



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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.

Cando Gutiérrez Juan Carlos y Cayo Chiguano Marlon Fabricio

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

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

Ing. Erazo Laverde, Washington German

Latacunga, 17 de marzo de 2021

Certificación



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, **“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”** fue realizado por los señores **Cando Gutiérrez Juan Carlos y Cayo Chiguano Marlon Fabricio** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 17 de marzo de 2021

Firma:



.....

Ing. Erazo Laverde, Washington German

C. C. 050143263-7

Urkund



Urkund Analysis Result

Analysed Document: Trabajo de Titulacion CANDO-CAYO - ERAZO.pdf (D98669882)
 Submitted: 3/17/2021 5:54:00 PM
 Submitted By: wgerazo@espe.edu.ec
 Significance: 4 %



Firmado digitalmente
 por WASHINGTON
 GERMAN ERAZO
 LAVERDE
 Fecha: 2021.03.17
 12:33:54 -05'00'

Sources included in the report:

TESIS-PLUG-IN-19-06-2017-final Andres Moreno - Luis Naranjo.pdf (D29483460)
 tesis wilson varga.pdf (D15052756)
 TESIS FINAL CALUPINA DIEGO.docx (D63480374)
http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/tesisuned:IngInd-Msalegre/ALEGRE_BUJ_Susana_Tesis.pdf
<http://www.anla.gov.co/noticias/576-instrucciones-para-el-diligenciamiento-del-radio-dinamico>
<https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/bateria-hibridos-electricos/>
<https://energyev.com/tienda/motores/motor-series-wound/motor-dc-embobinado-serie-me1002-63kw-550amps-144v-motenergy/>
<https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/sector/precio-baterias-car-debajo-100-euros-kwh-precio-coches-electricos-baja/20201203134527040568.html>
<https://www.km77.com/coches/nissan/leaf/2018/estandar/estandar/leaf-40-kwh-acent-a-access/datos>
<https://www.km77.com/coches/tesla/model-3/2018/sedan/estandar/model-3-awd-long-range-battery/datos>
<https://movilidadelectronica.com/autonomia-real-autonomia-nedc-autonomia-wltp-conoces-las-diferencias/>
<https://movilidadelectronica.com/todas-las-claves-del-wltp-el-nuevo-protocolo-de-emisiones/>
<https://caim2018.com.ar/gestor/wp-content/uploads/2019/04/187-1.pdf>
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30321>
<https://www.simonelectric.com/blog/el-vehiculo-electrico-elementos-principales-y-funcionamiento>
<https://docplayer.es/81921530-Escuela-superior-politecnica-del-litoral-diseno-y-simulacion-del-controlador-de-carga-para-un-vehiculo-electrico-hibrido-hev.html>
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10602/1/T-ESPEL-MAI-0533.pdf>
https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/18057/PFC_Pedro_Pablo_Marin_Rodrigo.pdf?sequence=1
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/2099.1/15214/1/MEMORIA+PFC.pdf>
<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/25504/TFG-P-630.pdf?sequence=1>

Instances where selected sources appear:



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Responsabilidad de autoría

Nosotros, **Cando Gutiérrez Juan Carlos** con cédula de ciudadanía n° 1600469355 y **Cayo Chiguano Marlon Fabricio**, con cédula de ciudadanía n° 0550099360, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **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**, 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, 17 de marzo de 2021

Firma

Cando Gutiérrez Juan Carlos

C.C.: 1600469355

Cayo Chiguano Marlon Fabricio

C.C.: 0550099360



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Autorización de publicación

Nosotros, **Cando Gutiérrez Juan Carlos** con cédula de ciudadanía n° 1600469355 y **Cayo Chiguano Marlon Fabricio**, con cédula de ciudadanía n°0550099360, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **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**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 17 de marzo de 2021

Firma

Cando Gutiérrez Juan Carlos

C.C.: 1600469355

Cayo Chiguano Marlon Fabricio

C.C.: 0550099360

Dedicatoria

La presente investigación está dedicada a toda mi familia que siempre han sido el pilar fundamental de todos mis logros, quienes me han apoyado en todos mis objetivos planteados sin importar el riesgo que estos conllevaban.

Liventon y Mónica mis amados padres, quienes me dieron la vida inculcándome buenos valores para ser la persona que ahora soy, me dieron una razón para disfrutar la vida de la mejor manera en este mundo, ellos han impulsado todos mis estudios e hicieron todo lo que estuvo en sus manos para que llegue a cumplir este objetivo.

Mis Abuelitos mis segundos padres, dos de ellos que se encuentran en el cielo Mami Esther y Papá Tobías que no pueden estar a mi lado, pero sé que deben estar felices y orgullosos de su nieto que cumple una meta más en su vida.

A mis hermanas Gina y Kathy, las princesas de la familia; este logro también es para ustedes ya que siempre me animaron a seguir adelante con sus consejos para alcanzar todo lo que me proponía en la vida.

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación le dedico a mi padre Segundo Manuel Cayo Ronquillo, a mi madre María Elsa Chiguano Cunuhay y a mi hermana Aracely Lisbeth, por el apoyo incondicional que me han brindado en todo el transcurso de mi formación profesional, con consejos y palabras de aliento día tras día con lo cual he llegado culminar una meta más en mi vida.

A toda mi familia tíos/as, primos/as los cuales estuvieron siempre y en todo momento apoyándome compartiendo un poquito de sus experiencias las cuales me ayudaron a crecer personal y profesionalmente.

Y a los amigos que estuvieron en los buenos y malos momentos en todo el transcurso de esta etapa universitaria.

Agradecimiento

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme dado la salud y la fuerza necesaria para no rendirme en este largo camino, por nunca soltarme de su mano y así poder cumplir este objetivo para disfrutarlo con mis seres queridos.

En segundo lugar, agradezco infinitamente a mi familia por brindarme amor y apoyo incondicional durante toda mi vida estudiantil y en especial en mi carrera universitaria, estando mis padres siempre pendientes de lo que sucede en cada momento para que no me falte nada y poder dedicarme únicamente a llenarme de conocimientos y por darme ese empujón de confianza para poder llegar a la meta

También hago un extenso agradecimiento a mis abuelitos que desde el cielo están cuidándome y guiándome por el camino correcto para llegar a ser un excelente ser humano que pueda ayudar a la sociedad como ellos lo hicieron en su momento, ellos han sido mi ejemplo y lo serán toda la vida.

No puede faltar mi gratitud a todos mis inolvidables docentes que compartieron no solo sus conocimientos en las aulas de mi querida ESPE ellos compartieron su vida entera con nosotros, cada día, cada hora de clase quedarán grabadas en lo más profundo de mi memoria, gracias a estos maravillosos seres llamados maestros es que pude cumplir con las tareas encomendadas en cada semestre y hoy convertirme en un profesional de éxito.

Finalmente, y no menos importante reconozco y agradezco a mi compañero de tesis, un gran amigo quien supo ofrecerme apoyo, amistad sincera y valiosa, día a día me aconsejó en momentos difíciles y ahora juntos podemos disfrutar de este gran logro en nuestras vidas.

Agradecimiento

A Dios, por brindarme buena salud y una familia que supo estar conmigo en las buenas y en las malas. A mis padres por darme su amor y paciencia en momentos malos, por motivarme a seguir adelante y ofrecerme la oportunidad de obtener una profesión para progresar en la vida.

A mi hermana que con sus palabras de aliento y su compañía en las veladas de estudio me motivaron a terminar mi carrera universitaria y ser un ejemplo a seguir para ella.

A mis primos que siempre han estado ahí, compartiendo sus experiencias para mejorar como persona, por su apoyo moral día a día durante estos años de carrera.

A todos los docentes de esta prestigiosa universidad quienes nos impartieron todos sus conocimientos y experiencias para poder seguir adelante semestre tras semestre. A la carrera de Ingeniería Automotriz, que me acogió en su familia con los brazos abiertos y ahora me marcho feliz de haber compartido varios e inolvidables momentos en sus integraciones, en los campeonatos de inter carreras.

Y finalmente a mi compañero de tesis con el que compartimos muchos momentos de alegría como de disgustos y enojos, pero siempre manteniendo la amistad que nos caracteriza.

Índice de contenidos

Carátula.....	1
Certificación	2
Urkund	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria	7
Agradecimiento	8
Agradecimiento	9
Índice de contenidos	10
Índice de figuras.....	14
Índice de tablas.....	17
Resumen	19
Abstract.....	20
Marco metodológico de la investigación	21
Antecedentes.....	21
Planteamiento del problema	23
Descripción resumida del proyecto	24
Justificación e importancia	25
Objetivos	27
<i>Objetivo general</i>	27
<i>Objetivos específicos</i>	27
Metas	28
Hipótesis.....	28
Variables de la investigación.....	28
<i>Variable independiente</i>	28
<i>Variable dependiente</i>	28
Operacionalización de variables.....	29
<i>Variable independiente</i>	29
<i>Variable dependiente</i>	30

Metodología de la investigación	31
<i>Método Comparativo</i>	31
<i>Método Experimental</i>	31
<i>Método de Matematización</i>	31
<i>Método de Modelación</i>	32
<i>Método de Medición</i>	32
<i>Método Científico</i>	32
<i>Método Inductivo</i>	32
<i>Método Deductivo</i>	32
Marco teórico	35
Vehículos Eléctricos.....	35
<i>Clasificación de Vehículos Eléctricos</i>	36
Kit de componentes del vehículo eléctrico	36
<i>Motores eléctricos</i>	37
<i>Inversor DC/AC</i>	38
<i>Convertidor DC-DC</i>	38
<i>Cargador AC/DC</i>	39
<i>Baterías de alta tensión</i>	40
<i>Tipo de baterías según su química</i>	41
<i>Baterías de Plomo-Ácido</i>	41
<i>Baterías de Níquel-Metal</i>	42
<i>Baterías de Ion-Litio</i>	42
Ficha técnica	43
Dinámica del vehículo	44
<i>Fuerza aerodinámica</i>	46
<i>Fuerza de arrastre</i>	46
<i>Fuerza en pendiente</i>	47
<i>Fuerza neta</i>	48
<i>Fuerza de tracción</i>	48
<i>Potencia mecánica</i>	49
<i>Potencia eléctrica</i>	49
Centro de gravedad	49

Ciclos de conducción homologados.....	50
Ciclo de conducción NEDC.....	51
<i>Ciclo NEDC, zona urbana</i>	52
<i>Ciclo NEDC, zona extraurbana</i>	52
Ciclo de conducción WLTP	52
Modelado dinámico y simulación.....	54
<i>Tipos de licencias de Matlab</i>	55
Tipos de modelado en Matlab	56
<i>Forward-facing vehicle model</i>	56
<i>Backward-facing vehicle model</i>	57
Modelación y simulación mecánica-eléctrica	58
Requerimientos iniciales para la simulación	58
<i>Dinámica del vehículo</i>	58
<i>Cálculo de fuerza aerodinámica</i>	58
<i>Cálculo de fuerza de arrastre</i>	62
<i>Cálculo de la fuerza en pendiente</i>	66
<i>Cálculo de la fuerza neta</i>	67
<i>Cálculo de la fuerza de tracción</i>	68
<i>Cálculo de la potencia mecánica</i>	69
<i>Cálculo de la potencia eléctrica</i>	69
<i>Cálculo del centro de gravedad</i>	70
<i>Cálculo de la energía de baterías</i>	73
Diseño de la simulación en el software Simulink	74
<i>Simulación del ciclo de conducción NEDC</i>	76
<i>Simulación de la dinámica del vehículo</i>	77
<i>Simulación de la batería</i>	82
Modelación en 3D del vehículo eléctrico con su kit de conversión.....	84
Análisis de resultados obtenidos en el software especializado matlab simulink	89
Análisis Matlab - Simulink.....	89
<i>Velocidad vs Tiempo</i>	89
<i>Distancia vs Tiempo</i>	90
<i>Aceleración vs Tiempo</i>	90

<i>Fuerza de tracción vs Tiempo</i>	91
<i>Potencia Mecánica vs Tiempo</i>	92
<i>Potencia Eléctrica vs Tiempo</i>	93
<i>Energía vs Tiempo</i>	94
<i>Corriente vs Tiempo</i>	96
<i>Voltaje vs Tiempo</i>	97
<i>SOC vs Tiempo</i>	97
Análisis de elementos de conversión	98
<i>Motores eléctricos</i>	98
<i>Convertidores DC/DC</i>	99
<i>Controladores de motores eléctricos</i>	100
<i>Cargadores a bordo</i>	100
<i>Selección del kit de conversión eléctrico</i>	101
<i>Análisis de autonomía con el nuevo kit de conversión</i>	103
<i>Análisis del centro de gravedad</i>	106
Análisis económico de implementación del Kit	107
Análisis económico de mantenimientos de VCI y EV	108
Análisis del kit en diferentes vehículos	112
Marco administrativo	115
Presupuesto	115
Recursos humanos	115
Recursos materiales	115
Recursos tecnológicos	115
Costo neto del proyecto	116
Conclusiones y recomendaciones	117
Conclusiones	117
Recomendaciones	120
Bibliografía	121
Anexos	131

Índice de figuras

Figura 1 <i>Árbol de problemas</i>	23
Figura 2 <i>Tipos de vehículos eléctricos</i>	36
Figura 3 <i>Esquema básico de un vehículo eléctrico</i>	37
Figura 4 <i>Inversor</i>	38
Figura 5 <i>Cargador a bordo Nissan Leaf 2011</i>	40
Figura 6 <i>Batería de Ion de Litio</i>	43
Figura 7 <i>Ficha Técnica</i>	44
Figura 8 <i>Fuerzas actuantes sobre el vehículo eléctrico</i>	45
Figura 9 <i>Fuerza aerodinámica</i>	46
Figura 10 <i>Fuerza de arrastre</i>	47
Figura 11 <i>Fuerza en Pendiente</i>	47
Figura 12 <i>Fuerza de tracción</i>	49
Figura 13 <i>Diagrama del centro de gravedad</i>	50
Figura 14 <i>Ciclo de conducción NEDC</i>	51
Figura 15 <i>Ciclo de conducción WLTP</i>	53
Figura 16 <i>Características del ciclo WLTP y NEDC</i>	54
Figura 17 <i>Forward-facing vehicle model</i>	57
Figura 18 <i>Backward-facing vehicle model</i>	57
Figura 19 <i>Fuerza aerodinámica con túnel de viento</i>	61
Figura 20 <i>Curva de la fuerza aerodinámica</i>	61
Figura 21 <i>Diagrama de cuerpo libre del vehículo</i>	65

	15
Figura 22 Diagrama de altura CG.....	70
Figura 23 Diagrama de cuerpo libre C.G	72
Figura 24 Diseño del VE en Matlab Simulink	74
Figura 25 Drive Cycle Simulink	76
Figura 26 Bloque de Función para la Fuerza Aerodinámica	77
Figura 27 Bloque de Función para la Fuerza de Arrastre	78
Figura 28 Bloque de Función para la Fuerza en Pendiente	78
Figura 29 Bloque de Función para el Factor de Masa.....	80
Figura 30 Bloque de Función para la Fuerza Neta	80
Figura 31 Bloque de Función la Potencia Mecánica	81
Figura 32 Bloque de Función Potencia Eléctrica	82
Figura 33 Bloque de batería	83
Figura 34 Parámetros requeridos por el software.....	84
Figura 35 CAD del motor eléctrico.....	85
Figura 36 CAD controlador	85
Figura 37 CAD convertidor	85
Figura 38 CAD Suzuki Forsa	86
Figura 39 Ubicación del kit	86
Figura 40 Ubicación de la batería de alto voltaje	87
Figura 41 Unión motor eléctrico - caja de velocidades	87
Figura 42 CAD acople	88
Figura 43 Curva de velocidad respecto al tiempo	89
Figura 44 Curva de distancia respecto al tiempo	90

Figura 45 <i>Curva de aceleración respecto al tiempo</i>	91
Figura 46 <i>Curva de fuerza de tracción respecto al tiempo</i>	92
Figura 47 <i>Curva de potencia mecánica respecto al tiempo</i>	93
Figura 48 <i>Curva de potencia eléctrica respecto al tiempo</i>	94
Figura 49 <i>Curva de energía respecto al tiempo</i>	95
Figura 50 <i>Curva de corriente respecto al tiempo</i>	96
Figura 51 <i>Curva de voltaje respecto al tiempo</i>	97
Figura 52 <i>Curva de carga respecto al tiempo</i>	98
Figura 53 <i>Motor Motenergy M1002</i>	101
Figura 54 <i>Controlador Curtis - 1231c</i>	102
Figura 55 <i>Convertidor Elcon</i>	102
Figura 56 <i>Cargador a bordo de 3,1 kW</i>	103
Figura 57 <i>Autonomía respecto al nuevo peso</i>	105
Figura 58 <i>Potencia respecto al nuevo peso</i>	105
Figura 59 <i>Consumo de combustible</i>	111
Figura 60 <i>Valores requeridos para otros vehículos</i>	114

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Operacionalización de la variable independiente</i>	29
Tabla 2 <i>Operacionalización de la variable dependiente</i>	30
Tabla 3 <i>Metodología de investigación</i>	33
Tabla 4 <i>Parámetros para el cálculo del consumo energético</i>	45
Tabla 5 <i>Fuerzas calculadas por el software SolidWorks</i>	61
Tabla 6 <i>Velocidad con respecto a la Fuerza Aerodinámica</i>	62
Tabla 7 <i>Valores de desaceleración</i>	64
Tabla 8 <i>Datos del vehículo Suzuki Forza 1</i>	75
Tabla 9 <i>Valores importantes del NEDC</i>	76
Tabla 10 <i>Ficha técnica de la batería Ion-Litio</i>	83
Tabla 11 <i>Valores límites de aceleración</i>	91
Tabla 12 <i>Fuerza de tracción respecto a la velocidad</i>	92
Tabla 13 <i>Potencia Mecánica respecto a la velocidad</i>	93
Tabla 14 <i>Potencia eléctrica respecto a la velocidad</i>	94
Tabla 15 <i>Consumo de corriente respecto a la velocidad</i>	97
Tabla 16 <i>Ficha técnica de motores eléctricos</i>	99
Tabla 17 <i>Ficha técnica de convertidores DC/DC</i>	99
Tabla 18 <i>Ficha técnica de controladores de motores eléctricos</i>	100
Tabla 19 <i>Ficha técnica de cargadores a bordo</i>	101
Tabla 20 <i>Valores de masa del Kit de conversión</i>	104
Tabla 21 <i>Costo del kit de conversión EV</i>	108

	18
Tabla 22 <i>Análisis económico VCI</i>	109
Tabla 23 <i>Análisis económico VE</i>	110
Tabla 24 <i>Análisis económico de consumo</i>	111
Tabla 25 <i>Periodo de recuperación de inversión</i>	112
Tabla 26 <i>Valores de vehículos analizados</i>	113
Tabla 27 <i>Valores principales de conversión</i>	114
Tabla 28 <i>Recursos Humanos</i>	115
Tabla 29 <i>Recursos Materiales</i>	115
Tabla 30 <i>Recursos Tecnológicos</i>	116

Resumen

La investigación consta de la modelación y simulación del proceso de selección del kit para de sistema de propulsión eléctrica de movimiento en vehículos automotores mediante el uso de software especializado en la industria automotriz. Con el crecimiento del parque automotor se vienen incorporando diversos vehículos eléctricos motivados por reducir el efecto invernadero a causa de la emisión de gases producidos por los vehículos de combustión interna, sin embargo, los vehículos eléctricos son relativamente costosos por lo que la conversión de vehículos de combustión se convierte en una opción viable y se basa en la utilización de las tres "R" (Reducir, Reutilizar, Reciclar). La modelación y simulación se realizó en función a la dinámica del vehículo, los factores de estudio fueron determinar el kit de conversión para una autonomía de 200 km, en un vehículo que cumpla con los parámetros de 1000 - 2000cc con un peso menor o igual a 3.5 toneladas. Se analizó los costos de mantenimiento de un vehículo de combustión interna y de un vehículo 100% eléctrico, con lo que se determinó que en 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.

Palabras clave:

- **CONVERSIÓN**
- **AUTONOMÍA**
- **VEHÍCULO ELÉCTRICO**
- **EFFECTO INVERNADERO**

Abstract

The research consists of the modeling and simulation of the kit selection process for the electric propulsion system of movement in motor vehicles through the use of a specialized software in the automotive industry. With the growth of the vehicle fleet, various electric vehicles have been incorporated, motivated to reduce the greenhouse effect due to the emission of gases produced by internal combustion vehicles. However, electric vehicles are relatively expensive, so the conversion of combustion vehicles becomes a viable option and it is based on the use of the three "Rs" (Reduce, Reuse, Recycle). The modeling and simulation were carried out based on the dynamics of the vehicle, the factors of study were to determine the conversion kit for a range of 200 km, in a vehicle that meets the parameters of 1000 - 2000cc with a weight less than or equal to 3.5 tons. The maintenance costs of an internal combustion vehicle and a 100% electric vehicle were analyzed with which it was determined that in an electric vehicle after 2 years it is possible to save up to 62% in maintenance costs, and in terms of regarding fuel consumption, it was determined that the electric vehicle offers us savings of up to 80% compared to the consumption of the internal combustion engine.

Keywords:

- **CONVERSION**
- **AUTONOMY**
- **ELECTRIC VEHICLE**
- **GREENHOUSE EFFECT**

Capítulo I

1. Marco metodológico de la investigación

1.1. Antecedentes

En cuanto a la conversión de vehículos tal como menciona (Martirena & Garaventa, 2018) en su artículo:

Los vehículos impulsados por motores de combustión interna (VIMCI) se encuentran ampliamente difundidos y actualmente componen casi la totalidad de los sistemas de transporte, tanto de cargas como de pasajeros, sobre las vialidades existentes. Este paradigma entra en crisis cuando se desarrollan vehículos eléctricos con análogas prestaciones, pero con costos operativos muy inferiores.

Es de esperar que muchos de los VIMCI actuales serán reemplazados por nuevos modelos con tracción eléctrica, pero existirá una porción que, en vez de ser desechados o declarados obsoletos, podrán ser convertidos a tracción eléctrica reemplazando una serie de elementos de estos sin dejar de brindar un andar seguro y eficiente.

Además, según (Santana Chóez, 2016) indica que:

Por un lado, es cada vez más difícil la situación del suministro de combustibles fósiles, en especial del petróleo por el enorme efecto que tiene en el transporte y por el otro el cambio climático, como resultado de la emisión del CO₂, es un hecho demostrado científicamente. Debido a esto, en los últimos años se han realizado esfuerzos por desarrollar alternativas de automóviles que no requieran de combustible fósil para su funcionamiento. (Página 4-5)

En el Ecuador los vehículos eléctricos serán un factor de importancia relevante, pero para esto se debe llevar capacitaciones tanto para quien adquiera el vehículo como para la casa automotriz que lo fabrique. En el país existen diferentes marcas como Nissan, Renault, KIA y BYD que introducirán este tipo de vehículos al mercado local, y se ven en la obligación de instruir a la demanda para el correcto uso y manejo del vehículo eléctrico, el objetivo es el aporte al cambio de la matriz productiva y energética, logrando así la sustitución de vehículos importados y generar nuevas plazas de empleo a quienes se dediquen a esta actividad y reducir las afectaciones que se dan por el uso del combustible fósil. (Página 10)

El primordial interés de fabricar vehículos eléctricos es por las constantes afectaciones al medio ambiente y por ende esto conlleva al calentamiento global, sin duda alguna el impacto que trae este tipo de vehículos sobre el sistema energético es bastante importante para de esta forma reducir contaminaciones al planeta por los combustibles fósiles. (Página 10)

Según (BYD E-Motors Ecuador, 2017) nos indica que

Así, como en el siglo XIX Loja fue la primera ciudad de Ecuador en tener energía eléctrica, ahora es la primera en contar con una flota de vehículos de transporte 100% eléctrica. Pronto, nuevas ciudades del país se unirán a esta iniciativa para construir el Ecuador de nuestros sueños, donde los vehículos producen cero emisiones.

Los taxis eléctricos BYD en Loja son parte de los importantes pasos que da esta ciudad para posicionarse como la más ecoamigable del Ecuador. Los taxis eléctricos BYD se suman a

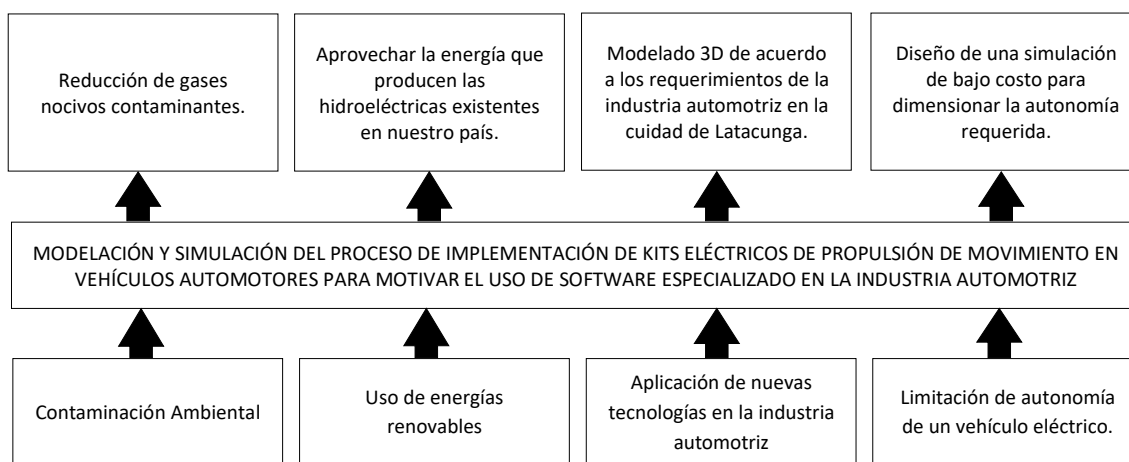
otros avances en esta ciudad como la planta de reciclaje de desechos sólidos y el parque eólico para producir energía renovable.

La empresa BYD entregó 35 taxis eléctricos a los miembros de la cooperativa Ecotaxi en Loja. Ciudadanos, autoridades del país, la provincia y la ciudad, miembros de gremios de transportistas y representantes de la empresa BYD participaron en la ceremonia. Esta entrega convierte a Loja en la primera ciudad ecuatoriana que lleva a cabo un plan de movilidad 100% eléctrica.

1.2. Planteamiento del problema

Figura 1

Árbol de problemas



Los gases nocivos emanados por el tubo de escape de un VCI hacia el medio ambiente generan una contaminación ambiental, destruyendo la capa de ozono y generando enfermedades respiratorias en las personas. Con la llegada de nuevas tecnologías a la industria automotriz como es el caso de los vehículos eléctricos, siendo su principal limitante la

autonomía que presentan los mismos y que son impulsados mediante el uso de energías renovables.

La población se ha visto en la necesidad de ir reemplazando a los VCI, con la finalidad de reducir la contaminación ambiental, lo que con llevaría a aprovechar la energía que producen las hidroeléctricas existentes en nuestro país. Con el diseño de una simulación de bajo costo y modelamiento 3D de sus componentes de conversión se podrá dimensionar la autonomía y seleccionar un kit de conversión de acuerdo a los requerimientos de la ciudad de Latacunga.

1.3. Descripción resumida del proyecto

En la presente investigación se obtuvo información sobre los principales parámetros de conversión mediante temas relacionados con el proyecto como: artículos científicos, libros, investigaciones científicas, páginas de internet.

Se simuló en base a características de vehículos que se encuentran en rangos de 1000 a 2000 c.c con potencia mecánica de 60 – 150 Hp, que no supere el tipo de peso liviano (menor o igual a 3.5 toneladas) para su conversión., concretamente un vehículo anterior al año 2000 debido que son considerados vehículos clásicos y se les puede dar una segunda oportunidad de vida.

Se modeló el vehículo seleccionado para obtener el coeficiente de arrastre aerodinámico mediante un túnel de viento virtual en el software SolidWorks.

Se obtuvo y se calculó los parámetros necesarios requeridos para la ciudad de Latacunga y geografía de nuestro país, mediante el uso de ecuaciones de la dinámica del vehículo tomando

en cuenta que el vehículo se encuentre en una pendiente a plena carga, pruebas de campo para obtener coeficiente de rozamiento entre el neumático y el camino.

Se diseñó una simulación de un vehículo eléctrico para la conversión de vehículos convencionales que tenga un peso menor o igual a 3.5 toneladas, mediante el software Matlab Simulink, que permitirá observar el comportamiento del vehículo seleccionado a través de los parámetros obtenidos.

Se realizó el cuadro comparativo de los componentes del kit de conversión para seleccionar el mismo e implementar en el vehículo que se desee realizar la conversión.

Se modeló los componentes del Kit eléctrico del sistema de propulsión para implementarlos en el modelado de la carrocería mediante el uso del software SolidWorks y finalmente se analizó el comportamiento del vehículo mediante las curvas obtenidas de acuerdo con el diseño de la simulación en el software Matlab Simulink.

1.4. Justificación e importancia

Con el pasar de los años la tecnología ha ido avanzando en pasos agigantados en el ámbito automotriz, donde el medio de transporte para la población inició desde la época de los caballos, carruajes, vehículos de combustión interna (Carburador, inyección electrónica, diésel), vehículos híbridos, vehículos eléctricos y vehículos con pila de hidrógeno.

Existen vehículos que se denominan clásicos por su año de fabricación anteriores al año 2000 los mismos que poseen un sistema de carburador y al no tener un sistema que ayude a reducir y contribuir con la contaminación ambiental, está afectando continuamente a nuestro

ecosistema por tal motivo existe una solución de conservar al vehículo con la implementación de un kit de conversión eléctrico y así se le dará una nueva oportunidad de conservar estos vehículos y mejor nuestro ecosistema.

El Ecuador siendo un país con gran capacidad energética y poseer distintas hidroeléctricas, nos proyecta a un futuro en que los vehículos eléctricos serán muy rentables en el mercado del país, por lo que se presenta una alternativa al convertir un vehículo convencional a eléctrico, dependiendo de las necesidades de funcionamiento que está expuesto el vehículo. Al tener un vehículo eléctrico brinda un mayor confort de conducción, además ayuda a economizar el costo de mantenimiento de este, su consumo de combustible es menor relacionado al consumo de un vehículo convencional y es amigable con el medio ambiente.

La aplicación de nuevas tecnologías en la industria automotriz como es el caso de softwares de ingeniería avanzados permite a una industria automotriz a optimizar y reducir costos de prueba y error de diseños de prototipos de vehículos eléctricos que se quieran introducir en el mercado automotriz.

Uno de los problemas de los vehículos eléctricos es el costo de los packs de baterías y la limitación de su autonomía, con el diseño de una simulación se puede personalizar la energía que requiere un vehículo para desplazarse de acuerdo con la necesidad de su propietario ayudando a disminuir el costo de su vehículo eléctrico.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Realizar la 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.

1.5.2. Objetivos específicos

- Investigar en fuentes de información acerca de los principales parámetros de conversión mediante temas relacionados con el proyecto.
- Utilizar un vehículo liviano de combustión interna de entre 1000 a 2000 c.c, que no supere el tipo de peso liviano menor o igual a 3.5 toneladas para su conversión.
- Obtener y calcular los parámetros necesarios requeridos para la ciudad de Latacunga y geografía del Ecuador tanto para la modelación 3D y para la modelación en Matlab.
- Realizar un cuadro comparativo de los componentes del kit de conversión.
- Seleccionar los componentes en función a kits de conversión para el vehículo eléctrico que se producen en otros países y que sean factibles disponerlos en el mercado.
- Modelar el vehículo seleccionado, los componentes del kit de conversión e implementar en el vehículo mediante el software SolidWorks.
- Analizar las gráficas obtenidas de acuerdo al diseño de la simulación en el software Matlab Simulink.
- Determinar la factibilidad de implementación del sistema de propulsión eléctrica.

1.6. Metas

- Obtener un modelo simulado del sistema de propulsión de un vehículo eléctrico a través de un software especializado para ser implementados en vehículos automotores con un 90% de fiabilidad.

1.7. Hipótesis

La conversión de vehículos de combustión interna a eléctricos proporciona mejores prestaciones considerando la geografía ecuatoriana, así como ahorro en costos de mantenimiento y combustible.

1.8. Variables de la investigación

1.8.1. *Variable independiente*

Sistema eléctrico de propulsión de movimiento

1.8.2. *Variable dependiente*

Software especializado

1.9. Operacionalización de variables

1.9.1. Variable independiente

Tabla 1

Operacionalización de la variable independiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Son los componentes para la conversión de un vehículo convencional a eléctrico.	Batería de alto voltaje	Voltaje	V	Simulación	Guía metodología
		Intensidad	A	Simulación	Guía metodología
		Energía	kWh	Simulación	Guía metodología
		Potencia	kW	Simulación	Guía metodología
	Motor eléctrico	Torque	Nm	Simulación	Guía metodología
		Voltaje	V	Simulación	Guía metodología
	Controlador motor eléctrico	Potencia	kW	Simulación	Guía metodología
		Voltaje	V	Simulación	Guía metodología
	Convertidor DC/DC	Potencia	kW	Simulación	Guía metodología
		Voltaje	V	Simulación	Guía metodología
	Cargador a bordo	Voltaje	V	Simulación	Guía metodología
		Corriente	A	Simulación	Guía metodología
		Potencia	kW	simulación	Guía metodología

1.9.2. Variable dependiente

Tabla 2

Operacionalización de la variable dependiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es la modelación y simulación de un vehículo eléctrico	Señales de entrada	Velocidad	m/s	Simulación	Guía metodología
		Tiempo	S	Simulación	Guía metodología
		Densidad del aire	k/m ³	Simulación	Guía metodología
		Área frontal del vehículo	m ²	Simulación	Guía metodología
		Coefficiente aerodinámico	-	Simulación	Guía metodología
		Coefficiente de rodadura	-	Simulación	Guía metodología
		Masa del vehículo	kg	Simulación	Guía metodología
		Gravedad	m/s ²	Simulación	Guía metodología
		Inclinación de pendiente	rad	Simulación	Guía metodología
		Relación de transmisión	-	Simulación	Guía metodología
	Señales de salida	Potencia mecánica	kW	Simulación	Guía metodología
		Torque	Nm	Simulación	Guía metodología
		Potencia eléctrica	kW	Simulación	Guía metodología
		Energía de consumo	kWh	Simulación	Guía metodología
		Voltaje	V	Simulación	Guía metodología
		Corriente	A	Simulación	Guía metodología
		SOC	%	Simulación	Guía metodología
		Distancia recorrida	Km	Simulación	Guía metodología
		Aceleración	m/s ²	Simulación	Guía metodología

1.10. Metodología de la investigación

Para la investigación se utiliza diversos métodos y técnicas generales para las diversas ramas de la ciencia, para el proceso de investigación se basa en procedimientos con mayor o menor énfasis, al momento de su desarrollo los métodos que se aplican son comparativo, experimental, matematización, modelación, medición, científico, inductivo y deductivo para el desarrollo de la investigación.

1.10.1. Método Comparativo

Para la investigación el método comparativo, permitió establecer las similitudes y diferencias: de motores eléctricos, controlador de motor eléctrico, baterías de alta tensión, convertidor DC/DC, cargador del vehículo y vehículos eléctricos existentes en nuestro país.

1.10.2. Método Experimental

Con la ayuda de este método se realizó pruebas para obtener el coeficiente de rodadura que se genera al momento de desplazarse entre el neumático y la carretera de acuerdo a la variación de velocidad respecto a una variación de tiempo y el coeficiente de arrastre aerodinámico generado en un túnel de viento con ayuda del software SolidWorks.

1.10.3. Método de Matematización

Este método se utilizó para construir un modelo matemático con ecuaciones de la dinámica del vehículo y parámetros de voltaje, amperaje de la batería de alta tensión.

1.10.4. Método de Modelación

Este método se usó para reproducir el comportamiento de un vehículo eléctrico con su respectiva simulación tanto en 3D como en diagrama de bloques para explicar su funcionamiento en tiempo real.

1.10.5. Método de Medición

Mediante el método de medición se obtuvo valores numéricos de la potencia (mecánica, eléctrica), torque, consumo de energía, distancia, velocidad, aceleración, el estado de carga de la batería y la fuerza total de tracción en tiempo real, en un determinado ciclo de conducción con su variación de pendiente.

1.10.6. Método Científico

En la investigación el método científico permitió tabular lo experimentado en base al coeficiente de rodadura, variación de la pendiente para determinar la autonomía de la batería.

1.10.7. Método Inductivo

Este método permitió estimar el desgaste de la carga de la batería de alta tensión y el efecto de la potencia de acuerdo con la variación de tiempo en un determinado ciclo de conducción. Que permitieron seleccionar un motor eléctrico y una batería de alta tensión para la conversión de un vehículo convencional a eléctrico.

1.10.8. Método Deductivo

El análisis deductivo permitió analizar según resultados obtenidos en el diseño de la simulación mediante el uso de software especializado dando como resultado las curvas de

potencia (mecánica, eléctrica), torque, consumo de energía, distancia, velocidad, aceleración, el estado de carga de la batería y la fuerza total de tracción en tiempo real las cuales servirán para interpretar su funcionamiento y seleccionar sus respectivos componentes.

Tabla 3

Metodología de investigación

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Comparativo	Para la investigación el método comparativo, permitió establecer las similitudes y diferencias: de motores eléctricos, controlador de motor eléctrico, baterías de alta de tensión, convertidor DC/DC, cargador del vehículo y vehículos eléctricos existentes en nuestro país	Computador, Microsoft Excel	Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE
Experimental	Con la ayuda de este método se realizó pruebas para obtener el coeficiente de rodadura que se genera al momento de desplazarse entre el neumático y la carretera de acuerdo a la variación de velocidad respecto a una variación de tiempo y el coeficiente de arrastre aerodinámico generado en un túnel de viento con ayuda del software SolidWorks.	Computador, Microsoft Excel, Software SolidWorks	Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE
Matematización	Este método se utilizó para construir un modelo matemático con ecuaciones de la dinámica del vehículo y parámetros de voltaje, amperaje de la batería de alta tensión.	Computador, software Matlab Simulink	Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE
Modelación	Este método se usó para reproducir el comportamiento de un vehículo eléctrico con su respectiva simulación tanto en 3D como en diagrama de bloques para explicar su funcionamiento en tiempo real.	Computador, software de simulación Matlab Simulink, SolidWorks	Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Medición	Mediante el método de medición se obtuvo valores numéricos de la potencia (mecánica, eléctrica), torque, consumo de energía, distancia, velocidad, aceleración, el estado de carga de la batería y la fuerza total de tracción en tiempo real, en un determinado ciclo de conducción con su variación de pendiente.	Computador, software Matlab Simulink	Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE
Científico	En la investigación el método científico permitió tabular lo experimentado en base al coeficiente de rodadura, variación de la pendiente para determinar la autonomía de la batería. Este método permitió estimar el desgaste de la carga de la batería de alta tensión y el efecto de la potencia de acuerdo a la variación de tiempo en un determinado ciclo de conducción. Que permitieron seleccionar un motor eléctrico y una batería de alta tensión para la conversión de un vehículo convencional a eléctrico.	Computador, software Matlab Simulink, Microsoft Excel	Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE
Inductivo	Este método permitió estimar el desgaste de la carga de la batería de alta tensión y el efecto de la potencia de acuerdo a la variación de tiempo en un determinado ciclo de conducción. Que permitieron seleccionar un motor eléctrico y una batería de alta tensión para la conversión de un vehículo convencional a eléctrico.	Computador, software Matlab Simulink,	Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE
Deductivo	El análisis deductivo permitió analizar según resultados obtenidos en el diseño de la simulación mediante el uso de software especializado dando como resultado las curvas de potencia (mecánica, eléctrica), torque, consumo de energía, distancia, velocidad, aceleración, el estado de carga de la batería y la fuerza total de tracción en tiempo real las cuales servirán para interpretar su funcionamiento y seleccionar sus respectivos componentes.	Computador, software Matlab Simulink,	Laboratorio de Autotrónica - Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE

Capítulo II

2. Marco teórico

2.1. Vehículos Eléctricos

“Un coche eléctrico es un vehículo impulsado por uno o más motores eléctricos que utilizan la energía almacenada en baterías recargables y la transforma en energía mecánica”.
(Trashorras Montecelos, 2019, pág. 2)

La diferencia que destaca entre un vehículo eléctrico y uno convencional es su sistema de propulsión, que es generado por medio de motores eléctricos, mientras que los vehículos convencionales de combustión interna funcionan quemando combustible fósil, generando una emisión directa de contaminantes.

Según (Ros Marin & Barrera Doblado, 2017) menciona que:

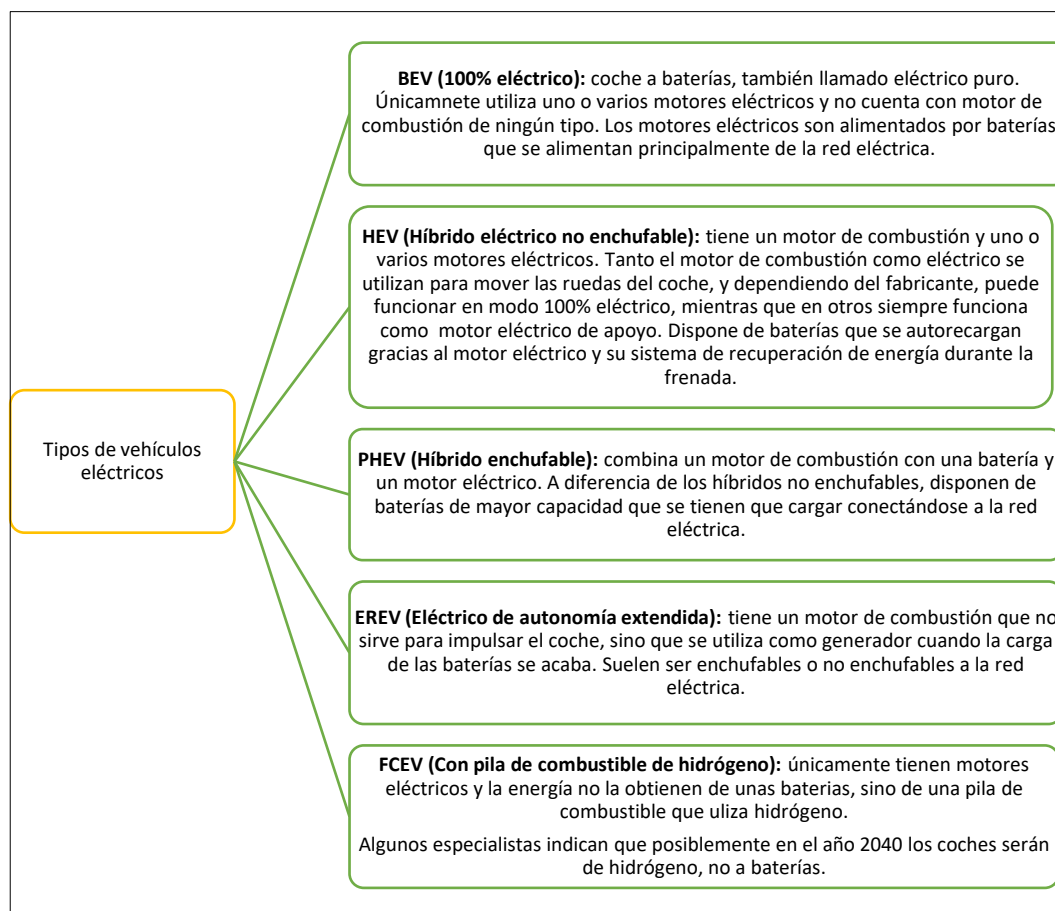
La combustión de hidrocarburos en los motores térmicos produce vapor de agua (H₂O) y dióxido de carbono (CO₂) como residuos directos. También, y en menor medida, se emiten compuestos tóxicos como son: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), hidrocarburos (H_xC_x), etcétera.

Los motores eléctricos brindan las mismas prestaciones que el motor de combustión interna, haciendo un lado la generación de contaminantes, además son silenciosos al momento de su funcionamiento, una ventaja es que no poseen muchos componentes mecánicos por lo que el mantenimiento de estos no es muy complejo.

2.1.1. Clasificación de Vehículos Eléctricos

Figura 2

Tipos de vehículos eléctricos



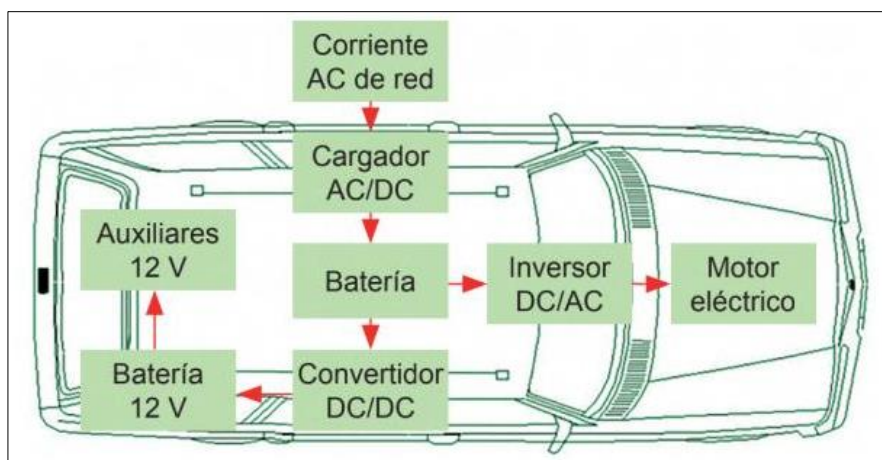
Nota: Tomado de (Trashorras Montecelos, 2019)

2.2. Kit de componentes del vehículo eléctrico

El vehículo eléctrico está constituido por diferentes elementos que permiten la conversión de energía, el almacenamiento y carga de la misma. A continuación, se detalla los elementos principales que necesita el vehículo para su correcto funcionamiento.

Figura 3

Esquema básico de un vehículo eléctrico



Nota: Tomado de (Trashorras Montecelos, 2019)

2.2.1. Motores eléctricos

Un motor es un receptor, que al ser alimentado mediante una corriente eléctrica sea esta alterna o continua, produce un movimiento giratorio en su eje que, a través de los acoplamientos mecánicos adecuados, se aprovecha para efectuar diferentes trabajos en el sector industrial y doméstico. (Martín Castillo & García García, 2016)

En el mercado existen varios tipos de motores eléctricos que se implementa a los automóviles, el fabricante del vehículo eléctrico realiza un estudio de prueba y error para determinar el motor adecuado que satisfaga el ciclo de conducción establecido para un vehículo, sea este en un sector urbano o rural.

2.2.2. Inversor DC/AC

La energía que se presenta en un vehículo eléctrico puede ser de forma continua o alterna. (Simon, 2019) Menciona que:

Los inversores sirven para transformar la corriente continua que cede la batería principal en corriente alterna, por lo que este equipo es el que permite que se pueda alimentar el motor en corriente alterna del coche eléctrico gracias al uso de baterías, que almacenan la energía en forma de corriente continua.

Figura 4

Inversor



Nota: Tomado de (Vidal Pastor, Mas Fito, & González López, 2014)

2.2.3. Convertidor DC-DC

“Es la transformación de DC de tensión constante a DC de tensión fija o variable. Sirve para variar la tensión que recibe una carga alimentada en continua”. (Sociedad de Técnicos de Automoción, 2011, pág. 61)

Reduce el voltaje de forma precisa, lo que permite que la electricidad se use para aplicaciones distintas de la conducción. El convertidor DC/DC baja la tensión de alimentación de la batería de alto voltaje. 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 Montecelos, 2019)

Varios accesorios del vehículo como: luces, radio, plumas, etc., están determinados para funcionar con 12V, en un vehículo eléctrico los voltajes que se manejan son demasiados altos por lo que se implementa un convertidor DC/DC en el automóvil para reducir estos voltajes y permitir el funcionamiento adecuado.

2.2.4. 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 cuya misión es convertir la corriente alterna de la red eléctrica en corriente continua para poder ser almacenada en las baterías. (Trashorras Montecelos, 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 Montecelos, 2019)

Figura 5

Cargador a bordo Nissan Leaf 2011



Nota: Tomado de (Augeri, 2019)

2.2.5. Baterías de alta tensión

Las baterías o paquete de batería, en los vehículos híbridos y eléctricos son considerados el componente principal del sistema. En los autos híbridos, el sistema de Batería y Motor Eléctrico, complementan el motor de combustión interna. Sin embargo, en los vehículos eléctricos, la batería juega el papel principal, y su mal funcionamiento afecta la operación completa del auto. Las baterías en vehículos híbridos y eléctricos son diferentes dependiendo su 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)

La tendencia en baterías de coche eléctrico es la de ir a voltajes más altos. Esto es debido, en parte, a conseguir tiempos de carga menores y aumentar las prestaciones del

sistema de potencia. Algunos fabricantes consideran que a partir de los 120 V DC es alto voltaje para una batería. Las tensiones de una batería de alta tensión de un coche eléctrico son muy variadas (125 V, 220 V, 288 V, 360 V, 385 V Y 400 V, entre otras) (Trashorras Montecelos, 2019)

2.2.6. Tipo de baterías según su química

Existen tres tipologías de baterías, atendiendo a su química, cuyo desarrollo actual las hace adecuadas para alimentar el motor de un coche eléctrico: las baterías de Plomo-Ácido, las baterías de Metal-Níquel y, finalmente, las baterías de Ion-Litio. (Artés, 2012)

2.2.7. Baterías de Plomo-Ácido

Son la opción de bajo coste, y se han utilizado durante décadas para arrancar nuestros motores de combustión. Entre sus ventajas, además del bajo coste y estandarización universal, se encuentran su buena potencia específica (W/kg), buen comportamiento en un amplio rango de temperaturas, buena retención de la carga en el tiempo y son relativamente fáciles de reciclar. Sólo pueden almacenar unos 40 Wh/kg, una densidad energética muy pobre como se verá más adelante. (Artés, 2012)

Entre las distintas características que poseen estas baterías se puede destacar las siguientes:

- Su bajo costo de adquisición.
- Voltaje por celda medio (2V)
- Eficiencia inferior al 100%
- Baja durabilidad

La (Sociedad de Técnicos de Automoción, 2011), afirma que:

Debido a la existencia de tecnologías con características más apropiadas para el uso en vehículos, las baterías de plomo-ácido ya no se suelen utilizar en vehículos eléctricos, aunque todavía hay algún fabricante que las mantiene en alguno de sus modelos eléctricos, aprovechando su bajo coste y fácil manipulación. (p.83)

2.2.8. Baterías de Níquel-Metal

Su potencia específica es correcta, su ciclo de vida largo y no presentan problemas medioambientales, mientras que tienen un alto índice de descarga en periodos de inactividad (pierden el 30% de la carga en un mes paradas) y su coste de producción es algo elevado por incorporar tierras raras en el electrodo positivo. Sus 60 Wh/kg las hace superiores a las de Plomo-Ácido, pero las mantiene todavía a cierta distancia del Litio, que, no en vano, es el más ligero de los elementos de la tabla periódica que no es un gas a temperatura ambiente. (Artés, 2012)

Las características que se puede recalcar de esta batería son:

- Costo más elevado a comparación que las Ni-Cd
- Poseen una densidad de energía superior
- No requiere mantenimiento
- Posee una potencia específica inferior a Ni-Cd

2.2.9. Baterías de Ion-Litio

Existen muchas variedades, parecen estar llamadas a prevalecer, pues sus características técnicas más importantes mejoran sustancialmente a las dos opciones anteriores,

si bien introducen también algún que otro problema en la ecuación. Su voltaje, densidad energética, potencia específica, carga utilizable, eficiencia de recarga y ciclo de vida son muy superiores a las de sus dos rivales, al tiempo que su índice de descarga es mucho menor. (Artés, 2012)

Figura 6

Batería de Ion de Litio



Nota: Tomado de (Sanz, 2011)

Las características a resaltar en estas baterías son:

- Adquiere un voltaje por celda muy elevado (3,7V)
- Su peso es reducido y tiene una densidad energética alta
- Brinda una elevada eficiencia
- Dispone de una baja auto descarga de hasta el 5%
- Ofrece una alta durabilidad

2.3. Ficha técnica

“En la ficha técnica se señalan las características constructivas homologadas y transformaciones más importantes del vehículo”. (Ferrer & Checa, 2010)

Cada vehículo fabricado bajo rigurosos estándares de calidad posee una ficha técnica en donde se encuentra las especificaciones del interior, exterior, capacidad, dimensiones, pesos y lo más importante las especificaciones técnicas del motor, la cual es una información importante para poder de identificar un vehículo.

Figura 7

Ficha Técnica

EQUIPAMIENTO/ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		LS	LT	LTZ
CHEVROLET AVEO® 2020		TM/TA	TM/TA	TM/TA
DIMENSIONES EXTERIORES (mm)				
Altura	1,502			
Ancho	1,735			
Distancia entre ejes	2,500			
Largo	4,300			
DIMENSIONES INTERIORES (mm)				
COMPARTIMIENTO DELANTERO (mm)				
Altura de asiento a techo	995			
Espacio para piernas	1,063			
COMPARTIMIENTO TRASERO (mm)				
Altura de asiento a techo	956			
Espacio para piernas	873			
CAPACIDADES (L)				
Capacidad de cajuela	368			
Capacidad de tanque de combustible	39			
MOTOR/CHASIS/MECÁNICO				
Motor: 4 cilindros, 1.5L MPFI, 16 válvulas, DOHC				
Potencia: 107 hp @ 6,000 rpm				
Torque: 104 lb-pie @ 4,000 rpm				
Transmisión manual de 5 velocidades				
Transmisión automática de 4 velocidades con modo manual				
Dirección electroasistida				
Suspensión delantera tipo McPherson*				
RENDIMIENTO DE COMBUSTIBLE COMBINADO*				
Transmisión manual	19.7 km/L			
Transmisión automática	19.3 km/L			
*Los valores de rendimiento de combustible (ciudad, carretera y combinado) se obtuvieron en condiciones controladas de laboratorio, que pueden no ser reproducibles ni obtenerse en condiciones y hábitos de manejo convencional, debido a condiciones climatológicas, topográficas, combustible y otros factores. Los valores de rendimiento de combustible y de emisiones de CO ₂ fueron obtenidos de conformidad con la metodología establecida en la NDM-163-SEMARNAT-ENER-2013.				
EQUIPAMIENTO INTERIOR				
Aire acondicionado con control de temperatura automático		○	●	●
Aire acondicionado con controles manuales		●	○	○
Asiento de conductor con ajuste de altura		○	○	●
Asientos traseros con 3 cabezeras ajustables		●	●	●
Computadora de viaje con indicador de economía de combustible		●	○	○
Computadora de viaje con indicador de economía de combustible y temperatura		○	●	●
Controles de audio al volante		○	●	●
Cristales delanteros y traseros eléctricos		●	●	●
Cristal del conductor con función "express down"		○	●	●
Pantalla de 4.2" con Bluetooth® / AUX / AM / FM / MP3 y USB		○	●	●
Radio AM/FM, reproductor MP3, entradas para USB y Aux-In y conexión Bluetooth®		○	●	●
Sistema de audio con 4 bocinas		●	●	●
Vestiduras de tela en color negro		●	●	○
Vestiduras de tela en color negro con insertos en tactpiel		○	○	●
Viseras con espejo de unidad para conductor		●	●	●
Volante de 3 brazos con ajuste de altura		●	●	●
EQUIPAMIENTO EXTERIOR				
Apertura remota desde la llave		○	●	●
Espejos laterales al color de la carrocería con ajuste eléctrico		●	○	○
Espejos laterales al color de la carrocería con ajuste eléctrico y calefactables		○	○	○
Faros de niebla frontales		○	○	○
Faros de niebla frontales con contorno cromado		○	○	○
Manijas exteriores al color de la carrocería		●	●	●
Parrilla de doble puerto con contorno cromado		○	○	●
Quemacocos eléctrico		○	○	○
Rines de acero de 14"		●	○	○
Rines de aluminio de 15"		○	●	●
SEGURIDAD				
2 bolsas de aire frontales para conductor y pasajero		●	●	○
4 bolsas de aire: 2 frontales y 2 laterales para conductor y pasajero		○	○	●
Alarma antirobo		○	○	●
Alerta preventiva de uso del cinturón de seguridad para conductor		●	○	○
Alerta preventiva de uso del cinturón de seguridad para conductor y pasajero		○	●	●
Anclajes en asiento trasero para asientos infantiles con sistema ISOFIX		●	●	●
Barros de protección lateral en puertas delanteras y traseras		●	●	●
Cinturones de seguridad de 3 puntos para todos los pasajeros y cinturones frontales con pretensionador		●	●	●
Columna de dirección colapsable en impacto frontal		○	●	●
Control de estabilidad StabiliTrak®		○	○	○
Inmovilizador que impide la ignición del motor sin la llave original		●	●	●
Llave con controles de apertura y cierre remoto		○	●	●
Seguros de puertas eléctricas sensibles a la velocidad y seguros para niños en las puertas traseras		○	●	●
Sensores de reversa auditivos para asistencia de estacionado		○	○	○
Sistema de frenado antibloqueo, ABS en las 4 ruedas y Distribución Electrónica de Frenado (EBD)		●	●	●
● Equipamiento de serie ○ No disponible				

Nota: Tomado de (Chevrolet, 2020)

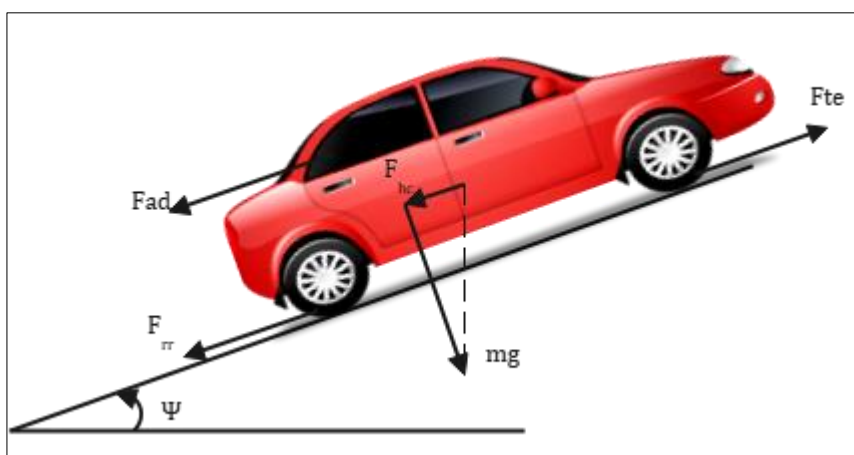
2.4. Dinámica del vehículo

(Rocha Hoyos, Tipanluisa, Reina, & Ayabaca, 2017) afirman que:

Una forma de entender la dinámica de un sistema es mediante un modelo matemático abstracto, el cual es a través de la aplicación de leyes físicas que rigen su comportamiento, el vehículo en pendiente tendrá que cumplir con la segunda Ley de Newton que plantea que la sumatoria de fuerzas en el eje x, es igual a la masa del cuerpo en movimiento por aceleración que el vehículo eléctrico tenga (p.31).

Figura 8

Fuerzas actuantes sobre el vehículo eléctrico



La dinámica de los vehículos resulta importante para los cálculos del consumo energético. Desde ella, se determinan las principales fuerzas y resistencias, que intervienen en el movimiento de un vehículo. (Vélez Loiza & Vera Vanegas, 2016)

Tabla 4

Parámetros para el cálculo del consumo energético

Parámetros	Descripción	Nomenclatura
Vehículo	Área frontal del vehículo [m ²]	[A]
	Coefficiente de aerodinámico [-]	[cd]
	Coefficiente de resistencia a la rodadura [-]	[fr]
	Masa del vehículo [kg]	[M]
	Radio dinámico [m]	[rd]

Ambientales	Densidad del aire [kg/m^2]	$[\rho]$
	Gravedad [m/s^2]	$[g]$
	Aceleración [m/s^2]	$[a]$
Operación	Pendiente [radianes]	$[\theta]$
	Tiempo [s]	$[t]$
	Velocidad [km/h]	$[V]$

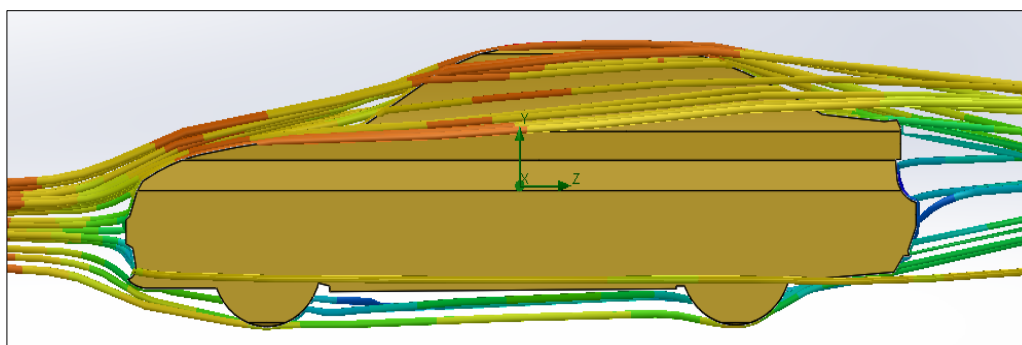
Nota: Tomado de (Zumba Álvarez, 2017)

2.4.1. Fuerza aerodinámica

La resistencia aerodinámica es generada por dos fuentes: una es el flujo de aire sobre el exterior de la carrocería del vehículo y la otra es el flujo a través del sistema del radiador del motor y del interior del vehículo con fines de enfriamiento, calefacción y ventilación. De los dos, el primero es el dominante, que representa más del 90% de la resistencia aerodinámica de un automóvil. (Wong, 2001, pág. 210)

Figura 9

Fuerza aerodinámica



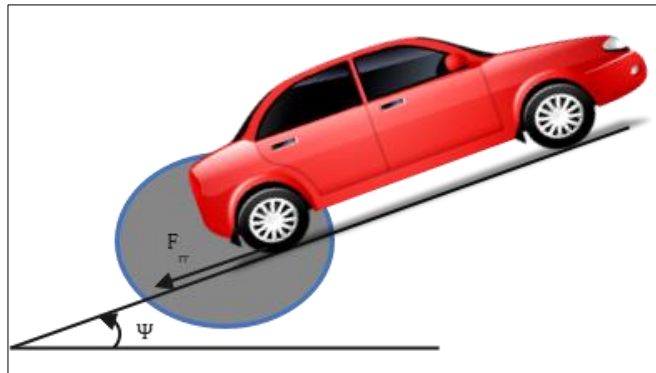
2.4.2. Fuerza de arrastre

La resistencia a la rodadura se debe principalmente a la fricción del neumático del vehículo en la carretera. La fricción en los cojinetes y el sistema de engranajes también juegan

su papel. La resistencia a la rodadura es aproximadamente constante y apenas depende de la velocidad del vehículo. Es proporcional al peso del vehículo. (Larminie & Lowry, 2003, pág. 184)

Figura 10

Fuerza de arrastre

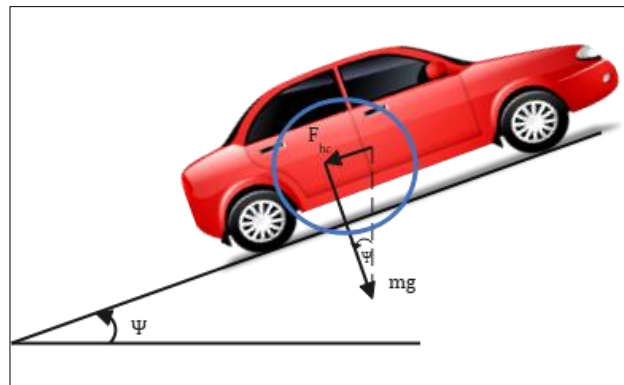


2.4.3. Fuerza en pendiente

Es la fuerza necesaria para impulsar el vehículo cuesta arriba es la más sencilla de encontrar. Es simplemente el componente del peso del vehículo que actúa a lo largo de la pendiente, (Larminie & Lowry, 2003, pág. 185).

Figura 11

Fuerza en Pendiente



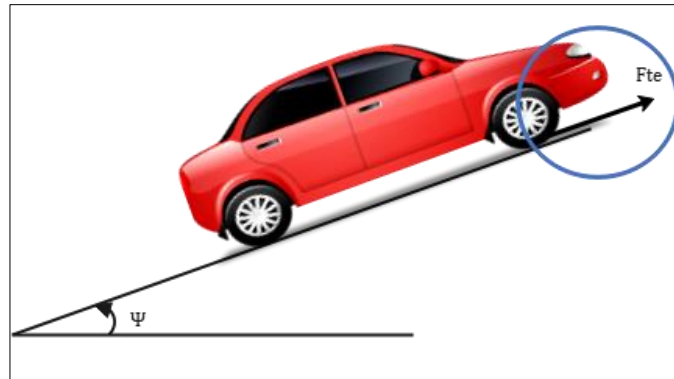
2.4.4. Fuerza neta

Cabe señalar que el movimiento de traslación del vehículo es acoplado al movimiento de rotación de los componentes conectados con las ruedas, incluido el motor y la línea de transmisión. Cualquier cambio de traslación de la velocidad del vehículo, por lo tanto, irá acompañada de un cambio correspondiente de la velocidad de rotación de los componentes acoplados con las ruedas. Tomar en cuenta el efecto de la inercia de las partes giratorias sobre la aceleración del vehículo. Se introduce un factor de masa Y_m en la ecuación: (Wong, 2001, pág. 251)

Y_m se puede determinar a partir de los momentos de inercia de las partes giratorias mediante, donde I_w es el momento de inercia de la masa de la rueda $I_1, I_2 \dots I_n$ son los momentos de inercia de masa de los componentes giratorios conectados con la línea de transmisión tener relaciones de transmisión $\epsilon_1, \epsilon_2 \dots \epsilon_n$ (Wong, 2001, pág. 252).

2.4.5. Fuerza de tracción

La fuerza de tracción es la sumatoria de todas las fuerzas que es transmitida al suelo a través de las ruedas que permiten el movimiento hacia adelante del vehículo para romper la inercia.

Figura 12*Fuerza de tracción***2.4.6. Potencia mecánica**

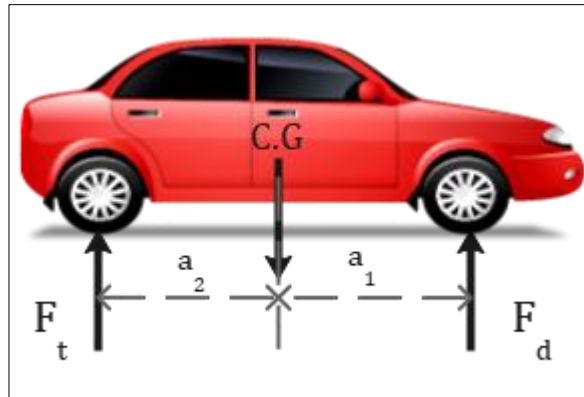
La potencia es igual al esfuerzo de tracción multiplicado por la velocidad. Usando las diversas eficiencias en el diagrama de flujo de energía, la energía requerida para moverse se calcula al vehículo durante un segundo. La energía necesaria para mover el vehículo durante un segundo es la misma que la potencia. (Larminie & Lowry, 2003, págs. 201,212)

2.4.7. Potencia eléctrica

Las ineficiencias del motor, el controlador y el sistema de engranajes significan que en el motor la potencia no es la misma que la potencia de tracción y la potencia eléctrica requerida por el motor es mayor que la potencia de salida mecánica, (Larminie & Lowry, 2003, pág. 202).

2.5 Centro de gravedad

El centro de gravedad se considera como el punto en donde se encuentra su mayor peso, lo que quiere decir que si se cuelga al vehículo desde este punto se encontraría en equilibrio por motivo que el peso del lado izquierdo iguala al del lado derecho.

Figura 13*Diagrama del centro de gravedad*

La estabilidad del vehículo depende de la ubicación del centro de gravedad, entre mayor sea la altura de éste con respecto a la superficie terrestre el vehículo tiende a ser más inestable, mientras que si se encuentra más cercano se considera que dispone de mayor estabilidad.

2.6. Ciclos de conducción homologados

El fabricante de vehículos eléctricos entrega un dato que establece la autonomía que el vehículo posee, es obtenido por medio de ciclos de conducción homologados en pruebas de laboratorio en un banco dinamométrico que imita la circulación real del vehículo.

(Duque Sarmiento & Rocano Yunga, 2018) afirman que:

Los ciclos son una prueba donde se registran consumos de combustible y energía eléctrica del vehículo, además tienen un protocolo a seguir donde existen velocidades, paradas, distancias a recorrer, las cuales son aplicadas por un conductor al vehículo.

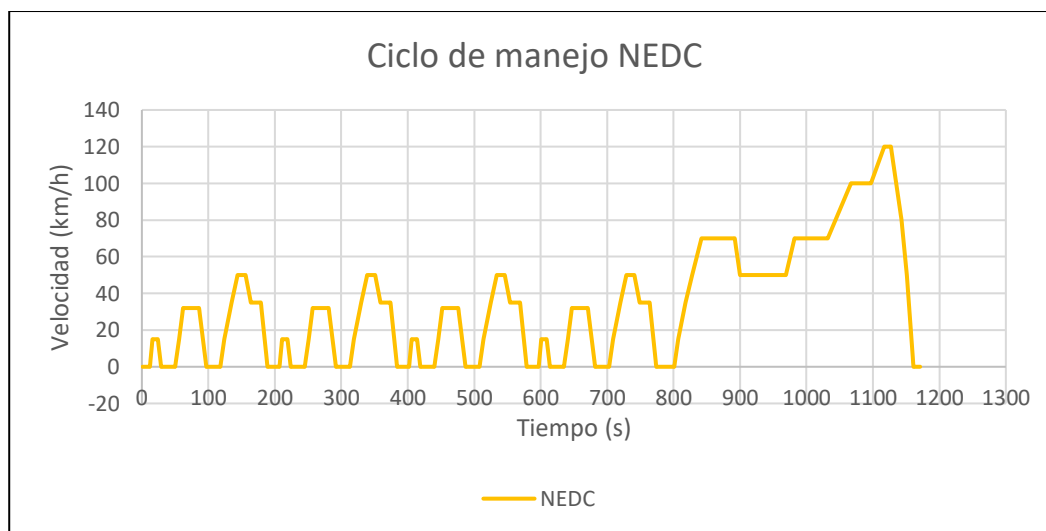
2.7. Ciclo de conducción NEDC

Sus iniciales significan New European Driving Cycle. Es el ciclo 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)

Es la distancia oficial que puede recorrer un coche eléctrico según las pruebas realizadas en base al protocolo de homologación New European Driving Cycle. Este protocolo ya no se utiliza porque sus resultados mostraban muchos desajustes con respecto a la autonomía real, pero muchos coches eléctricos todavía lo muestran como referencia. (López Redondo, Autonomía real, autonomía NEDC, autonomía WLTP... ¿conoces las diferencias?, 2018)

Figura 14

Ciclo de conducción NEDC



2.7.1. Ciclo NEDC, zona urbana

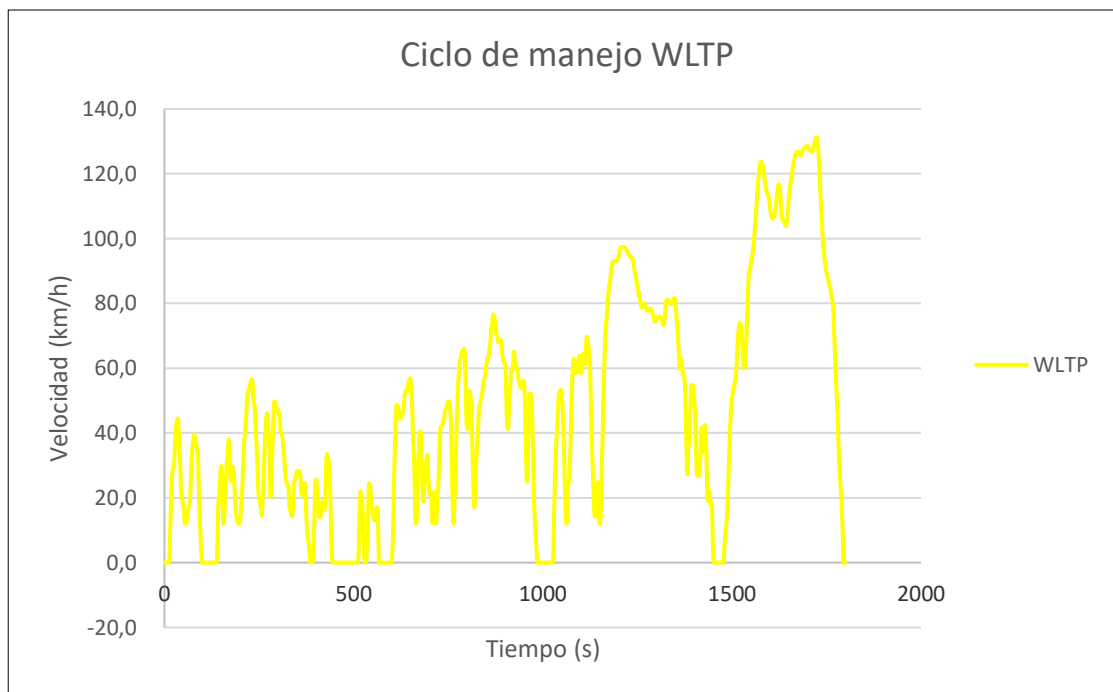
Este ciclo consta básicamente de aceleraciones, deceleraciones, periodos de velocidad constante (15 km/h, 35 km/h y 50 km/h) y ralentí. Con ello se busca conseguir una simulación parecida a la conducción en ciudad. La velocidad máxima alcanzada es de 50 km /h, obteniendo una velocidad media de 19 km /h y una distancia recorrida de aproximadamente cuatro kilómetros. Este ciclo urbano se repite cuatro veces, siendo la duración de cada una de 3 minutos y 15 segundos (Salva, 2012).

2.7.2. Ciclo NEDC, zona extraurbana

Este ciclo se lleva a cabo justo después del ciclo urbano, y consta de períodos con velocidad constante (50 km/h, 70 km/h, 100 km/h y 120 km/h) junto a aceleraciones y deceleraciones, además del ralentí. La velocidad máxima que se alcanza es de 120 km/h, con una velocidad media de 63 km/h y una distancia recorrida de unos siete kilómetros en aproximadamente 6 minutos de duración. (Salva, 2012)

2.8. Ciclo de conducción WLTP

Es el protocolo de homologación de consumos y emisiones en vigor desde el 1 de septiembre. Obliga a realizar pruebas más cercanas a la conducción real para que sus resultados también se ajusten más a la realidad. (López Redondo, Autonomía real, autonomía NEDC, autonomía WLTP... ¿conoces las diferencias?, 2018)

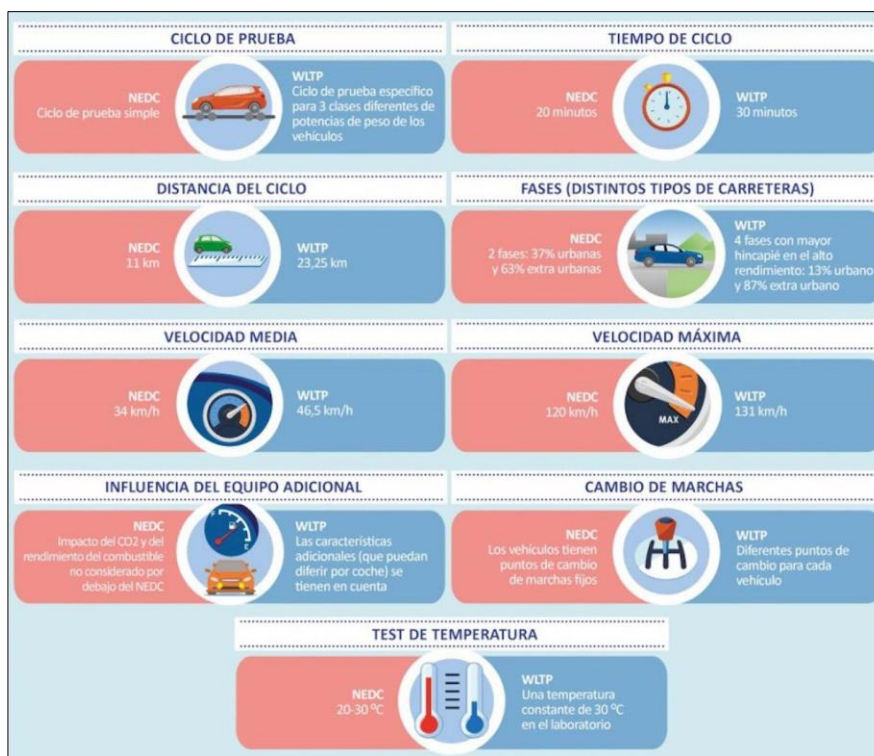
Figura 15*Ciclo de conducción WLTP*

WLTP son las siglas en inglés de Procedimiento Mundial Armonizado para Ensayos de Vehículos Ligeros. Este nuevo sistema de medición sustituye al Nuevo Ciclo de Conducción Europeo (NEDC, por sus siglas en inglés), diseñado en los años ochenta. (López Redondo, Todas las claves del WLTP, el nuevo protocolo de emisiones, 2018)

El cambio tiene por objetivo que los coches de nueva fabricación sean sometidos a pruebas de emisiones acordes a las nuevas tecnologías que montan y más cercanos a la realidad de la circulación diaria. (López Redondo, Todas las claves del WLTP, el nuevo protocolo de emisiones, 2018)

Figura 16

Características del ciclo WLTP y NEDC



Nota: Tomado de (López Redondo, Todas las claves del WLTP, el nuevo protocolo de emisiones, 2018)

2.9. Modelado dinámico y simulación

Existen diferentes softwares que permiten la realización del modelado de vehículos eléctricos, como pueden ser: MATLAB / Simulink, Powertrain, System Analysis Toolkit (PSAT), Advisor, entre otros.

(Alegre Buj, 2017) menciona que:

El 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. El modelo calcula las pérdidas de rendimiento

del motor, así como de otros elementos de la transmisión y cuenta con la alimentación de elementos auxiliares (p.190).

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
- Tipo de superficie, inclinación
- Datos climatológicos
- Componentes mecánicos y eléctricos
- Tipo de baterías

2.9.1 Tipos de licencias de Matlab

Matlab dispone de cuatro tipos de licencias con diferentes costos y condiciones de uso. La primera licencia es *standard* está dispone de diferentes condiciones de uso, la individual se puede instalar hasta cuatro computadoras diferentes, pero solo con un usuario designado, además no se podrá ejecutar el software en más de dos computadoras a la vez. El segundo tipo de licencia es la *Education*, el primer modo es de *Use Academic - Individual*; comparte las mismas condiciones uso de la licencia *standard* con la diferencia que solo puede usarse en una computadora a la vez y es utilizada por investigadores, docentes, personal que perteneciente a una institución que otorga títulos, el segundo modo es la de *Campus – Wide*, esta licencia solo dispone de los productos Matlab y Simulink, está al alcance de profesores, investigadores y

estudiantes la misma puede ser instalado en diferentes computadoras personales y de escritorio que pertenezcan a la universidad por lo que su uso es dentro y fuera de la institución.

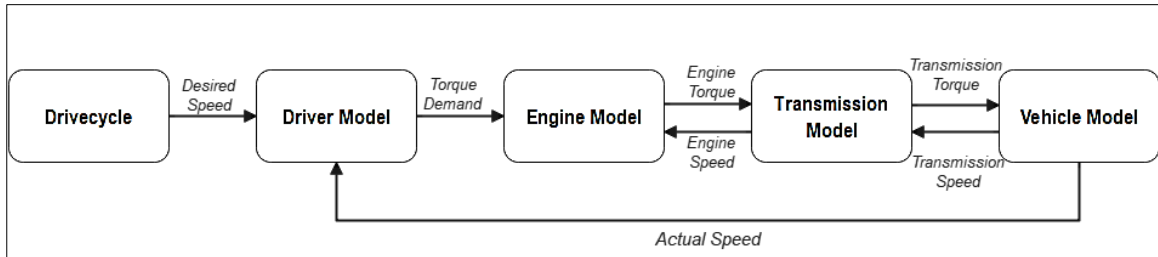
El tercer tipo de licencia es *Home* es de uso personal se puede instalar y ejecutar en dos computadoras a la vez, se puede complementar con hasta 50 productos adicionales de la misma manera el costo irá incrementando. El último tipo de licencia es *Student*, su paquete está constituido por Matlab, Simulink y por otros 10 productos más utilizados por los usuarios, el segundo paquete solo incluye Matlab, pero se puede adquirir más productos por separado.

2.10 Tipos de modelado en Matlab

2.10.1. Forward-facing vehicle model

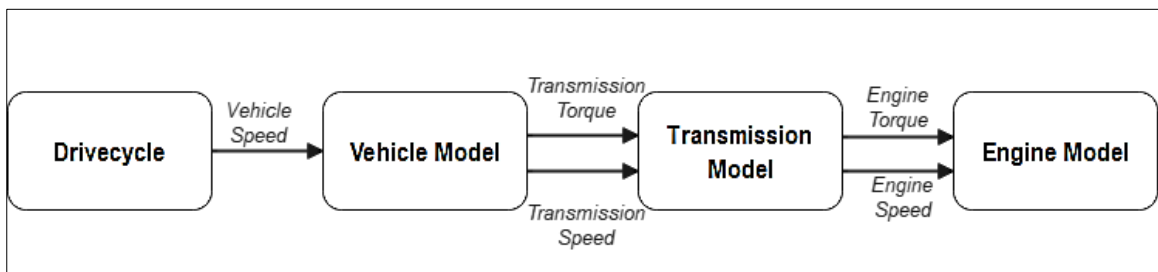
Los modelos orientados hacia adelante proporcionan información sobre la capacidad de conducción del modelo del vehículo, y captura los límites del sistema físico. También facilita el desarrollo y la implementación del control en los sistemas HIL. Sin embargo, con la presencia de múltiples ecuaciones de estado en un modelo típico orientado hacia adelante, la velocidad del vehículo (y posteriormente la velocidad angular del tren de transmisión) se calcula a través de la integración de múltiples estados, lo que resulta en la necesidad de correr La simulación en pasos de tiempo más pequeños. Esto da como resultado tiempos de simulación más largos en comparación con el modelo orientado hacia atrás. (Mohan, Assadian, & Longo, 2013)

Figura 17

Forward-facing vehicle model**2.10.2 Backward-facing vehicle model**

Los modelos orientados hacia atrás se basan en mapas de eficiencia que se crearon en base a datos de par y velocidad, y que generalmente se producen durante las pruebas del mundo real en estado estacionario. Esto hace que el cálculo sea relativamente más simple que los modelos orientados hacia adelante (esencialmente tablas de búsqueda en lugar de ecuaciones de estado) y, por lo tanto, puede ejecutarse en pasos de tiempo relativamente más largos. (Mohan, Assadian, & Longo, 2013)

Figura 18

Backward-facing vehicle model

Capítulo III

3. Modelación y simulación mecánica-eléctrica

3.1. Requerimientos iniciales para la simulación

3.1.1. Dinámica del vehículo

La dinámica del vehículo se enfoca en calcular las fuerzas que interactúan en el vehículo, las cuales se detallan a continuación: fuerza aerodinámica, fuerza de arrastre, fuerza en pendiente, fuerza neta, fuerza de tracción.

El vehículo que será tomado como ejemplo para la presente investigación es un SUZUKI FORZA I, los parámetros que se tomarán en cuenta del vehículo son:

- Área frontal del vehículo.
- Coeficiente aerodinámico.
- Coeficiente de resistencia a la rodadura.
- Masa del vehículo.

3.1.2. Cálculo de fuerza aerodinámica

La ecuación para obtener el valor de la fuerza aerodinámica es:

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

Ecuación 1. Fuerza Aerodinámica

Nota: (Larminie & Lowry, 2003, pág. 185)

Donde:

F_{ad} = Fuerza aerodinámica. [N]

ρ = densidad del aire [kg/m³]

A= área frontal del vehículo. [m²]

C_d =Coeficiente aerodinámico.

V=Velocidad del vehículo. [m/s]

Dado que se necesita obtener un valor de densidad del aire se utiliza la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{P}{RT}$$

Ecuación 2. *Densidad del Aire*

Nota: (Atkins & Jones, 2006, pág. 138)

Donde:

P= Presión atmosférica [Pa]

T= Temperatura promedio del calentamiento [°C].

R= Constante de gas aire seco

Para calcular el área frontal del vehículo se necesita las dimensiones de ancho y alto, que se encuentra especificadas en la ficha técnica, una vez conseguido los datos se procede a calcular:

$$A = bxh$$

$$A = 1,55 [m] \times 1,35 [m]$$

$$A = 2,09 [m^2]$$

La densidad del aire que se va a calcular es de la ciudad de Latacunga, para lo cual se debe tomar en cuenta la presión atmosférica de la ciudad de Latacunga tiene un valor 102800 Pascales y la temperatura promedio de la ciudad de Latacunga es de 16 °C, con los datos necesarios se procede a realizar la Ecuación [2]:

$$\rho = \frac{102800 \text{ [Pa]}}{287 \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°K}} \right] * (16 + 273) [\text{°K}]}$$

$$\rho = 1,28 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

El coeficiente de aerodinámico se puede obtener de dos maneras como se detalla a continuación:

Mediante tablas del manual de mecánica GTZ, en cual nos indica un coeficiente de penetración o coeficiente aerodinámico y el otro es mediante una modelación 3D del vehículo en SolidWorks.

Se opta por utilizar el método de simulación en SolidWorks ya que nos da un coeficiente aerodinámico más real.

En este proceso se dibuja el vehículo Suzuki Forsa I en modelado 3D, se crea un túnel de viento virtual en él software, que automáticamente calculará la fuerza aerodinámica.

Figura 19

Fuerza aerodinámica con túnel de viento

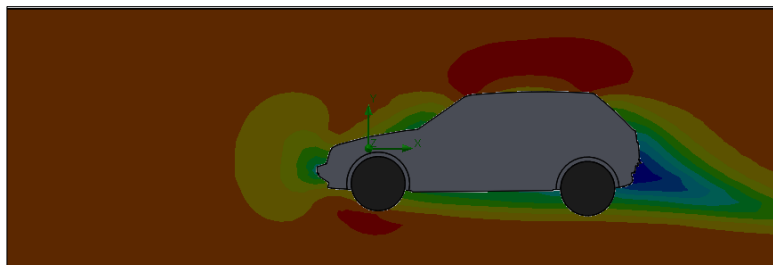


Figura 20

Curva de la fuerza aerodinámica

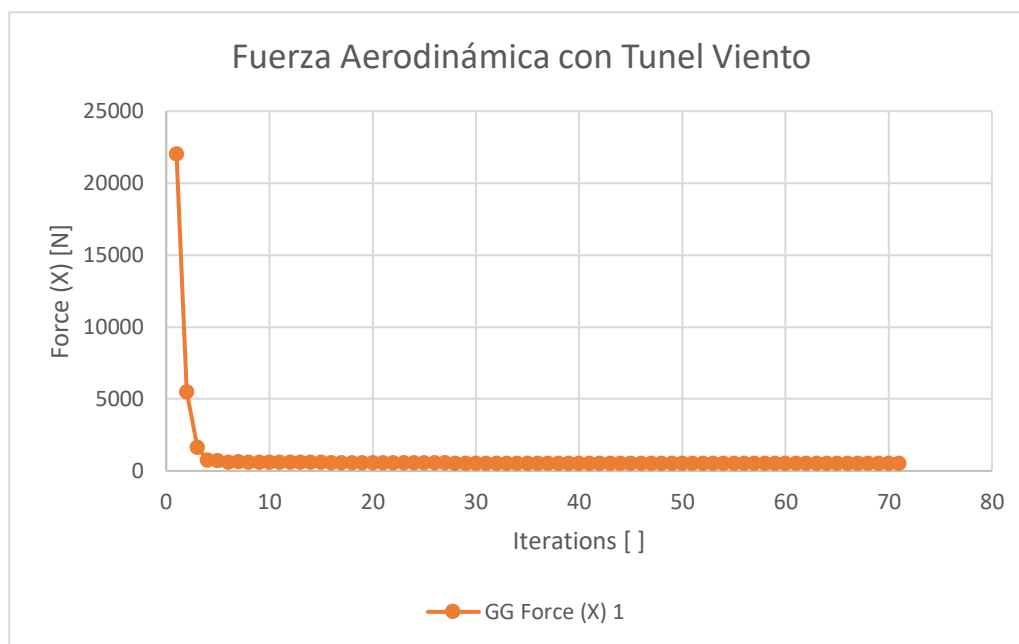


Tabla 5

Fuerzas calculadas por el software SolidWorks

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
GG Force (X) 1	[N]	515,3130755	521,4395349	515,3130755	529,8301758

Una vez obtenido el resultado de la fuerza aerodinámica mediante la simulación se procede a despegar C_d de la Ecuación [1], obteniendo:

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

$$C_d = \frac{2 * 521,44 \left[\frac{kg * m}{s^2} \right]}{1,28 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 2,0925 [m^2] * (33 \left[\frac{m}{s} \right])^2}$$

$$C_d = 0,358$$

Con los datos obtenidos se resuelve la Ecuación [1], se obtiene:

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \left(1,28 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \right) * (2,09 [m^2]) * 0,36 * (13,89 \left[\frac{m}{s} \right])^2$$

$$F_{ad} = 92,90 [N]$$

Tabla 6

Velocidad con respecto a la Fuerza Aerodinámica

V [Km/H]	V [m/s]	F _{ad} [N]
0	0	0
15	4,17	8,37
30	8,33	33,41
50	13,89	92,90
80	22,22	237,75
100	27,78	371,62

3.1.3. Cálculo de fuerza de arrastre

La ecuación para obtener la fuerza de arrastre es:

$$F_{rr} = \mu_{rr} * m * g * \cos \Psi$$

Ecuación 3. *Fuerza de arrastre*

Nota: (Larminie & Lowry, 2003, pág. 184)

Donde:

F_{rr} = Fuerza de arrastre [N]

U_{rr} = Coeficiente de fricción a la rodadura.

m = Masa total [m]

g = Gravedad [m/s^2]

Ψ = Ángulo de la pendiente [rad]

$$a = \frac{\Delta v}{t}$$

Ecuación 4. Aceleración

Nota: (Hibbeler, 2010, pág. 7)

Donde:

a = Aceleración

Δv = Variación de velocidad

t = Tiempo

$$\Sigma F = m * a$$

Ecuación 5. Sumatoria de fuerzas

Nota: (Hibbeler, 2010, pág. 409)

Donde:

ΣF = Sumatoria de fuerzas

m = Masa

a = Aceleración

Para el cálculo de la fuerza de arrastre es necesario el coeficiente de rodadura que se puede obtener de la siguiente forma:

Mediante una prueba de campo que consta de acelerar el vehículo hasta que llega a una velocidad de 20 km/h, se deja de acelerar y se toma el tiempo que tarda en desacelerar a 15 km/h el vehículo.

Este procedimiento se realiza 15 veces para obtener una lista de datos y sacar una media del tiempo de desaceleración, con el cual se obtiene la aceleración del vehículo.

Tabla 7

Valores de desaceleración

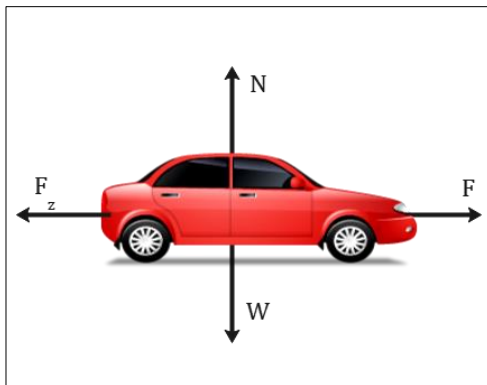
Datos	Tiempo norte-sur [s]	Tiempo sur-norte [s]
1	6,46	6,60
2	6,26	5,60
3	5,63	5,99
4	6,11	6,06
5	5,20	5,53
6	5,44	5,66
7	6,00	5,00
8	6,00	4,81
9	4,88	4,94
10	5,93	5,20
Promedio parcial	5,79	5,54
Promedio general	5,67 [s]	

Para calcular la aceleración se utiliza la Ecuación [4]:

$$a = \frac{5,56 \left[\frac{m}{s} \right] - 4,17 \left[\frac{m}{s} \right]}{5,67 [s]}$$

$$a = 0,245 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

El cálculo del coeficiente de fricción entre el asfalto y el neumático se lo realiza mediante el diagrama de cuerpo libre:

Figura 21*Diagrama de cuerpo libre del vehículo*

Resolviendo la Ecuación [5], tenemos:

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F - Fr = 0$$

$$F = Fr$$

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

$$\Sigma F_y = 0$$

$$N - W = 0$$

$$N = m * g$$

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

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

$$\mu_{rr} = \frac{0,245 \left[\frac{m}{s^2} \right]}{9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right]}$$

$$\mu_{rr} = 0,0245$$

Con el coeficiente de arrastre obtenido se procede a reemplazar los valores en la Ecuación [3]:

$$F_{rr} = 0,02 * 1150 [kg] * 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$F_{rr} = 225,63 [N]$$

3.1.4. Cálculo de la fuerza en pendiente

La ecuación para obtener la fuerza en pendiente es:

$$F_{hc} = m * g * \sin \Psi$$

Ecuación 6. Fuerza en pendiente

Nota: (Larminie & Lowry, 2003, pág. 185)

Donde:

F_{hc} = Fuerza en pendiente [N]

m = Masa total [m]

g = Gravedad [m/s^2]

Ψ = Ángulo de la pendiente [rad]

Para obtener la fuerza en pendiente se debe considerar el peso neto vehicular de 1333,75 [kg], la gravedad de 9.81 [m/s^2] y el ángulo de la pendiente de 0.15 [rad]. Este ángulo es el promedio de la pendiente que existe entre las ciudades Latacunga-Quito, Latacunga-Ambato y Latacunga-Riobamba.

Reemplazando los datos obtenidos en la Ecuación [6]:

$$F_{hc} = 1150[kg] * 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right] * \sin 0,1531$$

$$F_{hc} = 1720,45 [N]$$

3.1.5. Cálculo de la fuerza neta

La ecuación para obtener la fuerza neta es:

$$F_{nt} = Y_m * m * a$$

Ecuación 7. Fuerza neta

Nota: (Wong, 2001, pág. 251)

Donde:

F_{nt} = Fuerza neta [N]

Y_m = Factor de masa

m = Masa total [m]

a = Aceleración del vehículo. [m/s²]

Se debe calcular Y_m en vehículos de turismos el factor de masa se obtiene con la ecuación:

$$Y_m = 1,04 + 0,0025 * (\epsilon_{caja} * \epsilon_{Dif})^2$$

Ecuación 8. Factor de masa

Nota: (Wong, 2001, pág. 252)

Donde:

ϵ_{caja} = Relación de transmisión de la caja de cambios

ϵ_{Dif} = Relación de transmisión del diferencial

Las relaciones se las obtuvo desarmando la caja de cambios y el diferencial del vehículo, con los valores obtenidos se procede a reemplazar en la Ecuación [8]:

$$Y_m = 1,04 + 0,0025 * (3,41 * 4,10)^2$$

$$Y_m = 1,1456$$

Obtenido el valor de Y_m se reemplaza en la Ecuación [7]:

$$F_{nt} = 1,145 * 1150 [kg] * 0 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$F_{nt} = 0 [N]$$

La fuerza neta es de cero, por motivo que el análisis se está asumiendo que el vehículo está en equilibrio.

3.1.6. Cálculo de la fuerza de tracción

La ecuación para obtener la fuerza de tracción es:

$$F_{te} = F_{ad} + F_{rr} + F_{hc} + F_{nt}$$

Ecuación 9. Fuerza de tracción

Nota: (Larminie & Lowry, 2003, pág. 187)

Se reemplaza todas las fuerzas calculadas anteriormente en la Ecuación [9]:

$$F_{te} = 92,90 [N] + 225,63[N] + 1720,45[N] + 0[N]$$

$$F_{te} = 3038,98 [N]$$

3.1.7. Cálculo de la potencia mecánica

La potencia mecánica requerida para el vehículo se la obtiene con la siguiente ecuación:

$$P_{mec} = F_{te} * v_{max}$$

Ecuación 10. Potencia mecánica

Nota: (Larminie & Lowry, 2003, pág. 201)

Donde:

P_{mec} = Potencia mecánica.

F_{te} = Fuerza de tracción [N].

v_{max} = Velocidad del vehículo [m/s].

Se reemplaza los valores en la Ecuación [10], se obtiene:

$$P_{mec} = 2038,98 [N] * 13,88 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$P_{mec} = 28,32 [KW]$$

3.1.8. Cálculo de la potencia eléctrica

Al dividir la potencia mecánica para una eficiencia se obtiene una potencia eléctrica la cual se muestra en la siguiente ecuación:

$$P_{elec} = \frac{P_{mec}}{Eficiencia\ del\ motor}$$

Ecuación 11. Potencia eléctrica

Nota: (Larminie & Lowry, 2003, pág. 202)

Donde:

P_{elec} = Potencia eléctrica.

P_{mec} = Potencia mecánica.

La eficiencia del motor se obtuvo a partir de la ficha técnica del motor, (EV West, 2020).

Una vez que se obtenido los datos se reemplaza en la Ecuación [11]:

$$P_{elec} = \frac{28,32[Kw]}{0.94}$$

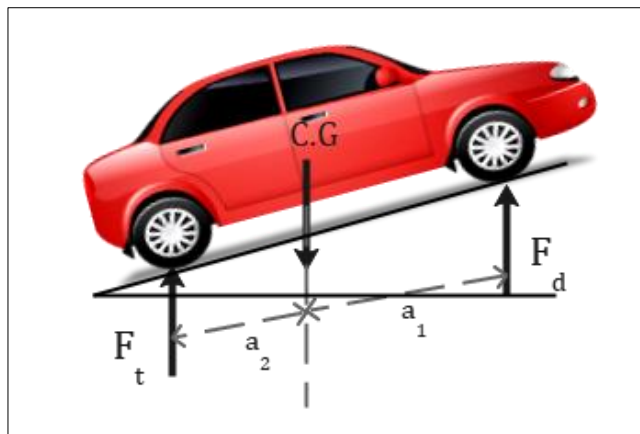
$$P_{elec} = 32,18 [Kw]$$

3.1.9. Cálculo del centro de gravedad

El centro de gravedad se va a calcular con la masa total que tendrá vehículo de combustión interna utilizando la sumatoria de momentos y la siguiente ecuación para determinar la altura:

Figura 22

Diagrama de altura CG



$$H = 0.23 + \frac{a_1 F_{z1} - a_2 F_{z2}}{mg} \cot \phi$$

Ecuación 12. *Altura del CG*

Nota: (Cardenas, 2015, pág. 70)

Donde:

H= Altura del centro de gravedad

a_1 = Distancia del eje delantero al centro de gravedad.

a_2 = Distancia del eje trasero al centro de gravedad

F_{z1} = Fuerza ejercida en el eje delantero

F_{z2} = Fuerza ejercida en el eje trasero

m= Masa del vehículo

g= Gravedad

ϕ = Ángulo formado por el eje longitudinal del vehículo y la calzada

$$\Sigma M_y = 0$$

Ecuación 13. *Sumatoria de momentos*

Nota: (Jazar, 2008, pág. 40)

$$l = a_1 + a_2$$

Ecuación 14. *Distancia entre ejes*

Nota: (Jazar, 2008, pág. 39)

Donde:

l= Distancia entre ejes

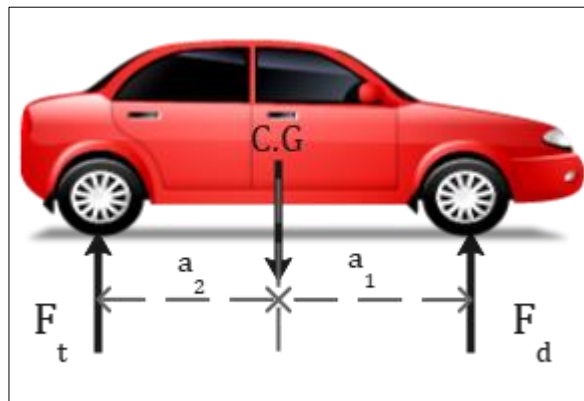
a_1 = Distancia del eje delantero al centro de gravedad

a_2 = Distancia del eje trasero al centro de gravedad

Para obtener las distancias del eje delantero y trasero se procede a realizar una sumatoria de momentos del siguiente diagrama:

Figura 23

Diagrama de cuerpo libre C.G



Donde:

F_t = Fuerza eje trasero

F_d = Fuerza eje delantero

m = Masa total

Resolviendo la Ecuación [13], se obtiene:

$$\Sigma M_y = 0$$

$$cg * a_1 = F_t * l$$

$$mg * a_1 = m_t g * l [m]$$

$$a_1 = \frac{590 [kg] * 2,25 [m]}{1150 [kg]}$$

$$a_1 = 1,15 [m]$$

Despejando el valor de a_2 se obtiene:

$$l = a_1 + a_2$$

$$2,25 [m] = 1,15 [m] + a_2$$

$$a_2 = 1,10 [m]$$

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación [12] se obtiene:

$$H = 0,27 + \frac{(1,15 [m] * 220 [kg]) - (1,10 [m] * 376,39 [kg])}{1150} * \cot(5,97)$$

$$H = 0,70 [m]$$

3.1.10. Cálculo de la energía de baterías

La energía que necesitará el vehículo está ligada a las condiciones de la carretera y a la distancia que necesita recorrer, tomando como referencia que un vehículo eléctrico consume 1 kW-h por cada 6 a 8 Km, se calcula un valor medio de distancia:

$$D_{med} = \frac{6 + 8}{2}$$

$$D_{med} = 7 \text{ km}$$

Se desea que el vehículo tenga una autonomía de 200km, para lo cual se realiza una regla de tres sabiendo que se consumirá 1 kW-h en una distancia de 7 km.

$$\begin{array}{ccc} \frac{7 \text{ km}}{200 \text{ km}} & \begin{array}{c} \leftarrow \\ \rightarrow \end{array} & \frac{1 \text{ kW} - \text{h}}{\text{Autonomía}} \\ \text{Autonomía} & = & \frac{200 \text{ km} * 1 \text{ kW} - \text{h}}{7 \text{ km}} \end{array}$$

$$\text{Autonomía} = 28,57 \text{ kW} - h$$

3.2. Diseño de la simulación en el software Simulink

A continuación, se presenta la simulación del vehículo eléctrico en el software Simulink, manejando las ecuaciones de estado planteadas anteriormente, acerca de la dinámica del vehículo. La simulación consta de tres partes:

- Simulación del ciclo de conducción NEDC.
- Simulación de la dinámica del vehículo.
- Simulación de la batería.

Una vez encontrados, definidos las características que poseerá la simulación se realiza el diseño.

Figura 24

Diseño del VE en Matlab Simulink



Simulink trabaja por medio de funciones donde estas calculan un conjunto de datos de salida cuando se le proporcionó un conjunto de datos de entrada. Existen tres posibles definiciones de funciones:

- Function block
- Stateflow graphical function
- Stateflow MATLAB function

En el presente trabajo se va utilizar la simulación por medio de bloque de funciones, para que la simulación nos retorne los resultados de las ecuaciones de estado es necesario ingresar los datos que son requeridos por las ecuaciones de la dinámica del vehículo, con esto la simulación nos permite observar el comportamiento del vehículo eléctrico y obtener como resultado el consumo de energía, la potencia requerida para completar un ciclo de conducción.

Tabla 8

Datos del vehículo Suzuki Forsa 1

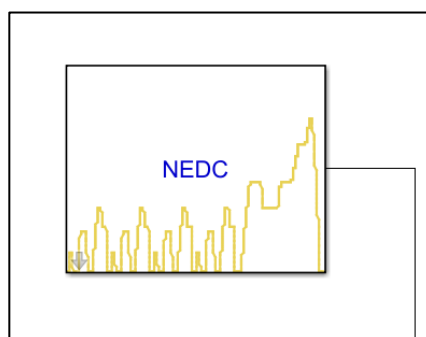
Datos del vehículo Suzuki forsa 1		
Denominación	Valor	Unidad de medida
Área frontal del vehículo	2,09	m ²
Peso	1150	Kg
Angulo de pendiente	15,3	%
Coefficiente aerodinámico	0,4	-
Coefficiente de rodadura	0,02	-
Relación de diferencial	4,1	-
Relación de caja	3,41	-
Densidad del aire	1,28	Kg/m ³

3.2.1. Simulación del ciclo de conducción NEDC

Para la simulación del ciclo de conducción Simulink utiliza un **Simulink Block** en este bloque de Simulink permite producir varios ciclos de conducción homologados; utilizados para pruebas de consumo de energía, autonomía y emisiones de automóviles.

Figura 25

Drive Cycle Simulink



Como datos principales se puede destacar la distancia que recorre el vehículo al completar un ciclo, de la misma manera el tiempo que se demora este para culminar la distancia asignada.

Tabla 9

Valores importantes del NEDC

Descripción	Valor
Tiempo	1180
Distancia	11,007 [km]
Velocidad Máxima	120 [km/h]
Velocidad Media	33,21 [km/h]
Aceleración Máxima	1,06 [m/s ²]
Número de paradas	13

Nota: Obtenido de (Zhang & Mi, 2011)

Se debe tomar en cuenta que el ciclo de conducción se va a repetir por una cierta cantidad, para poder determinar la autonomía del vehículo.

3.2.2. Simulación de la dinámica del vehículo

En la simulación la fuerza aerodinámica se la calcula mediante la siguiente función:

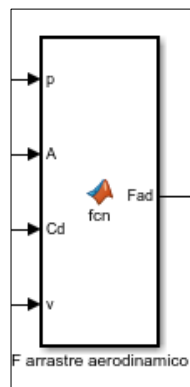
```
function Fad = fcn(p,A,Cd,v)
```

$$Fad = 1/2 * \rho * A * Cd * v^2;$$

Esta función calcula la fuerza aerodinámica que hace relación a la Ecuación [1].

Figura 26

Bloque de Función para la Fuerza Aerodinámica



Para la fuerza de arrastre se la calcula mediante la siguiente función:

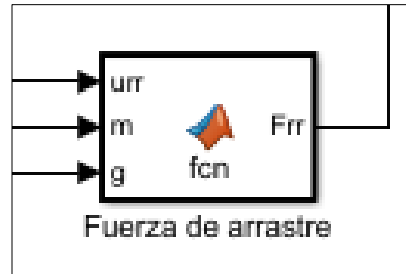
```
function Frr = fcn(urr,m,g)
```

$$Frr = urr * m * g;$$

Esta función calcula la fuerza de arrastre y hace referencia a la Ecuación [2].

Figura 27

Bloque de Función para la Fuerza de Arrastre



La fuerza en pendiente se calcula con la siguiente función:

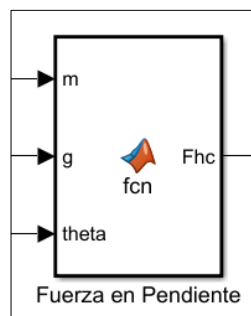
```
function Fhc = fcn(m,g,theta)
```

```
Fhc= m*g*sin(theta);
```

Esta función calcula la fuerza en pendiente y hace referencia a la Ecuación [3].

Figura 28

Bloque de Función para la Fuerza en Pendiente



La fuerza neta necesita el factor de masa y está vinculado a las relaciones de caja y transmisión, se realiza un bloque de función:

Selección de la relación de caja con respecto a la velocidad:

```
function Ecaja = fcn(V)
if V>= 0 && V<10.41
    Ecaja=3.41;
else
    if V>= 10.41 && V<18.79
        Ecaja=1.85;
    else
        if V>= 18.79 && V<27.80
            Ecaja=1.28;
        else
            if V>= 27.80 && V<=32.56
                Ecaja=1.09;
            else
                Ecaja=0.75;
            end
        end
    end
end
```

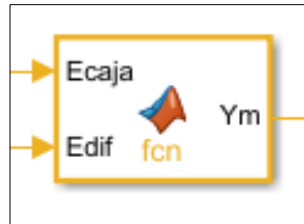
Función para calcular el factor de masa:

```
function Ym = fcn(Ecaja,Edif)
Ym = 1.04+0.0025*(Ecaja*Edif)^2;
```

Esta función calcula el factor de masa y hace referencia a la Ecuación [6].

Figura 29

Bloque de Función para el Factor de Masa



Una vez obtenido el factor de masa se utiliza la siguiente función para calcular la fuerza

neta:

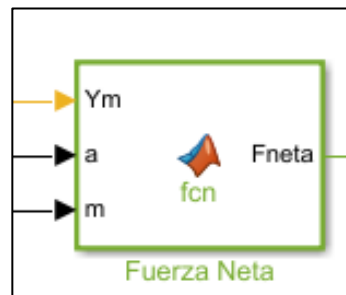
```
function Fnet = fcn(Ym,a,m)
```

```
Fnet = (Ym*a*m);
```

Esta función calcula la fuerza neta y hace referencia a la Ecuación [5].

Figura 30

Bloque de Función para la Fuerza Neta



El cálculo de la potencia mecánica se la realiza por el siguiente bloque de función:

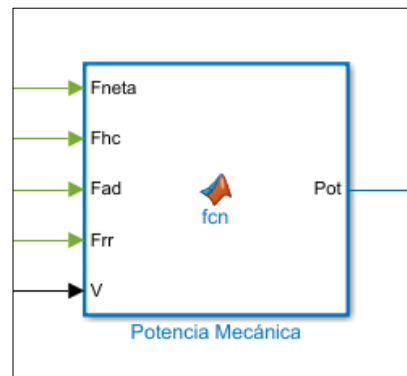
```
function Pot = fcn(Fnet,Fhc,Fad,Frr,V)
```

```
Pot=((Fnet+Fhc+Fad+Frr)*V)*0.9;
```


Esta función calcula la potencia mecánica del vehículo y hace referencia a la Ecuación [8]. Wong (2001) hace referencia que las transmisiones manuales tienen una eficiencia mecánica del (86 - 90%), por esta razón se toma el valor máximo como referencia para tener una potencia mecánica con pérdidas por componentes mecánicos.

Figura 31

Bloque de Función la Potencia Mecánica



El cálculo de potencia eléctrica se la realiza con la siguiente función:

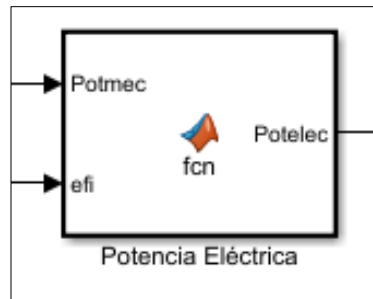
```
function Potelec = fcn(Potmec,efi)
```

```
Potelec = Potmec/efi;
```

Esta función calcula la potencia eléctrica y hace referencia a la Ecuación [9].

Figura 32

Bloque de Función Potencia Eléctrica



3.2.3. Simulación de la batería

Matlab posee una amplia gama de librerías en su biblioteca, una de estas nos permite crear un modelo dinámico de batería de los tipos más populares de baterías recargables. Para este proceso se importa un bloque de batería de ion-litio en el cual se ingresa los parámetros de la ficha técnica.

La batería de alto voltaje de Ion-Litio que se va a utilizar tiene las siguientes especificaciones:

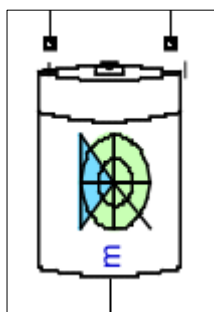
Tabla 10

Ficha técnica de la batería Ion-Litio.

N°	Descripción	Valores
1	Tensión nominal	115,92 [V]
2	Tensión mínima	72 [V]
3	Tensión máxima	131,4 [v]
4	Energía nominal	32,11 [kW]
5	Disponibilidad de energía	31.47 [kW]
6	Peso	239,8 [kg]
7	Capacidad nominal	277 [Ah]
8	Capacidad residual	221,6 [Ah]
9	Máxima corriente de carga	277 [Ah]
10	Descarga de corriente continua	277 [Ah]
11	Rango de funcionamiento	10 ~ 90 [%]
12	Dimensión L	1060 [mm]
13	Dimensión B	630 [mm]
14	Dimensión H	240 [mm]

Figura 33

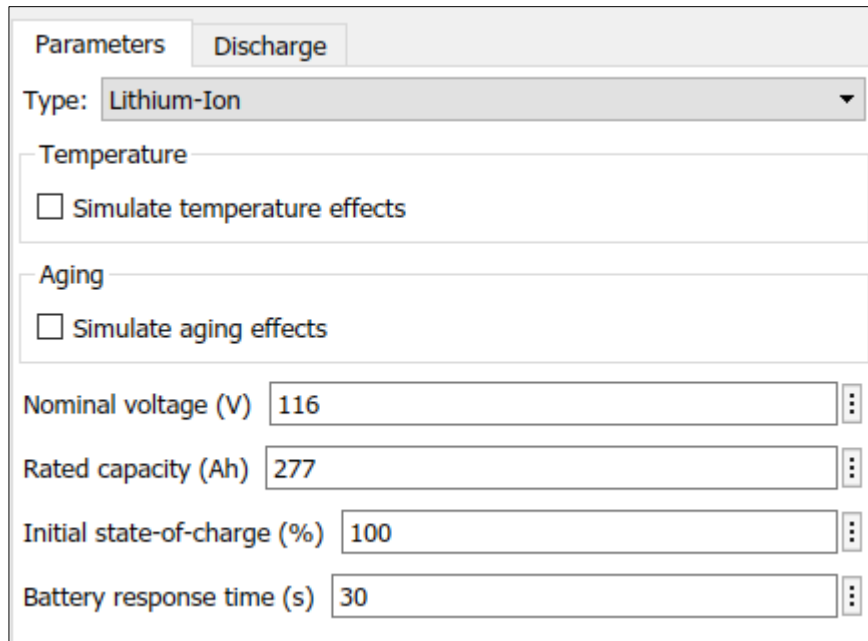
Bloque de batería



El modelo de batería utilizado posee tres puertos, el primero es un terminal positivo (+), el segundo un terminal negativo (-), y el tercero se le conoce como un vector de salida, el cual nos permite visualizar señales de temperatura, estado de carga, corriente, voltaje, antigüedad, etc., todos estos valores son referentes a la batería de Ion-Litio de alto voltaje.

Figura 34

Parámetros requeridos por el software



The image shows a software interface for configuring battery parameters. It features a 'Parameters' tab and a 'Discharge' sub-tab. The 'Type' is set to 'Lithium-Ion'. There are two checkboxes: 'Simulate temperature effects' and 'Simulate aging effects', both of which are unchecked. Below these are four input fields with numerical values: 'Nominal voltage (V)' is 116, 'Rated capacity (Ah)' is 277, 'Initial state-of-charge (%)' is 100, and 'Battery response time (s)' is 30. Each input field has a small icon to its right, possibly for help or validation.

Parameter	Value
Type	Lithium-Ion
Simulate temperature effects	<input type="checkbox"/>
Simulate aging effects	<input type="checkbox"/>
Nominal voltage (V)	116
Rated capacity (Ah)	277
Initial state-of-charge (%)	100
Battery response time (s)	30

El bloque de batería necesita de una parametrización antes de ejecutar la simulación, estos valores requeridos se pueden obtener mediante fichas técnicas o a su vez las curvas de descarga de la misma. Conociendo que el motor trabaja a un cierto régimen de corriente se crea un nuevo bloque con el cual se controlara la corriente.

3.3. Modelación en 3D del vehículo eléctrico con su kit de conversión.

Una vez seleccionado el kit de conversión se procede a realizar el modelado 3D del vehículo y los componentes en el software SolidWorks, en el cual se observa los espacios disponibles retirando el VCI para una futura colocación del kit eléctrico.

Figura 35

CAD del motor eléctrico

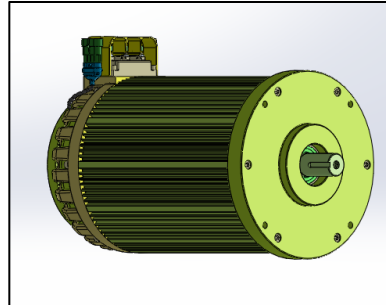


Figura 36

CAD controlador

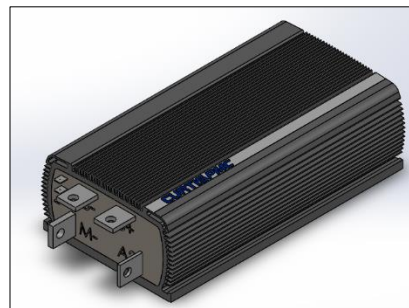


Figura 37

CAD convertidor

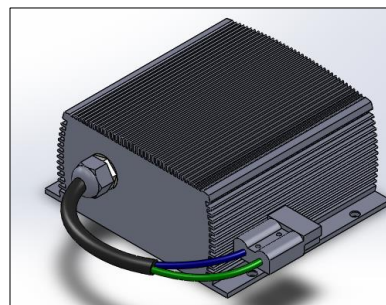


Figura 38

CAD Suzuki Forsa



Además, el diseño se realizó a base de características especiales de los vehículos eléctricos existentes en el mercado, donde los componentes son ubicados en sitios estratégicos para no afectar la estabilidad del vehículo.

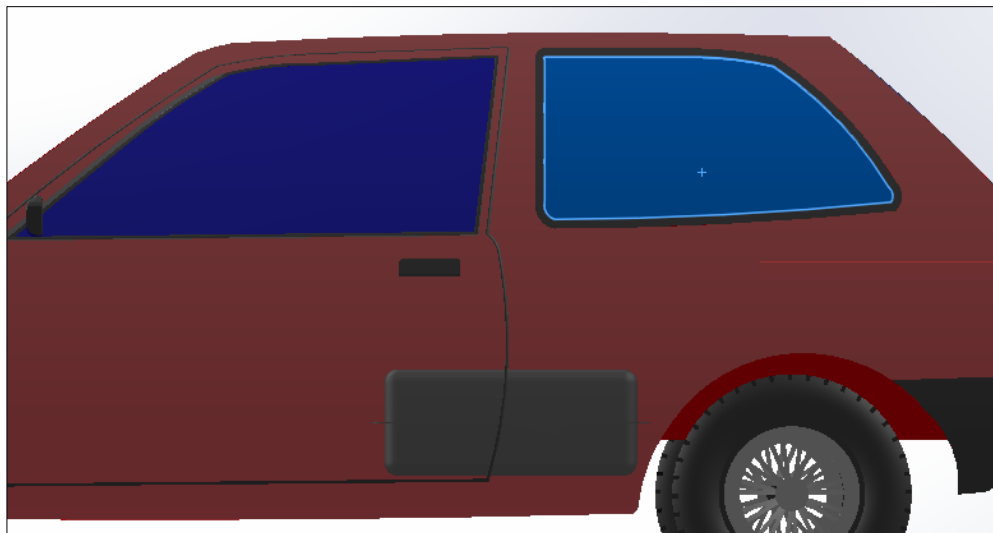
Figura 39

Ubicación del kit



Figura 40

Ubicación de la batería de alto voltaje



Cabe recalcar que por motivo que se utilizara la caja de cambios del vehículo se realizó el modelado con el cual se diseñó un acople para transmitir el movimiento y una base que permitirá unir el motor eléctrico con la caja de velocidades.

Figura 41

Unión motor eléctrico - caja de velocidades

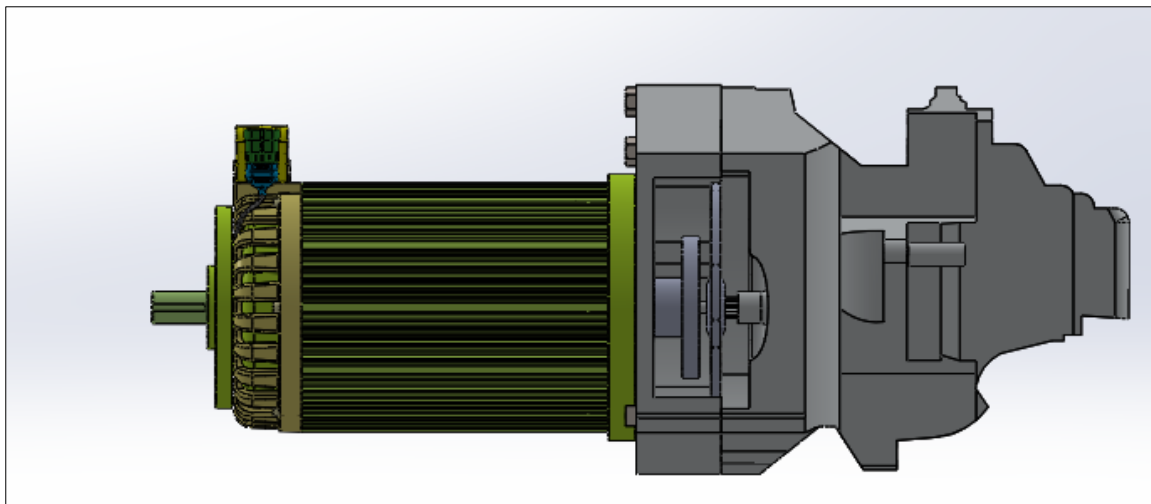
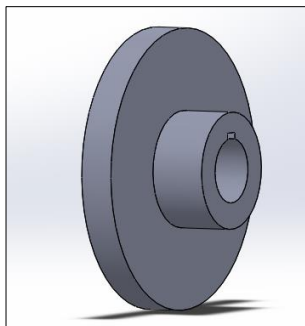


Figura 42*CAD acople*

Capítulo IV

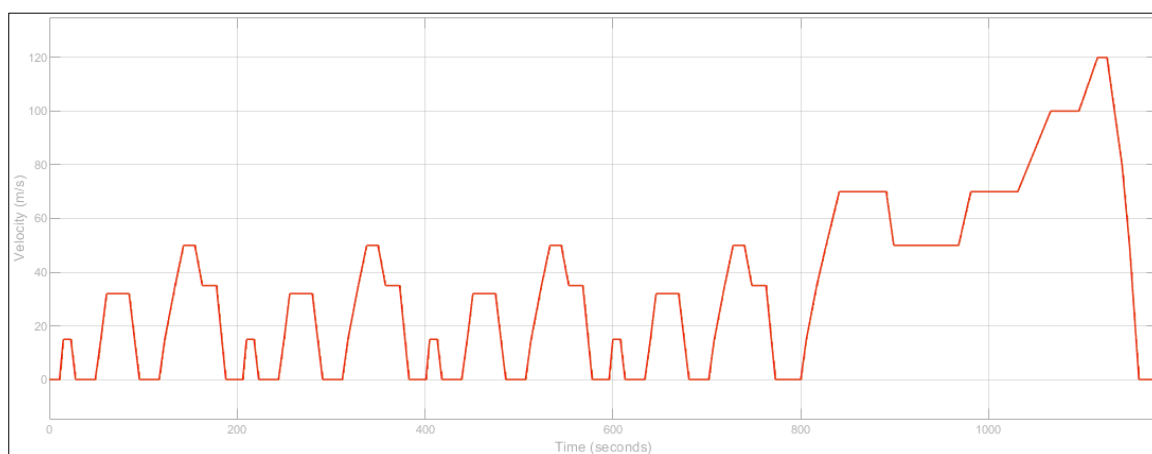
4. Análisis de resultados obtenidos en el software especializado matlab simulink

4.1. Análisis Matlab - Simulink

4.1.1 Velocidad vs Tiempo

Figura 43

Curva de velocidad respecto al tiempo



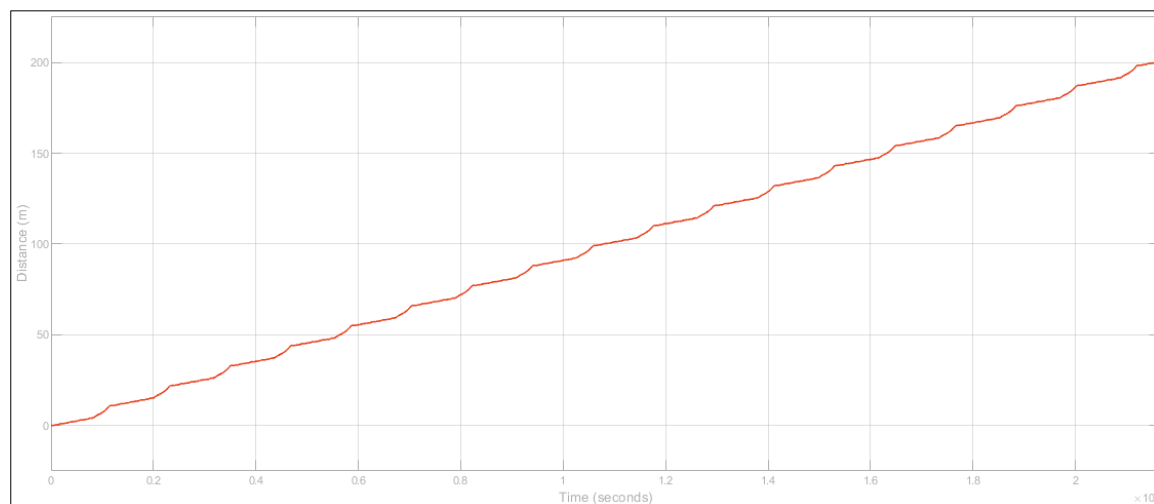
En la figura 34, se puede observar cómo funciona el ciclo de conducción NEDC en el vehículo y la velocidad que este dispone en relación al tiempo, como se conoce el ciclo está constituido por dos etapas, la primera consta de cuatro partes que representa el ciclo urbano en la cual presenta una variación de velocidad, teniendo un valor de 50 km/h como la velocidad máxima y 15 km/h como la más baja de este tramo. En la segunda etapa denominada extraurbana (Autopista) se observa que el vehículo tiende a un incremento de velocidad que llega a un pico de 120 km/h y una velocidad baja de 50 km/h.

4.1.2. Distancia vs Tiempo

Se conoce que el ciclo de conducción NEDC cuenta con una distancia de 11,007 Km, para realizar la simulación de autonomía se debe considerar una distancia de 200 km, por lo que el ciclo NEDC multiplicado por 18,2., dándonos como resultado un valor de 200,327 km. En la figura se puede observar la curva de distancia con respecto al tiempo.

Figura 44

Curva de distancia respecto al tiempo

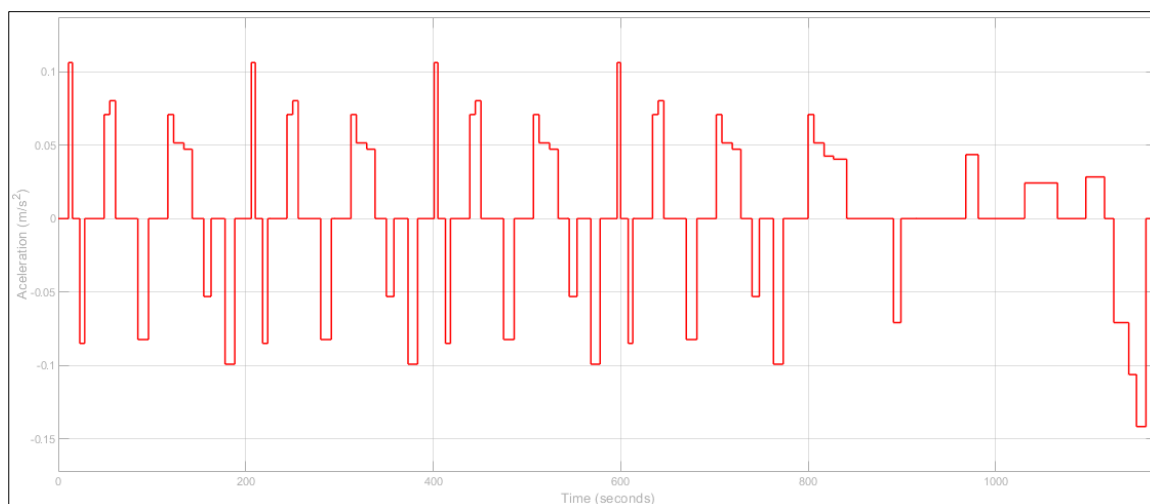


4.1.3. Aceleración vs Tiempo

Como se conoce el ciclo NEDC está constituido por cuatro partes urbanas y una extraurbana, en ellas existe variaciones de velocidad por ende va a tener aceleraciones como desaceleraciones durante todo el recorrido del ciclo como se observa a continuación:

Figura 45

Curva de aceleración respecto al tiempo



En la figura 36, se puede observar los valores máximos y mínimos de aceleración como de desaceleración, los cuales se detallan en la siguiente tabla para mejor entendimiento.

Tabla 11

Valores límites de aceleración

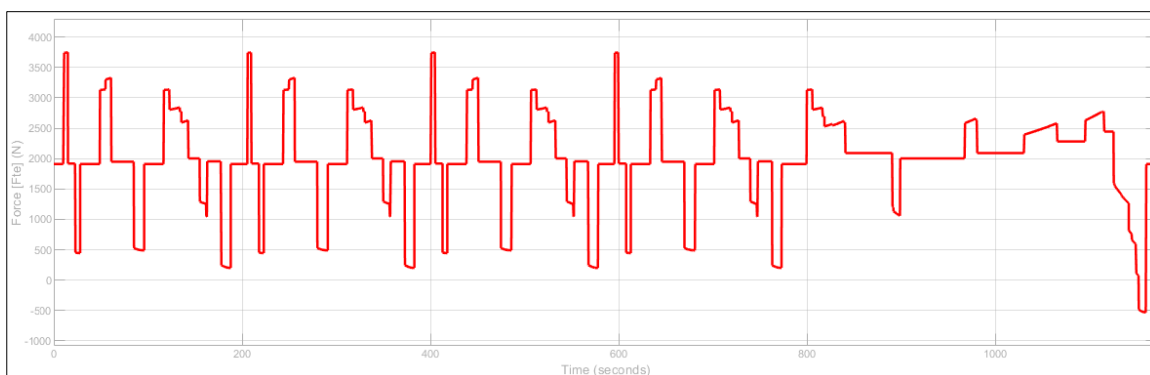
Parte del ciclo de conducción	Aceleración Máxima	Aceleración Mínima	Desaceleración Máxima	Desaceleración Mínima
Ciclo Urbano	1,06	0,47	-0,09	-0,053
Ciclo Extraurbano	0,07	0,024	-0,14	-0,07

4.1.4. Fuerza de tracción vs Tiempo

La fuerza de tracción fue calculada en base a nuestro ciclo de conducción, como se tiene entendido el ciclo de conducción tiene variaciones de velocidad como de aceleraciones, es por ello que el software nos arroja segundo a segundo la fuerza necesaria para que el vehículo se desplace a distintas condiciones de velocidad, se está simulando que el recorrido cuenta con una pendiente del 15,30%.

Figura 46

Curva de fuerza de tracción respecto al tiempo



Para entender mejor el comportamiento de la fuerza de tracción con relación a la velocidad y tiempo se analiza la siguiente tabla.

Tabla 12

Fuerza de tracción respecto a la velocidad

Velocidad [km/h]	Fuerza de tracción [N]
15	1918
35	1955
50	2003
70	2092
100	2281
120	2445

Se observa que mientras el vehículo aumente su velocidad para subir la pendiente se necesita mayor fuerza de tracción.

4.1.5. Potencia Mecánica vs Tiempo

La potencia mecánica es calculada al suponer que el vehículo circula en distintas condiciones de velocidad como son: 15, 35, 50, 70, 100 y 120 km/h; con pendiente de

inclinación del 15,3%. La gráfica generada por el sistema nos permitirá saber cuál es la potencia mínima que necesita el vehículo para que rompa inercia y logre subir la pendiente.

Figura 47

Curva de potencia mecánica respecto al tiempo

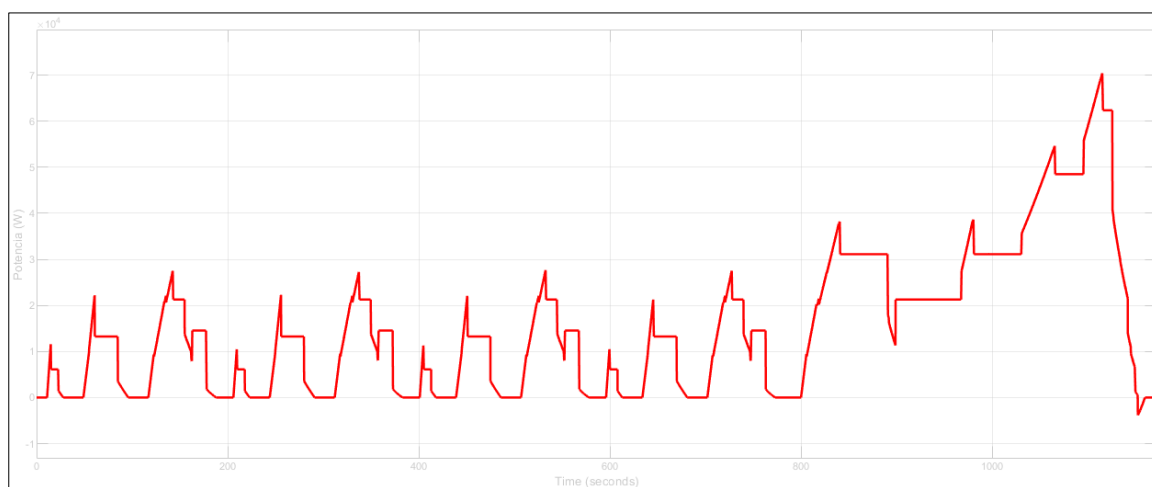


Tabla 13

Potencia Mecánica respecto a la velocidad

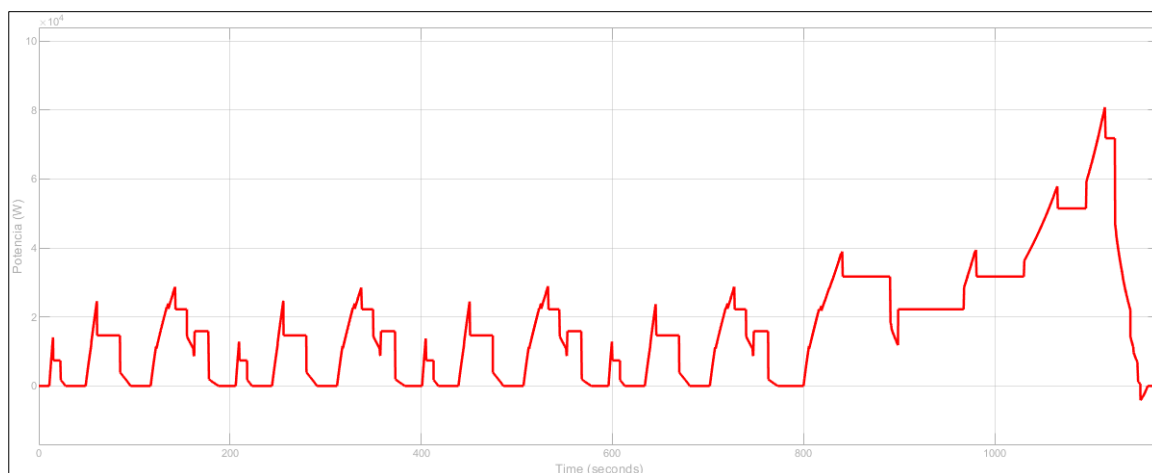
Velocidad [km/h]	Potencia Mecánica [kW]
15	6,11
35	14,54
50	21,28
70	31,12
100	48,48
120	62,34

4.1.6. Potencia Eléctrica vs Tiempo

Considerando que la potencia es la velocidad a la que se consume la energía, la simulación determina los valores necesarios del motor, para que el vehículo logre superar una pendiente de un determinado porcentaje, considerando diferentes condiciones de velocidad.

Figura 48

Curva de potencia eléctrica respecto al tiempo

**Tabla 14**

Potencia eléctrica respecto a la velocidad

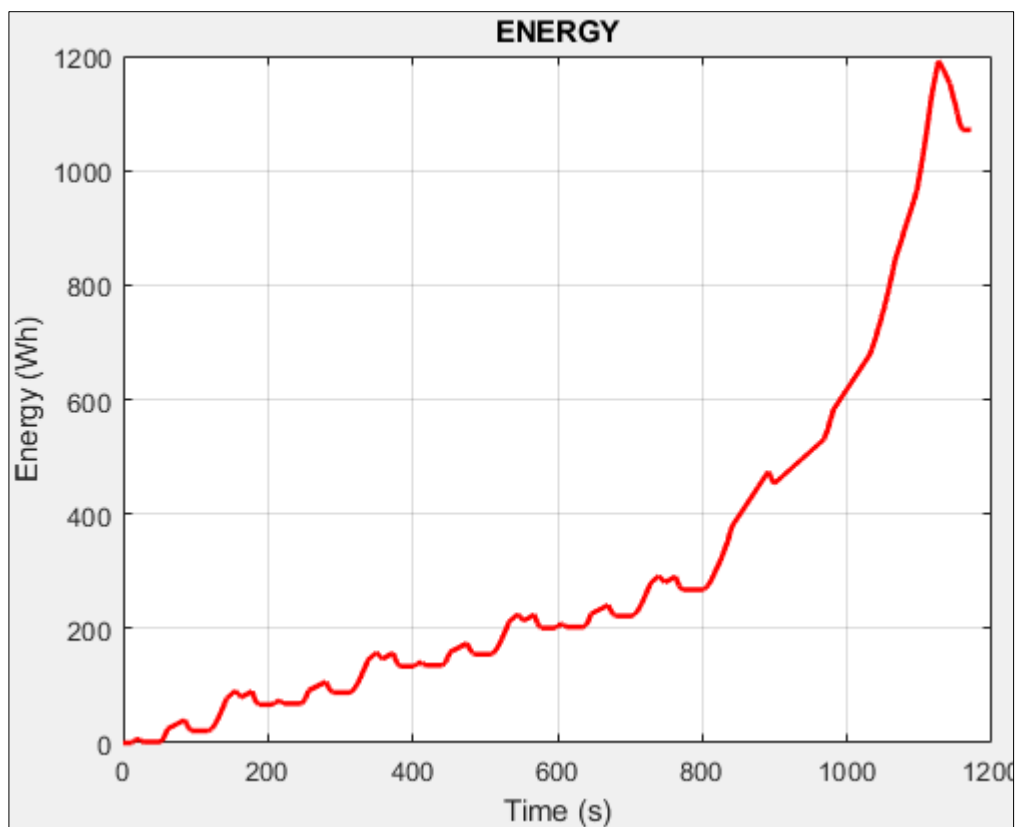
Velocidad [km/h]	Potencia Eléctrica [kW]
15	7,41
35	15,89
50	22,22
70	31,74
100	51,46
120	71,83

4.1.7. Energía vs Tiempo

La cantidad de energía que se necesita está liada con la distancia que se desea recorrer, la simulación entrega un valor de energía al cabo de un ciclo de conducción. Se desea que el vehículo debe recorrer una distancia de 200 Km que es igual a 18,17 ciclos NEDC, para lo cual se procede a realizar una regla de tres.

Figura 49

Curva de energía respecto al tiempo



Datos:

Energía = 1,07 kWh

Ciclos = 1

X=Autonomía

$$\frac{1,07 \text{ kWh}}{1 \text{ ciclos}} \quad \frac{X}{18,17 \text{ ciclos}}$$

$$X = \frac{18,17 \text{ ciclos} * 1,07 \text{ kWh}}{1 \text{ ciclos}}$$

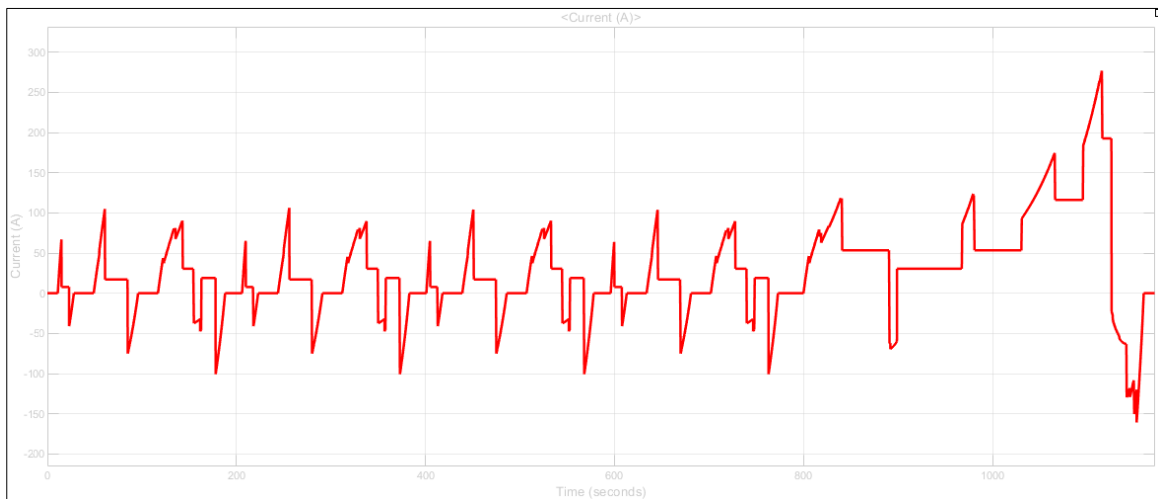
$$X = 19,44 \text{ kWh}$$

4.1.8. Corriente vs Tiempo

Considerada como la cantidad de carga que circula entre dos puntos, los valores de corriente que se divisa en un vehículo eléctrico son elevados, esto dependiendo de la velocidad con la que se quiera trasladar el conductor. En la siguiente imagen se presenta el comportamiento que tiene la corriente al cumplir el recorrido de un ciclo de conducción y como está variará con respecto a la velocidad y tiempo.

Figura 50

Curva de corriente respecto al tiempo



Se puede observar que cuando el vehículo se desplaza a mayor velocidad habrá un consumo mayor de corriente. En el siguiente cuadro se puede diferenciar el comportamiento, donde se relaciona el consumo de corriente con respecto a la velocidad:

Tabla 15

Consumo de corriente respecto a la velocidad

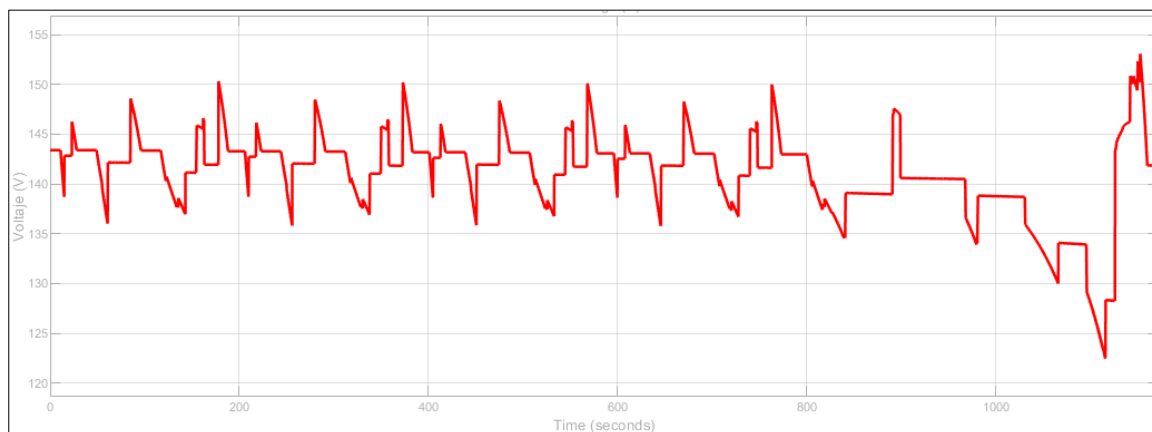
Velocidad [km/h]	Consumo de corriente [Amp]
15	7,80
35	19,00
50	30,47
70	53,32
100	116,1
120	192,7

4.1.9. Voltaje vs Tiempo

Igual que la corriente, el voltaje se comporta de manera que si el vehículo se desplaza a una mayor velocidad tendrá un consumo mayor de voltaje y si se disminuye la velocidad causará un consumo menor de voltaje.

Figura 51

Curva de voltaje respecto al tiempo

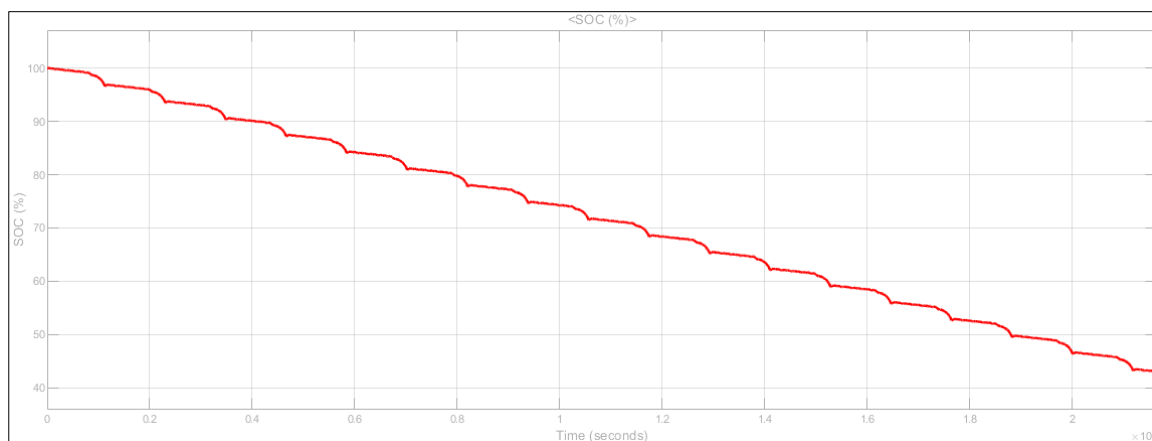


4.1.10. SOC vs Tiempo

El estado de carga es equivalente al indicador de combustible, el SOC se utiliza para saber la situación actual de una batería en uso.

Figura 52

Curva de carga respecto al tiempo



En la figura 51, se muestra la descarga de la batería de Ion-Litio de alto voltaje con respecto al tiempo, esta gráfica nos indica el estado de carga que dispone la batería expresada en porcentaje al final del recorrido del vehículo. El vehículo logró cumplir la autonomía de 200 km restando un 43,02 % de la carga de batería.

4.2 Análisis de elementos de conversión

De acuerdo a los resultados arrojados en la simulación se procede a la selección de los componentes del kit de conversión para el vehículo, tomando en cuenta las especificaciones técnicas de cada elemento que se asemejan a los valores obtenidos.

4.2.1. Motores eléctricos

Una vez encontrada la fuerza necesaria del vehículo se realiza un análisis de los diferentes motores existentes en el mercado considerando parámetros como potencia, eficiencia, peso.

Tabla 16*Ficha técnica de motores eléctricos*

Marca	Curtis 1238-7601 HPEVS AC-50	Net Gain HyPer 9 AC Motor	Motenergy ME1002
Tipo de motor	-	Imán permanente	-
Potencia	60 kW	95 kW	63 kW
Torque	120 lb-ft	173 lb-ft	43,5 lb-ft
RPM	10000 máx	8000 máx	6000 máx
Eficiencia	88%	94%	92%
Voltaje entrada	130 V máx	132 V máx	144 V máx
Amperaje	650 A	760 A	550 A
Peso	52 Kg	58 Kg	86,18 Kg
Controlador	Si	Si	No
Arnés de cables	Si	Si	Si
Precio	\$ 4450,00	\$ 4600,00	\$ 1849.20

Nota: Tomado de (EV West, 2011), (EV West, 2020) y (EnergyEV, 2020)

4.2.2. Convertidores DC/DC

El convertidor DC/DC nos permitirá configurar la corriente de alta tensión de las baterías a una de menor valor, es así que al tener una tensión de 116 voltios se necesita un convertidor que nos reduzca ese valor a 12 voltios.

Tabla 17*Ficha técnica de convertidores DC/DC*

Marca	Isolated EV	Elcon	Isolated EV
Voltaje de entrada	96 V	120 V	144 V
Voltaje de salida	12 – 13,8 V	12 - 13,4 V	12 - 13,8 V
Eficiencia	95%	92%	95%
Protección	Limitación de corriente automática	Protección contra cortocircuitos	Limitación de corriente automática
Temperatura funcionamiento	-40 a 65 °C	-40 a 55 °C	-40 a 65 °C
Peso	1,5 kg	2,26 kg	1,5 kg
Precio	\$ 237,00	\$ 229,00	\$ 243,00

Nota: Tomado de (Elcon, 2019), (Electric Car Parts Company, 2021) y (Electric Car Parts Company, 2021)

4.2.3. Controladores de motores eléctricos

Según las fichas técnicas investigadas de acuerdo a las especificaciones del motor que se va seleccionar se obtuvo los siguientes controladores:

Tabla 18

Ficha técnica de controladores de motores eléctricos

Marca	CURTIS	HYPER DRIVE	CURTIS
Modelo	1231c	SME ACX1	1238e-7621
Voltaje	96 – 144 V	62 - 130 V	72 – 130 V
Corriente	500 Amps	750 Amps	650 Amps
Potencia Nominal	36 kW	88kW	50kW
Eficiencia	90%	94% %	88%
Peso	4,5 kg	3,5 kg	5,45 kg
Enfriamiento Térmico	Si	Si	Si
Precio	2668	1859	2309

Nota: Tomado de (EVShop, 2021), (EnergyEV, 2020) y (EV West, 2012)

4.2.4. Cargadores a bordo

De acuerdo a los catálogos revisados en el internet existen varias empresas que se dedican al diseño y construcción de cargadores a bordo, brindando desde una potencia mínima hasta una potencia máxima, que permite cargar el vehículo en cuestión de horas. Para lo cual se ha tomado en cuenta un tiempo promedio de carga del vehículo, con lo cual se obtuvo los siguientes cargadores:

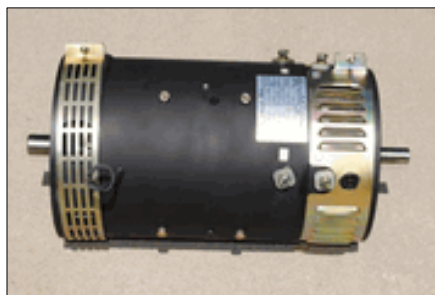
Tabla 19*Ficha técnica de cargadores a bordo*

Marca	Elcon	ThunderStruck	Elcon
Modelo	UHF	TSM2500	PFC 1500
Voltaje de entrada	85 – 265 V	85 – 265 V	85-265 V
Corriente de entrada	16 A	15 A	15 A
Potencia salida	3,3 kW	3,1 kW	1,5 kW
Precio	\$ 850,67	\$ 853,33	\$ 569,00

Nota: Tomado de (ThunderStruck, 2019), (ElCon, 2021) y (Electric Motorsport, Inc., 2016)

4.2.5. Selección del kit de conversión eléctrico

De acuerdo a los datos calculados por ecuaciones de la dinámica del vehículo y por medio del programa Matlab Simulink, se logró obtener la potencia eléctrica necesaria para vencer la inercia en una pendiente de 15,43% es de 51,36 kW a una velocidad de 100 km en su carga máxima por lo tanto se debe escoger un motor eléctrico mayor o igual a la potencia eléctrica mencionada. A continuación, se procede a seleccionar el motor Motenergy ME1002 que tiene una potencia eléctrica de 63 kW.

Figura 53*Motor Motenergy M1002*

Nota: Tomado de (EnergyEV, 2020)

En la selección del controlador se debe tomar en consideración el voltaje de accionamiento del motor eléctrico especificado anteriormente en este caso el voltaje del motor es de 96 - 144 voltios DC por lo tanto se necesita un controlador que cumpla con esta característica. A continuación, se procede a seleccionar el controlador Curtis – 1231c que trabaja con voltajes que van desde los 96 voltios hasta los 144 voltios.

Figura 54

Controlador Curtis - 1231c



Nota: Tomado de (EnergyEV, 2020)

La selección del convertidor DC/DC se realiza mediante el voltaje de funcionamiento de las baterías de alta tensión y al voltaje al que se lo quiere reducir en este caso se selecciona el convertidor Elcon que recibe un voltaje de entrada de 116 voltios y los transforma a 12-13,4 voltios.

Figura 55

Convertidor Elcon



Nota: Tomado de (Elcon, 2019)

El cargador a bordo seleccionado de la marca ThunderStruck-TCM 2500 posee 3,1 kW de potencia de salida.

Figura 56

Cargador a bordo de 3,1 kW



Nota: Tomado de (ThunderStruck, 2019)

4.2.6. Análisis de autonomía con el nuevo kit de conversión

Considerando que el nuevo kit de conversión dispone de varios elementos que son considerados como un aumento de masa para el vehículo, se procede a realizar la suma de estos y realizar una nueva simulación para verificar si existe una variación en la autonomía y potencia eléctrica.

El peso vehicular tomado para la primera simulación incluyó el peso del motor de combustión interna y el tanque de combustible lleno, por lo tanto, se restan esos pesos.

Datos:

W = Peso del vehículo

w_m = Peso de motor

w_t = Peso de tanque de combustible

$$W = W - w_t - w_m$$

$$W = 690 [kg] - 26,35[kg] - 60,1[kg]$$

$$W = 603,55 [kg]$$

Se procede a calcular el nuevo valor de masa del vehículo sumando el peso del kit.

Tabla 20

Valores de masa del Kit de conversión

Descripción	Masa [kg]
Vehículo	603,55
Motor eléctrico	86,18
Convertidor DC/DC	2,26
Controlador	4,5
Cargador a bordo	1,80
Batería de alto voltaje	239,8
Cableado	3

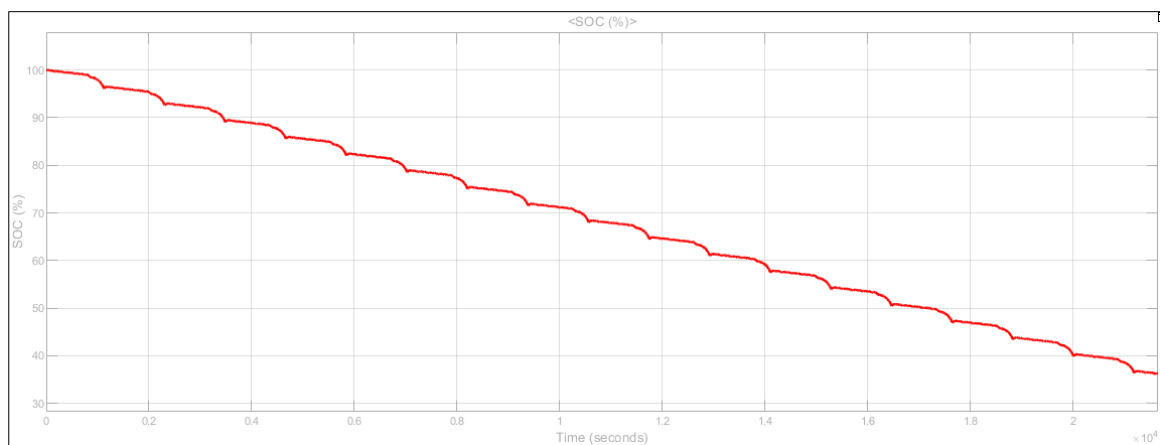
$$W = 603,55 [kg] - 337,54[kg]$$

$$W = 941,09 [kg]$$

Una vez obtenida la nueva masa del vehículo se procede a realizar el reemplazo de datos en la simulación y obtener las nuevas gráficas de autonomía y potencia.

Figura 57

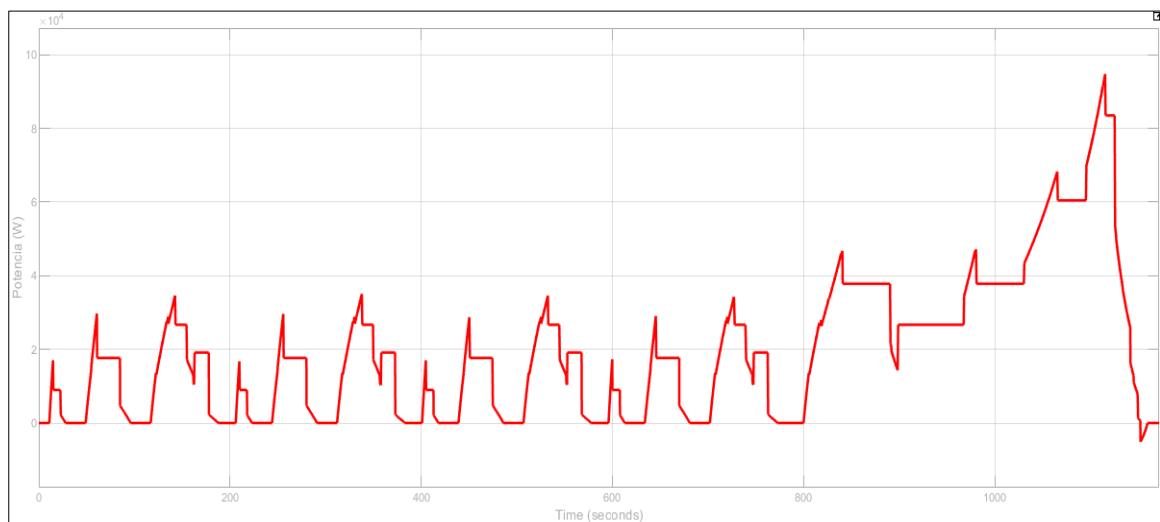
Autonomía respecto al nuevo peso



Con la nueva simulación se obtiene un valor sobrante de SOC del 36,20%, el cual permite cumplir la autonomía de 200 km sin presentar problemas en el transcurso.

Figura 58

Potencia respecto al nuevo peso



La gráfica presenta un incremento de 4 kW en la potencia eléctrica del vehículo, aun así, el motor seleccionado para la conversión nos permite trabajar con la nueva potencia con normalidad, lo que no se vería afectado por el aumento de peso del kit de conversión.

4.2.7. Análisis del centro de gravedad

La nueva masa del vehículo está comprendida por el kit de conversión completo y tiene un valor de 941,09 [kg], con la cual se calcula los nuevos centros de gravedad resolviendo la Ecuación [13]:

$$\begin{aligned}\Sigma M_y &= 0 \\ cg * a_1 &= F_t * l \\ mg * a_1 &= m_t g * l [m] \\ a_1 &= \frac{683,55 [kg] * 2,25 [m]}{1391,09 [kg]} \\ a_1 &= 1,11 [m]\end{aligned}$$

Despejando el valor de a_2 se obtiene:

$$\begin{aligned}l &= a_1 + a_2 \\ 2,25 [m] &= 1,11 [m] + a_2 \\ a_2 &= 1,14 [m]\end{aligned}$$

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación [10] se obtiene:

$$\begin{aligned}H &= 0,27 + \frac{(1,11 [m] * 283,02 [kg]) - (1,14 [m] * 436,07 [kg])}{1391,09} * \cot(5,97) \\ H &= 0,68 [m]\end{aligned}$$

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar que el centro de gravedad con respecto al vehículo de combustión interna se reduce en 0,02 cm, esto se debe a que los EV son diseñados con el paquete de baterías en la parte inferior del vehículo, para que el centro de gravedad se aproxime a la superficie terrestre y de esta manera brindar una mayor estabilidad.

4.3. Análisis económico de implementación del Kit

En la siguiente tabla se especifica el costo estimado de la implementación del kit para el vehículo Suzuki forsa I, el precio del kit puede variar dependiendo de la autonomía que se requiera.

Tabla 21*Costo del kit de conversión EV*

N°	Descripción	Cantidad	Costo
1	Motor eléctrico	1	\$ 1849,20
2	Controlador de motor	1	\$ 2668,0
3	Convertidor DC/DC	1	\$ 229,0
4	Cargador a bordo	1	\$ 853,0
5	Control de velocidad	1	\$ 150,0
6	Batería	1	\$ 4.204,0
7	Cableado	1	\$ 100,0
8	Base motor – caja	1	\$ 50,0
9	Acople eje motor – eje motriz	1	\$ 150,0
10	Monitor de batería	1	\$ 20,0
	Total		\$ 10.273,0

El costo del kit eléctrico para realizar la conversión del vehículo Suzuki Forsa es de \$10,273.00, el cual nos aporta una potencia pico de 26,21 Kw y una autonomía de 200 km. Este costo se podría reducir al reemplazar las baterías de Ion – Litio por otras de Plomo, o caso contrario reducir la autonomía del vehículo.

4.4. Análisis económico de mantenimientos de VCI y EV

Para el análisis económico se realizó una comparación entre un vehículo convencional con uno eléctrico, tomando en cuenta gastos de implementación del kit, mantenimientos y consumo de combustible hasta los 50000 [km] VCI y 100000 [km] para EV.

Tabla 22

Análisis económico VCI

N°	Mantenimiento	Kilometraje										Subtotal
		5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	45000	50000	
1	Aceite motor	\$30,0	\$30,0	\$30,0	\$30,0	\$30,0	\$30,0	\$30,0	\$30,0	\$30,0	\$30,0	\$ 300,0
2	Filtro de aceite	\$ 5,0	\$ 5,0	\$ 5,0	\$ 5,0	\$ 5,0	\$ 5,0	\$ 5,0	\$ 5,0	\$ 5,0	\$ 5,0	\$ 50,0
3	Filtro de combustible		\$ 6,5		\$ 6,5		\$ 6,5		\$ 6,5		\$ 6,5	\$ 32,5
4	Filtro de aire		\$ 10,0		\$ 10,0		\$ 10,0		\$ 10,0		\$ 10,0	\$ 50,0
5	Kit de distribución										\$ 80,0	\$ 80,0
6	Banda de accesorios					\$ 15,0					\$ 15,0	\$ 30,0
7	Bujías de encendido			\$ 17,0			\$ 17,0			\$ 17,0		\$ 51,0
8	Limpieza del cuerpo de aceleración				\$ 20,0				\$ 20,0			\$ 40,0
9	Refrigerante								\$ 10,0			\$ 10,0
10	Líquido de freno					\$ 15,0					\$ 15,0	\$ 30,0
11	Aceite de la caja y diferencial								\$ 30,0			\$ 30,0
12	ABC Frenos		\$ 15,0		\$ 35,0		\$ 15,0		\$ 35,0		\$ 15,0	\$ 115,0
13	Revisión de suspensión	\$15,0	\$15,0	\$15,0	\$15,0	\$15,0	\$15,0	\$15,0	\$15,0	\$15,0	\$15,0	\$ 150,0
	Total											\$ 968,0

El costo total de mantenimiento para un vehículo de combustión interna oscila entre los \$968 al cabo de 2 años, considerando que el vehículo se desplaza 25000 km cada año.

Tabla 23

Análisis económico VE

N°	Descripción	Kilometraje X1000										Total	
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100		
1	Chequeo frenos, regulación o cambio	\$15,0	\$35,0	\$15,0	\$35,0	\$15,0	\$35,0	\$15,0	\$35,0	\$15,0	\$35,0	\$	250,0
2	Chequeo de presión y desgaste de neumático		\$5,0		\$5,0		\$5,0		\$5,0		\$5,0	\$	25,0
3	Inspección del sistema eléctrico		\$20,0				\$20,0				\$20,0	\$	60,0
4	Chequeo del motor eléctrico				\$35,0				\$35,0			\$	70,0
5	Inspección de la batería				\$35,0				\$35,0			\$	70,0
6	Cambio de líquido de frenos			\$15,0			\$15,0			\$15,0		\$	45,0
7	Inspección piezas del eje y la suspensión	\$15,0	\$15,0	\$15,0	\$15,0	\$15,0	\$15,0	\$15,0	\$15,0	\$15,0	\$15,0	\$	150,0
8	Cambio de aceite caja				\$30,0				\$30,0			\$	56,0
	Total											\$	730,0

El costo total de mantenimiento para un vehículo eléctrico oscila entre los \$730 al cabo de 4 años, considerando que el vehículo se desplaza 25000 km cada año.

De acuerdo a los valores obtenidos en las tablas se interpreta que el gasto en mantenimiento de un vehículo eléctrico es mucho menor al de uno de combustión interna, debido a que el mantenimiento del EV se está realizando para un aproximado de 6 años con 8 meses, mientras que el VCI solo está realizado para 3 años con 4 meses.

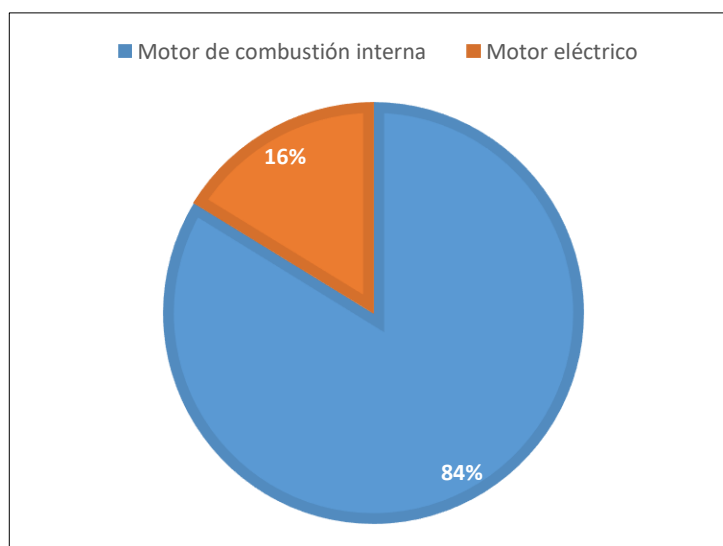
Tabla 24

Análisis económico de consumo

Tipo de motor	Distancia (Km)	Consumo por distancia (km/gl) / (km/kW)	Costo de combustible	Costo total
Vehículo de combustión interna	50000	50 km / gl	\$ 2,95	\$ 2.950,00
Vehículo eléctrico	50000	7 km /kW	\$ 0,08	\$ 571,43

Figura 59

Consumo de combustible



De acuerdo a la figura 59, se observa que el VCI consume un 68% más de combustible a comparación del EV, lo que significa que en cuestión de gastos en combustible se logra ahorrar un total de \$2,378.57, al cabo de 2 años.

Además de analizar los costos de mantenimiento y consumo de combustible se realizó una observación al PRI (Período de Recuperación de la Inversión), con lo que se estableció un tiempo estimado para recuperar lo invertido en la adquisición del Kit de conversión.

Tabla 25

Periodo de recuperación de inversión

Año	Flujo	Acumulado	Combustible cada año
0	\$ 10.273,00		
1	\$ 1.875,00	\$ 1.875,00	\$ 1.475,00
2	\$ 2.043,50	\$ 3.918,50	\$ 1.475,00
3	\$ 1.875,00	\$ 5.793,50	\$ 1.475,00
4	\$ 2.043,50	\$ 7.837,00	\$ 1.475,00
5	\$ 1.875,00	\$ 9.712,00	\$ 1.475,00
6	\$ 2.043,50	\$ 11.755,50	\$ 1.475,00

Se estima que la recuperación total de la inversión está alrededor de 5 a 6 años

4.5 Análisis del kit en diferentes vehículos

Para este análisis se toma en cuenta valores como masa del vehículo, coeficiente aerodinámico, coeficiente de rodadura, relación de caja y diferencial, área frontal y densidad de varios automóviles que se encuentran entre 1000 a 2000 c.c.

Tabla 26*Valores de vehículos analizados*

Descripción	Forsa 2	Mazda 323	Fiat I	Datsun 1200	Vitara JX	Sail 1.4	Tucson
Cilindrada [cc]	1300	1500	1100	1200	1600	1400	2000
Masa del vehículo [kg]	1369	1486,96	1433,7	1344,20	1638,7	1659,72	2067,64
Altura [m]	1,35	1,38	1,45	1,39	1,67	1,50	1,73
Ancho [m]	1,58	1,63	1,55	1,45	1,63	1,69	1,83
Relación de caja	3,41	3,31	3,91	2,07	3,65	3,77	4,5
Relación de diferencial:	4,1	4,11	3,73	3,6	5,12	4,11	3,81
Cd:	0,32	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Ur:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Área frontal [m]:	2,133	2,2494	2,2475	2,0155	2,7221	2,54	3,17

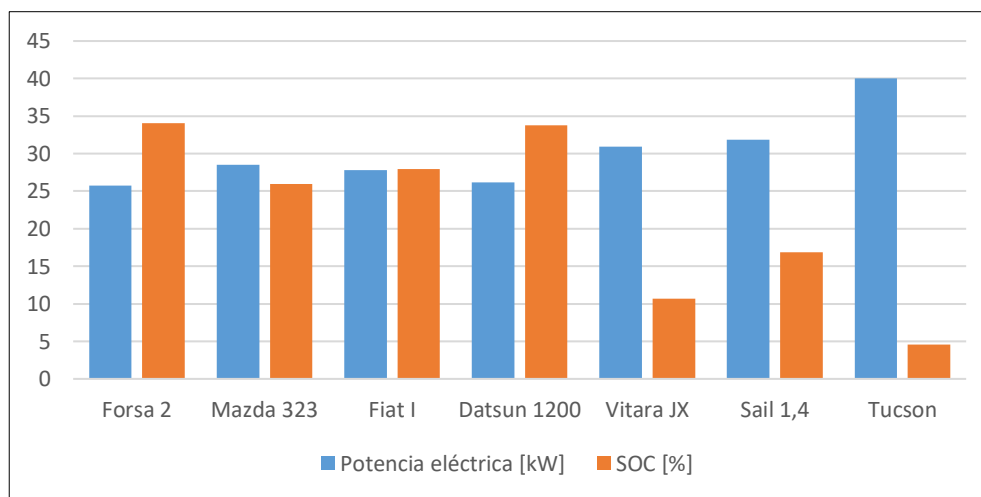
Los vehículos que se están analizando son considerados como turismo en el manual de GTZ por lo tanto el coeficiente aerodinámico y de arrastre será el mismo para los dos vehículos, mientras que los otros valores serán considerados los mismos del Suzuki Forsa 1.

Tabla 27
Valores principales de conversión

Descripción	Fuerza de tracción [N]	Potencia eléctrica [kW]	SOC [%]	Autonomía[km]
Forsa 2	2319	25,73	34,04	200
Mazda 323	2569	28,50	25,93	200
Fiat I	2481	27,83	27,94	200
Datsun 1200	2322	26,17	33,75	200
Vitara JX	2842	30,93	10,69	200
Sail 1,4	2869	31,83	16,89	200
Tucson	3575	40	4,55	200

Figura 60

Valores requeridos para otros vehículos



De acuerdo con la figura 60, se puede comprobar que el kit eléctrico seleccionado puede ser implementado en diferentes vehículos cumpliendo una autonomía de 200 km sin complicaciones. Además, la potencia eléctrica requerida para estos vehículos está dentro del rango del motor escogido para el proyecto, salvo que se requiera obtener una mayor autonomía se debería de realizar un reemplazo de la batería de Ion – Litio por una de mayor capacidad.

Capítulo V

5. Marco administrativo

5.1. Presupuesto

Para lograr determinar la factibilidad del proyecto, se procede a realizar un análisis del presupuesto bajo diferentes recursos.

5.2. Recursos humanos

Tabla 28

Recursos Humanos

Orden	Descripción	Cantidad	Función
1.	Juan Carlos Cando	1	Investigador
2.	Marlon Cayo	1	Investigador
3.	Ing. Erazo German	1	Colaborador Científico

5.3. Recursos materiales

Tabla 29

Recursos Materiales

Orden	Cantidad	Descripción	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
1	2	Vehículo para prueba de arrastre	20	40
2	1	Cronometro digital	1	10
3	1	Calculadora	23	23
Costo total				\$ 73

5.4. Recursos tecnológicos

Tabla 30*Recursos Tecnológicos*

Orden	Detalle	Cantidad	Costo Unitario	Costo
1.	Computadora personal	1	950	950
2.	Software de especificaciones de vehículos	3	50	150
3.	Software MATLAB - Simulink	1	275	275
4.	Software SolidWorks	1	99	99
		Total		\$ 1474

5.5. Costo neto del proyecto

El costo total del proyecto será de aproximadamente de 1547 dólares.

Capítulo VI

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- Se realizó la modelación y simulación del proceso de implementación del sistema de propulsión eléctrica de movimiento en vehículos automotores mediante el uso de software Matlab Simulink que nos permitió seleccionar el kit correspondiente para el vehículo Suzuki Forsa I.
- Se investigó en fuentes de información acerca de los principales parámetros de conversión mediante temas relacionados con el proyecto.
- Se utilizó el vehículo Suzuki Forsa I con una cilindrada de 1000 c.c y que tiene un peso de 1150 kg que cumple con las especificaciones planteadas.
- Se modeló el vehículo seleccionado con la implementación de su respectivo kit de conversión a eléctrico en el software SolidWorks.
- Se obtuvo y se calculó los parámetros requeridos para la ciudad de Latacunga y la geografía del Ecuador mediante el uso de la herramienta digital Google earth para obtener la pendiente en la geografía de Ecuador especialmente en la ruta Latacunga-Quito, Latacunga-Ambato y Latacunga-Riobamba en donde se obtuvo un promedio de pendiente de 15,73%.
- Se realizó la comparación de componentes del kit de conversión existentes en el mercado en donde se tomó en cuenta costo y características de los componentes. El costo estimado del kit de conversión es de \$10.273,00.

- Se simuló las fuerzas que actúan en el vehículo eléctrico mediante el software Matlab Simulink, para obtener las gráficas de funcionamiento.
- Según el análisis de las gráficas de Matlab Simulink permitió observar el comportamiento de la potencia eléctrica necesaria para poder mover el vehículo en una pendiente de 15,73%, dando como resultado una potencia mayor o igual a 37,80 kW con una velocidad de 70 km/h, mientras que la potencia requerida en un terreno plano (pendiente 0) es de 23,65 kW con una velocidad de 120 km/h.
- De acuerdo a la batería seleccionada se obtiene una energía de 32,13 kWh, la que nos permite cumplir la autonomía de 200 km, este valor tiende a disminuir si se eleva el peso del vehículo mientras que se obtendrá mayor autonomía al tener menor peso.
- De acuerdo a la tabla 22 se puede evidenciar que un vehículo de combustión interna presenta un mayor gasto en mantenimiento al cabo de los 50000 km, por motivo que posee muchos componentes mecánicos que sufren de fricción entre sí y requieren mantenimientos continuos, mientras que el vehículo eléctrico solo emplea un 37,71 % de ese gasto.
- El costo de la gasolina por galón es de \$2,95 mientras que el Kilovatio está alrededor de \$0,08, lo que demuestra que existe un ahorro en gastos de combustible de casi el 80,63% al cabo de los 50000 km con referencia a un vehículo de combustión interna.
- Análisis comparativos de factores económicos han demostrado que la conversión de vehículos es una opción viable, por motivo que la adquisición de un vehículo eléctrico nuevo está alrededor de \$ 35,000.00, mientras que la compra del kit eléctrico es un 37,14% de ese valor, teniendo como resultado un vehículo 100% eléctrico con las mismas prestaciones que uno nuevo.

- El análisis del PRI concluyo que la inversión para adquirir el Kit de conversión se lograra recuperar al cabo de 5 a 6 años.
- El kit seleccionado puede ser utilizado por los diferentes vehículos que se detalla en la tabla 25, los mismos que están inmersos en los parámetros descritos al inicio del proyecto y a su vez logran cumplir con la autonomía deseada.

6.2. Recomendaciones

- Utilizar una mayor cantidad de energía (kWh) en las baterías de Ion-litio permitirá obtener una mayor autonomía del vehículo.
- Utilizar baterías de alto voltaje con química de ion - litio para obtener mayor tiempo de recorrido en kilómetros, por motivo que estas tienen un menor índice de auto descarga.
- En el cálculo de coeficiente aerodinámico (cd) se debería realizar en el software SolidWorks ya que genera un túnel de viento virtual y el valor obtenido es más real.
- Se recomienda utilizar un motor con mayor voltaje para que el consumo de corriente de la batería sea menor y así obtener mayor autonomía.
- Para futuros proyectos se recomienda diseñar un ciclo de conducción para obtener valores más reales a la geografía del Ecuador.
- Se sugiere que las baterías de alta tensión sean incorporadas en el piso del vehículo por su gran tamaño y peso, para compensar las masas de los dos ejes y evitar obtener un centro de gravedad elevado.
- Para el cálculo de la fuerza neta se aconseja utilizar la relación de caja de primera marcha, por motivo que es la más fuerte y brinda un torque elevado a las ruedas para romper la inercia.

Bibliografía

Acelerando. (08 de Marzo de 2019). *Bolt, el eléctrico de Chevrolet con 320 km de autonomía.*

Recuperado el 16 de Noviembre de 2020, de <https://acelerando.com.ec/bolt-el-electrico-de-chevrolet-con-320-km-de-autonomia-2/>

Actualidad Motor. (2020). *Fiat 500e.* Recuperado el 24 de Diciembre de 2020, de

<https://www.actualidadmotor.com/modelos/ fiat-500e-ficha/>

AkaSystem. (Mayo de 2019). *15 AKM 64 CYC.* Recuperado el 04 de Noviembre de 2020, de

AkaSol: <https://www.akasol.com/library/Downloads/Datenblätter/02-05-2019/Data%20sheet-AKASOL-AKASystem-15AKM64CYC-WEB.pdf>

Alegre Buj, M. S. (2017). *Modelado del vehículo eléctrico e híbrido paralelo por medio de*

Matlab/Simulink y planificación de estaciones de carga mediante sistemas de información geográfica y algoritmos genéticos [Tesis de doctorado]. Universidad

Nacional de Educación a Distancia. Recuperado el 20 de Octubre de 2020, de http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/tesisuned:IngInd-Msalegre/ALEGRE_BUJ_Susana_Tesis.pdf

ANLA. (01 de Junio de 2015). *Instrucciones para el diligenciamiento del radio dinámico.*

Recuperado el 06 de Diciembre de 2020, de Autoridad Nacional de Licencias Ambientales: <http://www.anla.gov.co/noticias/576-instrucciones-para-el-diligenciamiento-del-radio-dinamico>

Artés, D. G. (14 de Marzo de 2012). *Baterías de coches eléctricos e híbridos, hoy [estado de la tecnología del automóvil].* Recuperado el 25 de Julio de 2020, de Tecmovia:

<https://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/03/14/baterias-de-coches-electricos-e-hibridos-hoy-estado-de-la-tecnologia-del-automovil/>

Atkins, P., & Jones, L. (2006). *Principios de Química. Los caminos del descubrimiento* (Tercera ed.). Editorial Médica Panamericana.

Augeri, F. (02 de Septiembre de 2019). *Cargador de la batería EV del Nissan Leaf 2011.*

Recuperado el 29 de Julio de 2020, de <http://www.cise.com/portal/notas->

tecnicas/item/950-cargador-de-la-bater%C3%ADa-ev-del-nissan-leaf-2011.html?tmpl=component&print=1

AutoAvance. (05 de Febrero de 2020). *Baterías de Vehículos Híbridos y Eléctricos*. Recuperado el 30 de Julio de 2020, de Blog Técnico Automotriz: <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/bateria-hibridos-electricos/>

Bel, F. M., & Udrizard, A. S. (2018). *Conversión de la motorización original mecánica a eléctrica de automóvil Peugeot 308 [Tesis de ingeniería]*. Universidad Tecnológica Nacional. Recuperado el 21 de Octubre de 2020, de <https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/3362/Proyecto-Completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

BYD. (2018). *BYD Electric Vehicles*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2020, de BYD Company Profile: <https://theicct.org/sites/default/files/BYD%20EV%20SEDEMA.pdf>

BYD. (2019). *Ficha Técnica e5*. Recuperado el 29 de Diciembre de 2020, de Build Your Dreams: https://b7055ef6-2d87-47cf-b643-173c8bec27dc.filesusr.com/ugd/aaad85_4e022e320675480ebcd4bdcceb4bbb95.pdf

BYD E-Motors Ecuador. (21 de Abril de 2017). *Los taxis eléctricos en Loja son la primera flota del Ecuador*. Recuperado el 25 de Julio de 2020, de BYD Buils Your Dreams: <https://bydelectrico.com/ec/2017/04/21/taxis-electricos-loja-ecuador/>

Cardenas, L. (2015). *Diseño de un roll bar para un vehículo Suzuki Forza 1 de competición [Tesis de Ingeniería]*. Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8911/1/UPS-CT005145.pdf>

Chevrolet. (2020). *Chevrolet Aveo 2020*. Recuperado el 26 de Julio de 2020, de General Motors de México, S. de R.L. de C.V.: <https://www.chevrolet.com.mx/content/dam/chevrolet/na/mx/es/index/cars/2020-aveo/mov/02-pdf/2020-aveo-hoja-especificaciones.pdf>

- Cordero Moreno, D. (03 de Agosto de 2017). *Dinámica de vehículos*. Recuperado el 18 de Octubre de 2020, de SlideShare: <https://es.slideshare.net/funodaniel/dinmica-de-vehculos>
- Corimotors. (2020). *e5 Elegancia se escribe con la E de eléctrico y de e5*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2020, de BYD: <https://www.bydautocr.com/e5>
- Costas, J. (23 de Junio de 2011). *Ciclo NEDC, o cómo entender los consumos homologados*. Recuperado el 26 de Julio de 2020, de Motor Pasión: <https://www.motorpasion.com/otros/ciclo-nedc-o-como-entender-los-consumos-homologados#:~:text=Hoy%20vamos%20a%20conocer%20el,concumo%20urbano%2C%20extraurbano%20y%20mixto>.
- Diario Motor. (2020). *Hyundai IONIQ*. Recuperado el 06 de Diciembre de 2020, de <https://www.diariomotor.com/coche/hyundai-ioniq/>
- Duque Sarmiento, D. A., & Rocano Yunga, J. A. (2018). *Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico mediante ciclos controlados [Tesis de ingeniería]*. Universidad Politécnica Salesiana sede Matriz Cuenca. Recuperado el 14 de Octubre de 2020, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15067/1/UPS-CT007435.pdf>
- Elcon. (2019). *Elcon DC/DC Converter*. Recuperado el 21 de Diciembre de 2020, de https://evwest.com/support/specsheets/Elcon_%20DC-DC_Converter_Manual.pdf
- ElCon. (2021). *Cargadores de bus CAN UHF de 3.3KW*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2020, de Nuevos cargadores de bus CAN sellados UHF IP67: <https://www.elconchargers.com/catalog/item/9034090/10295140.htm>
- Electric Car Parts Company. (2021). *144V Entrada. 12VDC 50A Salida 600W. Convertidor CC-CC EV aislado*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2020, de <https://www.electrccarpartscompany.com/dc-dc-converter-waterproof-144v-input-12v-dc-50a-output-600w-isolated-ev>

- Electric Car Parts Company. (2021). *96V Entrada. 12VDC, 50A Salida 600W. Convertidor CC-CC EV aislado*. Recuperado el 08 de Noviembre de 2020, de <https://www.electriccarpartscompany.com/dc-dc-converter-waterproof-96v-input-12v-dc-50a-output-600w-isolated-ev#>
- Electric Motorsport, Inc. (2016). *Cargador ELCON PFC1500 1.5kW, 24-120VDC*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2020, de <https://www.electricmotorsport.com/elcon-pfc1500-charger-1-5kw-24-120vdc-1171.html>
- Electromovilidad. (Enero de 2016). *Tipos de motores eléctricos*. Recuperado el 25 de Julio de 2020, de <http://electromovilidad.net/tipos-de-motores-electricos/>
- EnergyEV. (21 de Agosto de 2020). *Controlador Curtis 1231c DC 96-144 V*. Recuperado el 16 de Febrero de 2021, de <https://energyev.com/tienda/controladoresdc/curtis/controlador-curtis-mod-1231c-96-144-volt-500amp/>
- EnergyEV. (26 de Agosto de 2020). *Motenergy ME1002 DC- 48 - 144 voltios*. Recuperado el 09 de Diciembre de 2020, de ME1002: <https://energyev.com/tienda/motores/motor-series-wound/motor-dc-embobinado-serie-me1002-63kw-550amps-144v-motenergy/>
- EPA. (27 de Octubre de 2020). *Horarios de conducción del dinamómetro*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2020, de Pruebas de emisiones de vehículos y combustible: <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules>
- EV West. (11 de Octubre de 2011). *Curtis 1238-7601 HPEVS AC-50 Kit de motor de CA sin escobillas - 96 voltios*. Recuperado el 06 de Diciembre de 2020, de AC-50-96: https://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=8&products_id=83
- EV West. (06 de Enero de 2012). *Controlador HPEVS Curtis 1238e-7621 96 V 650 AMP*. Recuperado el 03 de Diciembre de 2020, de https://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=1&products_id=103

- EV West. (19 de Noviembre de 2020). *Kit de controlador NetGain HyPer9 AC Motor X1 de 120 voltios (eje doble)*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2020, de H9-ACX1-Dual: https://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=8&products_id=514
- Evlithium. (2020). *Batería CATL*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2020, de <https://www.evlithium.com/catl-battery.html>
- EVShop. (2021). *Hyper Drive SME ACX1*. Recuperado el 04 de Octubre de 2020, de HyPer-Drive X1™ - Controlador / inersor de motor SRIPM: <https://evshop.eu/en/controllers/77-controller-hyper-drive-sme-acx1.html>
- Ferrer, J., & Checa, G. (2010). *Mantenimiento mecánico preventivo del vehículo*. Editex. Recuperado el 16 de Octubre de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=SwnFAwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- García Martínez, G. (07 de Mayo de 2018). *Motores de flujo axial: más potentes, compactos y ligeros*. Recuperado el 26 de Julio de 2020, de Movilidad Eléctrica: <https://movilidadelectrica.com/motores-de-flujo-axial-mas-potentes-compactos-y-ligeros/>
- García, G. (14 de Enero de 2016). *Ficha técnica del Chevrolet Bolt*. Recuperado el 17 de Octubre de 2020, de Movilidad Eléctrica: <https://movilidadelectrica.com/ficha-tecnica-del-chevrolet-bolt/>
- González, A. (03 de Diciembre de 2020). *El precio de las baterías cae hasta los 90€/kWh, pero los coches eléctricos siguen costando lo mismo*. Recuperado el 25 de Octubre de 2020, de Tecnofisis Global, S.L.: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/sector/precio-baterias-car-debajo-100-euros-kwh-precio-coches-electricos-baja/20201203134527040568.html>
- Helmut, K., & Hans, K. (1986). *Manual de Matemática Aplicada GTZ de Mecánica Automotriz*. Edibosco Cuenca.

- Hibbeler, R. C. (2010). *Ingeniería Mecánica Dinámica*. México: Pearson Educación.
- Hyundai. (2017). *Ioniq Electrico*. Recuperado el 08 de Diciembre de 2020, de <https://hyundai.cl/modelos/ioniq-electrico/ficha-tecnica/37>
- Jazar, R. N. (2008). *Vehicle Dynamics Theory and Application*. Riverdale: Springer Science+Business Media.
- Kia Motors Corp. (2017). *Soul EV. Especificaciones*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2020, de Kia: <https://www.kia.com/ec/showroom/soul-ev/specification.html>
- Km77. (2018). *Nissan LEAF 40 kWh Acenta Access (2020)*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2020, de Ruedas de prensa: <https://www.km77.com/coches/nissan/leaf/2018/estandar/estandar/leaf-40-kwh-acenta-access/datos>
- Km77. (2018). *Tesla Model 3 Tracción integral Gran autonomía (2018-2020)*. Recuperado el 14 de Octubre de 2020, de Ruedas de prensa: <https://www.km77.com/coches/tesla/model-3/2018/sedan/estandar/model-3-awd-long-range-battery/datos>
- Larminie, J., & Lowry, J. (2003). *Electric vehicle technology*. John Wiley & Sons Ltd.
- Larrodé Pellicer, E. (1997). *Automoviles Eléctricos*. Reverté.
- López Redondo, N. (26 de Noviembre de 2018). *Autonomía real, autonomía NEDC, autonomía WLTP... ¿conoces las diferencias?* Recuperado el 27 de Julio de 2020, de Movilidad Eléctrica: <https://movilidadelectrica.com/autonomia-real-autonomia-nedc-autonomia-wltp-conoces-las-diferencias/>
- López Redondo, N. (29 de Agosto de 2018). *Todas las claves del WLTP, el nuevo protocolo de emisiones*. Recuperado el 29 de Julio de 2020, de Movilidad Eléctrica: <https://movilidadelectrica.com/todas-las-claves-del-wltp-el-nuevo-protocolo-de-emisiones/>

- López Sánchez, D. (2019). *Tecnologías de baterías [Tesis de ingeniería]*. Valladolid: Universidad de Valladolid. Recuperado el 05 de Agosto de 2020, de <https://core.ac.uk/reader/228074000>
- Martiarena, T., & Garaventa, G. N. (2018). Metodología para la conversión de un vehículo impulsado por motor de combustión interna (VIMCI) en un vehículo de tracción eléctrica impulsado con baterías de litio (VTEIL). *VI Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica; I Congreso Argentino de Ingeniería Ferroviaria*, (págs. 1-11). Tucumán. Recuperado el 10 de Agosto de 2020, de <https://caim2018.com.ar/gestor/wp-content/uploads/2019/04/187-1.pdf>
- Martín Castillo, J. C., & García García, M. P. (2016). Motores eléctricos. En *Automatismos industriales*. Editex. Recuperado el 15 de Agosto de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=IrNcDAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Merchán Lima, J. L. (2018). *Estudio del rendimiento energético de un vehículo eléctrico en la ciudad de Cuenca [Tesis de ingeniería]*. Cuenca: Universidad de Cuenca. Recuperado el 20 de Agosto de 2020, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30321>
- Mi coche eléctrico. (2015). *Ficha Técnica y Precio Renault Twizy*. Recuperado el 02 de Octubre de 2020, de <https://micocheelectrico.com/coches-electricos-renault/ficha-tecnica-y-precio-renault-twizy/>
- Mohan, G., Assadian, F., & Longo, S. (2013). Comparative analysis of forward-facing models vs backward-facing models in powertrain component sizing. *IET 4th Hybrid and Electric Vehicles Conference 2013 (HEVC 2013)*, 1-6.
- Motor.es. (2020). *Tesla Model 3. Estándar Plus RWD*. Recuperado el 16 de Octubre de 2020, de <https://www.motor.es/tesla/model-3/estandar-plus-rwd-8090845.html>
- Müller, W. (1984). *Electrotecnia de potencia: curso superior*. Reverte.

- Rocha Hoyos, J., Tipanluisa, L. E., Reina, S. W., & Ayabaca, C. R. (2017). Evaluación del sistema de tracción en un vehículo eléctrico biplaza de estructura tubular. *Información Tecnológica*, 28(2), 29-36. Recuperado el 23 de Agosto de 2020, de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v28n2/art04.pdf>
- Rodríguez Ortiz, J. L., & Vásquez Guaña, L. G. (2018). *Implementación e investigación de los parámetros de operación de un vehículo eléctrico con freno regenerativo [Tesis de ingeniería]*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Recuperado el 27 de Agosto de 2020, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15387/1/T-ESPEL-MAI-0643.pdf>
- Ros Marin, J. A., & Barrera Doblado, O. (2017). *Vehículos eléctricos e híbridos*. Paraninfo.
- Salva, M. (9 de Abril de 2012). *NEDC, 10-15, EPA ¿Cómo se homologa el consumo?* Recuperado el 28 de Julio de 2020, de Feelmotor: <http://feelmotor.com/nedc-10-15-epa-como-se-homologa-el-consumo/>
- Santana Chóez, V. L. (2016). *Análisis de la implantación del uso de vehículos eléctricos como aporte al cambio de la matriz productiva y su impacto en la no utilización de combustibles fósiles en el Ecuador [Tesis de ingeniería]*. Universidad de Guayaquil. Recuperado el 27 de Agosto de 2020, de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/17744/1/VEHICULOS%20ELECTRICOS%2031-05-2016%20revisado%20TGC%20%282%29.pdf>
- Sanz, S. (2011). *Motores*. Editex. Recuperado el 20 de Julio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=S10pDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=baterias+de+alta+tension+vehiculos+electricos&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiAhZCggJfrAhVEmVkkKHQXEAUEQ6AEwAnoECAYQAg#v=onepage&q=baterias%20de%20alta%20tension%20vehiculos%20electricos&f=false>
- Simon. (10 de Enero de 2019). *El vehículo eléctrico: elementos principales y funcionamiento*. Recuperado el 26 de Julio de 2020, de Recarga de vehículo eléctrico:

<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*. Libbooks. Recuperado el 18 de Diciembre de 2020, de

<https://books.google.com.ec/books?id=z6VIQmSodD8C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Suárez Montoya, M. C. (2017). *Revisión bibliográfica y caracterización de motores para vehículos eléctricos [Tesis de tecnología]*. Universidad Tecnológica de Pereira.

Recuperado el 03 de Agosto de 2020, de

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/8223/6292293S939.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Theodore, W. (2007). *Maquinas eléctricas y sistemas de potencia* (Sexta ed.). Pearson Educación. Recuperado el 07 de Agosto de 2020, de

<https://www.academia.edu/18513953/Maquinas-Electricas-y-Sistemas-de-Potencia>

ThunderStruck. (2019). *TSM2500 Series High Efficiency Intelligent Charger*. Recuperado el 18 de Diciembre de 2020, de User Manual Ver. 1.07: [http://www.thunderstruck-](http://www.thunderstruck-ev.com/images/companies/1/ThunderStruck-TSM2500-ManualV1.07.pdf?1557962804778)

[ev.com/images/companies/1/ThunderStruck-TSM2500-](http://www.thunderstruck-ev.com/images/companies/1/ThunderStruck-TSM2500-ManualV1.07.pdf?1557962804778)

[ManualV1.07.pdf?1557962804778](http://www.thunderstruck-ev.com/images/companies/1/ThunderStruck-TSM2500-ManualV1.07.pdf?1557962804778)

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

Valarezo Vizcaíno, M. A. (2015). *Preparación caja de cambios Suzuki Forsa I para competición*

[Tesis de licenciatura]. Quito: Universidad San Francisco de Quito USFQ. Recuperado el

11 de Agosto de 2020, de

<http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5326/1/123112.pdf>

Vélez Loaiza, S. C., & Vera Vanegas, A. V. (2016). *Obtención de los parámetros necesarios para el cálculo de la fuerza en rueda de vehículos eléctricos [Tesis de ingeniería]*. Universidad del

Azuay. Recuperado el 09 de Agosto de 2020, de

<http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5739/1/12059.pdf>

Vertiv. (2017). *El surgimiento de las baterías de iones de litio en los centros de datos. Un informe de aplicación de Vertiv™*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2020, de Vertiv Co:

https://www.vertiv.com/globalassets/documents/white-papers/vertiv-lithium-ion-battery-wp-en-na-sl-24692-sp_154560_0.pdf

Vidal Pastor, F., Mas Fito, J., & González López, M. (19 de Diciembre de 2014). *Sistemas*

Electricos y de Seguridad y Confortabilidad. Editex. Recuperado el 27 de Julio de 2020, de Transformadores de corriente:

[https://books.google.com.ec/books?id=pjiRAwAAQBAJ&pg=PA254&dq=Veh%C3%ADculos+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%ADculos+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)

Volkswagen. (2020). *Nuevas normas para los valores de consumo*. Recuperado el 29 de Julio de

2020, de Volkswagen Canarias: <https://www.vwcanarias.com/es/posventa/informacion-util/wltp.html>

Wong, J. Y. (2001). *Theory of ground vehicules* (Thrid ed.). John Wiley & Sons, Inc.

Zhang, X., & Mi, C. (2011). *Vehicle Power Management: Modeling, Control and Optimization*. Springer.

Zumba Álvarez, W. M. (2017). *Evaluación de la demanda energética de buses con motores de combustión interna, en rutas reales; para implementar buses eléctricos [Tesis de*

masterado]. Universidad del Azuay. Recuperado el 13 de Agosto de 2020, de

<http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7609/1/13472.pdf>

Anexos