



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA**

### **CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

#### **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRACCIÓN ELÉCTRICA APLICADO AL VEHÍCULO PROTOTIPO FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:**

**ALEX DARÍO TENELEMA CHANO**

**JOFFRE MILLER SÁNCHEZ LEMA**

Riobamba – Ecuador

2021



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRACCIÓN  
ELÉCTRICA APLICADO AL VEHÍCULO PROTOTIPO  
FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA  
AUTOMOTRIZ”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES: ALEX DARÍO TENELEMA CHANO**

**JOFFRE MILLER SÁNCHEZ LEMA**

**DIRECTOR: ING. CELIN ABAD PADILLA PADILLA**

Riobamba – Ecuador

2021

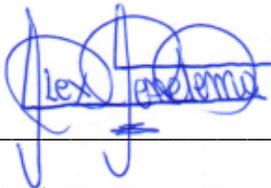
© 2021, Alex Darío Tenelema Chano & Joffre Miller Sánchez Lema

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Nosotros, ALEX DARÍO TENELEMA CHANO y JOFFRE MILLER SÁNCHEZ LEMA, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 29 de noviembre 2021



**Alex Darío Tenelema Chano**

180474328-2



**Joffre Miller Sánchez Lema**

020186423-8

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Proyecto técnico, **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRACCIÓN ELÉCTRICA APLICADO AL VEHÍCULO PROTOTIPO FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**, realizado por los señores: **ALEX DARÍO TENELEMA CHANO y JOFFRE MILLER SANCHEZ LEMA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Msc. Juan Carlos Rocha Hoyos <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	_____	2021-11-29
Ing. Msc. Celin Abad Padilla Padilla <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	2021-11-29
Ing. Msc. Cristian German Santiana Espín <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	2021-11-29

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a mis padres Ángel Sánchez y Susana Lema, quienes en todo momento han sido apoyo incondicional en mi vida, el gran esfuerzo y sacrificio de ellos, sumado a la dedicación y perseverancia que he puesto a lo largo de estos años de formación profesional, ha hecho que alcancé con éxito el objetivo que un día me propuse y que hoy lo he conseguido.

A mis hermanas, a mi novia María del Cisne Samaniego y a mi hijo Pablo Andrés, por la confianza y respaldo que siempre me brindaron, es por ello que les dedico este trabajo porque son las personas que nunca dudaron de mis capacidades y que hoy comparto este triunfo junto a ellos.

**Joffre Miller**

A mis amados padres Luis y Norma por su sacrificio y esfuerzo, por creer en mi capacidad y por darme la oportunidad de estudiar y obtener este título universitario, a mi hermano Luis por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día, a mi hermana Doménica por darme su cariño y respeto diario, a mi abuelita Charo que siempre ha sido una fuente inagotable de alegrías y consejos, a mi novia Adriana Chango por su apoyo y paciencia durante toda mi carrera universitaria.

Este triunfo se lo dedico a ustedes ya que sin su apoyo nada de esto hubiera sido posible, a esto debo añadir el enorme esfuerzo y perseverancia que he puesto durante todo este tiempo, no ha sido nada fácil llegar hasta este punto de mi vida, los viajes diarios, el agotamiento y el cansancio físico y mental han sido duros obstáculos de superar, pero con la gracia de Dios quien ha sido mi protector y fortaleza, he salido adelante en esta dura batalla.

**Alex Darío**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme dado sabiduría para poder culminar esta etapa de mi vida profesional. A mi familia por haber estado siempre a mi lado apoyándome cuando parecía que las cosas se ponían difíciles y que no podría lograrlo.

También, agradezco de manera muy especial a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que me brindó la oportunidad de formarme profesionalmente, a los docentes de cada una de las asignaturas recibidas, por haber impartido de la mejor manera sus conocimientos.

Este proyecto también lo dedico al Ingeniero Celin Padilla por haber guiado paso a paso el desenvolvimiento del mismo, gracias por su paciencia y voluntad prestada.

**Joffre Miller**

Agradezco a Dios que ha sido mi protector y guía durante esta etapa de mi vida, a mi familia y mi novia por ser el pilar fundamental de mi formación académica, sus consejos y su apoyo hicieron que cada día me levante con ánimos y ganas de salir adelante.

Debo agradecer también a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, institución que me acogió durante este largo periodo que estuve en sus aulas y me brindó la oportunidad de tener una excelente formación académica, a sus docentes de los cuales no solo he recibido enseñanzas académicas, además de estas he recibido valores que de una u otra manera supieron formar en mí una mejor persona. De manera muy especial agradezco al Ingeniero Celin Padilla por haber sido un docente notable y paciente durante este periodo de mi formación académica.

Joffre agradezco tu confianza y amistad, desde el primer momento supe que estaba trabajando con un gran ser humano y una excelente persona. A todos gracias infinitas y Dios les pague por creer en mí.

**Alex Darío**

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiv
RESUMEN .....	xv
SUMMARY .....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
1.1. Antecedentes .....	3
1.2. Planteamiento del problema .....	3
1.3. Justificación .....	4
1.4. Objetivos .....	5
1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....	5
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	5

### CAPÍTULO II

<b>2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....</b>	<b>6</b>
2.1. Estado del arte .....	6
2.2. Bases teóricas .....	7
2.2.1. <i>Fórmula SAE</i> .....	7
2.2.2. <i>Baterías</i> .....	7
2.2.2.1. <i>Plomo-ácido (Pb-ácido)</i> .....	9
2.2.2.2. <i>Níquel-cadmio (NiCd)</i> .....	9
2.2.2.3. <i>Níquel-hidruro metálico (NiMh)</i> .....	9
2.2.2.4. <i>Litio-cobalto (LiCoO<sub>2</sub>)</i> .....	9
2.2.2.5. <i>Litio-hierro-fosfato (LiFePO<sub>4</sub>)</i> .....	10
2.2.2.6. <i>Polímero de litio</i> .....	10
2.2.2.7. <i>Litio-níquel-cobalto-manganeso (Li NixCoyMnzO<sub>2</sub>)</i> .....	10
2.2.2.8. <i>Sodio-metal-cloruro (Na-MCl)</i> .....	10
2.2.2.9. <i>Zinc-Aire</i> .....	10

2.2.3.	<i>Cargador de baterías</i> .....	11
2.2.3.1.	<i>Carga inductiva</i> .....	12
2.2.3.2.	<i>Cambio de baterías</i> .....	12
2.2.4.	<i>Motores eléctricos</i> .....	13
2.2.5.	<i>Motor de corriente continua (CC)</i> .....	13
2.2.6.	<i>Motor de corriente alterna (CA)</i> .....	14
2.2.6.1.	<i>Motor asíncrono o de inducción</i> .....	15
2.2.6.2.	<i>Motor síncrono de imanes permanentes</i> .....	15
2.2.6.3.	<i>Motor síncrono de reluctancia conmutada</i> .....	16
2.2.7.	<i>Criterios de selección de motores eléctricos</i> .....	16
2.3.	<b>Marco legal</b> .....	17
2.3.1.	<i>Acumuladores de energía</i> .....	17
2.3.2.	<i>Restricciones eléctricas</i> .....	18
2.3.3.	<i>Tren de potencia</i> .....	18
2.3.4.	<i>Motor eléctrico</i> .....	18

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	20
3.1.	<b>Diagrama de etapas del proyecto</b> .....	20
3.2.	<b>Metodología de investigación a realizar</b> .....	21
3.2.1.	<i>Tipos de investigación</i> .....	21
3.2.1.1.	<i>Investigación Bibliográfica</i> .....	21
3.2.1.2.	<i>Aplicada</i> .....	21
3.2.1.3.	<i>Experimental</i> .....	21
3.3.	<b>Planificación o cronograma de actividades</b> .....	22
3.3.1.	<i>Cronograma de actividades</i> .....	22
3.4.	<b>Recursos y materiales</b> .....	22
3.4.1.	<i>Materiales</i> .....	22
3.4.2.	<i>Equipos</i> .....	25
3.4.3.	<i>Recursos humanos</i> .....	26
3.4.4.	<i>Recursos económicos</i> .....	27
3.5.	<b>Desarrollo del proyecto</b> .....	29
3.5.1.	<i>Modelado del sistema de tracción en software Solid Works</i> .....	29
3.5.2.	<i>Construcción y montaje de elementos mecánicos y de protección</i> .....	31
3.5.2.1.	<i>Construcción de la base del motor eléctrico</i> .....	31

3.5.2.2.	<i>Construcción de la base del diferencial posterior</i> .....	31
3.5.2.3.	<i>Montaje del diferencial posterior</i> .....	32
3.5.2.4.	<i>Construcción de la base del pedal electrónico</i> .....	33
3.5.2.5.	<i>Construcción y montaje del cubrecadena</i> .....	33
3.5.3.	<b><i>Montaje e implementación de dispositivos eléctricos y electrónicos en el chasis del vehículo prototipo</i></b> .....	34
3.5.3.1.	<i>Diagrama del sistema eléctrico del prototipo</i> .....	34
3.5.3.2.	<i>Batería de ION-LITIO 60V – 35 AH</i> .....	35
3.5.3.3.	<i>Controlador VEC 500</i> .....	35
3.5.3.4.	<i>Motor BLDC 10Kw</i> .....	36
3.5.3.5.	<i>Pedal electrónico EFP-005</i> .....	36
3.5.3.6.	<i>Regulador reductor de voltaje 180Watt – 15A (120V a 12V)</i> .....	37
3.5.3.7.	<i>Inversor 1000Watt (12V a 110V)</i> .....	37
3.5.3.8.	<i>Contactador NXC-50 120V 50<sup>a</sup></i> .....	38
3.5.3.9.	<i>Fusible tipo cuchilla 80A AFC-80</i> .....	39
3.5.3.10.	<i>Botones de emergencia o cortes de energía</i> .....	39
3.5.3.11.	<i>Caja de relés</i> .....	40

## CAPÍTULO IV

4.	<b>RESULTADOS</b> .....	41
4.1.	<b>Pruebas</b> .....	41
4.1.1.	<b><i>Obtención de resultados</i></b> .....	43
4.1.2.	<b><i>Análisis de resultados</i></b> .....	44
4.1.2.1.	<i>Puesta en marcha</i> .....	44
4.1.2.2.	<i>Resultados</i> .....	45
4.1.2.3.	<i>Mediciones de corriente</i> .....	47
4.1.2.4.	<i>Curvas de descarga</i> .....	49
4.1.3.	<b><i>Especificaciones técnicas de los elementos</i></b> .....	51
4.1.3.1.	<i>Motor</i> .....	51
4.1.3.2.	<i>Batería</i> .....	52
4.1.3.3.	<i>Controlador Motor</i> .....	52
4.1.3.4.	<i>Inversor</i> .....	52
4.1.3.5.	<i>Convertidor</i> .....	53
4.1.3.6.	<i>Contactador</i> .....	53
4.1.3.7.	<i>Fusible</i> .....	53
4.1.3.8.	<i>Llave Corte Corriente</i> .....	53

<b>4.1. Montaje final de la tracción eléctrica para el vehículo de Fórmula SAE .....</b>	<b>53</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>55</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>56</b>
<b>GLOSARIO</b>	
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Comparativa de características de baterías. ....	11
<b>Tabla 2-2:</b>	Rendimiento mínimo de motores de 4 polos .....	17
<b>Tabla 1-3:</b>	Tipos de investigaciones aplicadas .....	21
<b>Tabla 2-3:</b>	Materiales utilizados en el proyecto .....	22
<b>Tabla 3-3:</b>	Equipos utilizados en el proyecto .....	25
<b>Tabla 4-3:</b>	Matriz de asignación de responsabilidades .....	26
<b>Tabla 5-3:</b>	Matriz de costos directos del proyecto .....	28
<b>Tabla 6-3:</b>	Matriz de costos indirectos del proyecto .....	29
<b>Tabla 7-3:</b>	Matriz de costos totales del proyecto.....	29
<b>Tabla 1-4:</b>	Valores de corriente .....	50
<b>Tabla 2-4:</b>	Características del motor .....	51
<b>Tabla 3-4:</b>	Características de la batería .....	52
<b>Tabla 4-4:</b>	Características del Driver del motor .....	52
<b>Tabla 5-4:</b>	Características del inversor.....	52
<b>Tabla 6-4:</b>	Características del convertidor .....	53
<b>Tabla 7-4:</b>	Características del contactor .....	53
<b>Tabla 8-4:</b>	Características del fusible.....	53
<b>Tabla 9-4:</b>	Características de llave de corte eléctrico .....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Batería de vehículo eléctrico .....	8
<b>Figura 2-2:</b>	Cargador de batería de vehículos eléctricos.....	12
<b>Figura 3-2:</b>	Componentes de un motor Brushless .....	14
<b>Figura 4-2:</b>	Motor Brushless de Honda Insight .....	14
<b>Figura 5-2:</b>	Motores asíncronos en Tesla Model 3 .....	15
<b>Figura 6-2:</b>	Motor síncrono de imanes permanentes .....	16
<b>Figura 7-2:</b>	Motor síncrono de reluctancia combinada Renault ZOE .....	16
<b>Figura 8-2:</b>	Características de circuito de parada .....	19
<b>Figura 1-3:</b>	Modelado de las bases del motor y diferencial .....	30
<b>Figura 2-3:</b>	Modelado del diferencial en Solid Works .....	30
<b>Figura 3-3:</b>	Construcción de la base del motor.....	31
<b>Figura 4-3:</b>	Construcción de la base del diferencial .....	32
<b>Figura 5-3:</b>	Montaje del diferencial.....	32
<b>Figura 6-3:</b>	Ajuste del pedal electrónico a la base.....	33
<b>Figura 7-3:</b>	Construcción del cubre cadena .....	33
<b>Figura 8-3:</b>	Montaje del cubrecadena.....	34
<b>Figura 9-3:</b>	Ubicación de la batería .....	35
<b>Figura 10-3:</b>	Instalación del controlador VEC 500 .....	35
<b>Figura 11-3:</b>	Fijación del motor eléctrico.....	36
<b>Figura 12-3:</b>	Pedal electrónico .....	37
<b>Figura 13-3:</b>	Regulador reductor de voltaje.....	37
<b>Figura 14-3:</b>	Ubicación del inversor.....	38
<b>Figura 15-3:</b>	Ubicación del contactor.....	38
<b>Figura 16-3:</b>	Ubicación del relé de protección .....	39
<b>Figura 17-3:</b>	Ubicación de botones de corte de energía.....	39
<b>Figura 18-3:</b>	Caja de relés .....	40
<b>Figura 1-4:</b>	Diagrama de conexión de Golden Motor.....	41
<b>Figura 2-4:</b>	Diagrama de conexión del motor.....	42
<b>Figura 3-4:</b>	Instalación del motor eléctrico .....	42
<b>Figura 4-4:</b>	Puesta en marcha del motor.....	43
<b>Figura 5-4:</b>	Toma de lectura de mediciones .....	43
<b>Figura 6-4:</b>	Colocación del sensor inductivo.....	44
<b>Figura 7-4:</b>	Giro del motor .....	45
<b>Figura 8-4:</b>	Mediciones con el sistema energizado.....	47

<b>Figura 9-4:</b> Medición con el motor en movimiento.....	47
<b>Figura 10-4:</b> Medición de corriente al acelerar .....	48
<b>Figura 11-4:</b> Medición a máxima velocidad del motor.....	48
<b>Figura 12-4:</b> Montaje final de la tracción eléctrica.....	54

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Etapas del proyecto .....	20
<b>Gráfico 1-4:</b> RPM vs Tiempo .....	45
<b>Gráfico 2-4:</b> Comportamiento del voltaje con el motor en marcha .....	46
<b>Gráfico 3-4:</b> RPM con respecto al Voltaje .....	46
<b>Gráfico 4-4:</b> Curva de descarga de batería con vehículo embancado .....	50
<b>Gráfico 5-4:</b> Descarga de la batería con vehículo en calzada .....	51

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** CIRCUITO ELECTRÓNICO
- ANEXO B:** HOJA DE DATOS CONTROLADOR
- ANEXO C:** HOJA DE DATOS MOTOR GOLDEN
- ANEXO D:** HOJA DE DATOS CONVERTIDOR

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue implementar un sistema de tracción eléctrica para aplicarlo al vehículo prototipo Fórmula SAE de la carrera de Ingeniería Automotriz, para lo cual se realizó un estudio y recopilación teórica de información a través de libros y artículos científicos, con el propósito de analizar los diferentes elementos que van a conformar el sistema de tracción eléctrica y que se implementaron en el vehículo Fórmula SAE. El sistema de tracción eléctrica que se implementó en el prototipo es un sistema de tracción por cadena y arrastrado por un motor eléctrico de 10 KW con su respectivo controlador, con un voltaje de operación de 64 voltios y alimentados con una batería ION-LITIO de 60V – 50AH. Una vez definidas las características necesarias de los componentes eléctricos y electrónicos, se adecuó los componentes mecánicos en el prototipo, como el cálculo de la relación de transmisión, montaje del sistema diferencial y adecuación de los semi ejes posteriores, seguido de las adecuaciones de los compartimentos para los componentes como batería, controlador e inversor; para analizar el comportamiento del sistema eléctrico antes de conectarlo físicamente se realizaron las conexiones en un software especializado, esto evitó poder dañar componentes por malas conexiones. Las pruebas realizadas al prototipo muestran que el motor trabaja a 2,24KW es decir a una potencia de 3 HP y su batería tiene una autonomía de 30 minutos trabajando de forma continua. Se concluye que tanto la parte mecánica como la eléctrica y electrónica trabajan satisfactoriamente salvo que la batería es insuficiente para aprovechar al máximo la capacidad del motor. Se recomienda dotar al sistema de una batería híbrida con la cual se podrá obtener una mayor cantidad de energía e incluso se podría mejorar la parte estructural para tener una mejor relación peso potencia.

**Palabras clave:** <SISTEMA DE TRACCIÓN ELÉCTRICA> <VEHÍCULO FÓRMULA SAE>  
<PROTOTIPO ELÉCTRICO> <BATERÍA ION-LITIO> <MOTOR ELÉCTRICO>.



Firmado electrónicamente por:  
**HOLGER GERMAN  
RAMOS UVIDIA**

0040-DBRA-UPT-2022

2022-01-10

## SUMMARY

This project aimed to implement an electric traction system for the Formula SAE prototype vehicle of the Automotive Engineering race. Thus, the study and theoretical compilation of information through books and scientific articles were developed to analyze the different elements that will make up the electric traction system, and which were implemented in the Formula SAE vehicle. The electric drive system implemented in the prototype is a chain drive system, dragged by a motor electric of 10 KW with its respective controller, with an operating voltage of 64 volts and powered by a 60V – 50AH ION-LITHIUM battery. Once the needed characteristics have been defined, electrical and electronic components, the mechanical components were adapted in the prototype, such as the calculation of the transmission ratio, assembly of the differential system, and adequacy of the rear axle shafts. Then by the adaptations of the compartments for the components such as the battery, controller, and inverter. To analyze the behavior of the electrical system before connecting it physically. The connections were made in specialized software, this avoided being able to damage components due to poor connections. The tests carried out to the prototype show that the engine works at 2.24KW. This means, at a power of 3 HP, its battery has an autonomy of 30 minutes working continuously. It concluded that both the mechanical part as well as electrical and electronic work satisfactorily except that the battery is insufficient to take full advantage of the capacity of the engine. It is recommended to equip the system of a hybrid battery with which a greater amount of energy can be obtained and the structural part could even be improved to have a better power-to-weight ratio.

**KEYWORDS:** <ELECTRIC TRACTION SYSTEM> <FORMULA SAE VEHICLE>  
<ELECTRIC PROTOTYPE> <LITHIUM-ION BATTERY> <ELECTRIC MOTOR>.



## **INTRODUCCIÓN**

El constante avance tecnológico en el área automotriz tiene alcances muy importantes, buscando la eficiencia energética y desarrollando nuevas formas de reducción de la contaminación ambiental, brindando eficientes servicios de movilidad.

Hoy en día, los vehículos eléctricos están siendo una nueva tendencia de movilidad humana, asumiendo la responsabilidad de transportarnos sin la necesidad de quemar combustibles fósiles, mitigando así la contaminación y efecto invernadero que se produce por la quema de estos.

La Fórmula SAE, es una competición automovilística entre universidades de todo el mundo, en la cual hay que diseñar y construir un monoplaza ajustándose a una normativa que establece la SAE. En esta competencia, a más de vehículos dotados de motores de combustión interna, existen vehículos dotados con sistemas de tracción eléctrica, introducidos a partir del año 2013. (SAE, 2020a)

El aumento de la demanda automovilística, el costo del petróleo, así como el impacto de los motores de combustión interna convencionales, hace que se tecnifique la movilidad con vehículos eléctricos. Para seguir esta directriz, la SAE ha introducido la serie para vehículos puramente eléctricos, además de los tradicionalmente asociado con vehículos con motor de combustión interna.

Por ello, la investigación de desarrollar un vehículo alimentado por motores eléctricos que consiste en analizar la fuerza, movimiento y desempeño durante su propulsión, a fin de determinar el tamaño, las formas y los materiales necesarios para cada uno de los componentes interrelacionados del vehículo. (Carreño Aguillón, et al., 2012a, p. 91)

El vehículo será totalmente eléctrico, por lo que el aporte a la sociedad y a la universidad será la implementación del motor eléctrico al vehículo de competencia, para que, en función de todos sus componentes, establezca una velocidad constante de recorrido y así evitar también un prematuro desgaste del almacenador de energía; logrando así un eficaz recorrido del vehículo durante la competencia automovilista de esta categoría.

Un inconveniente notorio que presentan los vehículos eléctricos son la limitada carga almacenada en las baterías; por lo que es necesario tomarlos en cuenta para la selección del motor y su respectivo tren de propulsión.

La Fórmula SAE o Fórmula Student a lo largo de los años ha ido incrementando su reconocimiento a nivel mundial hasta el punto de ser una de las mayores competencias no

profesionales con mayor número de participantes de todo el mundo de esta manera se convierte en una competencia muy prestigiosa y ambicionada a nivel internacional.

Tomando en cuenta la normativa vigente de la competencia y los varios proyectos experimentales realizados por varias universidades y escuelas politécnicas, se logrará diseñar el adecuado tren de propulsión para el prototipo, obteniendo así un bajo consumo amperimétrico y posterior bajo consumo de descarga de las baterías o acumuladores de energía.

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Antecedentes

La Fórmula Student, también conocida como Fórmula SAE, es una competición en la que participan estudiantes de universidades e institutos superiores de todo el mundo, en esta competencia se promueven el diseño, construcción y desarrollo de vehículos monoplace inspirados en prototipos tipo Fórmula, fabricados con la implementación de diferentes tecnologías, en este caso el tema de proyecto planteado responde a los prototipos con tecnología eléctrica.

El propósito de esta competencia es poner en práctica los conocimientos adquiridos por los estudiantes en las aulas, impulsando a estos a diseñar, construir y desarrollar un vehículo prototipo para competencias.

El tema de este proyecto responde al compromiso de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo juntamente con la Escuela de Ingeniería Automotriz que en el futuro sean partícipes en la Fórmula Student, empleando recursos y medios disponibles en nuestro país, así también como recursos del extranjero ayudando de esta manera a futuras generaciones a tener una detallada información y un mejor conocimiento en el diseño del monoplace. (Albán, 2016)

La importancia del sistema de tracción, se debe a que posee gran responsabilidad sobre el pilotaje del monoplace, siendo este el sistema que promueve el movimiento del mismo, para lo cual se debe garantizar una correcta instalación de todos los componentes que conforman este sistema.

#### 1.2. Planteamiento del problema

Absolutamente todos los vehículos independientemente de su tecnología necesitan un sistema de propulsión para su respectivo desplazamiento. Preparar un vehículo para cualquier competencia, implica la necesidad del uso de varios sistemas automotrices que aumenten el rendimiento en su conducción, y para el caso de la competencia mundial Fórmula SAE, no es la excepción, implementando el respectivo tren de propulsión y tracción eléctrica en el caso de este presente proyecto.

Todos los vehículos automotrices necesitan de un sistema de freno eficaz para la reducción parcial o total del movimiento de éste. Preparar un vehículo de competencia, ya sea de cualquier tipo de

categoría, implica el uso de varios sistemas automotrices que mejoren la eficiencia y eficacia en la conducción, y en nuestro caso, el vehículo de la fórmula SAE de competencia no dispone de un sistema de tracción, que es uno de los más importantes para la competencia.

Debido al constante crecimiento de la contaminación ambiental a nivel mundial, generada por vehículos propulsados mediante combustibles fósiles, que, además de ser limitada en nuestro planeta, obliga a la sociedad a buscar nuevas estrategias de utilización de energías renovables, empleando métodos de propulsión amigables con el ambiente.

Una notoria desventaja en los vehículos eléctricos o solares es su limitada carga almacenada en las baterías; por lo que es necesario tomarlo en cuenta para la implementación del sistema de tracción y propulsión del vehículo eléctrico.

### **1.3. Justificación**

Para el desarrollo del proyecto de construcción del prototipo Fórmula SAE eléctrico, se observó la necesidad de implementar un sistema de tracción eléctrica para originar el movimiento de este y que cumplan con las exigencias del reglamento de la Fórmula SAE. Para esto se necesita investigar e implementar un sistema funcional y confiable ya que debe resistir las condiciones a las que va a ser sometido a lo largo de la competencia.

De esta manera se prevé complementar la investigación con la adquisición de partes y piezas que sean capaces de cumplir con los requerimientos para obtener los resultados esperados.

"Los vehículos eléctricos cargados con electricidad limpia producida en el continente ofrecen entre un 10 y un 24% de reducción en su contribución al calentamiento global en comparación con vehículos convencionales", según el estudio, cifras parecidas a las que manejan los fabricantes de automóviles. (Zietsche, 2012)

"Por tanto, el diseño de un automóvil alimentado por energía eléctrica consiste en definir y calcular movimientos, fuerzas y cambios de energía a fin de determinar el tamaño, las formas y los materiales necesarios para cada uno de los componentes interrelacionados del vehículo". (Carreño Aguillón, et al., 2012b, p. 91)

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo General***

Implementar un sistema de tracción eléctrica aplicado al vehículo prototipo Fórmula SAE de la carrera de Ingeniería Automotriz.

### ***1.4.2. Objetivos Específicos***

- Realizar un estudio de fundamentación teórica, mediante la recopilación de información a través de libros y artículos científicos, para obtener una idea más clara acerca del funcionamiento de la tracción eléctrica aplicada a los vehículos.
- Analizar los diferentes elementos que van a conformar el sistema de tracción eléctrica, los mismos que posteriormente van a ser implementados en el vehículo Fórmula SAE.
- Implementar el sistema de tracción eléctrica en el vehículo prototipo Fórmula SAE utilizando los componentes eléctricos necesarios para utilizar energía eléctrica.
- Validar el funcionamiento de tracción eléctrica en el vehículo prototipo Fórmula SAE mediante la determinación de la velocidad máxima y su autonomía para garantizar la fiabilidad del sistema.

## CAPÍTULO II

### 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1. Estado del arte

En 1981, SAE International (anteriormente conocida como Sociedad de Ingenieros Automotrices) desarrolló y administró la primera competencia estudiantil de Fórmula SAE® (FSAE®) con la ayuda de Ron Matthews, profesor de la Universidad de Texas. SAE International operó la única competencia de Fórmula SAE durante 17 años antes de su asociación con IMechE (Institución de Ingenieros Mecánicos) en Inglaterra, donde se desarrolló la marca "Fórmula Student". Desde sus inicios, Fórmula SAE se ha expandido e incluye muchos eventos derivados. En los Estados Unidos hay dos competencias gestionadas por SAE International. A nivel internacional, la expansión de Fórmula SAE / Fórmula Student se ha disparado a más de 20 competencias organizadas actualmente por sociedades de ingeniería o empresas privadas. (SAE, 2020b)

El programa SAE International Fórmula SAE es una competencia de diseño de ingeniería para estudiantes de pregrado y posgrado. La competencia brinda a los participantes la oportunidad de mejorar sus habilidades de diseño de ingeniería y gestión de proyectos mediante la aplicación de las teorías aprendidas en el aula en una competencia desafiante. El objetivo de diseño de ingeniería para los equipos es desarrollar y construir un auto de carreras de un solo asiento para el corredor de autocross de fin de semana no profesional con el mejor paquete general de diseño, construcción, rendimiento y costo. (SAE, 2020c)

El concepto detrás de la Fórmula SAE es que una empresa de fabricación ficticia ha contratado a un equipo de diseño para desarrollar un pequeño coche de carreras al estilo de la Fórmula. El prototipo de auto de carreras se evaluará por su potencial como artículo de producción. El grupo de marketing objetivo para el coche de carreras es el corredor de autocross de fin de semana no profesional. Cada equipo de estudiantes diseña, construye y prueba un prototipo basado en una serie de reglas cuyo propósito es tanto garantizar las operaciones de eventos en el sitio como promover la resolución inteligente de problemas. El vehículo será inspeccionado en una serie de pruebas para asegurar que cumple con las reglas de la competencia; Además, el vehículo con conductor será evaluado en muchas pruebas de rendimiento en pista. El resto de la evaluación es completada por expertos de las industrias del automovilismo, automotriz, aeroespacial y de proveedores en el diseño de los estudiantes, presentaciones de costos y ventas. (SAE, 2020d)

Fórmula SAE promueve carreras y excelencia en ingeniería, ya que abarca todos los aspectos de la industria automotriz, incluida la investigación, el diseño, la fabricación, las pruebas, el desarrollo, el marketing, la gestión y las finanzas. En 2006, Dartmouth College (en asociación con SAE International) creó el evento de combustible alternativo Fórmula Hybrid utilizando autos de Fórmula SAE con centrales eléctricas híbridas de gasolina y electricidad. (SAE, 2020e)

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Fórmula SAE**

Las competencias de Fórmula SAE desafían a los equipos de estudiantes universitarios de pregrado y posgrado a concebir, diseñar, fabricar, desarrollar y competir con vehículos pequeños de estilo fórmula. (SAE, 2020f)

Fórmula SAE es una competencia de educación en ingeniería que requiere la demostración del desempeño de los vehículos en una serie de eventos, tanto fuera de la pista como en la pista contrarreloj. Cada competencia brinda a los equipos la oportunidad de demostrar su creatividad y habilidades de ingeniería en comparación con equipos de otras universidades de todo el mundo. (SAE, 2020g)

Entre los principales objetivos que se requieren para participar en la competencia están los siguientes:

- El vehículo debe tener un alto rendimiento y ser lo suficientemente duradero para completar con éxito todos los eventos en la competición de Fórmula SAE.
- Los factores de diseño adicionales incluyen: estética, costo, ergonomía, facilidad de mantenimiento y capacidad de fabricación. (Artés, 2012a)
- Cada diseño será juzgado y evaluado en comparación con otros diseños de la competencia en una serie de eventos estáticos y dinámicos, para determinar que el vehículo cumple con los objetivos de diseño, y así poder construirse y comercializarse de manera rentable. (SAE, 2020h)

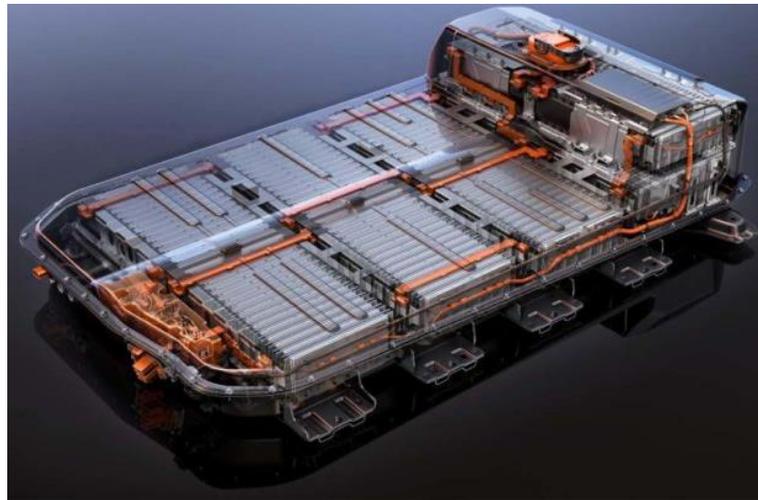
La competencia posee dos categorías de vehículos, en las cuales el prototipo eléctrico estará en la clase “Vehículo Eléctrico” o también llamado “EV”, el cual, la reglamentación se ha basado en esta categoría.

### **2.2.2. Baterías.**

Las baterías o también conocidos como acumuladores de energía para los vehículos eléctricos son el elemento principal para brindar una buena autonomía y posterior recorrido del mismo.

Con el pasar del tiempo, se ha observado un aumento del interés por estos vehículos que no emiten contaminantes a la atmósfera y no generan ruidos.

Una batería es un conjunto de celdas, en cada una de las cuales tiene lugar una reacción química reversible en la que se produce un intercambio de iones y electrones entre sus dos polos. (Artés, 2012b)



**Figura 1-2:** Batería de vehículo eléctrico

**Fuente:** (Kuchen, 2018)

Para elegir la adecuada batería para el vehículo se deben tener en cuenta los siguientes factores detallados a continuación:

- *Densidad energética.* Identifica la energía que almacena y suministra la batería por cada kilogramo. Se la puede expresar en kilovatios-hora por kilogramo ( $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{kg}$ ). Cuanto mayor sea la densidad, mayor será la autonomía.
- *Capacidad de la batería.* Es la cantidad de amperios que puede suministrar o recibir una batería en el lapso de hora. Se la puede medir en amperios por hora (Ah) o en kilovatios por hora ( $\text{kW}/\text{h}$ ).
- *Potencia.* Es la capacidad de proporcionar potencia al vehículo en el proceso de descarga. Cuanto mayor sea la potencia, mayores prestaciones tendrá el vehículo; se expresa en vatios por kilogramo ( $\text{W}/\text{kg}$ ).
- *Eficiencia.* Es el rendimiento de la batería, la energía que realmente aprovecha. Este valor es medido porcentualmente.
- *Ciclo de vida.* Son los ciclos completos de carga y descarga que soporta la batería en su vida útil. Cuantos más ciclos tenga la batería, tendrá una mayor durabilidad. (RACE, 2019a)

Existen varios tipos de almacenadores de energía en el mercado, con ventajas y desventajas en cada uno de ellos; se detallan a continuación los más importantes:

#### *2.2.2.1. Plomo-ácido (Pb-ácido)*

Es la batería más antigua y la más utilizada en vehículos convencionales. Suelen ser de 6 y 12 voltios. Se utilizan fundamentalmente para funciones de arranque del vehículo, iluminación o soporte eléctrico. La ventaja es su bajo costo y una buena respuesta en frío; pero su peso excesivo, toxicidad, y mantenimiento periódico, son los factores negativos. Posee una energía específica de 40 Wh/kg. (RACE, 2019b)

#### *2.2.2.2. Níquel-cadmio (NiCd)*

Muy utilizadas en la industria automotriz, pero su alto costo de adquisición hace que se ocupe con mayor frecuencia en aviones, helicópteros o vehículos militares, dado su gran rendimiento a bajas temperaturas. Una de las ventajas más relevantes es su tamaño reducido y alta eficiencia energética; poseen una energía específica de 125Wh/kg. (RACE, 2019c)

#### *2.2.2.3. Níquel-hidruro metálico (NiMh)*

Son similares a las de níquel-cadmio, con la ventaja que poseen un menor efecto de memoria, además de ser menos agresivas con el medio ambiente. Los problemas que tienen este tipo de baterías es su constante mantenimiento y su deterioro frente a altas temperaturas, altas corrientes de descarga o sobrecargas. Estas baterías generan demasiado calor y se recargan lentamente. Su energía específica es de 60 Wh/kg. (RACE, 2019d)

#### *2.2.2.4. Litio-cobalto (LiCoO<sub>2</sub>)*

Baterías de reciente creación formada por un electrolito de sal de litio y electrodos de litio, cobalto y óxido. La gran ventaja es que tienen más del doble de densidad energética a pesar de que son un tercio más pequeñas que las mencionadas anteriormente. En la actualidad, se posicionan como la mejor solución para un vehículo eléctrico. Pero igualmente poseen desventajas, el principal es su alto costo de producción; son frágiles, pueden detonar por el sobrecalentamiento y deben ser almacenadas con sumo cuidado, tanto por necesitar un ambiente frío y porque debe estar parcialmente cargada. (Rabadán, 2018)

La energía específica que entrega esta batería es de 170-185 Wh/kg. (Artés, 2012c)

#### 2.2.2.5. *Litio-hierro-fosfato (LiFePO<sub>4</sub>)*

Esta batería es parecida a la anterior, con la diferencia de que no usa el cobalto, por lo que tiene una mayor estabilidad química y seguridad de uso. Una gran ventaja es su ciclo de vida más largo y una mayor potencia. Como desventajas se aprecia una menor densidad energética y su elevado costo. Por último, posee una energía específica de 90 – 125 Wh/kg. (Artés, 2012d)

#### 2.2.2.6. *Polímero de litio*

Es una variación de las baterías de ion-litio con la ventaja de que cuentan con una mayor densidad energética y potencia. Su voltaje, densidad energética, potencia específica, carga utilizable, eficiencia de recarga y ciclo de vida son muy superiores a las de las dos mencionadas anteriormente, al tiempo que su índice de descarga es mucho menor.

#### 2.2.2.7. *Litio-níquel-cobalto-manganeso (Li Ni<sub>x</sub>Co<sub>y</sub>Mn<sub>z</sub>O<sub>2</sub>)*

Este tipo de batería es una de las que se usan en la actualidad, utilizadas por marcas como Chevrolet, Volkswagen, Renault y varias marcas reconocidas. Posee un gran rendimiento y costo razonable, además de poseer una vida útil extendida a casi el doble de las baterías de Litio. La energía específica que entregan las baterías de este tipo son de 155 – 190 Wh/kg. (Artés, 2012e)

#### 2.2.2.8. *Sodio-metal-cloruro (Na-MCl).*

Este tipo de baterías también son conocidas como “ZEBRA”, y poseen un electrodo positivo de azufre; poseen la desventaja de funcionamiento a una temperatura de los 300 grados centígrados, además de una entrega de energía específica de 90-120 Wh/kg. La ventaja de estas baterías es su corto mantenimiento y su costo relativamente razonable.

#### 2.2.2.9. *Zinc-Aire.*

Tienen un comportamiento mejorado en relación con la potencia específica 10 veces mayor a las baterías mencionadas anteriormente. Las combinaciones entre el zinc con el oxígeno forman óxido de zinc. La principal ventaja es su facilidad de carga que es rápida y sin muchas complicaciones; entrega una energía específica de 230 Wh/kg. (Artés, 2012f)

Al existir varios tipos de acumuladores de energía, se puede observar en la siguiente tabla comparativa de las principales características que se deben tomar en cuenta para su principal elección y posterior uso:

**Tabla 1-2:** Comparativa de características de baterías.

Tipo/Característica	Energía específica	Densidad de energía	Potencia específica	Ciclos de vida	Proyección de costo
	(Wh/kg)	(Wh/l)	(W/kg)	(ciclos)	(\$/kWh)
Plomo-acido	30-45	60-90	200-300	400-600	150
Ion-litio	120	140-200	250-450	800-1200	>200
Polímero de litio	155	220	315	600	>200
Níquel-cadmio	40-60	20-110	150-350	600-1200	300
Níquel-hidruro metálico	60-70	130-170	150-300	600-1200	200-350
Sodio-metal-cloruro	100	150	200	800	250-450
ZEBRA	120	186	167	1000-2000	230-350
Zinc-aire	180-220	269	105	No aplica	90-120

Fuente: (Arcos, 2005)

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

### 2.2.3. Cargador de baterías.

La función que cumple este dispositivo es la de abastecer del voltaje necesario al banco de baterías, mediante el funcionamiento de estas en el vehículo en movimiento. Posee características específicas de trabajar con un solo voltaje de carga que va a depender de la tensión del banco de baterías que es utilizado.

Es común mencionar que las baterías generan un desgaste en su voltaje al abastecer de la tensión necesaria que ocupan los dispositivos del prototipo durante su movimiento, y por eso es muy necesario del abastecimiento de un cargador.

En la actualidad, existen controladores de motores que poseen una inversión de corriente para la recarga de las baterías mediante el proceso del frenado regenerativo. Este tema será especificado en el ítem del controlador.



**Figura 2-2:** Cargador de batería de vehículos eléctricos

**Realizado por:** Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

Si bien la carga por métodos conductivos es, con mucho, el método más común para cargar baterías de vehículos eléctricos, también existen algunas otras opciones, como la carga inductiva y el intercambio de baterías. Otra opción para alimentar vehículos eléctricos más grandes son los cables de catenaria aérea. A continuación, se presentan breves descripciones de cada una de estas alternativas.

#### *2.2.3.1. Carga inductiva*

La carga inductiva implica transferir la energía a la batería magnéticamente a través de un cargador integrado, eliminando así la necesidad de cables y cuerdas. La carga inductiva estacionaria se utilizaría para cargar la batería mientras que en la carretera la carga inductiva podría permitir cargar la batería o alimentar el motor eléctrico mientras el vehículo está en movimiento. (Pelletier, et al., 2014a, p. 17)

#### *2.2.3.2. Cambio de baterías*

El cambio de batería es un concepto que implica el uso de estaciones de limpieza de batería atomizadas que quitan la batería agotada e insertan una completamente cargada. Esto permitiría obtener rápidamente una batería completamente cargada y podría reducir el sobrepeso de los vehículos eléctricos, ya que la batería ya no se compra con el vehículo. (Pelletier, et al., 2014b, p. 17)

Los usuarios también podrían aprovechar más fácilmente las mejoras anticipadas en la tecnología de la batería; sin embargo, los principales obstáculos técnicos incluyen el espacio y el costo asociados con el gran stock de baterías incorporadas, los enormes costos de infraestructura para las estaciones de intercambio, la estandarización necesaria de vehículos y baterías, y el riesgo de daños en las baterías por un intercambio excesivo.

Las estaciones también necesitarían recargar una gran cantidad de baterías al mismo tiempo, lo que podría afectar la red eléctrica. (Pelletier, et al., 2014c, p. 17)

#### **2.2.4. Motores eléctricos.**

Los motores eléctricos son naturalmente utilizados en el vehículo; en su mayoría son de corriente continua con escobillas y de imanes permanentes. Para la tracción de un vehículo eléctrico, deben poseer un alto rendimiento y vida útil prolongados. (López Martínez, 2015a)

Estos motores deben cumplir altos requerimientos específicos para su uso, entre los cuales se detallan a continuación:

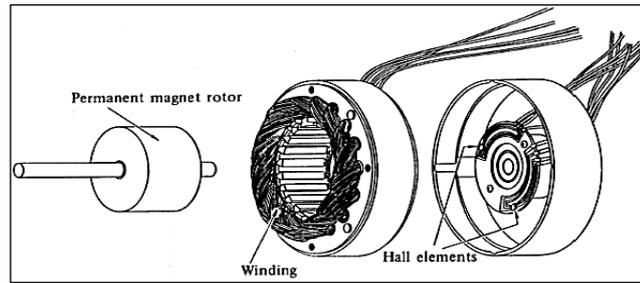
- Robustez
- Alta relación par/inercia
- Alta densidad de par y potencia
- Alto par en el arranque y en pendiente
- Alta potencia en autopista
- Amplio rendimiento en un elevado rango de revoluciones y par
- Bajo ruido, mantenimiento y costo
- Bajas emisiones electromagnéticas
- Potencia constante en un amplio régimen de giro. (López Martínez, 2015b)

Para los vehículos eléctricos, se usan motores de corriente continua (CC) y corriente alterna (CA) sin escobillas, que incluyen motores inductivos, de imanes permanentes y de reluctancia conmutada.

#### **2.2.5. Motor de corriente continua (CC).**

Fueron los primeros motores utilizados para generar tracción en los vehículos eléctricos. Para los automóviles se usan motores sin escobillas o de tipo Brushless. Constan de un rotor formado por una serie de imanes permanentes y un estator bobinado. Al tener un campo magnético constante creado por los imanes permanentes, no hay necesidad de un bobinado y escobillas para

conducir la corriente al rotor. El estator tiene 3 bobinados independientes que son las 3 fases del motor.

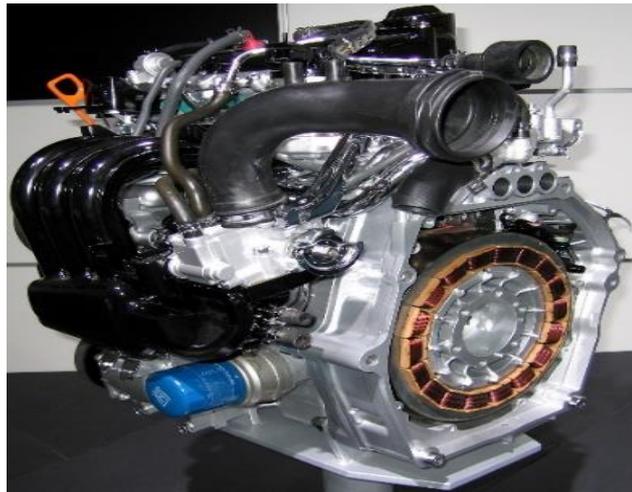


**Figura 3-2:** Componentes de un motor Brushless

Fuente: (Escobar, y otros, 2005)

Este tipo de motores presenta un sensor de efecto Hall para la detección de la posición del rotor. Las conexiones de los bobinados pueden ser estrella o delta. También se puede generar el giro de reversa del motor combinando la lógica del conmutador.

Estos motores poseen la ventaja de disipar muy bien el calor, además que consumen menos energía con una mayor duración de las baterías; también necesitan un muy reducido mantenimiento. El problema es su elevado costo y una potencia reducida, ya que no se han realizado avances en este tipo de motores.



**Figura 4-2:** Motor Brushless de Honda Insight

Fuente: (HYE, 2012)

#### 2.2.6. *Motor de corriente alterna (CA)*

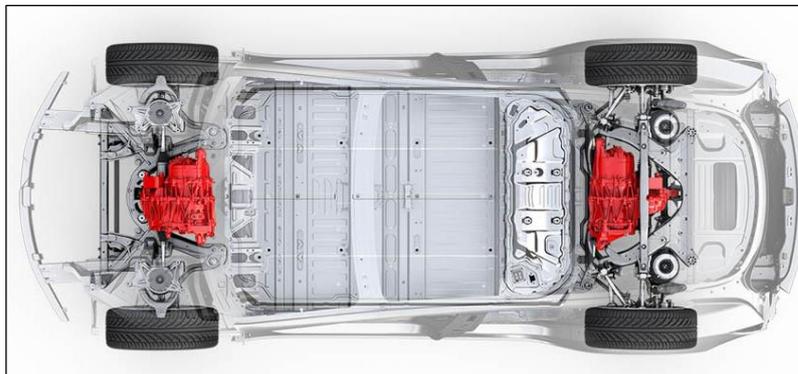
Para una mejor optimización de la corriente eléctrica, los fabricantes de motores eléctricos han optado por la utilización de la corriente alterna; ya que se puede obtener mayor potencia y torque

a diferencia de los motores CC. Para este tipo de motores, existen tres tipos de modos de inducción de la corriente alterna.

#### 2.2.6.1. *Motor asíncrono o de inducción*

Este tipo de motor tiene la peculiaridad de que el giro del rotor no va a la misma velocidad que el campo magnético que produce el estator. Su rotor puede ser de tipo jaula de ardilla o bobinado, y las bobinas inductoras del estator son trifásicas, desfasadas entre sí a  $120^\circ$ .

Las ventajas de estos motores son alta eficiencia, bajo costo, fiabilidad, bajo ruido y vibraciones y par constante. El problema es su baja densidad de potencia, bajo par en el arranque y riesgo de sobrecarga.



**Figura 5-2:** Motores asíncronos en Tesla Model 3

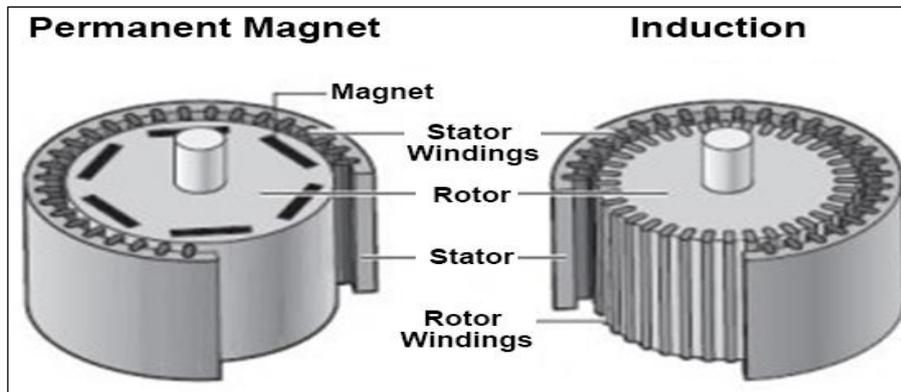
**Fuente:** (Prieto, 2018)

#### 2.2.6.2. *Motor síncrono de imanes permanentes*

Este tipo de motor opera exactamente a la misma velocidad que el campo magnético del estator, sin deslizamiento. El estator del motor síncrono es muy parecido al de un motor de inducción, generando un campo magnético variable. (López Martínez, 2015c)

Es el motor más extendido entre los vehículos eléctricos, y puede ser de dos tipos; de flujo radial (los más habituales) o de flujo axial (ideales para ser integrados en las ruedas), dependiendo de la posición del campo magnético de inducción, que puede ser perpendicular o paralelo al eje de giro del rotor.

Posee un alto rendimiento, también una alta relación par/peso; además tiene una mejor refrigeración debido a la ausencia de pérdidas de cobre en el rotor. El alto costo de los imanes permanentes y la alta sensibilidad a la temperatura y condiciones de carga son los factores negativos de estos motores. (López Martínez, 2015d)



**Figura 6-2:** Motor síncrono de imanes permanentes

Fuente: (Anónimo, 2010)

### 2.2.6.3. Motor síncrono de reluctancia conmutada

La corriente es conmutada entre las bobinas de cada fase del estator hasta crear un campo magnético que gira. El rotor, de material magnético con polos salientes, es inducido por el campo magnético, atrayéndose y creando un par que mantiene el rotor moviéndose a velocidad síncrona.

La ventaja es que no usa imanes permanentes ni escobillas, además de un par elevado y costo. La potencia y complejidad en su diseño robusto son los aspectos negativos de estos motores.



**Figura 7-2:** Motor síncrono de reluctancia combinada Renault ZOE

Fuente: (Sánchez, 2018)

### 2.2.7. Criterios de selección de motores eléctricos

Un motor eléctrico debería ser lo más pequeño y ligeramente posible. Para el caso del rendimiento, el tipo de motor se debe escoger en función de la energía y densidad específicas. El

rendimiento máximo de los motores eléctricos es de hasta el 94%, pero dicha condición se obtiene dependiendo del funcionamiento. (López Martínez, 2015e)

A medida que reduce el rendimiento, la potencia se reduce drásticamente. Se ha comprobado que el rendimiento del motor puede estar por debajo del 90%, y aun seguirá ofreciendo energía al motor. En la siguiente tala se puede observar la potencia generada por el motor en función del rendimiento mínimo de este.

**Tabla 2-2:** Rendimiento mínimo de motores de 4 polos

Potencia generada (Kw)	Rendimiento mínimo (%)
1,1	83,8
2,2	86,4
4	88,4
7,5	90,1
15	91,8
30	93,2
55	94,2
90	95,0

Fuente: (López Martínez, 2015)

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

## 2.3. Marco legal

### 2.3.1. Acumuladores de energía

Para los acumuladores de energía hay que cumplir con rigurosos estándares de la competencia, debido a que es un material de mucho riesgo para el conductor. Entre los principales lineamientos están los siguientes:

- Los contenedores del acumulador deben estar contruidos con material mecánicamente resistente.
- El recipiente del acumulador debe estar hecho de un material no inflamable.
- Todos los contenedores acumuladores deben estar diseñados para soportar fuerzas de desaceleración en todas las direcciones.
- Los contenedores acumuladores y los sistemas de montaje están sujetos a aprobación durante la revisión de la Hoja de Equivalencia Estructural y la inspección técnica. (SAE, 2020i)

- Para el diseño de la estructura del acumulador, se la debe documentar en hoja de equivalencia estructural.
- Todos los contenedores de los acumuladores deben estar protegidos contra impactos laterales o impactos traseros mediante estructuras de impacto. (SAE, 2020j)

### **2.3.2. Restricciones eléctricas**

Hay que tener en cuenta las limitaciones que establece el reglamento en cuanto a la energía proporcionada al vehículo. Los principales factores restrictivos se detallan a continuación:

- La potencia máxima extraída del acumulador no debe exceder los 80 kW. (SAE, 2020k)
- El voltaje máximo permitido que puede ocurrir entre dos puntos cualesquiera no debe exceder los 600 voltios en corriente directa. (SAE, 2020l)
- La regeneración de energía está permitida y sin restricciones cuando la velocidad del vehículo sea superior a los 5 Km/h. (SAE, 2020m)
- Está prohibido suministrar energía al motor de cuando el vehículo se conduzca en reversa. (SAE, 2020n)
- Cada contenedor acumulador de energía debe contener un mínimo de un fusible y dos o más relés de aislamiento del acumulador o “AIR”.
- Se debe incluir una desconexión de alto voltaje o “HDV” para desconectar rápidamente uno o ambos polos del acumulador.
- El acumulador debe contener un circuito de precarga.
- El sistema de tracción debe contener un circuito de descarga. (SAE, 2020ñ)

### **2.3.3. Tren de potencia**

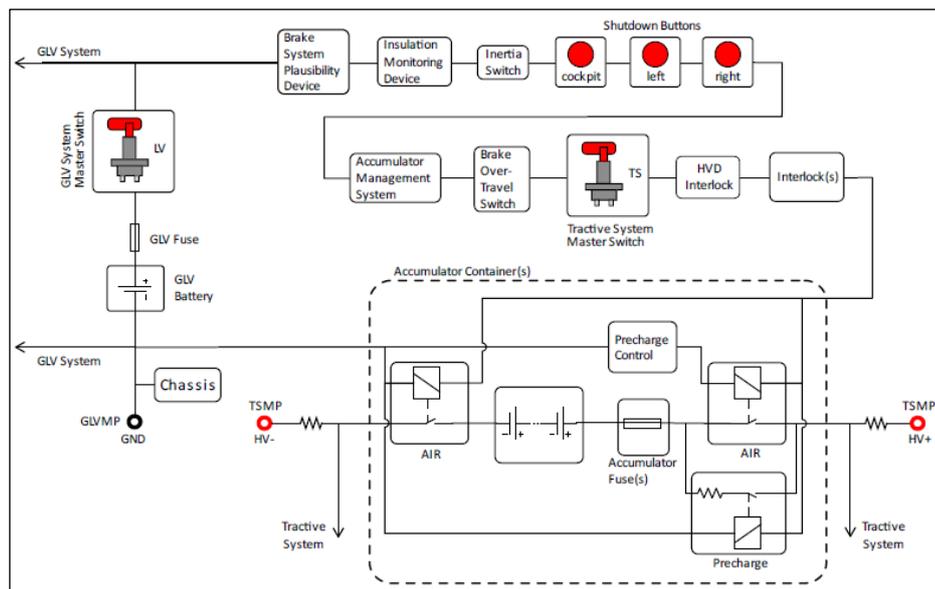
Para el tren de potencia se puede utilizar cualquier mecanismo de transmisión. El equipo de transmisión final de alta velocidad expuesto, como transmisiones de variación continua (CVT), ruedas dentadas, engranajes, poleas, convertidores de par, embragues, transmisiones por correa, transmisiones por embrague y motores eléctricos, deben estar equipados con protectores, destinados a contener las piezas de transmisión en caso de fallo o avería. (SAE, 2020o)

### **2.3.4. Motor eléctrico**

Para el motor eléctrico hay que tener en cuenta ciertas consideraciones específicas, tales como:

- Debe poseer un sistema de bajo voltaje o “GLV”, que debe ser un sistema conectado a tierra al chasis.
- Todos los cables utilizados en el contenedor acumulador de energía, ya sea que formen parte del GLV o del sistema de tracción, debe estar clasificado para el voltaje máximo del sistema de tracción. (SAE, 2020p)

El equipo debe poder demostrar todas las características y funciones del circuito de parada y componentes ante la Inspección técnica eléctrica, tal y como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 8-2:** Características de circuito de parada

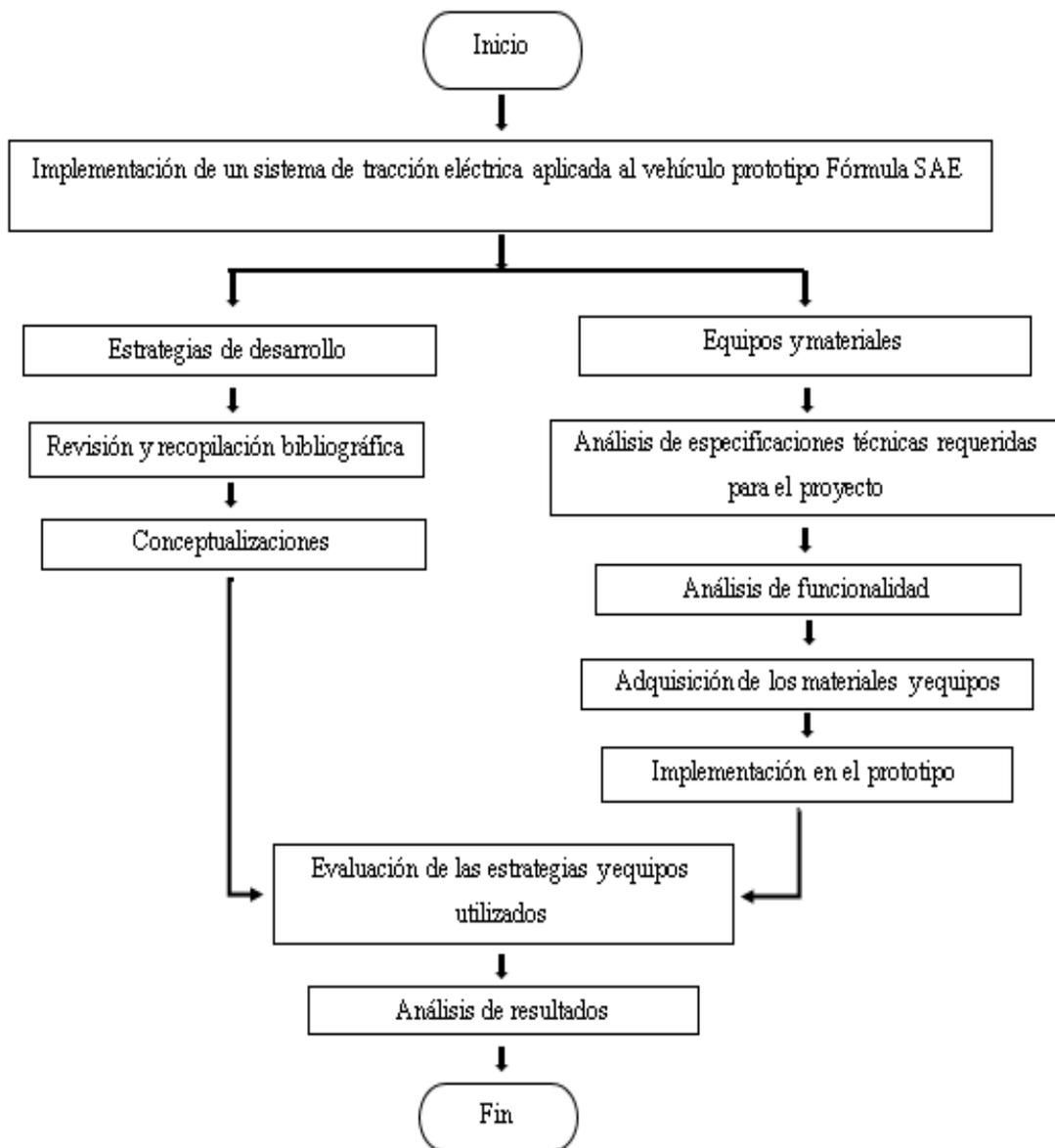
Fuente: (SAE, 2020)

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Diagrama de etapas del proyecto

El ciclo de vida de nuestro proyecto se ha estructurado en base a cinco etapas: inicio, planificación, ejecución, evaluación, análisis de resultados y cierre; los mismos que se detallan en el siguiente diagrama de flujo:



**Gráfico 1-3:** Etapas del proyecto

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

### 3.2. Metodología de investigación a realizar

En este apartado describiremos las metodologías empleadas para alcanzar los objetivos propuestos, siendo parte estas metodologías las que se mencionan en la siguiente tabla.

**Tabla 1-3:** Tipos de investigaciones aplicadas

<b>Tipo de investigación</b>	<b>Técnica de investigación</b>	<b>Instrumentos de investigación</b>
<b>Bibliográfica</b>	Recopilación bibliográfica, análisis documental, técnicas de resumen, síntesis	Bibliotecas Virtuales Repositorios de Universidades Fichas técnicas, banco de datos.
<b>Aplicada</b>	Análisis de los datos obtenidos del comportamiento para la toma de decisiones.	Realizar pruebas funcionamiento para conocer su precisión y alcance.
<b>Experimental</b>	Programación del sistema de telemetría para la comunicación y obtención de datos.	Utilización SOFTWARE

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

#### 3.2.1. Tipos de investigación

##### 3.2.1.1. Investigación Bibliográfica

La investigación bibliográfica es la primera etapa del proceso investigativo que proporciona el conocimiento de las investigaciones ya existentes, de un modo sistemático, a través de una amplia búsqueda de: información, conocimientos y técnicas sobre una cuestión determinada. (Mora De Labastida, s.f.)

##### 3.2.1.2. Aplicada

Para realizar el estudio del comportamiento del motor para poder establecer estrategias y notificar al piloto y obtener una mejor operación del prototipo.

##### 3.2.1.3. Experimental

La instalación de los módulos para la obtención y emisión de datos se utilizarán módulos capaces de recopilar datos y enviarlos a una central de control, con lo que se tratara de reducir el consumo del prototipo al mínimo posible.

### 3.3. Planificación o cronograma de actividades

#### 3.3.1. Cronograma de actividades

Un cronograma de actividades es simplemente un calendario en el que estableces los tiempos en los que realizaras el proyecto, una tarea, o un conjunto de actividades a trabajar o desarrollar. El cronograma se puede utilizar en un sinnúmero de cosas: cuando trabajas y planeas la forma en que realizaras llevaras a cabo las tareas; generalmente se utiliza de manera inconsciente; casi toda la vida, es una manera no sistematizada. (Sanchez, 2015).

### 3.4. Recursos y materiales

#### 3.4.1. Materiales

**Tabla 2-3:** Materiales utilizados en el proyecto

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>
Electrodos 6013	1 libra	Utilizados para soldar las bases y soportes para los componentes que posteriormente se instalaron.
Tubo redondo 1-1/4 plg x 2 mm	2 metros	Son tubos de acero laminado en frío, estructural soldable de alta resistencia, sirve de apoyo para la instalación de las bases del motor, se reforzó para que no tienda a doblarse con el peso del mismo.
Angulo de acero	1 metro	Son perfiles angulares estructurales de acero inoxidable utilizado para reforzar la base en donde se coloca la batería y demás componentes eléctricos.
Perfil estructural rectangular (75 x 2) mm	2 metros	Tubo de acero estructural galvanizado con forma rectangular utilizado para la fabricación de las bases del diferencial.
Perfil estructural tipo G (100 x 50 x 15 x 2) mm	2 metros	Perfil estructural laminado en caliente en forma de G, con excelentes propiedades de soldadura y facilidad de corte, moldeado y mecanizado, utilizado para la fabricación de las bases del diferencial.

Platina negra 3 x 1/4	3 metros	Perfil laminado en caliente, de acero de sección transversal rectangular, fácil de soldar y cortar, utilizado para la fabricación de las bases del motor y base del pedal
Plancha de acero galvanizado G-60	1 metro cuadrado	Plancha de acero recubierta con zinc para prevenir la corrosión, laminado al frío, material maleable y resistente lo que le permite soportar diferentes contingencias como el roce, los golpes y la fricción, utilizado para la implementación de la base donde se ubica el motor y demás componentes eléctricos.
Cadena 520H	1 unidad	Cadena de transmisión estándar con paso de 520 (2/8 plg ó 6.35 mm) y 120 eslabones, utilizada para el sistema de transmisión del prototipo.
Batería de ION-LITIO 60V – 35AH	1 unidad	Dispositivo con dos o más celdas diseñado para el almacenamiento de energía eléctrica, emplea como electrolito una sal de litio que consigue los iones necesarios para la reacción química reversible entre ánodo y cátodo. Se conectaron dos baterías en paralelo para obtener una mayor autonomía y potencia del prototipo.
Selector de dos posiciones con llave	1 unidad	Conmutador de dos posiciones estables, en las que permanece tras su accionamiento, este selector es similar a los interruptores y conmutadores en cuanto a su funcionamiento, se utilizó para el encendido del sistema eléctrico del prototipo.
Regulador reductor de voltaje 180Watt - 15A – (120V a 12V)	1 unidad	Dispositivo electrónico utilizado para mantener un voltaje regulable o constante por medio de un circuito integrado, de esta manera ayuda a proteger los dispositivos a elementos que estas conectados a él. Este dispositivo fue utilizado para regular la entrada de voltaje que proviene de la batería hacia los demás dispositivos.
Pedal electrónico	1 unidad	Dispositivo que se basa en un sensor ubicado en el pedal que capta la posición del mismo y la

		comunica al controlador, este ordena a un actuador que modifique el flujo de corriente eléctrica, cuya posición es detectada a su vez por un sensor de posición.
Interruptor de desconexión de batería dual 12V – 60V	2 unidades	Ayudan a gestionar el uso general de energía eléctrica a bordo del vehículo, además ayuda a prevenir la descarga de la batería durante los periodos de inactividad. Permite de una manera rápida y fácil apagar todo el sistema eléctrico en caso de emergencia.
Cable flexible 10 AWG	2 carretes 5m c/u	Se utiliza para realizar conexiones de alto voltaje entre batería y los diferentes dispositivos electrónicos.
Conectores de alto voltaje	8 unidades	Conectores coaxiales de alto voltaje, son ideales para realizar conexiones que demanden alto voltaje, es decir, conexiones entre la batería y el motor, interruptores de desconexión, regulador de voltaje, contactor, etc.
Contactador NXC-50 120V 50A	1 unidad	Es un switch controlado electrónicamente y se usó para activar o cortar un flujo de corriente en el circuito eléctricos de potencia del motor eléctrico y demás circuitos.
Terminales de compresión corto #6 – 6mm	4 unidades	Elementos que aseguran un correcto contacto entre el cableado y el borde sobre el que vaya a ser instalado, este elemento permitió asegurar los interruptores de desconexión de batería dual de batería, y regulador reductor de voltaje.
Fusible tipo cuchilla 125A AFC-80	1 unidad (4 repuesto)	Usados para proteger el cableado eléctrico y demás componentes electrónicos dentro del vehículo en caso a fallas en el flujo de corriente eléctrica.
Inversor 1000 Watt (12V a 110V)	1 unidad	Dispositivo que cambia o transforma una tensión de entrada de corriente continua a una tensión simétrica de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia que el usuario desee.

Relé 24V – 30A	3 unidades	Dispositivo eléctrico que funciona como un interruptor, abriendo y cerrando el paso de la corriente eléctrica, pero accionado eléctricamente. Utilizado para activar el contactor debido a que se necesita gran cantidad de energía para su activación y funcionamiento, para lo cual utiliza la señal que se envía por medio del controlador.
Interruptor de tres posiciones	1 unidad	Dispositivo que sirve para realizar operaciones de encendido o apagado de ciertos elementos. Este dispositivo se utilizó para cambiar de sentido de giro de sentido del motor, hacia delante o hacia atrás.

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

### 3.4.2. Equipos

**Tabla 3-3:** Equipos utilizados en el proyecto

Equipo	Descripción
Torno	Máquina herramienta que permite mecanizar piezas de forma geométricas (cilindros, conos, etc.). Este equipo se encarga de hacer girar la pieza mientras las herramientas de corte son empujadas contra su superficie cortando las partes sobrantes en forma de viruta. Este equipo se utilizó para la mecanización de los semiejes del diferencial y para corregir las fallas de las juntas homocinéticas del diferencial
Amoladora	Es otra de los equipos más versátiles del mercado. Vista ya como herramienta de corte, también puede ser utilizada para desbastar las superficies de elementos de la carrocería. La amoladora se utiliza para decapar la superficie y poder llegar hasta la zona en la que se encuentran los puntos de unión o dejar limpia para posibles operaciones a realizar antes del corte (Montes, 2012).
Taladro de pedestal	Diseñado como maquina estacionaria que puede montarse sobre una mesa de trabajo o directamente sobre el piso si su tamaño es mayor, ofrece varias ventajas a diferencia del

	taladro convencional como exactitud, velocidad, potencia, precisión y seguridad.
Taladro de mano	Maquina con la que se mecanizan agujeros a través de brocas a las piezas en los diferentes talleres. La principal ventaja de esta máquina es que posee una potencia bastante elevada y su rendimiento es constante.
Soldadora eléctrica	Es una máquina que se utiliza para la fijación de materiales, mediante la fundición de un material de aporte que, mientras se funde va uniendo las piezas y cuando se enfría se convierte en una unión fija y resistente.
Fresadora	Su principio de funcionamiento es conformar una pieza por arranque de viruta. Para ellos, la pieza se sujeta sobre una mesa de trabajo y puede permanecer fija o con movimiento rectilíneo, la herramienta efectúa movimiento giratorio y al realizar el contacto de herramienta-pieza se produce el mecanizado con desprendimiento de viruta (Espeso, y otros, 2002).

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

### 3.4.3. Recursos humanos

Cuando se habla de Administración de Recursos Humanos, se toma como referencia la administración de las personas que participan en las organizaciones, en las cuales desempeñan determinados roles. Las personas pasan la mayor parte de su tiempo viviendo o trabajando en organizaciones. La producción de bienes y servicios no pueden llevarla a cabo personas que trabajen aisladas. (Chiavenato, 2000)

En la siguiente tabla se detallará la asignación de roles y actividades que les fueron asignados a las personas que intervinieron en el proyecto:

**Tabla 4-3:** Matriz de asignación de responsabilidades

<b>Rol asumido</b>	<b>Tareas o funciones</b>	<b>Encargados</b>
<b>Investigador</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestiona el desarrollo del proyecto en sus diversas y sucesivas etapas.</li> <li>• Revisa fuentes bibliográficas confiables para obtener información</li> </ul>	<p>Sr. Alex Tenelema</p> <p>Sr. Joffre Sánchez</p>

	<p>confiable para el desarrollo del proyecto.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presenta informes requeridos por el tutor o asesor del proyecto.</li> </ul>	
<b>Planificador</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determina, que hacer, como hacer, y donde realizar el proyecto.</li> <li>• Determina las fechas específicas para realizar una o varias actividades.</li> <li>• Encargado de realizar las compras de materiales necesarios para el proyecto en su parte física.</li> </ul>	Sr. Alex Tenelema
<b>Desarrollador</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encargado de realizar una serie de procesos y actividades haciendo uso de la metodología definida que permita lograr los objetivos planteados.</li> </ul>	<p>Sr. Alex Tenelema</p> <p>Sr. Joffre Sánchez</p>
<b>Revisión y aprobación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encargado de solicitar informes de avances de proyecto.</li> <li>• Solicita cambiar o mejoras en la elaboración del proyecto.</li> <li>• Aprueba o rechaza dichos cambios.</li> <li>• Revisa minuciosamente el proyecto, tanto la estructura teórica, como la elaboración física del proyecto.</li> </ul>	<p>Ing. Msc. Celin Padilla</p> <p>Ing. Msc. Cristian Santiana</p>

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

#### 3.4.4. Recursos económicos

Se ha definido como recursos económicos a los medios materiales o inmateriales que pueden satisfacer ciertas necesidades dentro del proceso de elaboración y fabricación de un proyecto, siendo estos necesarios para el desarrollo de las operaciones del mismo. A continuación, se detallan por medio de tablas todos los gastos que incurrieron en la elaboración de nuestro proyecto:

**Tabla 5-3:** Matriz de costos directos del proyecto

<b>Orden</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Detalle</b>	<b>Precio Unitario USD</b>	<b>Precio Total USD</b>
1	1	Batería ION-LITIO 60V – 50AH	1500	1500
2	1	Selector de dos posiciones con llave	2.73	2.73
3	1	Regulador reductor de voltaje 180Watt – 15A	48	48
4	1	Pedal electrónico	120	120
5	2	Interruptor de desconexión de batería dual 12V – 60V	23	46
6	2	Carretes de cable flexible 10AWG (rojo-azul)	5	10
7	8	Conectores de alto voltaje	0.75	6
8	1	Cadena de transmisión 520H 120L	14	14
9	1	Contactador NXC-50 120V 50A	33	33
10	4	Terminales de compresión corto #6 6mm	0.5	2
11	1	Fusible tipo cuchilla 80A AFC-80	5	5
12	1	Porta fusible tipo cuchilla	4.5	4.5
13	1	Inversor 12V a 110V 1000Watt	40	40
14	3	Relés 24V 30A	2	6
15	1	Interruptor de tres posiciones	2.5	2.5
16	1/2	Plancha de acero galvanizado G60	30	30
17	1	Platina negra 3 x 1/4	15	15
18	1/2	Perfil estructural tipo G (100 x 50 x 15 x 2) mm	12.5	12.5
19	1/2	Perfil estructural rectangular (75 x 2) mm	12	12
20	1/2	Angulo (25 x 4) mm	6.5	6.5
21	1	Tubo redondo 1-1/4 plg x 2 mm.	18	18
22	1	Libra de electrodos 6013	3.5	3.5
<b>TOTAL</b>				<b>1937.23</b>

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

**Tabla 6-3:** Matriz de costos indirectos del proyecto

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
		<b>USD</b>	<b>USD</b>
Transporte	-----	60 c/u	120 (por dos personas)
Alimentación	-----	60 c/u	120 (por dos personas)
Impresiones	120 (hojas)	0.25	30
Copias	30 (hojas)	0.02	0.6
Otros	-----	-----	80
<b>TOTAL</b>			<b>350.6</b>

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

**Tabla 7-3:** Matriz de costos totales del proyecto

<b>Descripción</b>	<b>Precio Total USD</b>
Costos directos	<b>1937.23</b>
Costos indirectos	<b>350.6</b>
<b>TOTAL</b>	<b>2287.83</b>

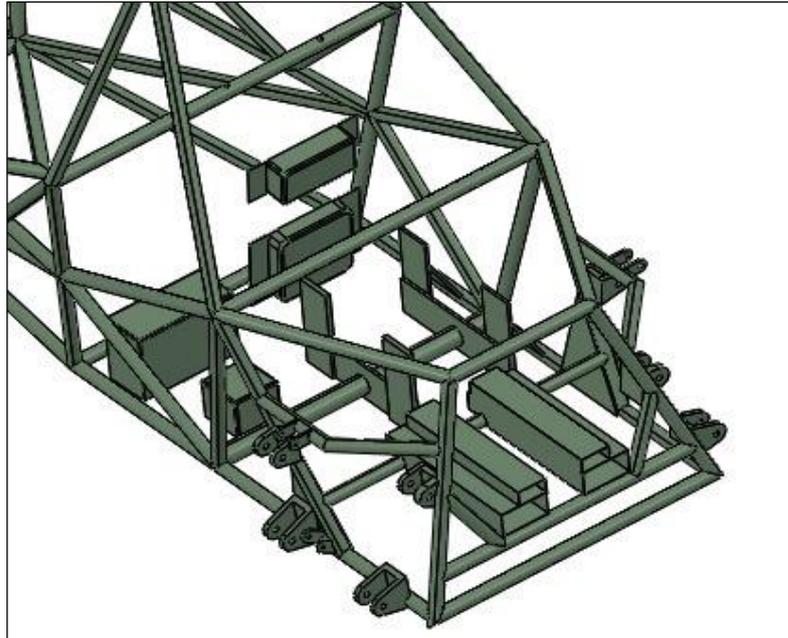
Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

### **3.5. Desarrollo del proyecto**

#### **3.5.1. Modelado del sistema de tracción en software Solid Works**

Para realizar el modelado del sistema de tracción se han tomado parámetros importantes como la ubicación del motor eléctrico y ubicación del diferencial posterior, estas ubicaciones deben estar debidamente posicionadas ya que deben cumplir con las restricciones de diseño y modelado impuestas por la Fórmula SAE, teniendo en cuenta estos parámetros tendremos resultados positivos en cuanto a estabilidad, adherencia al suelo, distribución de peso, una refrigeración adecuada al motor, etc.

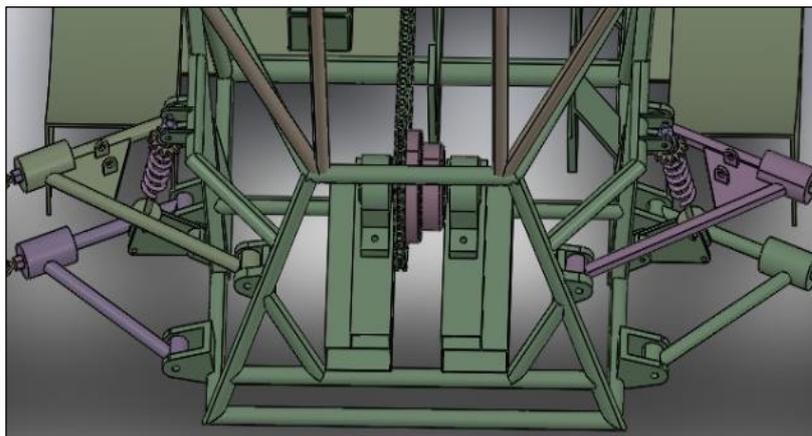
El programa de computadora elegido para el modelado fue Solid Works, ya que presenta una interfaz bastante intuitiva y fácil de manejar. Empezamos el modelado realizando las bases del motor y diferencial posterior teniendo en cuenta aspectos importantes como, altura, centros de gravedad y posicionamiento como se observa en la figura 2-3:



**Figura 1-3:** Modelado de las bases del motor y diferencial

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

Posteriormente se procede a realizar el modelado del diferencial posterior, teniendo en cuenta las consideraciones antes mencionadas para de esta manera evitar cualquier falla que impida el correcto funcionamiento del vehículo.



**Figura 2-3:** Modelado del diferencial en Solid Works

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

Como último punto de este modelado se procede a implementar la base que servirá de apoyo para sostener los componentes electrónicos que forman parte del sistema de tracción, siendo estos el controlador, regulador reductor de voltaje y el inversor, tomando en cuenta que no interfieran con el correcto funcionamiento de los demás componentes y evitando roces con los mismos.

### 3.5.2. *Construcción y montaje de elementos mecánicos y de protección*

#### 3.5.2.1. *Construcción de la base del motor eléctrico*

Una vez modelado en Solid Works, se construye la base de sujeción del motor eléctrico de acuerdo a las medidas del chasis del prototipo y teniendo en cuenta que no interfiera con los demás mecanismos y elementos que lo conforman, además se debe tomar en cuenta que el motor debe estar debidamente alineado con el diferencial posterior, ya que, si no ocurre esto se tendrán serios problemas de funcionamiento y desgaste de mecanismos y materiales.

Para la construcción de la base se utilizó una platina de acero negro de 3 x 1/4, para dar forma a la base se usó una herramienta de corte (amoladora) y un taladro de pedestal para la perforación de los orificios por donde atraviesan los pernos de sujeción entre la base y el motor.



**Figura 3-3:** Construcción de la base del motor

**Realizado por:** Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

#### 3.5.2.2. *Construcción de la base del diferencial posterior*

Una vez modelado en Solid Works el diferencial posterior, se construye la base en la que ira montada el mismo, de acuerdo con las medidas del chasis del prototipo y teniendo en cuenta que no interfiera con los demás mecanismos y elementos que lo conforman, además se debe tomar en cuenta que exista un correcto acople entre las juntas homocinéticas y los semiejes, ya que podría afectar de gran manera en el correcto funcionamiento del sistema.

Para la construcción de la base se utilizó un perfil estructural tipo G (100 x 50 x 15 x 2) mm y un perfil estructural rectangular (75 x 2) mm, mismos que fueron cortados con la medida específica para que no interfiera con los demás elementos, además se soldaron entre sí para tener una correcta sujeción y no exista movimientos que provoquen desgaste en las bases o a su vez causen

desalineación con el piñón conductor del motor. Además, se procede a sujetarlos al chasis del prototipo por medio de pernos de alta resistencia de 5 plg.



**Figura 4-3:** Construcción de la base del diferencial

**Realizado por:** Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

### 3.5.2.3. *Montaje del diferencial posterior*

Esta base se la implementa tomando como referencia la altura del motor y teniendo en cuenta que debe tener una perfecta alineación entre el piñón conductor del motor (13 dientes) y el piñón conducido del diferencial posterior (catalina de 47 dientes), de tener bien implementados estos aspectos, tendremos un funcionamiento óptimo del sistema de tracción, caso contrario se procederá a revisar cada parte implementada hasta encontrar la falla y corregir.



**Figura 5-3:** Montaje del diferencial

**Realizado por:** Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

#### 3.5.2.4. Construcción de la base del pedal electrónico

Para la construcción de la base se utilizó una platina de acero negro de 3 x 1/4, para dar forma a la base se usó una prensa dobladora de hierro y un taladro de pedestal para la perforación de los orificios por donde atraviesan los pernos de sujeción entre la base y chasis del prototipo.

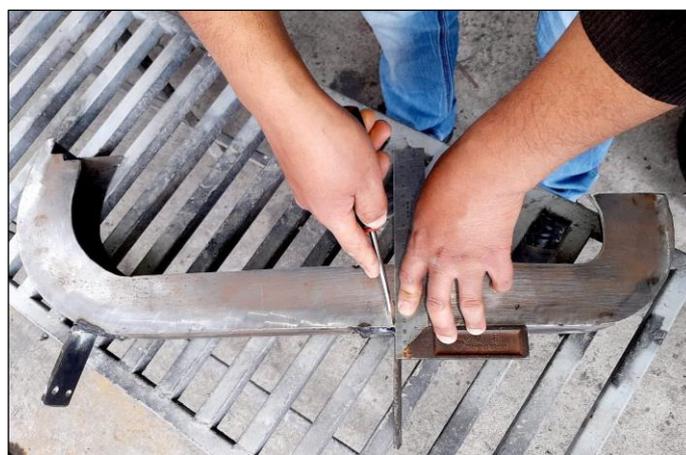


**Figura 6-3:** Ajuste del pedal electrónico a la base

**Realizado por:** Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

#### 3.5.2.5. Construcción y montaje del cubrecadena

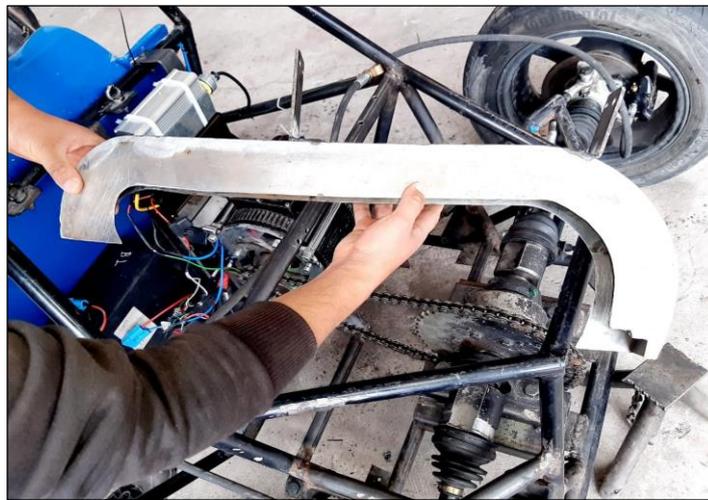
Para la construcción del cubrecadena se utilizó una platina de acero negro de 3 x 1/4, para dar forma a esta estructura y se recubrió por los costados con retazos de una plancha de acero galvanizado G-60, moldeados a medida hasta recubrir por completo toda la superficie superior de la cadena.



**Figura 7-3:** Construcción del cubre cadena

**Realizado por:** Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

Luego de la fabricación se procede al montaje del cubrecadena en el prototipo, teniendo cuidado ya que de estar mal instalado tendríamos serios problemas de funcionamiento debido a que pueden existir roces frecuentes entre la cadena y este elemento. El cubrecadena viene a ser un elemento muy importante dentro del vehículo ya que, protege a las personas que están trabajando en el vehículo con el motor encendido de posibles accidentes, además protege al cableado que se encuentra cerca de la cadena.



**Figura 8-3:** Montaje del cubrecadena

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

### ***3.5.3. Montaje e implementación de dispositivos eléctricos y electrónicos en el chasis del vehículo prototipo***

A continuación, se detallará los dispositivos que fueron implementados en el chasis del vehículo, así como también su ubicación dentro del mismo, partiendo del diagrama del sistema eléctrico. Cabe destacar que estos dispositivos fueron instalados de acuerdo con la normativa que rige en la competencia.

#### ***3.5.3.1. Diagrama del sistema eléctrico del prototipo***

Para la puesta en marcha ha sido necesaria la utilización de un circuito electrónico, mismo que sirve como punto de referencia para realizar las conexiones del sistema eléctrico del sistema de tracción del vehículo de Fórmula SAE.

Este diagrama está basado tanto en las sugerencias como en las exigencias que mencionan en la normativa que se rigen los vehículos en la competencia, así como también en las necesidades de los mismos. EL diagrama está especificado en el Anexo A.

### 3.5.3.2. Batería de ION-LITIO 60V – 35 AH

La batería es uno de los dispositivos más importantes del vehículo, debido a que es la encargada de suministrar potencia eléctrica que requiere el motor para su correcto funcionamiento, también se encarga de alimentar a otros dispositivos electrónicos que hacen parte del vehículo. Este dispositivo fue ubicado en la parte posterior del chasis, detrás del asiento del piloto. Cabe recalcar que la batería fue adquirida fuera del país debido a que es un elemento muy escaso y altamente costoso en el Ecuador. Tiene un voltaje de 60V y una capacidad de descarga de 35 amperios por hora.

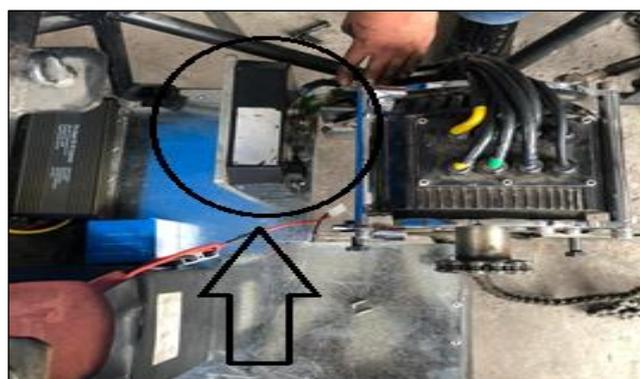


**Figura 9-3:** Ubicación de la batería

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

### 3.5.3.3. Controlador VEC 500

El controlador es el encargado de convertir la corriente continua propiciada por la batería y transformarla en corriente alterna para suministrarla al motor, también es el encargado de controlar el suministro de energía según las necesidades del piloto. Dentro del chasis está ubicado sobre al lado de la batería, detrás del piloto. Resiste voltajes de entre 48V y 96V, 10Kw de potencia y 500A.



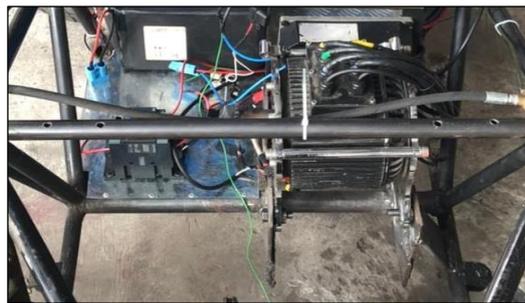
**Figura 10-3:** Instalación del controlador VEC 500

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

#### 3.5.3.4. Motor BLDC 10Kw

Este dispositivo es el encargado de transformar la potencia eléctrica de la batería en energía mecánica, la cual es transmitida hacia las ruedas a través del diferencial. La ubicación de este dispositivo es en la parte posterior del chasis, detrás del asiento del piloto al lado de la batería. Para la alimentación se utilizó los cables que ya venían previamente instalados en el motor.

Una vez construida la base se ubicó el motor en la posición seleccionada teniendo en cuenta que debe tener una perfecta alineación entre el piñón conductor del motor (13 dientes) y el piñón conducido del diferencial posterior (catalina de 47 dientes) para que no exista inconvenientes en el momento del accionamiento del mecanismo de tracción.



**Figura 11-3:** Fijación del motor eléctrico

**Realizado por:** Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

#### 3.5.3.5. Pedal electrónico EFP-005

Dispositivo encargado de proporcionar la variación de velocidad que será suministrada por el motor eléctrico, se basa en un sensor ubicado dentro del pedal que capta la posición de este y la comunica al controlador, este ordena a un actuador que modifique el paso de corriente eléctrica hacia el motor. Está ubicado en la parte delantera derecha del vehículo, sujetado por medio de pernos a la base que previamente se construyó.



**Figura 12-3:** Pedal electrónico

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

### 3.5.3.6. Regulador reductor de voltaje 180Watt – 15A (120V a 12V)

Este dispositivo es utilizado para mantener un voltaje regulable o constante por medio de un circuito integrado, de esta manera ayuda a proteger los dispositivos a elementos que estas conectados a él. Está ubicado en la parte posterior del chasis, sobre el controlador. Transforma voltajes desde los 120V – 48V a 12V.



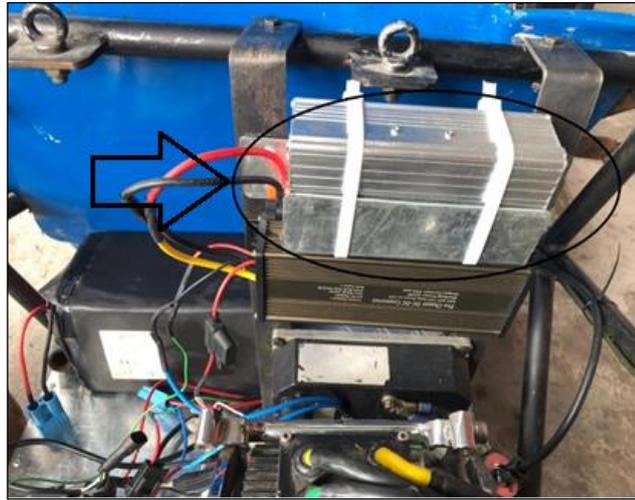
**Figura 13-3:** Regulador reductor de voltaje

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

### 3.5.3.7. Inversor 1000Watt (12V a 110V)

Dispositivo que cambia o transforma una tensión de entrada de corriente continua a una tensión simétrica de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia que el usuario desee, para activar el contactor que es un dispositivo que necesita corriente alterna para su funcionamiento.

Su ubicación es detrás del asiento del piloto justo por encima del regulador reductor de voltaje. Transforma una tensión de entrada de 12V a una tensión de 110V con una potencia que varía entre los 1000 y 2000 Watts dependiendo de las necesidades del usuario.

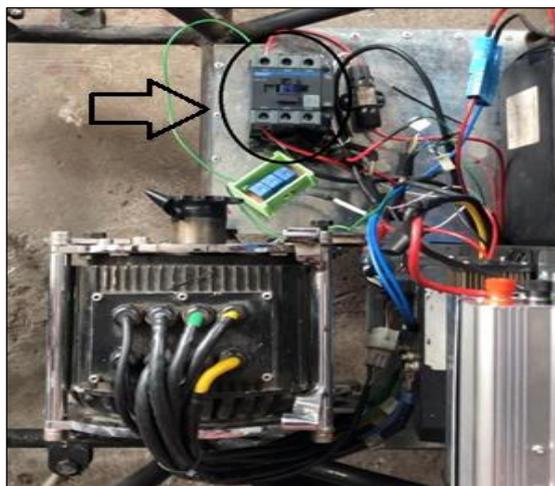


**Figura 14-3:** Ubicación del inversor

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

#### 3.5.3.8. Contactor *NXC-50 120V 50<sup>a</sup>*

Es un switch controlado electrónicamente y se usa para activar o cortar un flujo de corriente en un circuito eléctricos de potencia como motores eléctricos y demás circuitos. Su ubicación es detrás del asiento del piloto, a lado de la batería.

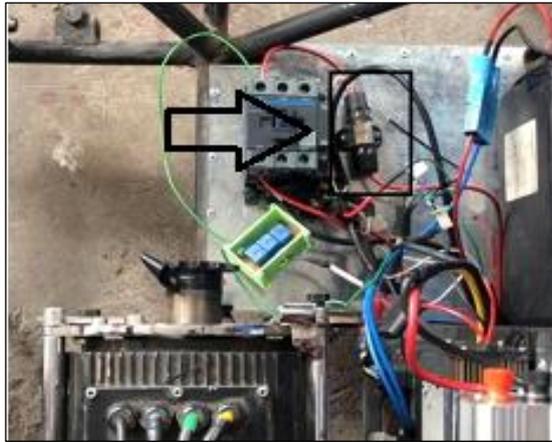


**Figura 15-3:** Ubicación del contactor

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

### 3.5.3.9. Fusible tipo cuchilla 80A AFC-80

Posee un punto de fusión bajo y está conectado tanto al circuito de alimentación y como al contactor con el fin de interrumpir el paso de corriente eléctrica en caso de emergencia. Está ubicado detrás del asiento del piloto a lado del contactor. Se funde o resiste hasta los 80A de corriente.



**Figura 16-3:** Ubicación del relé de protección

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

### 3.5.3.10. Botones de emergencia o cortes de energía

Estos botones están distribuidos en el vehículo de tal manera que cumplan con las funciones y requerimientos que exige la normativa. Se tiene uno en costado derecho, justo al lado del volante y otro en la parte posterior del vehículo a lado el asiento del piloto. Estos forman parte del circuito de emergencia para el apagado del sistema de tracción, se debe tomar en cuenta que estos botones deben ser de fácil acceso tanto para el piloto como para el personal a cargo del vehículo.

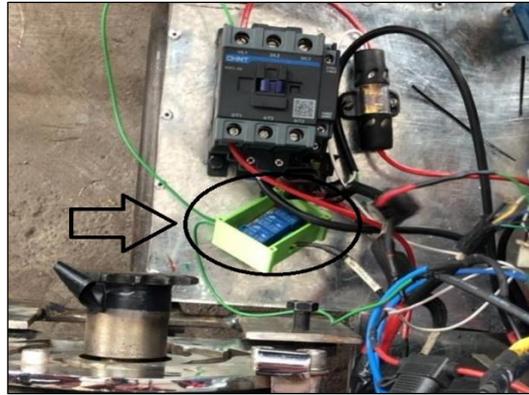


**Figura 17-3:** Ubicación de botones de corte de energía

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

### 3.5.3.11. Caja de relés

Esta caja tiene en su interior conectados en serie 3 relés de 30A y 24V. Su función principal es activar el contactor debido a que se necesita gran cantidad de energía para su activación y funcionamiento, para lo cual utiliza la señal que se envía por medio del controlador.



**Figura 18-3:** Caja de relés

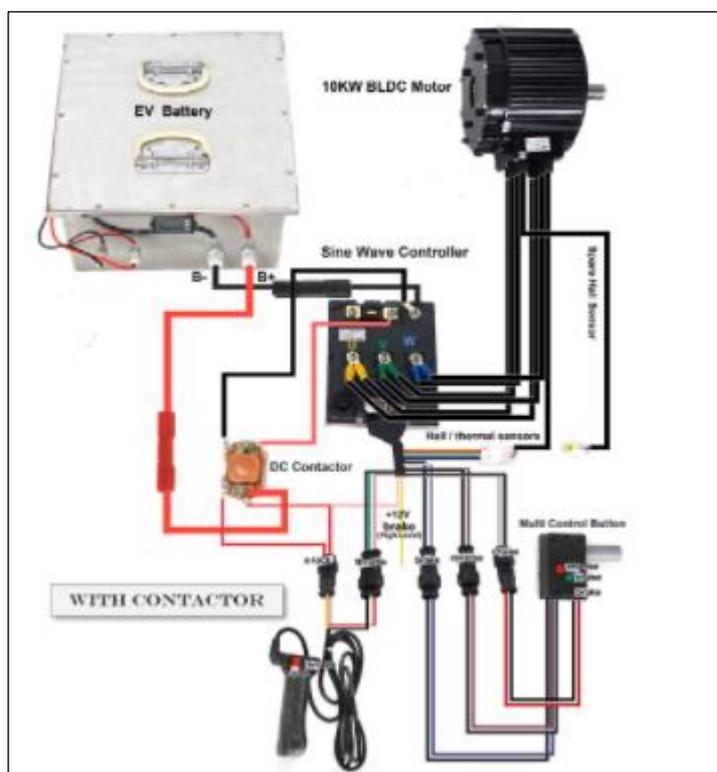
**Realizado por:** Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

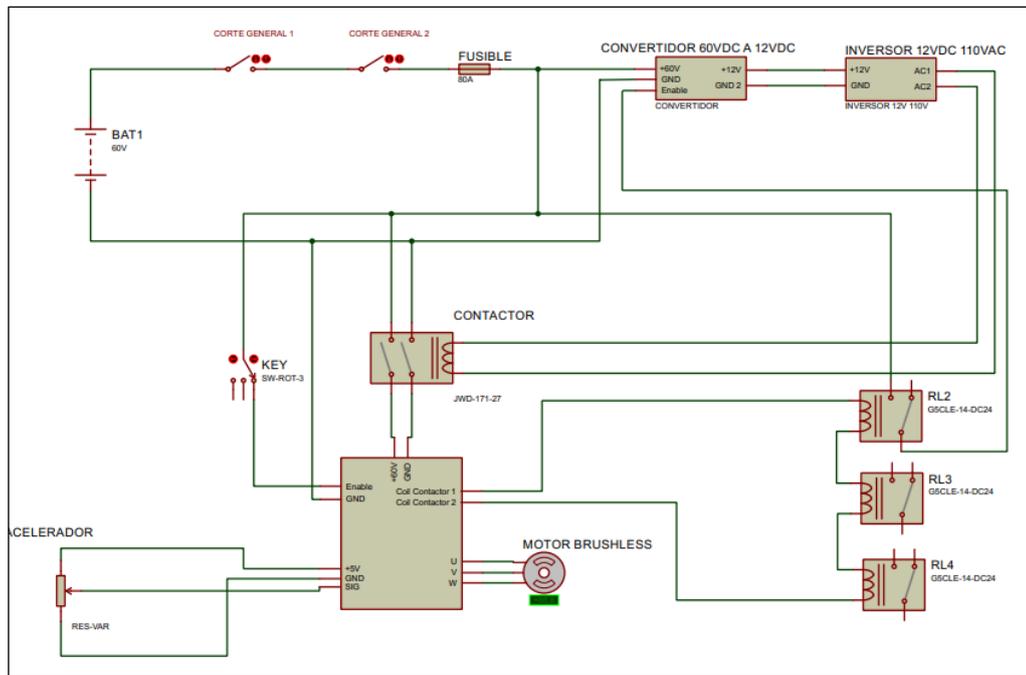
#### 4.1. Pruebas

Dentro de las pruebas que se realizarán con la puesta en marcha del motor eléctrico para la tracción de un automóvil Fórmula SAE se debe empezar primero con la implementación del circuito que pone en marcha a un motor como se puede observar en el capítulo 2.2.5 donde se habla acerca del motor Brushless. Para eso se hace referencia al tipo de motor a utilizar, como es el caso del motor trifásico Golden motor.



**Figura 1-4:** Diagrama de conexión de Golden Motor

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021



**Figura 2-4:** Diagrama de conexión del motor

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

En la Figura 2-4 se puede observar el diagrama de conexión eléctrica que dará vida a la tracción del vehículo de Fórmula SAE. Partiendo desde la batería, pasando por los cortes general 1 y 2 encargados de dar paso a la línea de alimentación, el fusible que protegerá el circuito hacia el convertidor de 60 a 12 VDC mismo que dará energía para que el contactor pueda dar la energía al driver que podrá mover el motor. La señal del pedal se encargará de dar el paso para el giro del motor trifásico.



**Figura 3-4:** Instalación del motor eléctrico

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

#### 4.1.1. *Obtención de resultados*

Una vez conectado todo el sistema eléctrico como se especificó anteriormente, se procede a realizar la obtención de resultados cuando el motor entra en marcha. Para fines de estudio se ha procedido a banquear al vehículo para realizar un análisis de descarga de batería y movimiento en general, como se puede observar en la Figura 4-4.



**Figura 4-4:** Puesta en marcha del motor

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

Una vez embancado el vehículo se procede a tomar las mediciones pertinentes, tanto en voltaje como en corriente; estas mediciones se realizan cuando el motor está al vacío y cuando se le conecta la cadena de tracción para el diferencial. A continuación, se puede observar la medición al vacío del motor.

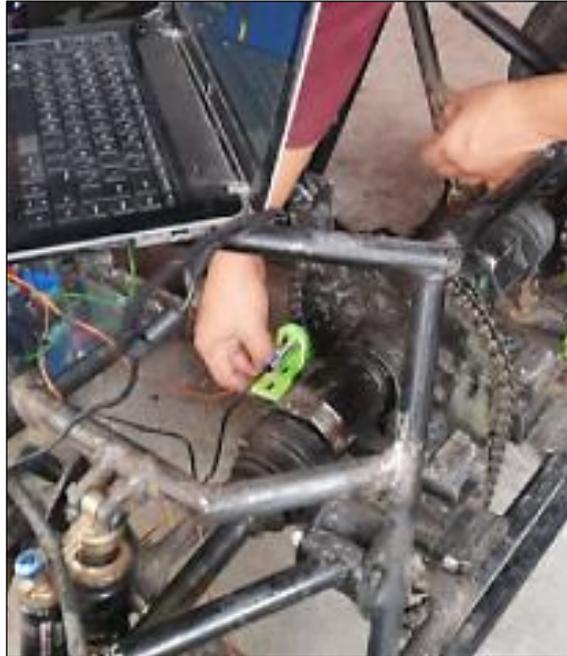


**Figura 5-4:** Toma de lectura de mediciones

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

Para la obtención de la velocidad que llega el motor, se procede a verificar con la utilización de un sensor inductivo que cuenta las vueltas que dará la rueda. Dicha velocidad se dará a conocer

en revoluciones por minuto. En la Figura 6-4 se puede observar como el sensor es colocado en la posición exacta que se encargará de contar las revoluciones.



**Figura 6-4:** Colocación del sensor inductivo

**Realizado por:** Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

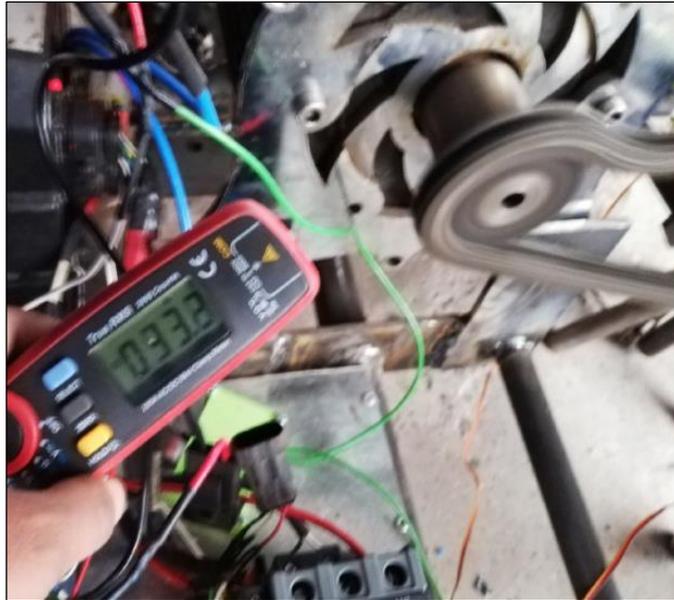
Por último, se conoce el voltaje en la batería mientras se da uso al motor al vacío y con cadena. Esto ayudará a conocer el estado de descarga de la batería mientras se ponga en marcha al motor.

#### **4.1.2. Análisis de resultados**

Partiendo de las conexiones antes mencionadas, se procede a la toma de resultados y su análisis. Interpretando cada valor con mediciones reales e indicando el comportamiento del sistema en condiciones reales de trabajo

##### **4.1.2.1. Puesta en marcha**

La puesta en marcha del motor se realiza de acuerdo con las conexiones del diagrama eléctrico, mismas que ayudan a realizar el desbloqueo del motor y su arranque. En la Figura 7-4 se puede observar como el motor se encuentra girando de acuerdo con la señal recibida por el pedal con su consumo en corriente.

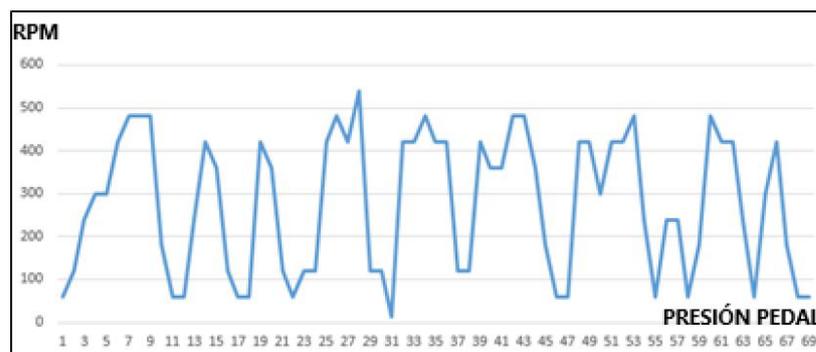


**Figura 7-4:** Giro del motor

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

#### 4.1.2.2. Resultados

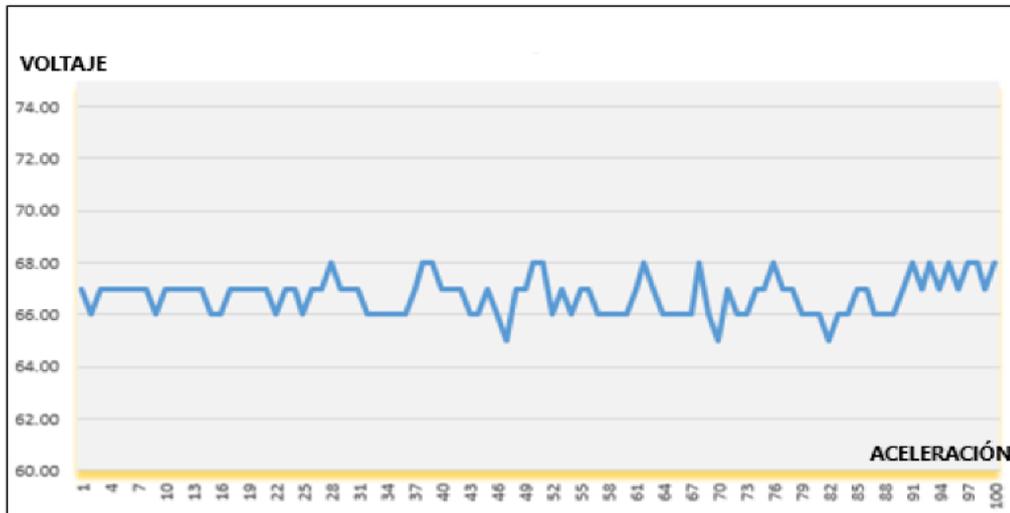
Luego de la puesta en marcha se analizan datos tomados con mediciones mediante equipos como multímetros y sensores con el vehículo en condiciones reales de aceleración y frenado.



**Gráfico 1-4:** RPM vs Tiempo

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

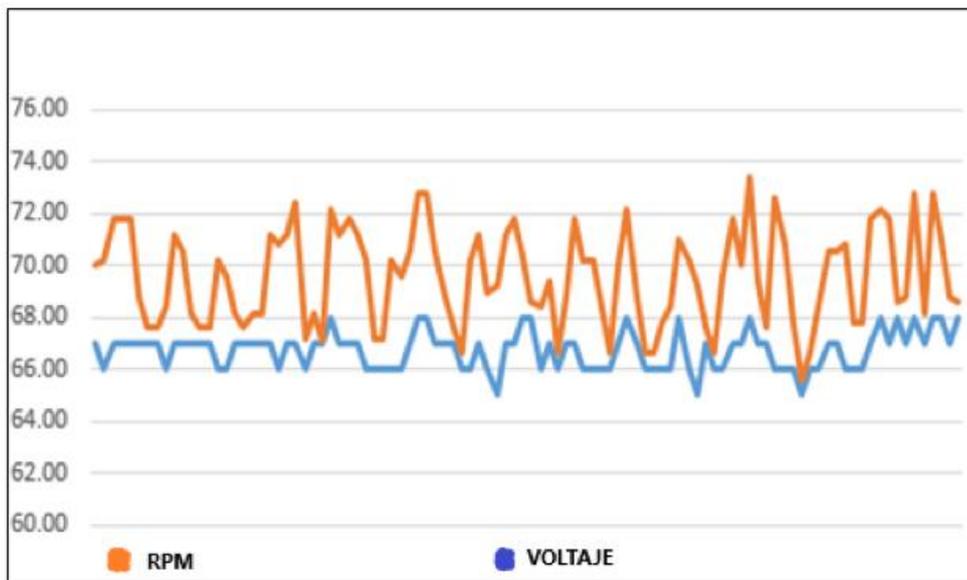
Como se puede observar en el Gráfico 1-4, los valores de las RPM oscilan de acuerdo a la señal que el pedal de marcha sea presionado, en este caso se ha realizado variaciones para visualizar el comportamiento del sistema con la acción máxima y mínima del pedal. Se concluye que las revoluciones máximas superan las 500 RPM cuando se presiona el pedal al tope.



**Gráfico 2-4:** Comportamiento del voltaje con el motor en marcha

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

Como se puede ver en Gráfico 2-4, el voltaje sufre una ligera caída cuando se acelera con el pedal. Y se recupera cuando se deja de acelerar. En una muestra de 100 datos se logra ver como el voltaje varía entre 62V a 68V de acuerdo a la presión ejercida sobre el pedal.



**Gráfico 3-4:** RPM con respecto al Voltaje

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

En el Gráfico 3-4 se ha realizado una escala de los valores medidos, como resultado se puede ver como el voltaje varía de acuerdo con la aceleración del pedal. En el mismo momento las RPM varían poniendo, demostrando de esta manera que mientras se aumente las RPM, la batería sufre una pequeña variación en su voltaje.

#### 4.1.2.3. Mediciones de corriente

Dentro del análisis también está la medición de la corriente que el motor necesita para generar movimiento, para esto se ha utilizado una pinza amperimétrica que permite conocer la corriente que demanda el motor. Simplemente se debe enlazar la pinza en el cable de alimentación como se muestra en la Figura 8-4, en la misma se puede observar el valor medido cuando solamente el sistema eléctrico es energizado, pero no hay consumo.



**Figura 8-4:** Mediciones con el sistema energizado

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021



**Figura 9-4:** Medición con el motor en movimiento

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

Como se puede ver en la Figura 9-4, al momento de empezar a acelerar el motor al inicio empieza a necesitar una corriente de 15 a 18 amperios mientras sigue subiendo el consumo de acuerdo a la aceleración que se vaya teniendo al presionar el pedal.



**Figura 10-4:** Medición de corriente al acelerar

**Realizado por:** Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

En la Figura 10-4 se observa como la corriente va subiendo de valor mientras se va acelerando con el pedal y cuando éste llega a la mitad alcanza un valor de 33.3 amperios.



**Figura 11-4:** Medición a máxima velocidad del motor

**Realizado por:** Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

De la misma manera cuando se acelera al fondo con el pedal, la corriente llega a un pico máximo de 51.6 amperios, siendo ésta la corriente a máxima velocidad del motor. Cabe recalcar que todas estas pruebas han sido realizadas con el vehículo embancado.

#### 4.1.2.4. Curvas de descarga

Una vez realizadas las mediciones en tiempo real, se procede a realizar un gráfico con el comportamiento de la descarga de acuerdo a cada medición en corriente mismas que se comportan de acuerdo a las distintas velocidades que puede llegar a tener el sistema de tracción eléctrica. Se ha utilizado una hoja de cálculo en Excel para realizar la proyección de este comportamiento, a continuación, se puede observar la tabla con los valores medidos.

Para realizar un gráfico para el comportamiento de la descarga de la batería en el sistema, se utiliza las ecuaciones mostradas a continuación.

$$V_b * I_b = W_b \quad (1)$$

$$V_b * I_c = W_c \quad (2)$$

$$\frac{W_b}{W_c} = H \quad (3)$$

Donde:

(V<sub>b</sub>) = Voltaje de la batería

(I<sub>b</sub>)= Intensidad de la batería

(W<sub>b</sub>) = Potencia de la batería

(I<sub>c</sub>)= Corriente consumida

(W<sub>c</sub>)= Potencia consumida.

Las ecuaciones anteriores han sido aplicadas para conocer la autonomía de una batería. Para este caso en particular se toma en cuenta la batería explicada en el inciso 3.4.1.9 acerca de la Batería ION-LITIO 60V – 50AH. Para los resultados finales se reemplazan los valores de IC (Corriente consumida) que se encuentran en la mitad de la tabla 1-4 y los resultados finales en la derecha de esta.

$$V_b * I_b = W_b \Rightarrow 67 * 50 = 3350W$$

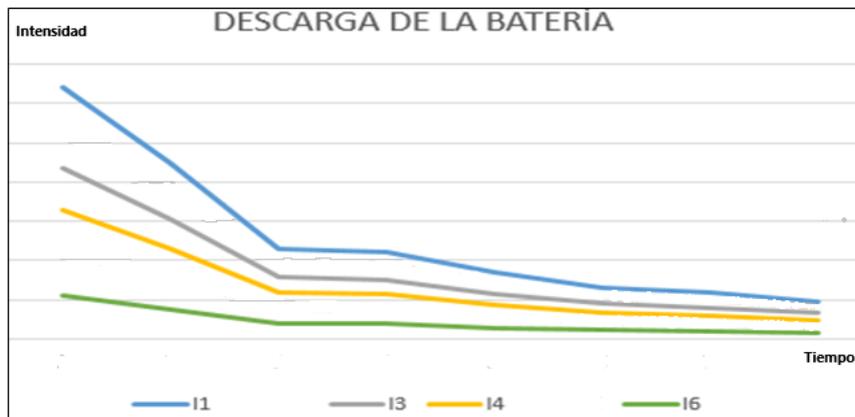
$$V_b * I_c = W_c \Rightarrow 67 * 51.6 = 3457.2W$$

$$H = \frac{W_b}{W_c} \Rightarrow H = \frac{3350}{3457} = 0.969 \text{ horas de autonomía}$$

**Tabla 1-4:** Valores de corriente

Ah	Ic (A)	horas de Autonomía
50 A	0	0
	0.2	250
	7.79	6.418
	11.15	4.484
	21.66	2.308
	22.4	2.232
	29.2	1.712
	37.7	1.326
	42.2	1.185
$H = \frac{3350}{3457}$	51.6	0.969

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021



	Descarga de intensidad con el acelerador al 100 %
	Descarga de intensidad con el acelerador al 60%
	Descarga de intensidad con el acelerador al 30%
	Descarga de intensidad con el acelerador al 10%

**Gráfico 4-4:** Curva de descarga de batería con vehículo embancado

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

Como se puede observar en el Gráfico 4-4, la curva de descarga dependerá del consumo ejercido por el motor. La corriente de color verde muestra como su consumo es bajo cuando su aceleración es lenta, mientras que la corriente mostrada en celeste tiene una caída abrupta por la aceleración a fondo del pedal. Con las mediciones reales de la Tabla 1-4, y analizando en periodos de tiempo

se llega a determinar que mientras mayor sea la aceleración del motor, mayor será el consumo de energía de la batería.



**Gráfico 5-4:** Descarga de la batería con vehículo en calzada

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

En el Gráfico 5-4, se puede observar cómo es el comportamiento de la batería cuando el vehículo se encuentra circulando ya en la calzada. La curva indica que al empezar el arranque la corriente se eleva alrededor de los 50 amperios, para luego ir bajando constantemente en un lapso de 1 hora. Se puede visualizar que ciertos espacios el consumo de energía es mayor puesto que al acelerar, el motor necesita más corriente, por ende, la carga de la batería va decreciendo en esos espacios de tiempo.

#### 4.1.3. Especificaciones técnicas de los elementos

A continuación, se mostrarán las especificaciones técnicas de los elementos necesarios para el sistema de tracción eléctrica.

##### 4.1.3.1. Motor

**Tabla 2-4:** Características del motor

<b>Model:</b>	HPM-10KW -- High Power BLDC Motor
<b>Voltage:</b>	48V/72V/96V/120V
<b>Rated Power:</b>	8KW-20KW
<b>Efficeincy:</b>	91%
<b>Phase Resistance (Milliohm):</b>	3.1/48V; 6.0/72V; 18.0/120V
<b>Phase Induction(100KHZ):</b>	4uH/48V; 77uH/72V; 252uH/120v
<b>Speed:</b>	2000-6000rpm (customizable)

<b>Weight:</b>	17Kgs Casing
<b>Length (height):</b>	170mm Diameter: 206mm

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

#### 4.1.3.2. Batería

**Tabla 3-4:** Características de la batería

<b>Voltage:</b>	60
<b>Capacity</b>	50ah
<b>Cut-off voltaje</b>	60V
<b>Max discharging current</b>	100Amp
<b>Max Continuos Discharging Amperage</b>	50Amp
<b>Charging Current</b>	<=10Amp
<b>Charging Voltage</b>	73V
<b>Lifecycle</b>	>85% capacity after 500 cycles

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

#### 4.1.3.3. Controlador Motor

**Tabla 4-4:** Características del Driver del motor

<b>MODEL:</b>	VEC500
<b>Voltage</b>	48V/72/96V
<b>Rated DC BUS current</b>	30A-200A
<b>Rated output power:</b>	1000-0000W
<b>Current Operation</b>	20-40mA
<b>Speed limit:</b>	Controlled by motor and configuration
<b>Driving method:</b>	Direct torque control
<b>Weigth:</b>	2.5K

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

#### 4.1.3.4. Inversor

**Tabla 5-4:** Características del inversor

Voltaje de entrada	10.5 -15V CC
Voltaje de salida	210V 240V CA
Potencia Nominal	1000W

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

#### 4.1.3.5. Convertidor

**Tabla 6-4:** Características del convertidor

Voltaje de entrada	48V, 60V, 72V (48V - 72V) voltaje nominal
Corriente de salida	25A máx.
Voltaje de salida	12V

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

#### 4.1.3.6. Contactor

**Tabla 7-4:** Características del contactor

<b>Voltaje Nominal</b>	120V AC
<b>Corriente</b>	50 A (at <60 °C) at <= 440 V AC AC-3 for power circuit 80 A (at <60 °C) at <= 440 V AC AC-1 for power circuit
<b>Frecuencia</b>	<b>50/60Hz</b>

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

#### 4.1.3.7. Fusible

**Tabla 8-4:** Características del fusible

Material	Cobre
Voltaje	500V
Corriente	

Realizado por: Tenelema A.; Sánchez, J.; 2021

#### 4.1.3.8. Llave Corte Corriente

**Tabla 9-4:** Características de llave de corte eléctrico

CORRIENTE	275 amperios Continuos
VOLTAJE	12V/48V/72V

Realizado por: Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

### 4.1. Montaje final de la tracción eléctrica para el vehículo de Fórmula SAE

En la Figura 12-4 se puede observar el montaje real de la tracción eléctrica para el vehículo de Fórmula SAE. Demostrando así la efectividad y confiabilidad de este proyecto.



**Figura 12-4:** Montaje final de la tracción eléctrica

**Realizado por:** Tenelema, A.; Sánchez, J. 2021

## CONCLUSIONES

Mediante el sistema de tracción implementado en este vehículo, se ha determinado que la autonomía de suministro de corriente a una velocidad de 50Km/h es de alrededor de 0.969 horas aproximadamente, este valor depende de diferentes parámetros variables como tipo de terreno, carga de batería, peso total del vehículo, aumentando o disminuyendo el esfuerzo que realice el motor.

Con la fusión del sistema eléctrico entre el motor GOLDEN y la batería ION litio en el vehículo, en un escenario en condiciones normales donde el conductor tendrá que acelerar y frenar por la geografía en la que se encuentre, puede llegar hasta las 500 RPM en lapsos pequeños de tiempo demostrando que la tracción responde a las necesidades reales de un circuito de competencia.

Se puede visualizar que mientras el conductor vaya realizando cambios en la presión del pedal del acelerador, provoca cambios significativos en la carga de la batería, mientras más presión realice, el motor genera mayor esfuerzo y por siguiente mayor consumo de energía.

La corriente máxima que el vehículo consume en condiciones normales es de alrededor de 51 Amperios, esto se da si el conductor presiona totalmente el pedal. Cabe recalcar que la variación de corriente depende del esfuerzo que realice el motor.

Este estudio indica que no solamente se pueden realizar un sistema de tracción eléctrica para vehículos de competencia sino también para vehículos convencionales de usuarios, evitando así contaminación ambiental e incluso aprovechando al máximo lo que este tipo de tecnologías pueden ofrecer a la colectividad.

## **RECOMENDACIONES**

Para este tipo de vehículos es necesario la implementación de protecciones de sobre corrientes que puedan afectar al sistema eléctrico inhabilitando al mismo ocasionando molestias o accidentes en una competencia.

Para lograr un sistema de autonomía óptimo se recomienda armar el banco de baterías, mediante el diseño y cálculo específicos de autonomía.

Se recomienda desarrollar e implementar un freno regenerativo, con la finalidad de incrementar la autonomía del vehículo.

Es necesario la incorporación de elementos de protección eléctrica para la correcta manipulación de equipos y la seguridad de estos al igual que el personal.

Se debe realizar una aceleración prolongada y no brusca para que la autonomía de la batería utilizada se prolongue más tiempo.

Se puede aumentar el tiempo de autonomía del vehículo si se implementa un banco de 3 baterías de iguales características para otorgar mayor carga al sistema.

## GLOSARIO

**Controlador:** Unidad de control electrónico que administra la cantidad de energía eléctrica que suministrara la batería de ION-LITIO al motor eléctrico.

**Transmisión:** Consiste en una serie de componentes encargados en conducir desde el diferencial la potencia suficiente para q las ruedas motrices giren.

**Tracción:** Mecanismo que permite llevar la fuerza y el movimiento generado por el motor hasta las ruedas para de esta manera originar el movimiento del vehículo.

**Inducción:** Es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético variable.

**Regeneración:** Proceso de naturaleza eléctrica que permite eliminar sulfato de plomo de las placas internas de la batería, recuperando la capacidad de carga nominal de la misma.

**Maleabilidad:** Propiedad que tienen los metales de adquirir una deformación mediante una compresión sin romperse.

**Autonomía:** Es decir, toda la energía que puede albergar la batería cuando está cargada por completo, al 100 %

**Conmutador:** Dispositivo eléctrico o electrónico que permite modificar el camino que deben seguir los electrones.

**Repositorio:** Sistemas de información que preservan y organizan materiales científicos y académicos como apoyo a la investigación y el aprendizaje, garantizando el acceso a la información.

**Decapar:** Quitar la capa de pintura o de oxido que cubre un objeto metálico por medios físicos o químicos.

## BIBLIOGRAFÍA

**ACHILLAS, Ch.** "Voice-driven fleet management system for agricultural operations". *Information Processing in Agriculture*. 6 (2019) Lincoln, , pp. 471-478.

**ALBÁN GUERRERO, Carlos Dario.** Diseño y construcción de un sistema de dirección para un vehículo tipo Fórmula para la Escuela de Ingeniería Automotriz. [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba – Ecuador. 2016. [Consulta: 20 febrero 2021]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/5834/1/65T00194.pdf>

**ALVAREZ, Luis; et al.** "Aplicaciones de la piezoelectricidad en Ingeniería Civil". *Revista de Ingeniería Civil*. [en línea], 2017, (Peru), 1(2), pp. 15-26. [Consulta: 18 febrero 2021]. Disponible en: [https://www.ecorfan.org/republicofperu/research\\_journals/Revista\\_de\\_Ingenieria\\_Civil/vol1\\_num2/Revista\\_de\\_Ingenier%C3%ADa\\_Civil\\_V1\\_N2\\_4\\_3.pdf](https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Civil/vol1_num2/Revista_de_Ingenier%C3%ADa_Civil_V1_N2_4_3.pdf)

**APARICIO IZQUIERDO, Francisco; et al.** *Teoría de Vehículos Automotviles*. 2ª ed. Madrid: ETS Ingenieros Industriales, 2001.

**ARCOS, Eduardo.** *Implementación del Sistema de Tracción para Vehículo Eléctrico, basado en Bateria "ZEBRA" y Ultracodensadores*. Santiago: 2005.

**ARTÉS, David.** "Baterías de coches eléctricos e híbridos, hoy [estado de la tecnología del automóvil]". *TECMOVIA-Diariomotor*. [en línea] 2012. [Consulta: 02 febrero 2021.] Disponible en: <https://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/03/14/baterias-de-coches-electricos-e-hibridos-hoy-estado-de-la-tecnologia-del-automovil/>.

**CALLEJA, D. G. 2016.** *Mantenimiento mecánico preventivo del vehículo*. Madrid: Ediciones Paraninfo, 2016.

**CARREÑO AGUILLÓN, Elsy; et al.** "Diseño y fabricación de un vehículo autónomo impulsado por energía solar". *Tecnura*. [en línea], 2012. (Colombia), 16(32) p. 91 [Consulta: 12 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2570/257024143009.pdf>

**CASCAJOSA, Manuel.** *Ingeniería de Vehículos. Sistemas y Cálculos*. 2ª ed. Mexico: Alfaomega, 2005.

**CEMBRANOS NISTAL, Florencio Jesús.** *Automatismos eléctricos, neumáticos e hidráulicos*. España: Editorial Thompson, 2012.

**CHELE, Darwin.** "Vehículos híbridos, una solución interina para bajar los niveles de contaminación del medio ambiente causados por las emisiones provenientes de los motores de

combustión interna". INNOVA Research Journal, [en línea], 2017, 2(12), pp. 1-10. [Consulta: 6 abril 2021]. Disponible en: <https://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/article/view/527>

**CHIAVENATO, Idalberto.** *Administración de Recursos Humanos.* [en línea], California: McGrawHill, 2000. [Consulta: 6 abril 2021]. Disponible en: <https://cucjonline.com/biblioteca/files/original/f37a438c7c5cd9b3e4cd837c3168cbc6.pdf>

**COLLADO CARBAJAL, M., & RIVERA RAFFO, J.** Mejora de la productividad mediante la aplicación de herramientas de ingeniería de métodos en un taller mecánico automotriz. [en línea], Universidad San Ignacio De Loyola, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Industrial y Comercial. Lima – Perú, 2018. [Consulta: 2 febrero 2021]. Disponible en: [http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/3261/1/2018\\_Collado-Carbajal.pdf](http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/3261/1/2018_Collado-Carbajal.pdf)

**ELSOM, Derek.** *La contaminación atmosférica.* Madrid : Ediciones Catedra, 2016.

**ESCOBAR, Carlos; et al.** Control de un Motor Brushless DC con Frenado Regenerativo. [en línea], Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Electrónica, Bogotá, 2005. [Consulta: 27 marzo 2021]. Disponible en: <https://docplayer.es/1440941-Control-de-un-motor-brushless-dc-con-frenado-regenerativo-carlos-fernando-escobar-garcia-jose-alejandro-martinez-pena-german-alberto-tellez-gonzalez.html>

**ESPESO, José; et al.** *Seguridad en el trabajo.* [en línea], Valladolid : Lex Nova, 2002. [Consulta: 12 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/599872/Seguridad+en+el+trabajo/e34d1558-fed9-4830-a8e3-b0678c433bb1>

**ESTRELLA, Edison, & SALGADO, Wilmer.** Análisis de funcionamiento, operación, mantenimiento e implementación de herramientas para el torno yucy-6250c del centro de producción y servicios de la Universidad Técnica de Cotopaxi. [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Ingeniería Electromecánica. Latacunga. 2013. [Consulta: 28 enero 2021.] Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/1667>.

**FRAUME, Néstor.** *Manual abecedario ecológico: la más completa guía de términos ambientales.* [en línea], Bogotá- San Pablo: Fundación Hogares Juveniles Campesinos. 2006. [Consulta: 26 marzo 2021]. Disponible en: [https://books.google.com.co/books?id=rrGMx\\_DpbfAC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false2006](https://books.google.com.co/books?id=rrGMx_DpbfAC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false2006).

**GIACHINO, Joseph & WEEKS, William. 2007.** *Técnica y práctica de soldadura*. [en línea], Kalamazoo : Reverté, 2007. [Consulta: 20 febrero 2021]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=JE2RK4QupuoC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>

**HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS.** "Los motores de Honda". Híbridos y eléctricos ecotecnología del vehículo . [en línea], 2012. [Consulta: 20 mayo de 2021.] Disponible en: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/los-motores-de-honda/20100413172122001078.html>.

**HORWITZ, Henry.** *Soldadura aplicaciones y práctica*. Mexico: Alfaomega, 1990.

**KALEG, Sunarto; et al.** "Electric Vehicle Conversion Based on Distance, Speed and Cost Requirements". ScienceDirect. [en línea], 2015 (Indonesia) pp. 446-454. [Consulta: 7 abril 2021]. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1876610215005822?token=44C8CA268D105F03D1523233AFBD37462B93EA3F132771C6291A75A6F508AE6E38B039E264D848731212905C985131E6&originRegion=us-east-1&originCreation=20211125025826>

**KALPAKJIAN, Serope & SCHMID, Steven** *Manufactura, ingeniería y tecnología*. 4ª ed. Mexico: Pearson Educación, 2002.

**KAMPFNER, Oscar; et al.** "Atención de emergencias por la Dirección Local Hidalgo de Comisión Nacional del. Agua". Revista de Ingenieria Civil, [en línea], 2017, (Peru), 1(2), pp. 1-8. [Consulta: 18 marzo 2021]. Disponible en: [https://www.ecorfan.org/republicofperu/research\\_journals/Revista\\_de\\_Ingenieria\\_Civil/vol1num2/Revista\\_de\\_Ingenier%C3%ADa\\_Civil\\_V1\\_N2\\_4\\_1.pdf](https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Civil/vol1num2/Revista_de_Ingenier%C3%ADa_Civil_V1_N2_4_1.pdf)

**KUCHEN, Alberto Mario.** "Evolución de los motores eléctricos para autos eléctricos". INSIDEAUTOS. [en línea] 2018. [Consulta: 29 mayo 2020.] Disponible en: <http://insideautosperu.com/evolucion-los-motores-electricos-autos-electricos/>.

**LÓPEZ MARTÍNEZ, Jose María.** *Vehiculos Híbridos y Electricos. Diseño del Tren Propulsor*. Madrid: DEXTRA Editorial, 2015.

**MANAHAN, Stanley.** *Introducción a la química ambiental*. Missouri: 2017.

**MÁRQUEZ MEDRANO, Jose; et al.** *Mantenimiento: Técnicas y aplicaciones industriales*. Mexico: Editorial Patria, 2017.

**MONTES, Francisco Javier.** *Desmontaje y separacion de elementos fijos UF0918*. 2ª ed. España: IC editorial, 2012.

**MORA RODRÍGUEZ, Arnoldo.** *Perspectivas filosóficas del hombre.* 2ª ed. San Jose-Costa Rica: EUNED, 1995.

**MURRAY, Spiegel.** Estadística [en línea] 2ª ed. Madrid: Editorial McGraw Hill, 1988. [Consulta: 28 enero 2021]. Disponible en: [http://materiales.untrefvirtual.edu.ar/documentos\\_extras/0714\\_estadisticas/estadistica\\_schaum\\_1.pdf](http://materiales.untrefvirtual.edu.ar/documentos_extras/0714_estadisticas/estadistica_schaum_1.pdf)

**MUSTELIER, I.** *El automovil y su buen aire acondicionado (Spanish Edition).* Saint Petersburg : Independently published, 2017.

**O'BRIEN, R.** *Manual de Soldadura: American Welding Society* [en línea], Mexico: Prentice – Hall Hispano Americana S.A, 1996. [Consulta: 14 abril 2021]. Disponible en: <https://dokumen.tips/documents/manual-de-soldadura-vol-1-awspdf.html>

**OSTERWALDER, A., & PIGNEUR Y.** *Generación de modelos de negocio.* [en línea] Madrid: Deusto S.A. ediciones, 2011. [Consulta: 18 febrero 2021]. Disponible en: <https://cecma.com.ar/wp-content/uploads/2019/04/generacion-de-modelos-de-negocio.pdf>

**PELLETIER, Samuel; et al.** "Battery Electric Vehicles for Goods Distribution: A Survey of Vehicle Technology, Market Penetration, Incentives and Practices". CIRRELT [en línea], 2014, (Canada) p. 17. [Consulta: 12 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.cirrelt.ca/documentstravail/cirrelt-2014-43.pdf>

**PRIETO, Alvaro.** "Especificaciones de los Tesla Model 3 Performance y Dual Motor: Un 0-100 km/h que supera al BMW M4". Autonoción. [en línea], 2018. [Consulta: 30 mayo 2021.] Disponible en: <https://www.autonocion.com/tesla-model-3-performance-y-dual-motor/>.

**RABADÁN, Jose Manuel.** "Tipos de batería para coche eléctrico". Electromovilidad. [en línea], 2018. [Consulta: 17 febrero 2021.] Disponible en: <http://electromovilidad.net/tipos-de-bateria-para-coche-electrico/>.

**RACE.** "Cómo son las baterías de los coches eléctricos". RACE. [en línea], 2019. [Consulta: 17 febrero 2021.] Disponible en: <https://www.race.es/como-son-baterias-coches-electricos>.

**ROJAS VILLARROEL, Evelin.** "Coordinadora de la Unidad de Planificación de la FCV-LUZ". Revista Científica. [en línea], 2006, (Maracaibo), 16(4), p. 1. [Consulta: 27 marzo 2021]. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-22592006000400001](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-22592006000400001)

**SAE,** *Formula SAE RULES.* SAE INTERNATIONAL, 2020.

**SÁNCHEZ, Carlos.** "Renault confirma el nuevo motor R110 para el Zoe". Movilidad eléctrica. [en línea], 2018. [Consulta: 1 junio 2021.] Disponible en: <https://movilidadelectronica.com/renault-confirma-el-nuevo-motor-r110-para-el-zoe/>.

**SÁNCHEZ, Isabel.** Cronograma de Actividades. [en línea], Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 2015. [Consulta: 02 marzo 2021.] Disponible en: <http://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/16696/LECT128.pdf?sequence=1>.

**TIRADO, Sergio.** "Motores Eléctricos". Monografías. [en línea], 2012. (Bolívar-Venezuela) [Consulta: 20 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos93/motores-electricos/motores-electricos2.shtml>.

**VAHED, Rahimi; et al.** "Fleet-sizing for multidepot and periodic vehicle routing problems using a modular heuristic". *Computers & Operations Research*, 2015, 53, pp. 9-23.

**WESTENHAUS, Brian.** "The Best Electric Vehicle Motor". NEW ENERGY AND FUEL. [En línea] 2010. [Consulta: 1 junio 2021.] Disponible en: <https://newenergyandfuel.com/http://newenergyandfuel.com/2010/02/09/the-best-electric-vehicle-motor/>.

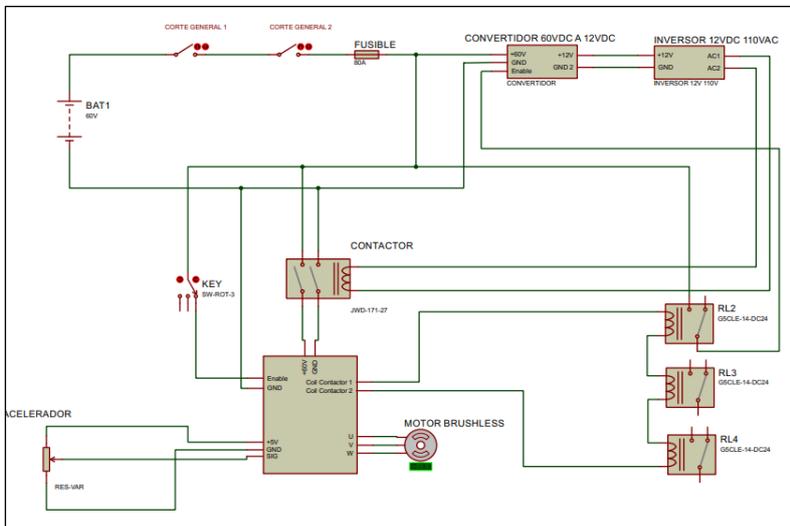
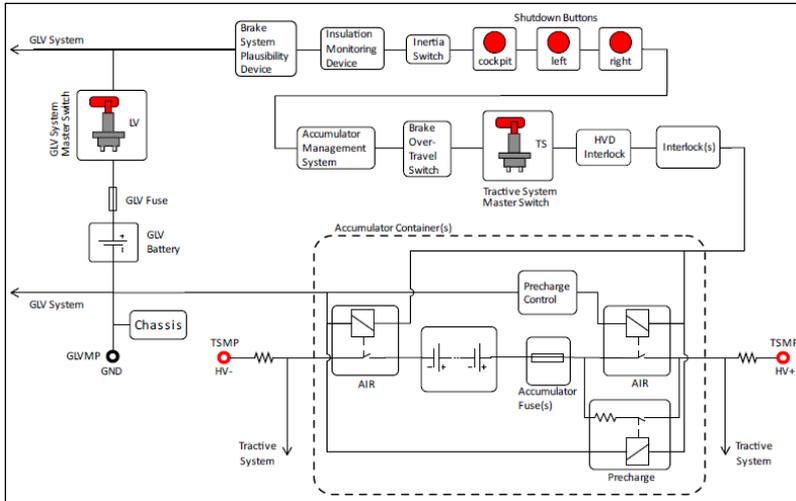
**XINGYU, L., & BOGDAN, I.** "An agent-based approach to optimizing modular vehicle fleet operation". *International Journal of Production Economics*. [en línea] 2020, United States, pp. 1-12. [Consulta: 22 abril 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/339905017\\_An\\_agentbased\\_approach\\_to\\_optimizing\\_modular\\_vehicle\\_fleet\\_operation](https://www.researchgate.net/publication/339905017_An_agentbased_approach_to_optimizing_modular_vehicle_fleet_operation)

**YEPEZ, Victor.** " Máquinas, cables y grúas empleados en la construcción" [blog], Valencia: Editorial de la Universitat Politècnica de València, 2017. [Consulta: 17 mayo 2021]. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/grua/>

**ZIETSCHÉ, Dieter.** "La amenaza ambiental de los autos eléctricos". BBC [en línea], 2012. [Consulta: 22 marzo 2021]. Disponible en: [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2012/10/121005\\_autos\\_electricos\\_riesgo\\_ambiental\\_ar](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2012/10/121005_autos_electricos_riesgo_ambiental_ar)

# ANEXOS

## ANEXO A: CIRCUITO ELECTRÓNICO



## ANEXO B: HOJA DE DATOS CONTROLADOR



Main Performance	
Rated operation voltage	48V~96V
Rated DC BUS current	30A~200A
Rated output power	1000~10000W
Motor control mode	FOC
Quiescent operation current	20~40mA
Speed limit	Controlled by motor and configuration
Driving method	Direct torque control

## ANEXO C: HOJA DE DATOS MOTOR GOLDEN



### Descripción

Voltaje: 48V/72V

Potencia nominal: 3KW – 7.5KW

Eficiencia: 88%

Velocidad: 2000 – 6000rpm (customizable)

Caja: AluSmartum

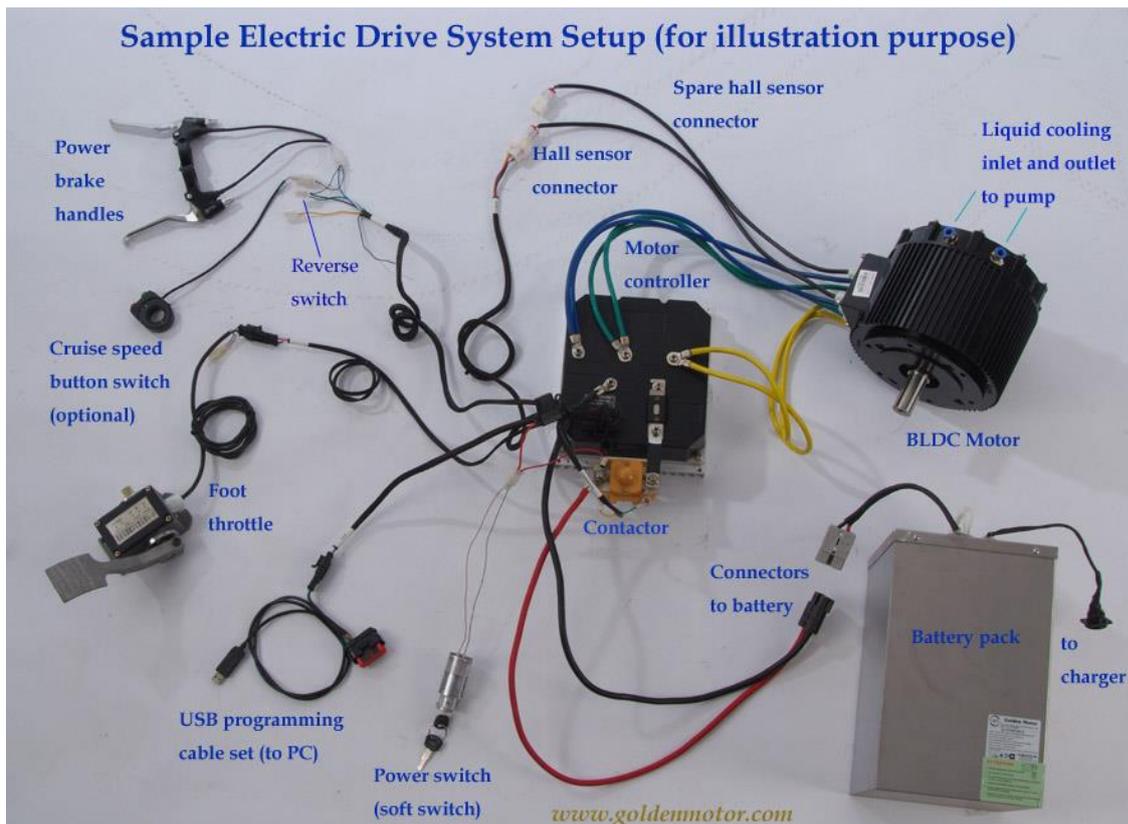
Altura (longitud): 126mm

Diámetro: 206mm

Eje: personalizable

Características: Diseño compacto, resistente al agua, eje de acero inoxidable, ventilador de enfriamiento automático

Aplicaciones: Coche eléctrico, motocicleta eléctrica, triciclo eléctrico, carros de golf eléctricos, carretilla elevadora, barco eléctrico



## Anexo D: HOJA DE DATOS DEL CONVERTIDOR



Pro Chaser DC-DC 120 V 108 V 96 V 84 V 72 V 60 V 48 V Voltaje a 12 V

Regulador reductor de voltaje 180 W 15 A

Dimensiones del artículo LxWxH 5.6 x 2.1 x 1.5 pulgadas

Voltaje de salida 12 Voltios

### Sobre este artículo

- Regulador reductor de voltaje DC-DC 72 V 60 V 48 V a 12 V reductor de voltaje 240 W 20 A para scooters y bicicletas carrito de golf
- Potencia de trabajo 240 W; corriente máxima de trabajo 20 amperios. Hecho de aleación de aluminio, impresión láser en la superficie.
- Instrucciones importantes de cableado: el cable de bloqueo (cable rojo fino) se conecta al interruptor de bloqueo. Si no tienes un interruptor de bloqueo, fusiona los dos cables rojos juntos y conecta ambos al extremo de entrada positivo.
- Protección de circuito de disparo interno, protección contra sobretensión, protección de carga térmica.
- Convierte el voltaje para scooters, bicicletas, lámpara de vacío, bocina de caracol eléctrico, carros de golf, carretillas elevadoras, autobuses.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE Y LA  
INVESTIGACIÓN**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 29/11/2021

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
ALEX DARÍO TENELEMA CHANO / JOFFRE MILLER SÁNCHEZ LEMA
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>FACULTAD:</b> FACULTAD DE MECÁNICA
<b>CARRERA:</b> INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
<b>TÍTULO A OPTAR:</b> INGENIERO AUTOMOTRIZ
f. Analista de bibliotecas responsable: