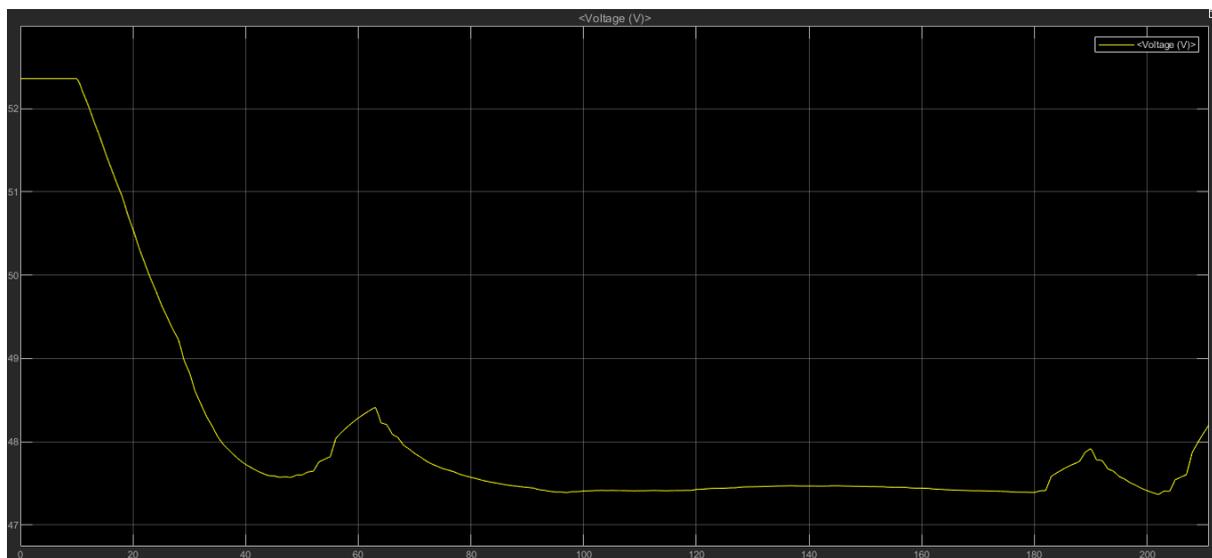
Nota. Se describe la variación de consumo de corriente respecto a la velocidad y aceleración de la moto eléctrica.

Caída de voltaje vs tiempo

Los resultados arrojados por el bloque battery son los siguientes. En el caso de la caída de voltaje de la batería se puede observar que el estado de carga al 100% es cuando el voltaje de la batería se encuentra en un valor de 52.36 V. A medida que la moto avanza en el circuito estudiado se observa una disminución en el voltaje. Llegando a un valor mínimo de 48.20V al terminar el circuito.

Figura 77

Caída de voltaje vs tiempo



Nota. La gráfica representa la caída de voltaje respecto al tiempo, este voltaje fue consumido por el motor eléctrico a lo largo de la ruta.

A medida que la velocidad aumenta el voltaje entregado por la batería disminuye. La velocidad disminuye y la batería recupera un poco de carga, después la velocidad aumenta y la batería mantiene un voltaje casi constante entre 47 ± 1 . La media de voltaje es de 48.15V

Tabla 28

Variación de voltaje

Velocidad (Km/h)	Aceleración (m/s ²)	Voltaje (V)
0	0	52.36
13.2	0.2222	50.55
30.8	-0.02778	47.63
6.3	2.014	48.41
32.1	0.05556	47.44

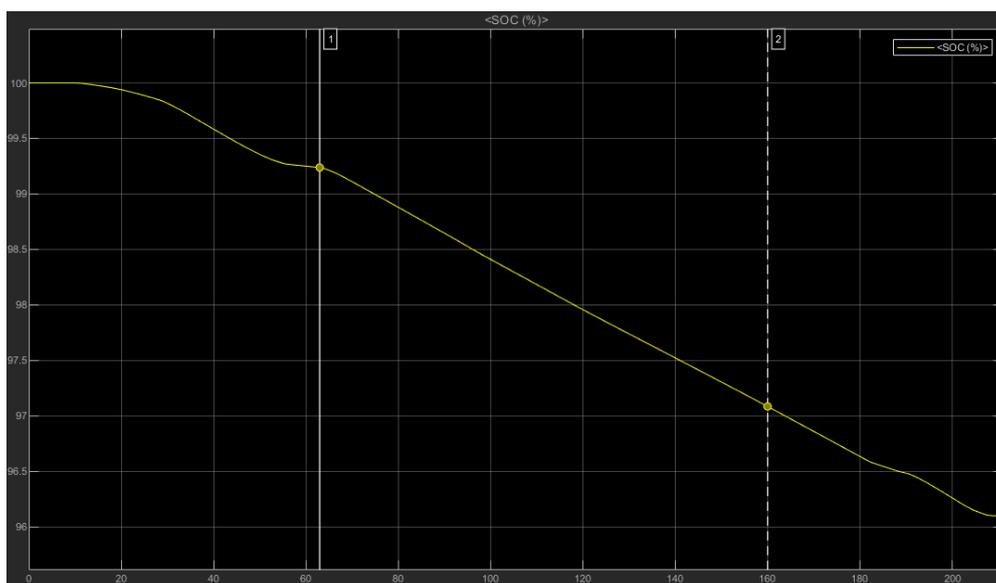
Nota. Describe la variación del voltaje respecto a la velocidad y aceleración.

Estado de carga vs tiempo

De igual forma el estado de carga de la batería disminuye en función del tiempo. Al empezar la ruta la batería se encuentra al 100% a medida que la prueba avanza se disminuye el estado de carga de la batería. Al terminar la prueba la batería se encuentra con un 96.1 % de SOC.

Figura 78

Estado de carga (SOC) vs tiempo



Nota. La gráfica representa el estado de carga respecto al tiempo al terminar la ruta estudiada.

La curva del estado de carga desde el laboratorio de autotrónica hasta la fosa séptica presenta un comportamiento no lineal, mientras que desde la fosa séptica hasta el ingreso del adoquina presenta un comportamiento lineal esto porque en ese tramo se presenta la mayor pendiente del ciclo.

Tabla 29

Estado de carga (SOC)

Ruta	SOC (%)
Autotrónica – Trata. Aguas servidas	99.24
Trata. Aguas servidas – adoquinado	97.08

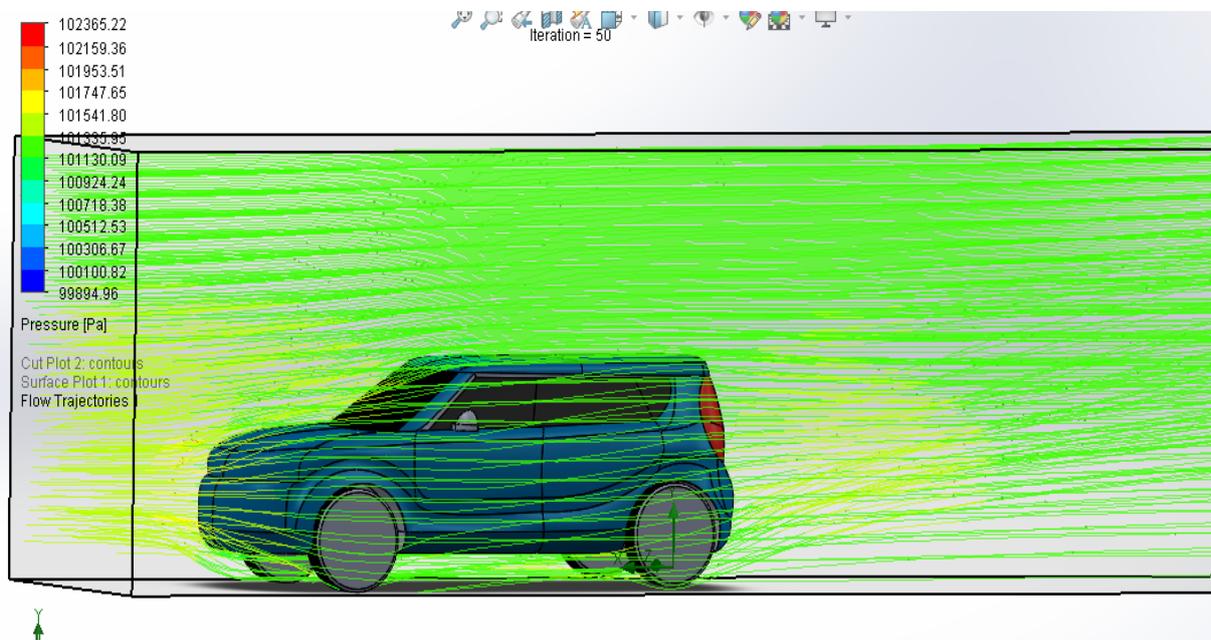
Nota. Estado de carga en diferentes tramos del recorrido.

Modelación del vehículo eléctrico en software CFD

En primer lugar. Se realizó la modelación en programa especializado en diseño 3D del vehículo Kia Soul y la moto Classic II basados en bocetos. Después se utilizó la herramienta dinámica de fluidos computacional del programa SolidWorks para obtener la fuerza aerodinámica esta herramienta ayuda a simular de forma rápida y sencilla flujos de aire alrededor de la carrocería

Figura 79

Simulación aerodinámica Kia Soul

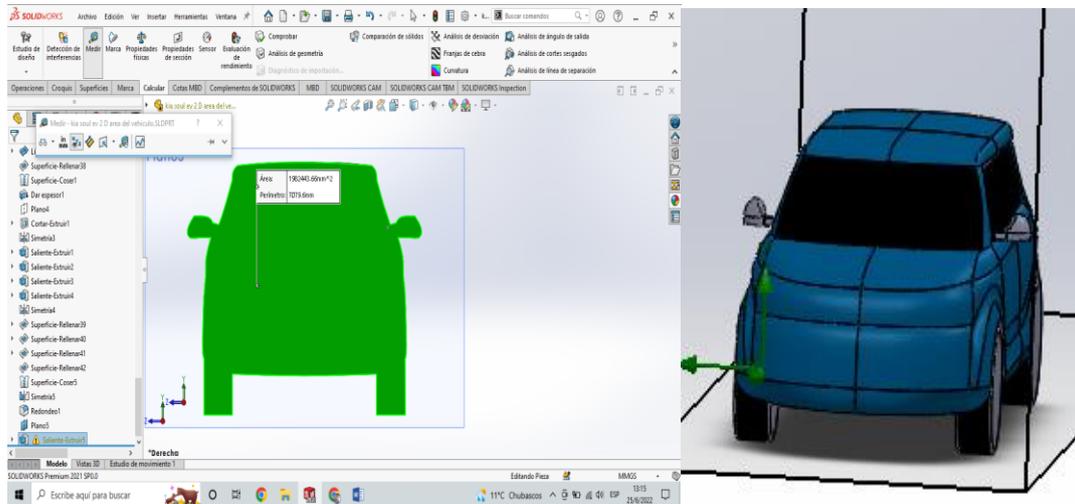


Nota. La figura representa valores de la presión del aire que choca con la estructura del vehículo.

Seguidamente en un plano en SolidWorks se coloca un croquis 2D desde la vista de planta (vista frontal del vehículo) se dibujó por medio de bocetos basados en las diferentes vistas el perfil del vehículo. Se realizó la operación de extrusión y con el comando medir se calculó el área del perfil del vehículo arrojando el siguiente resultado. $A=1982443.66 \text{ mm}^2 = 1.98244366\text{m}^2$.

Figura 80

Área frontal Kia Soul EV

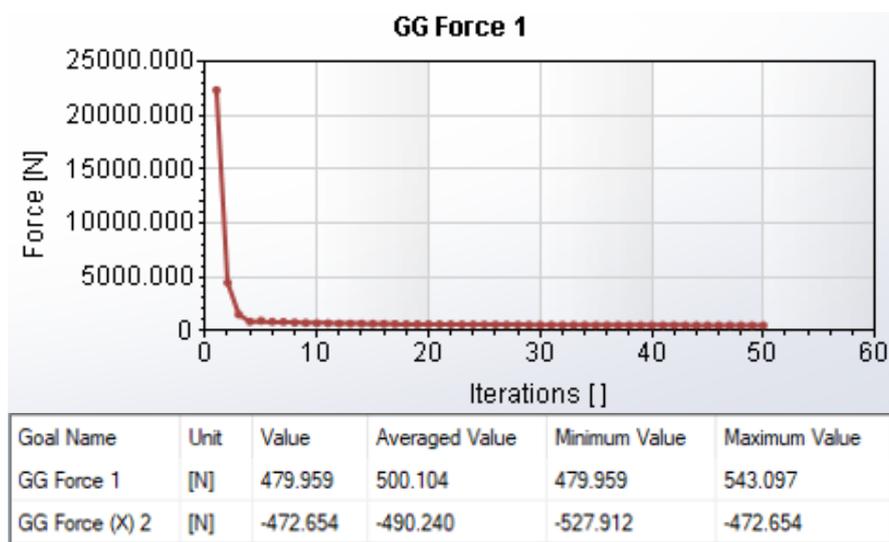


Nota. Mediante el software especializado se pudo representar el área frontal del vehículo estudiado.

Del mismo diseño 3D en un software especializado del vehículo Kia Soul se usó la herramienta FLOW Simulation que permitió simular el flujo de aire en la carrocería del vehículo. Como resultado de la simulación se obtuvo la fuerza del aire a una rapidez de 120 km/h, el valor de fuerza del viento fue de 490.240N. El programa repitió 50 veces el cálculo de la fuerza hasta que se estabilizó en ese valor.

Figura 81

Fuerza del aire e iteraciones



Nota. La figura representa los datos de fuerza del aire y las iteraciones realizadas por el software hasta estabilizar el resultado.

Una vez alcanzado este valor, se realiza el cálculo del coeficiente aerodinámico con la ecuación (1) para el vehículo en estudio. Se tomó el valor de la densidad del aire en la ciudad.

Sustituyendo los valores en la ecuación (11) da el coeficiente aerodinámico para el vehículo Kia Soul.

$$cd = \frac{2 * 490.240 \frac{kg \cdot m}{s^2}}{1.2705 \frac{kg}{m^3} * \left(33.3 \frac{m}{s}\right)^2 * 1.9824m^2}$$

$$cd = 0.3510 Cx$$

Ciclo de conducción vehículo eléctrico Kia Soul

Se tomó como dato principal un ciclo de conducción ya estudiado en base a datos reales. Para así obtener las gráficas de velocidad vs tiempo y aceleración vs tiempo. Se realizó una tabla donde se insertó estos datos de este estudio para ser cargado en el software Matlab. Con esto se llegó a determinar las diferentes gráficas que serán mostradas más adelante.

Ciclo de conducción del distrito metropolitano de Quito

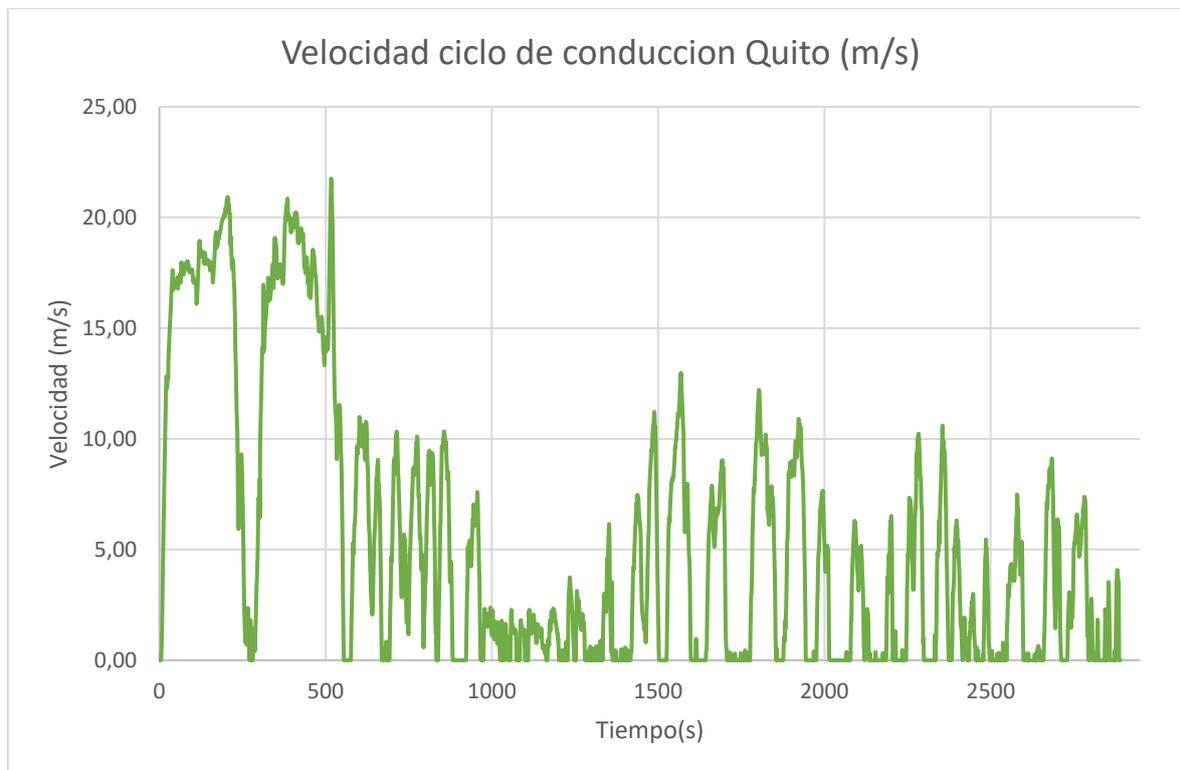
Para la determinación de los ciclos de conducción en el distrito metropolitano de Quito se obtuvieron tres ciclos aplicados a: ciudad (sentido Sur-Norte), Carretera (sentido Norte-Sur) y combinado (sentido Este-Oeste)

En cada uno de los ciclos fueron realizados bajo condiciones reales de manejo, en rutas de mayor tráfico, realizando un recorrido total de 1325.84 km en 59 horas de conducción donde fueron las condiciones de prueba realizadas de manera óptima.

(Quinchimbla & Solís, 2017)

Figura 82

Ciclo de conducción combinado Quito



Nota. En figura 55, se ilustra la variación de velocidad respecto al tiempo. Tomado de (Quinchimbla & Solís, 2017)

Para este estudio se toma en consideración un ciclo de conducción combinado realizado en Quito sentido (Este- Oeste).

Tabla 30

Parámetros ciclo de conducción Quito-Ecuador

Tiempo total transcurrido(s)	Número de paradas	Velocidad máxima (Km/h)	Aceleración máxima (m/s²)	Distancia (m)
2889	63	78.33	1.45	15673

Nota. La tabla indica las variables ciclo de conducción combinado Quito. Tomado de (Quinchimbla & Solís, 2017)

Perfil de elevación del ciclo de conducción en el distrito de Quito

Conforme lo muestra el perfil de elevación de la presente ruta, se puede establecer que el punto más alto está en la Av. Rumiñahui (altura 2877m)

Con referencia a los datos obtenidos a través del software Google Earth, se puede distribuir la longitud de la ruta de la siguiente manera: el 42% del total del recorrido es plano o con pendientes menores a grado 3, el 22% contiene pendientes de grado 4, el 17% contiene pendientes de grado 6, el 11% contiene pendientes de grado -4, el 8% contiene pendientes de grado -6 (Quinchimbla & Solís, 2017).

Dinámica del vehículo

Para obtener los objetivos planteados fue necesario realizar un análisis de la dinámica del vehículo. Se calcularán las diferentes fuerzas que actúan sobre el vehículo, estas fuerzas intentan tener al vehículo estático como resultado se tendrá la fuerza neta que impide al vehículo romper la inercia.

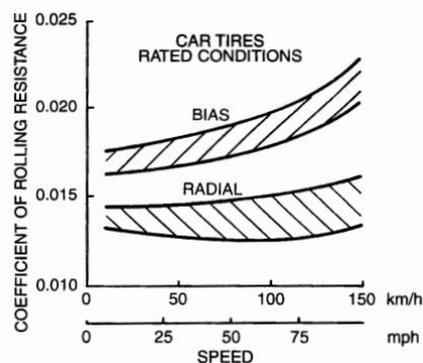
Fuerza de arrastre

Existe otra forma de calcular el coeficiente de rodadura, el autor (Wong, 2001) menciona lo siguiente:

La determinación de la resistencia a la rodadura se basa casi en su totalidad en experimentos. Se han propuesto muchas fórmulas empíricas para calcular la resistencia a la rodadura de los neumáticos sobre superficies duras. Basado en datos experimentales.

Figura 83

Datos experimentales resistencia a la rodadura



Nota. Datos experimentales basados para obtener una ecuación para el cálculo del coeficiente de rodadura. Tomado de (Wong, 2001)

Para neumáticos de turismos de capa radial bajo cargas nominales y presiones de hinchado en un asfalto liso, la relación entre el factor de resistencia a la rodadura u_{rr} , y la rapidez V (hasta 150 km/h o 93 mph) puede expresarse mediante:

$$u_{rr} = 0.0136 + 0.40 \times 10^{-7} * V^2 \quad (14)$$

Donde:

u_{rr} : Coeficiente de resistencia a la rodadura.

V : Velocidad (m/s)

Para calcular la fuerza de resistencia a la rodadura se toma la velocidad máxima del ciclo de conducción en estudio.

$$u_{rr} = 0.0136 + 0.40 \times 10^{-7} * 21.76^2$$

$$u_{rr} = 0.01362$$

se calcula la fuerza de arrastre con la ecuación (2)

$$F_{rr} = 0.01362 * 1960 \text{ Kg} * 9.81 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$F_{rr} = 261.879 \text{ N}$$

Fuerza aerodinámica

La fuerza aerodinámica se calcula reemplazando en la ecuación (1) usando los siguientes datos.

Tabla 31

Datos para calcular fuerza aerodinámica

Datos	Valor
Densidad	$1.2705 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Área	1.98244366 m^2
Coeficiente aerodinámico	0.3510
Velocidad	0-8.33-16.66-24.99-33.33 m/s

Nota. Los presentes datos se utilizan para el cálculo de la fuerza aerodinámica. Esta fuerza es calculada a diferentes velocidades.

$$F_{ad} = \frac{1}{2} * \rho * A * C_d * v^2$$

$$F_{ad} = \frac{1}{2} * 1.270 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * 1.982 \text{ m}^2 * 0.3510 * \left(8.33 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2$$

$$F_{ad} = 30.653 \text{ N}$$

Tabla 32

Fuerza aerodinámica para diferentes velocidades

Velocidad (km/h)	Velocidad (m/s)	Fuerza aerodinámica (N)
0	0	0
30	8.33	30.653
60	16.66	122.61
90	24.99	275.88
120	33.33	490.74

Nota. La fuerza aerodinámica aumenta cuando la velocidad del vehículo es mayor.

Fuerza en pendiente

Se calcula la fuerza usando el perfil de elevación del ciclo de conducción desarrollado en la ciudad de Quito. Como el 64% del ciclo de conducción está desarrollado en pendientes de 3 a 4 grados de inclinación se toma el más alto en rad para la fuerza de ascenso pendiente.

La fuerza se calcula utilizando la ecuación (3) .

$$F_{hc} = 1960 \text{ Kg} * 9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right) * \sin(0.0698132)$$

$$F_{hc} = 1341.25 \text{ N}$$

Fuerza neta

Se calculó el factor de masa del vehículo Kia Soul con la ecuación (5). El vehículo cuenta con un diferencial con relación de transmisión de 8.206 y no tiene caja de cambios por lo que el valor de la relación de transmisión caja es igual a 1.

$$\gamma_m = 1.04 + 0.0025(1 * 8.206)^2$$

$$\gamma_m = 1.208$$

Usando la ecuación (4) se calcula la fuerza neta con la aceleración máxima del ciclo de conducción.

$$F_{net} = 1.208 * 1960 \text{ (Kg)} * 1.45 \left(\frac{m}{s^2}\right)$$

$$F_{net} = 3433.136$$

Fuerza de tracción

Sustituyendo los valores calculados en la ecuación (6) para el vehículo se obtiene lo siguiente.

$$F_{te} = 275.8 N + 261.879 N + 1341.25N + 3433.136 N$$

$$F_{te} = 5312.065 N$$

Potencia mecánica

La potencia mecánica para el vehículo se la calcula con la ecuación (7)

$$P_{me} = 5312.065 N * 14.25 \frac{m}{s}$$

$$P_{me} = 75696.93 W$$

Potencia eléctrica

La eficiencia eléctrica del motor se obtuvo a partir de la ficha técnica del Kia Soul.

De acuerdo al dato anterior se reemplaza en la ecuación (8).

$$P_{elec} = \frac{75696.93 W}{0.95}$$

$$P_{elec} = 79.68 KW$$

Diseño del modelo matemático en software especializado del vehículo

Se efectuó el mismo método del modelo matemáticos de la moto eléctrica Classic II, que se encuentra detallado anteriormente, pero en este caso con diferentes datos obtenidos del mismo.

Tabla 33

Datos para el modelo matemático en Matlab

Variable	Dato
Ciclo de conducción	Distrito Metropolitano de Quito
Q	1960kg
Densidad de aire	1.2705kg/m ³
Área frontal	1.98244 m ²
Coeficiente aerodinámico u_{rr}	0.3510
Gravedad	9.81m/s ²
Coeficiente de arrastre	0.13062
Factor de masa y_m	1.208

Nota. La tabla indica los valores que son ingresados en la simulación en software especializado del vehículo.

Resultados obtenidos de la simulación en software del vehículo

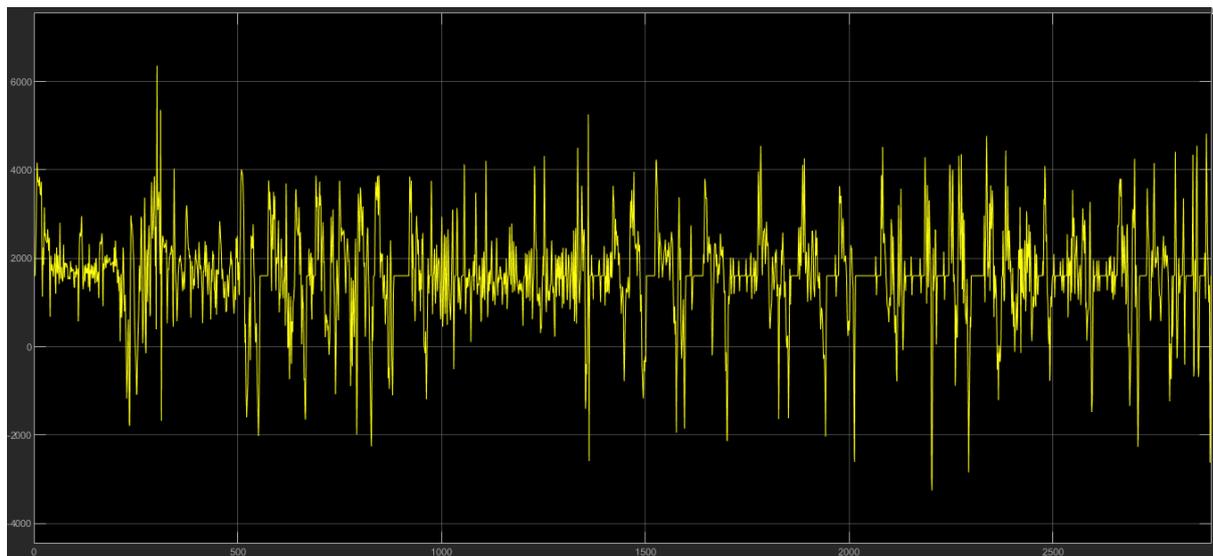
Después de haber insertado estos valores en la ecuación de Matlab y ajustado el tiempo de simulación de acuerdo al ciclo de conducción estudiado se tiene como resultados las diferentes graficas que se detallan a continuación.

Fuerza de tracción vs tiempo

La grafica describe la fuerza de tracción vs tiempo que experimenta el vehículo en el ciclo de conducción del distrito metropolitano de Quito donde se puede apreciar que la máxima fuerza de tracción que desarrolla el vehículo es de 6304 N con una velocidad de 34.8 km/s.

Figura 84

Fuerza de tracción vs tiempo



Nota. La imagen representa el comportamiento de la fuerza de tracción en la ruta estudiada.

De la tabla se observa que mientras a mayor aceleración, mayor es la fuerza de tracción y a mayor velocidad la fuerza de tracción disminuye. Esto se debe a que la inercia del conjunto engranaje reductor se reduce.

Tabla 34

Variación de la fuerza de tracción.

Velocidad (Km/s)	Aceleración (m/s ²)	Fuerza de tracción (N)
0	0	1603
34.8	1.992	6304
78.33	0.1361	2135

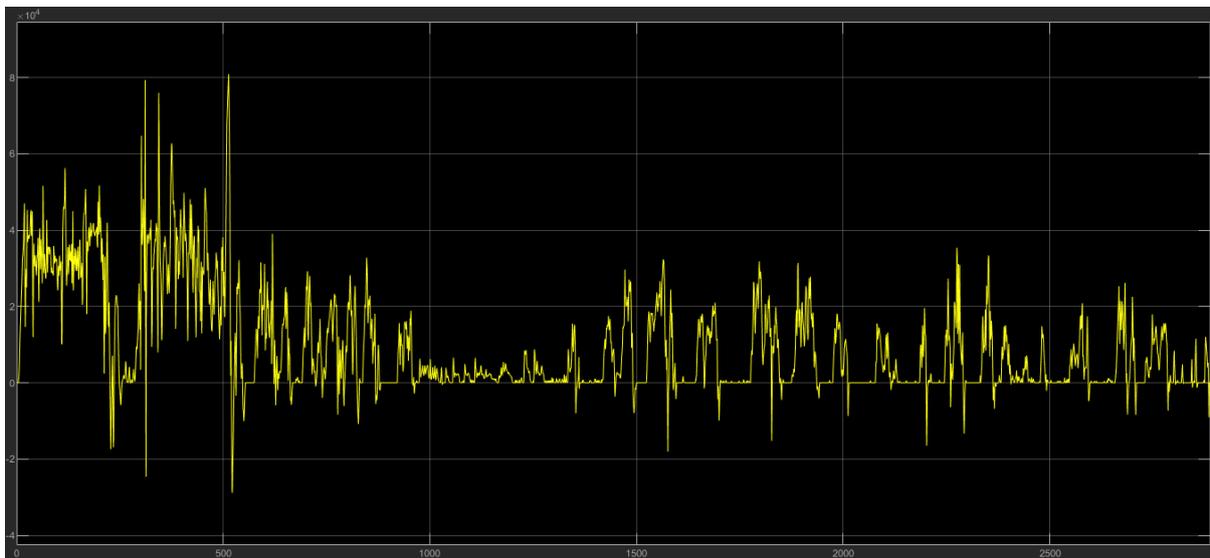
Nota. Se describe la variación de la fuerza de tracción respecto a la velocidad y aceleración.

Potencia eléctrica vs tiempo

La potencia máxima que demanda el ciclo de conducción realizado en el distrito metropolitano de quito es de 80880 W a una velocidad de 52 Km/h. Esta variable nos asegura que el vehículo si puede cumplir con la ruta de manera adecuada. Porque está dentro de los parámetros establecidos de la potencia del motor eléctrico.

Figura 85

Potencia eléctrica vs tiempo



Nota. La imagen representa el comportamiento de la potencia eléctrica en la ruta estudiada.

En la tabla se puede observar de mejor manera la variación de potencia eléctrica según la velocidad y la aceleración donde se evidencia que a mayor aceleración mayor es la potencia requerida por el vehículo para completar la ruta esto es debido a que para romper la inercia del conjunto engranaje reductor se requiere más potencia.

Tabla 35

Variación de la potencia eléctrica.

Velocidad (km/h)	Aceleración (m/s ²)	Potencia eléctrica (W)
0	0	0
34.8	1.992	64720

Velocidad (km/h)	Aceleración (m/s ²)	Potencia eléctrica (W)
37.51	0.7097	36540
72	0.8708	80880
78.33	0.1361	48890

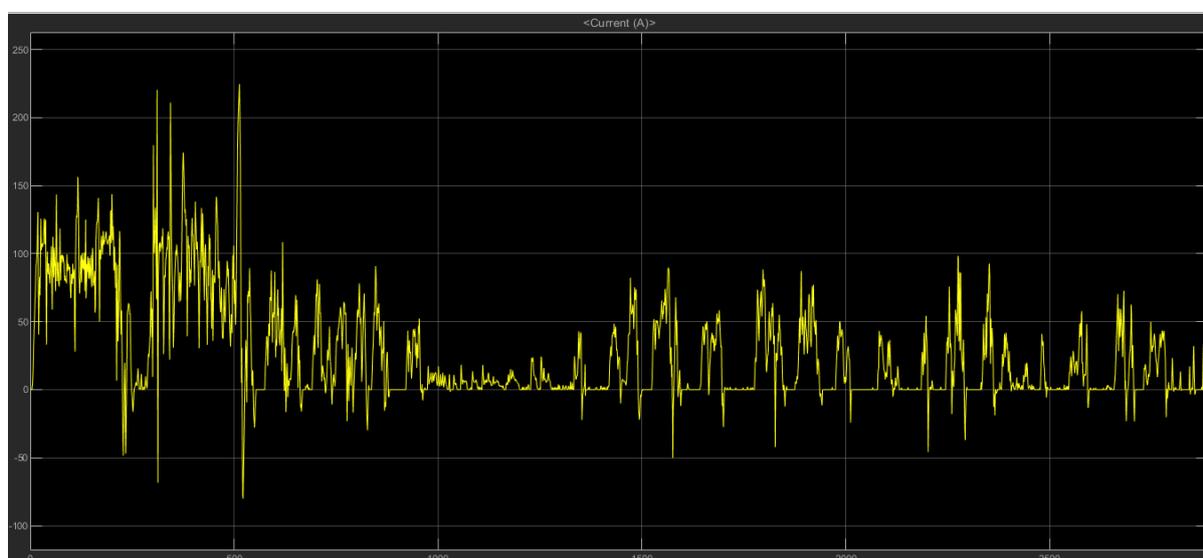
Nota. Se describe la variación de la potencia eléctrica respecto a la velocidad y aceleración.

Corriente vs tiempo

En el ciclo de conducción del distrito metropolitano de Quito la corriente máxima consumida por el vehículo es 224.7 (A) a una velocidad de 72 km/h y una aceleración de 0.8708 m/s².

Figura 86

Corriente vs tiempo



Nota. La imagen representa el comportamiento de la corriente en la ruta estudiada.

Se puede apreciar claramente que mientras más velocidad requiere el vehículo también el consumo de corriente es mucho mayor en el caso del tramo de carretera, en el tramo de ciudad por las paradas y la baja velocidad el consumo es mucho menor.

Tabla 36

Variación de corriente

Velocidad (Km/s)	Aceleración (m/s ²)	Corriente (A)
0	0	0
30.46	0.3931	53.33
34.8	1.992	179.8
72	0.8708	224.7
78.33	0.1361	135.8

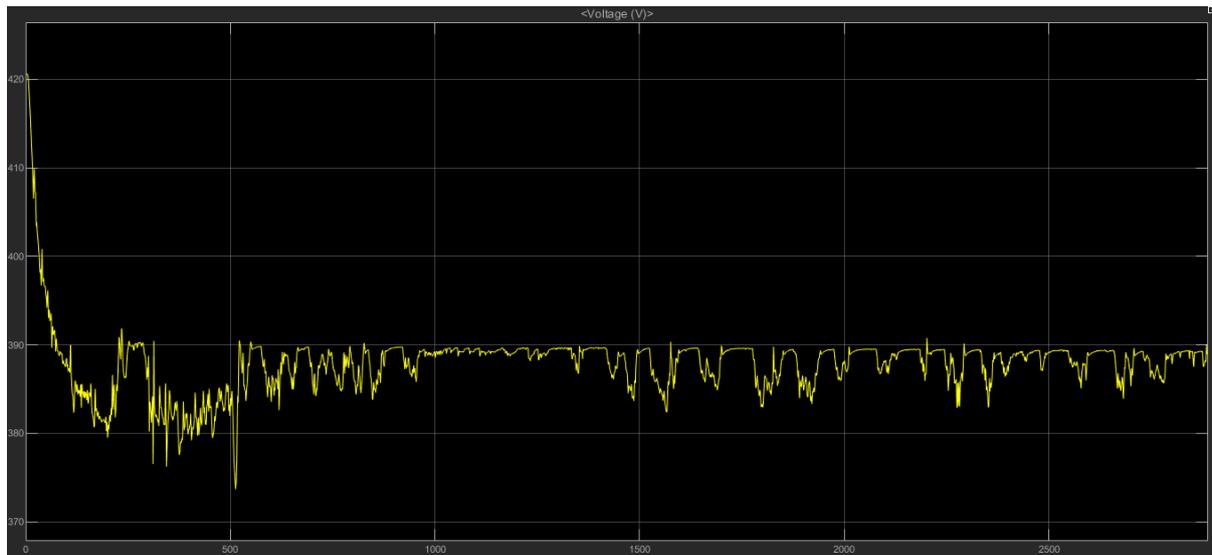
Nota. Se describe la variación de la corriente respecto a la velocidad y aceleración.

Caída de voltaje vs tiempo

Al comenzar la conducción el vehículo estaba con una carga completa, esto quiere decir que su SOC estaba al 100% con un voltaje máximo de 420.6 V. Mientras se conduce la energía eléctrica de la batería se transforma en energía mecánica y su voltaje va cayendo al punto mínimo de 373.7 V.

Figura 87

Caída de voltaje vs tiempo



Nota. La gráfica representa la caída de voltaje respecto al tiempo, este voltaje fue consumido por el motor eléctrico a lo largo de la ruta.

Las baterías de iones de litio el momento de estar en reposo recuperan un poco de voltaje por eso en el momento que el vehículo para en un semáforo se ve un voltaje de 389.3 V transcurridos 41 segundos se puede ver que la batería se recupera a un voltaje de 389.7 V. mientras el modo de conducción cambia a ciudad se puede ver que el voltaje casi se mantiene constante 396.6 V y 389.3 V.

Tabla 37

Variación voltaje batería

Velocidad (km/h)	Aceleración (m/s²)	Voltaje V
0	0	389.3
0	0	389.7
27.06	-1.446	391.7
34.8	1.992	380.2

Velocidad (km/h)	Aceleración (m/s ²)	Voltaje V
74.82	0.03472	380.4

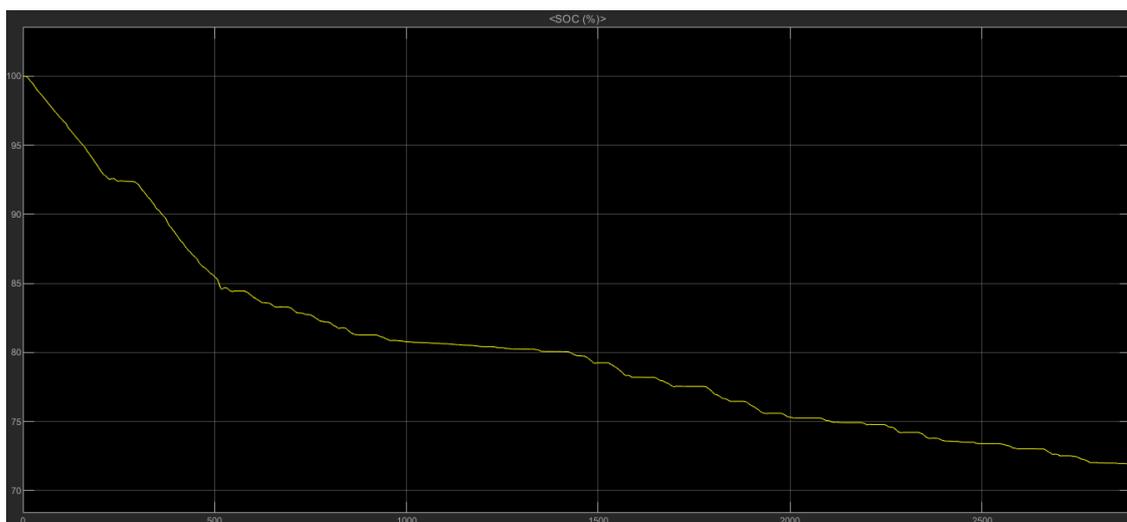
Nota. Se describe la variación del voltaje de la batería respecto a la velocidad y aceleración.

Estado de carga vs tiempo

Al iniciar el ciclo de conducción el estado de carga (SOC) de la batería fue de 100%, al terminar la ruta establecida el vehículo conserva un estado de carga del 71.88 % .

Figura 88

Estado de carga (SOC) vs tiempo



Nota. La gráfica representa el estado de carga respecto al tiempo al terminar la ruta estudiada.

Al inicio del ciclo de conducción se trata de un tramo de carretera con velocidades altas de hasta 74.82 km/h por esto se ve una pendiente alta, al terminar el tramo de carretera el estado de carga fue de 80.78%. Inicia el tramo de ciudad, el vehículo mantiene velocidades bajas por lo que la pendiente del SOC no es tan alta y termina en un 71.88% de carga.

Tabla 38

Variación del SOC

Ruta	SOC
Inicio carretera	100%
Fin carretera	80.78%
Inicio ciudad	80.78%
Fin ciudad	71.88%

Nota. Variación del estado de carga en las diferentes fases del ciclo de conducción.

Capítulo V

Marco administrativo

Recursos humanos

Tabla 39

Recursos Humanos

No	Descripción	Cantidad	Función
1	Daniel Paredes	1	Investigador
2	Jordano Rea	1	Investigador
3	Ing. Erazo Germán	1	Colaborador científico

Nota. En la tabla se describen las personas que conforman el proyecto de investigación.

Recursos materiales

Tabla 40

Recursos materiales

No	Cantidad	Descripción	Valor unitario	Valor total
1	1	Prueba de obtención del coeficiente	40	40
2	20	Combustible	2.55	51
3	2	Alimentación movilización	100	200
4	900	Copias e impresiones	0.02	18
5	1	Disco duro (1TB)	80	80
6	1	Moto eléctrica	630	630
Costo total				\$ 1019

Nota. En la tabla se detalla el presupuesto que se utilizará en la investigación citándose valores de materiales, equipos.

Recursos tecnológicos

Tabla 41

Recursos tecnológicos

No	Cantidad	Detalle	Valor unitario	Valor total
1	2	Capacitación electromovilidad	200	400
2	2	Capacitación de Matlab Simulink y SolidWorks	85	170
3	2	Licencia Software Matlab	100	200

No	Cantidad	Detalle	Valor unitario	Valor total
4	1	Prototipo básico de prueba	400	400
			Total	\$1170

Nota. En la tabla se detalla el presupuesto total que se utilizará en la investigación

Costo neto del proyecto

El costo del proyecto será aproximadamente de \$2189 dólares americanos

Conclusiones

- En apoyo a la información investigada se determinó los componentes eléctricos, electrónicos y de control del tren de potencia de un EV y una moto eléctrica los cuales cumplen la misma función en estos dos tipos de vehículos.
- De acuerdo al cuadro estadístico de los vehículos eléctricos existentes en el Ecuador, se concluye que se comercializo un mayor número de vehículos de combustión con un valor de 119316 a comparación de los eléctricos que tuvieron un número de 348 en ventas en el último año.
- Mediante el análisis de contaminación se concluye que si el 100% de vehículos vendidos en el año 2021 fueran eléctricos el valor de CO que no se emitiría al ambiente fuera de 80.04 Kg y 6.96 Kg de HC. Se determinó que las motocicletas aportan un mayor número de contaminación al aire que los vehículos, las motos tiene un límite máximo de contaminación mayor al de los vehículos.
- Del análisis tecnológico se concluyó que los vehículos eléctricos y motocicletas eléctricas son una alternativa viable para disminuir la contaminación del aire.
- El proceso de generación de energía eléctrica en Ecuador, en su mayoría es limpio porque el 92 % de la energía eléctrica producida en el país es por centrales hidroeléctricas, mientras que solo el 7% corresponde a las termoeléctricas.
- La electrificación de vehículos tiene su ahorro de combustible, para llenar un auto de combustión de 18.5 gal con gasolina extra el costo es de \$44.40 mientras que para recargar una batería de 25KWh en carga rápida tiene un costo de \$ 6.75 y con carga norma \$2.49. Esto representa un ahorro significativo respecto al alto costo que tiene los combustibles en este momento.
- Se obtuvo un ciclo de conducción con la ayuda de la aplicación Geo Tracker para una moto eléctrica, basado en la geografía de la institución, como datos se obtuvo la velocidad con una frecuencia de un segundo, también el perfil de elevación de la

ruta estudiada. Esto con el fin de poseer una base de datos para desarrollar la simulación en un programa especializado.

- Mediante la modelación dinámica de fluidos computacional (CFD), se consiguió la fuerza aerodinámica de la moto eléctrica y el vehículo eléctrico, también se observó los puntos donde existe mayor presión en la carrocería de los vehículos a diferentes velocidades. De la simulación mecánica se determinó el área frontal de cada uno de estos vehículos.
- Con la obtención de datos reales se determinó que la simulación y el funcionamiento real de la moto en base a su autonomía son semejantes, arrojando un valor de 34.02Km en la parte simulada y la autonomía real en dicha ruta fue de 36.5Km, con un error del 6.79%.
- En la simulación el voltaje final simulado es de 35 V, en cambio en la moto el controlador corta la corriente cuando el voltaje llega a un valor mínimo de 42V, esto se produce para la protección de las baterías.
- Se consiguió modelar los diferentes circuitos eléctricos de potencia y control del vehículo y la moto, con la ayuda de manuales de mantenimiento, proceso de armado y desarmado de la moto eléctrica
- Con la herramienta multímetro y osciloscopio se observó las gráficas de controles, sensores, controlador y motor, para modelarlas en la simulación de circuitos.

Recomendaciones

- Es recomendable realizar planes y capacitaciones para que se incremente el uso de electromovilidad ya que como se ve en este trabajo es una alternativa viable para disminuir el problema de contaminación del aire que afecta principalmente a las grandes ciudades del Ecuador.
- Para futuras investigaciones es recomendable generar ciclos de conducción basados en la geografía del Ecuador, con la disponibilidad del vehículo eléctrico para que los datos recolectados sean más reales y que la simulación en Matlab de resultados más parecidos a los de la realidad.
- Al momento de realizar mediciones en los sistemas eléctricos de alto voltaje es recomendable usar guantes de protección aislados para evitar descargas eléctricas al personal técnico.
- Para obtener valores más precisos y proteger el osciloscopio cuando se trabaja con voltajes altos, se recomienda usar un atenuador de 20:1 porque permite dividir la señal en un factor de 20. Se debe indicar al osciloscopio que se está usando esta herramienta por medio de la configuración.
- La motocicleta eléctrica no cuenta con un conversor DC-DC se recomienda adaptar este tipo de componente para que el sistema de alumbrado trabaje con 12V, porque las luces de 60V tiene un costo más elevado.

Bibliografía

- Amaguaya Cajo, B. D., & Solano Carrasco, R. A. (2010). *Estudio de nuevas tecnologías, aplicadas al diseño y control del sistema eléctrico en un vehículo impulsado eléctricamente*. Tesis de grado, Escuela Politécnica del ejército sede-Latacunga, Electrónica, Latacunga.
- Artés, D. (2012). *Baterías de coches eléctricos e híbridos, hoy [estado de la tecnología del automóvil]*. Obtenido de <https://www.diariomotor.com/tecnovia/2012/03/14/baterias-de-coches-electricos-e-hibridos-hoy-estado-de-la-tecnologia-del-automovil/>
- AutoAvance. (2020). *Baterías de Vehículos Híbridos y Eléctricos*. Obtenido de <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/bateria-hibridos-electricos/>
- Barros, A. (2015). *Estudio y análisis de la operación del inversor del vehículo híbrido*. Guayaquil.
- BATTERI. (2014). *Recargas del Vehículo Eléctrico*. Obtenido de <http://www.kia.com/worldwide/vehicles/soul-ev/product.aspx>. [Accessed: 19-Nov-2014].
- Bueno, D. (2017). *Motor eléctrico brushless*. Obtenido de <https://lmeconizadoelarenal.files.wordpress.com/2013/11/11-motores-bmshless.pdf>
- Cando Juan, Cayo Marlon. (2021). *Modelación y simulación del proceso de implementación del sistema de propulsión eléctrica de movimiento en vehículos automotores mediante el uso de software especializado en la industria automotriz*. trabajo de titulación ingeniero automotriz, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Latacunga.
- Cordova, A. (2015). *FACTIBILIDAD PARA LA INTEGRACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS AL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO*.
- Córdova, A. (2015). *FACTIBILIDAD PARA LA INTEGRACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS AL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, Ingeniería eléctrica, Quito.

- Duque Sarmiento, D. A., & Rocano Yunga, J. A. (2018). *Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico mediante ciclos controlados*. Proyecto técnico (Tesis), Universidad politécnica salesiana sede matriz Cuenca, Mecanica automotriz, Cuenca.
- Dyna. (2014). *La tecnología de los motores de imanes permanentes*. (P. DYNA, Editor) Obtenido de [https://www.dynapubll_comhocias-PD,'1a-tecnologia-de-motores-de-
imanes-permanentes](https://www.dynapubll_comhocias-PD,'1a-tecnologia-de-motores-de-imanes-permanentes)
- Electromovilidad. (2015). *Nuevos motores de flujo axial para híbridos y eléctricos*. Obtenido de <http://electromovilidad.net/nuevos-motores-de-flujo-axial-para-hibridos-y->
- Garatea Alcázar, I. (2020). *Parametrización, modelado y simulación de baterías mediante la utilización de Battery Modeling en Simulink-Matlab*. Trabajo de fin de grado, Universidad pública de Navarra, Ingeniería industrial, informática y de telecomunicación, Pamplona.
- García, M. (2015). *Pasado, presente y futuro de vehículos eléctricos*. Universidad Tecnológica de Pereira , Perira.
- González, C. (2005). *Control de un motor Brushless DC con frenado*. Pontifica Universidad Javefiana, Bogota. Obtenido de [http:
Mww.javeriana.edu.c0/biblos/tesis/ingenieria/tesis89.pdf](http://Mww.javeriana.edu.c0/biblos/tesis/ingenieria/tesis89.pdf)
- IEC. (2010). *International standard norme internationale*. N. American and D. Centers.
- Irurueta, A., Lima, J., & Moreno, N. (2020). *Modelado y simulación de baterías en autos eléctricos*. Tesis de ingeniero electricista, Universidad de la republica Uruguay, Facultad de ingenieria , Montevideo.
- López, G., & Galarza, S. (2016). *Movilidad eléctrica, oportunidades para*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Madrigal, M. (2019). *Electromovilidad: Transporte más limpio, seguro y eficiente. Energía para el Futuro*. Obtenido de [https://blogs.iadb.org/energia/es/electromovilidad-transporte-
mas-limpioseguro-](https://blogs.iadb.org/energia/es/electromovilidad-transporte-mas-limpioseguro-)
- Martín, J., & García, M. (2016). *Motores eléctricos. En Automatismos industriales*. Editex. Obtenido de

<https://books.google.com.ec/books?id=IrNcDAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Mathur, L. (2011). *MENNEKES Plugs for the world* (Vol. 15).

Ojea, L. (2018). *Las 10 'scooters' eléctricas más baratas del mercado*. Obtenido de <https://elperiodicodelaenergia.com/las->

Pillco Valladolid, F. M. (2018). *Análisis y modelado de baterías de Ion Litio para vehículos eléctricos*. Tesis de ingeniería, Universidad de Cuenca, Ingeniería eléctrica, Cuenca.

PMS. (2021). *BATERIA HV Y MECANISMOS DE CONTROL DE LA BATERIA HV*. Quito.

Puente Sánchez, J. (2019). *Estudio de viabilidad de la optimización del coeficiente aerodinámico de un vehículo mediante el control de la temperatura de sus superficies*. Trabajo de fin de grado, Comillas universidad pontificia, Tecnologías industriales, Madrid.

Quetzal, I. (2017). *Hablemos de coches electricos Parte 1*. Obtenido de <https://www.quetzalingeneria.es/hablemos-de-coches-electricos/>

Rodríguez Ortiz, J. L., & Vasquez Guaña, L. G. (2018). *Implementación e investigación de los parámetros de operación de un vehículo eléctrico con freno regenerativo*. Tesis ingeniero automotriz, Universidad de las fuerzas armadas ESPE, Ciencias de la energía y mecánica, Latacunga.

Salinas Masache, C. A. (2018). *Estudio, análisis e implementación de un motor eléctrico como fuente de potencia para un vehículo tubular*. Tesis de grado, Universidad nacional de Loja, Energía, las industrias y los recursos naturales no renovables, Loja.

Sanz, S. (2011). *Motores Eléctricos*. Editex. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=S10pDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=baterias+de+alta+tension+vehiculos+electricos&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiAhZCggJfrAhVEmVkkHQXEAEwAnoECAYQAg#v=onepage&q=baterias%20de%20alta%20tension%20vehiculos%20electricos&f=false>

Silva Castaño, F. (2020). De Galicia a Madrid 100% eléctrico. *Dínamo Técnica*, 10-12.

Simon . (2019). *El vehículo eléctrico: elementos principales y funcionamiento*. Obtenido de <https://www.simonelectric.com/blog/el-vehiculo-electrico-elementos-principales-y-funcionamiento>

Sociedad de Técnicos de Automoción. (2011). *El vehículo eléctrico. Desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio*. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=z6VIQmSodD8C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Trashorras, J. (2019). *Vehículos eléctricos*. Paraninfo.

Vidal Pastor, F., Mas Fito, J., & González López, M. (2014). *Sistemas Electricos y de Seguridad y Confortabilidad*. Editex. Obtenido de [https://books.google.com.ec/books?id=pjiRAwAAQBAJ&pg=PA254&dq=Veh%C3%A9culos+el%C3%A9ctricos+e+h%C3%ADbridos+convertidor+dc+dc&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiP9K2d7pXrAhVPwlkKHSUNCWAQ6AEwAnoECAIQAg#v=onepage&q=Veh%C3%ADculos%20el%C3%A9ctricos%20e%20h%C3%ADbridos%](https://books.google.com.ec/books?id=pjiRAwAAQBAJ&pg=PA254&dq=Veh%C3%A9culos+el%C3%A9ctricos+e+h%C3%ADbridos+convertidor+dc+dc&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiP9K2d7pXrAhVPwlkKHSUNCWAQ6AEwAnoECAIQAg#v=onepage&q=Veh%C3%ADculos%20el%C3%A9ctricos%20e%20h%C3%ADbridos%20)

Anexos