



**Implementación del sistema de potencia y transmisión de un prototipo de vehículo de
competición formula SAE eléctrico para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica
Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE**

Calispa Potosi, Ángel Alonso y Córdova Vargas, Darwin Alexis

Departamento de Ciencias de Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz

Monografía, previo a la obtención del Título de Tecnólogo en Mecánica Automotriz

Ing. Arias Pérez, Ángel Xavier

19 de agosto del 2022

Latacunga

Reporte de verificación de contenido

The logo for COPYLEAKS, featuring the word "COPYLEAKS" in a bold, white, sans-serif font. The letter "O" is stylized with a blue circular graphic element that overlaps it.

MONOGRAFIA CALISPA_CORDOVA.pdf
Scanned on: 18:40 August 18, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	599
Words with Minor Changes	169
Paraphrased Words	291
Omitted Words	0

The COPYLEAKS logo, consisting of the word "COPYLEAKS" in a blue, sans-serif font with a blue circular graphic element around the "O".

Website | Education | Businesses

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "A. Arias Pérez".

Ing. Arias Pérez, Ángel Xavier

C.C.: 050345481-1

Director



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz

Certificación

Certifico que la monografía: "Implementación del Sistema de Potencia y Transmisión de un prototipo de vehículo de competición formula SAE eléctrico para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE" fue realizado por los señores **Calispa Potosi, Ángel Alonso y Córdova Vargas, Darwin Alexis**, la misma que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 19 de agosto del 2022

Ing. Arias Pérez, Ángel Xavier

Director

C.C.: 050345481-1



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz

Responsabilidad de autoría

Nosotros, **Calispa Potosi, Ángel Alonso**, con cédula de ciudadanía n° 172317499-9, y **Córdova Vargas, Darwin Alexis**, con cédula de ciudadanía n° 180533073-3, declaramos que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **Implementación del Sistema de Potencia y Transmisión de un prototipo de vehículo de competición formula SAE eléctrico para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 19 de agosto del 2022

Calispa Potosi, Ángel Alonso

C.C.: 172317499-9

Córdova Vargas, Darwin Alexis

C.C.: 180533073-3



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz

Autorización de publicación

Nosotros, **Calispa Potosi, Ángel Alonso**, con cédula de ciudadanía n° 172317499-9, y **Córdova Vargas, Darwin Alexis**, con cédula de ciudadanía n° 180533073-3, autores de la monografía: **Implementación del Sistema de Potencia y Transmisión de un prototipo de vehículo de competición formula SAE eléctrico para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en el Repositorio Institucional: el registro bibliográfico, el resumen y la dirección web indexada en la revista.

Latacunga, 19 de agosto del 2022

Calispa Potosi, Ángel Alonso

C.C.: 172317499-9

Córdova Vargas, Darwin Alexis

C.C.: 180533073-3

Dedicatoria

Este trabajo es el reflejo de cada conocimiento adquirido durante mi formación académica en donde si es cierto he tenido altibajos, pero al proponerme a seguir adelante con dedicación, inspiración, amor a lo que me gusta hacer y con aquellas palabras motivadoras que me alentaron a seguir caminando hasta el día de hoy, no hubiese logrado lo que estoy consiguiendo y lo que quiero llegar a conseguir.

Es por esta razón que quiero dedicar este trabajo principalmente a la mujer que me dio la vida, mi señora madre Margarita, quien desde pequeño me ha educado con todo su amor en base a sus valores y principios convirtiéndome en la persona que hoy en día soy, además que, gracias a su gran esfuerzo y dedicación por verme salir adelante, he aprendido que si uno se propone una meta podemos conseguirla, si lo intentamos nada es imposible.

También dedicar este trabajo a mi amado padre Wilian, quien me educó y enseñó a lo largo de los años a ser una gran persona como lo fue él en vida. Su sueño fue que sus hijos sean unos grandes profesionales algo que el no pudo conseguirlo siendo esto uno de los principales motivos para no decaer en el camino y cosechar lo que he sembrado.

También dedicar este trabajo a mi hermana y mis sobrinos, quienes me han brindado todo su apoyo incondicional no solo para conseguir esta meta, también para no desviarme del camino y no truncar el sueño de ser una persona profesional que pueda servir a la Patria.

Por último, agradecer a mi toda familia los cuales también me brindaron su apoyo y consejos para poder sobresalir y mantener mi mente en mi formación académica.

Córdova Vargas Darwin Alexis

Agradecimiento

Empezar agradeciendo a Dios por ser él que ha guiado mi vida, me ha dado la fuerza y la motivación para seguir adelante y de permitir tener a mi familia unida, quienes han sido el motor principal para poder cumplir cada meta que me he propuesto.

Agradecer a mis padres que con su educación, enseñanzas, trabajo, esfuerzo y motivación me han impulsado a no rendirme y de esta manera llegar a ser principalmente una gran persona y conseguir el sueño de ser un profesional, por lo que espero recompensarles a diario todo lo que han hecho por mí.

Agradecer a mi hermana, sobrinos y todo el resto de mi familia por brindarme ese apoyo incondicional, por compartir cada momento especial conmigo y ser parte de mi felicidad lo cual me motivo día a día a seguir caminando para conseguir lo que me he propuesto.

Y finalmente, agradecer a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por permitir realizar mi formación académica en tan prestigiosa institución, además agradecer a cada uno de sus docentes por compartir conmigo su conocimiento para formar un excelente profesional.

Córdova Vargas Darwin Alexis

Dedicatoria

El proyecto realizado se lo dedico a mi familia, Carlos, Sonia, Cris y Stefany por ser parte fundamental en el proceso, regalándome su tiempo y apoyo cada día para seguir adelante. A mis padres, por el sacrificio que han hecho por hacer lo posible para poder llegar a estas instancias.

De manera especial a mi madre por enseñar a no rendirme en los momentos que más difíciles parezcan, ya que sin ella todo tendría un peso muy elevado en mi vida, guiándome por el camino correcto siempre y brindándome siempre su cariño.

Y sin olvidar a los grandes amigos que he llegado a conocer ya que gracias a su apoyo incondicional me he sentido bien acompañado y guiado por sus palabras y consejos.

Calispa Potosi Ángel Calispa

Agradecimiento

Doy gracias a Dios por la oportunidad de alcanzar este logro y a todas las personas que han influido en el trayecto. A mis padres, hermanas y amigos por motivarme a seguir adelante y guiarme a ser mejor persona.

También quiero agradecer a mis abuelitos por el cariño y las enseñanzas que me han impartido.

A los docentes y compañeros con quienes he tenido la dicha de aprender y compartir experiencias a lo largo de mi formación académica.

Calispa Potosi Ángel Calispa

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Dedicatoria	8
Agradecimiento.....	9
Índice de contenidos	10
Índice de figuras	15
Índice de tablas.....	18
Resumen.....	19
Abstract	20
Capítulo I: Anteproyecto.....	21
Antecedentes	21
Planteamiento del problema	22
Justificación.....	24
Objetivos	24
<i>General</i>	24
<i>Específicos.....</i>	25

Alcance	25
Capítulo II: Marco Teórico	26
Combustible	26
Combustibles alternativos	26
Vehículos según la fuente de combustible	27
<i>Vehículos con motores de combustión interna</i>	27
<i>Vehículos con motores de GLP y GNC</i>	27
<i>Vehículos híbridos</i>	27
<i>Vehículos eléctricos</i>	28
Tren de potencia	28
<i>Componentes del tren de potencia</i>	29
Motores eléctricos	30
<i>Componentes de un motor eléctrico</i>	31
<i>Tipos de motores eléctricos</i>	37
Batería	40
<i>Tipos de baterías</i>	41
<i>Características</i>	47
BMS.....	48
<i>Funciones de un BMS</i>	49
<i>Calibración de un BMS</i>	49
Pedal de Aceleración	50

Controlador	51
Transmisión de vehículo eléctrico.....	51
<i>Diferencial</i>	52
<i>Juntas homocinéticas</i>	54
Protección para trabajos en vehículos eléctricos	55
<i>Normas de seguridad</i>	55
<i>Principales peligros de la electricidad</i>	55
<i>Clasificación de los accidentes eléctricos</i>	56
<i>Protecciones en instalaciones eléctricas</i>	56
<i>Riesgos en baterías de tipo Li-Ion</i>	57
Equipo de seguridad personal	58
<i>Calzado de trabajo y seguridad</i>	58
<i>Guantes aislantes de la electricidad</i>	59
<i>Gafas de protección</i>	61
Capítulo III: Implementación del Sistema de Potencia Eléctrico y Transmisión	62
Selección del sistema de transmisión.....	62
<i>Velocidad angular</i>	64
<i>Velocidad lineal</i>	64
<i>Relación de transmisión</i>	65
<i>Instalación</i>	65
Selección del motor	66

<i>Selección de motor adecuado</i>	67
<i>Instalación</i>	69
Selección del Controlador	71
<i>Instalación</i>	71
Selección de la Batería	73
<i>Batería Litio Ion</i>	73
<i>Instalación</i>	74
Selección del BMS	76
<i>Instalación</i>	76
Selección del Pedal del acelerador.....	77
<i>Instalación</i>	78
Diagrama de conexión de componentes	78
<i>Conexión de componentes</i>	79
Capítulo IV: Pruebas de Funcionamiento del Sistema de Potencia y Transmisión	82
Prueba en vacío	82
Pruebas de protocolo	82
Diseño de la ruta	83
Pruebas de potencia.....	84
Pruebas de velocidad	85
Pruebas de autonomía.....	86
Trayecto realizado en el prototipo	87

Funcionamiento de componentes del sistema de potencia eléctrico y transmisión	90
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones.....	92
Conclusiones	92
Recomendaciones	93
Bibliografía	94
Anexos.....	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Combustibles alternativos del vehículo</i>	26
Figura 2 <i>Ejemplos de Tren de Potencia Convencional</i>	29
Figura 3 <i>Sistema de propulsión de un vehículo eléctrico</i>	30
Figura 4 <i>Motor Eléctrico</i>	31
Figura 5 <i>Partes de un Motor Eléctrico</i>	32
Figura 6 <i>Tipos de Estatores</i>	33
Figura 7 <i>Tipos de Rotores</i>	34
Figura 8 <i>Conmutador de motor eléctrico</i>	35
Figura 9 <i>Escobillas de motor eléctrico</i>	36
Figura 10 <i>Bobinado de motor eléctrico</i>	37
Figura 11 <i>Batería</i>	41
Figura 12 <i>Batería Plomo-Ácido</i>	42
Figura 13 <i>Baterías Comunes de Níquel-Cadmio</i>	43
Figura 14 <i>Baterías Níquel-Hidruro Metálico</i>	44
Figura 15 <i>Batería de Li-Ion</i>	45
Figura 16 <i>Batería LiFePO4</i>	46
Figura 17 <i>Batería ZEBRA</i>	46
Figura 18 <i>BMS</i>	49
Figura 19 <i>Funcionamiento del Pedal de Aceleración</i>	50
Figura 20 <i>Controlador Electrónico</i>	51
Figura 21 <i>Arquitectura vehículo eléctrico</i>	52
Figura 22 <i>Diferencial</i>	53
Figura 23 <i>Junta homocinética</i>	55
Figura 24 <i>Nomenclatura para guante aislante de electricidad</i>	60
Figura 25 <i>Protector facial CRONOS</i>	61

Figura 26 <i>Piñón de 10 dientes del motor</i>	63
Figura 27 <i>Piñón de 45 dientes del diferencial</i>	64
Figura 28 <i>Diferencial y juntas homocinéticas del prototipo</i>	66
Figura 29 <i>Motor eléctrico 10000W marca BLDC</i>	68
Figura 30 <i>Soporte para motor eléctrico</i>	69
Figura 31 <i>Base cuadrada colocada en el motor eléctrico</i>	70
Figura 32 <i>Implementación de motor eléctrico en el bastidor</i>	70
Figura 33 <i>Controlador Vector 500 Series Brushless 10Kw</i>	71
Figura 34 <i>Base de controlador</i>	72
Figura 35 <i>Implementación del controlador</i>	72
Figura 36 <i>Diseño de base para batería</i>	75
Figura 37 <i>Colocación de la batería</i>	75
Figura 38 <i>BMS</i>	76
Figura 39 <i>Instalación del BMS</i>	77
Figura 40 <i>Pedal del acelerador</i>	77
Figura 41 <i>Instalación del pedal de aceleración</i>	78
Figura 42 <i>Diagrama de conexión de componentes del sistema de potencia</i>	79
Figura 43 <i>Conexión entre motor BLDC y controlador</i>	80
Figura 44 <i>Conexión entre controlador y batería</i>	80
Figura 45 <i>Conexión entre controlador y batería</i>	81
Figura 46 <i>Comprobación de consumo</i>	82
Figura 47 <i>Pruebas de protocolo de prototipo SAE eléctrico</i>	83
Figura 48 <i>Diseño de la Ruta para Pruebas</i>	84
Figura 49 <i>Grafica velocidad / tiempo</i>	86
Figura 50 <i>Inicio de trayecto de prototipo</i>	87
Figura 51 <i>Trayecto de prototipo en bajadas-curvas</i>	87

Figura 52 <i>Trayecto de prototipo en bajadas</i>	88
Figura 53 <i>Trayecto de prototipo en pendientes-rectas</i>	88
Figura 54 <i>Trayecto de prototipo en cuestas-curvas</i>	89
Figura 55 <i>Trayecto de prototipo en obstáculos</i>	89
Figura 56 <i>Fin de trayecto de prototipo</i>	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Definición de los tipos de motores de CC</i>	38
Tabla 2 <i>Comparación de las características de los motores de CC</i>	38
Tabla 3 <i>Definición de los tipos de motores de AC</i>	40
Tabla 4 <i>Resumen del Ciclo de Vida de los Diferentes Tipos de Batería</i>	48
Tabla 5 <i>Normas de trabajo con alta tensión</i>	55
Tabla 6 <i>Clasificación del calzado de seguridad de acuerdo a su forma</i>	58
Tabla 7 <i>Clasificación del calzado de seguridad por su material de fabricación</i>	58
Tabla 8 <i>Clasificación de los zapatos de seguridad</i>	59
Tabla 9 <i>Clasificación de guantes aislantes de electricidad por su tensión de trabajo</i>	60
Tabla 10 <i>Componentes del Sistema de Potencia Eléctrico y Transmisión</i>	62
Tabla 11 <i>Características de un Motor 3000W</i>	66
Tabla 12 <i>Características de un Motor 5000W</i>	67
Tabla 13 <i>Características de un Motor 10kW</i>	67
Tabla 14 <i>Comparación entre motores eléctricos</i>	68
Tabla 15 <i>Características de controlador Vector 500 Series Brushless 10Kw</i>	71
Tabla 16 <i>Características de Batería Litio Ion</i>	73
Tabla 17 <i>Comparación entre distintos tipos de baterías</i>	73
Tabla 18 <i>Resultados obtenidos en pruebas de potencia</i>	85
Tabla 19 <i>Estado de funcionamiento de componentes</i>	90

Resumen

En el presente proyecto se implementó el Sistema de Potencia y Transmisión de un prototipo de vehículo de competición formula SAE eléctrico para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE con el objetivo de aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera, además de implementar el uso de energías alternativas en este tipo de vehículos de competición, el mismo que ha sido desarrollado en base a la investigación teórica acerca de los vehículos eléctricos, lo cual permitirá analizar los diferentes sistemas de transmisión y potencia que usan estos vehículos; y así seleccionar los componentes más adecuados para el vehículo prototipo. En la selección de componentes se realizaron comparaciones con el fin de seleccionar el motor y batería de acuerdo a las exigencias que requiera el prototipo; en cuanto a la transmisión, que será la encargada de transmitir la fuerza motriz hacia las ruedas y que dependerá de las dimensiones del vehículo. La implementación tuvo como punto de partida el chasis, donde fueron adaptados soportes para los componentes del sistema de potencia y transmisión motor eléctrico, controlador y la batería, también se realizaron las conexiones motor-controlador-batería-pedal de aceleración quienes harán que el vehículo funcione adecuadamente. Finalmente se realizaron las pruebas de funcionamiento.

Palabras clave: prototipo de vehículo de competición, tren de potencia, vehículos eléctricos, motor eléctrico.

Abstract

In the present project, the power and transmission system of a prototype of an electric formula SAE competition vehicle was implemented for the Career of Superior Technology in Automotive Mechanics of the University of the Armed Forces ESPE with the objective of applying the knowledge acquired during the career, in addition to implementing the use of alternative energies in this type of competition vehicles, which has been developed based on the theoretical research about electric vehicles, which will allow to analyze the different transmission and power systems used by these vehicles; and thus select the most appropriate components for the prototype vehicle. In the selection of components, comparisons were made in order to select the motor and battery according to the requirements of the prototype; as for the transmission, which will be responsible for transmitting the driving force to the wheels and will depend on the dimensions of the vehicle. The implementation had as a starting point the chassis, where supports were adapted for the components of the power and transmission system, electric motor, controller and battery, also the motor-controller-battery-acceleration pedal connections were made, which will make the vehicle work properly. Finally, the operation tests were carried out.

Key words: prototype competition vehicle, powertrain, electric vehicles, electric motor.

Capítulo I

Anteproyecto

Antecedentes

Los vehículos eléctricos se han vuelto muy populares en los últimos años, pero se debe saber que se inventaron mucho antes que los vehículos con motores de combustión interna. Estos autos fueron populares a fines del siglo XIX y principios del XX hasta que comenzó la producción en masa de autos con motor de combustión interna.

En los años 90 del siglo pasado se revivió la producción de vehículos eléctricos. Varios países están comenzando a aprobar regulaciones y leyes que fomentan el desarrollo de tecnologías más amigables con el medio ambiente. Según las previsiones, los vehículos eléctricos se convertirán en los vehículos más utilizados en un futuro próximo. Con estos costos cada vez más competitivos, se espera que este tipo de vehículo se venda más que los vehículos con motor de combustión interna para 2030.

Es así que han sido introducidos en la “Fórmula Student”, más conocida como la fórmula SAE, competición organizada por la “Society of Automotive Engineers” desde 1978, en la cual participan estudiantes universitarios del mundo quienes desarrollan diferentes prototipos de vehículos monoplace con parámetros específicos en cuanto a rendimiento para luego competir. Desde sus inicios para otorgar potencia a este tipo de vehículos monoplace han sido utilizados motores de combustión interna, pero en la actualidad también se han logrado implementar motores eléctricos.

De acuerdo con: (León García, 2015) en su trabajo de fin de grado “DISEÑO DE LA ADAPTACIÓN DE LA ELECTRÓNICA Y MOTORES PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO DE LA FÓRMULA SAE, PARA LA UNIVERSIDAD DE ALCALÁ”, se ha podido deducir que la parte fundamental del proyecto es la elección del motor eléctrico, para lo cual han sido seleccionados

dos motores eléctricos CC, incorporados a las ruedas del monoplaza disminuyendo la pérdida de energía en la transmisión.

De acuerdo con (Chuquiana, Torres, & Salazar, 2014): en su trabajo de fin de grado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL TREN MOTRIZ CON MOTOR ELÉCTRICO Y TRANSMISIÓN CVT, PARA UN VEHÍCULO BIPLAZA PLEGABLE”, se ha podido deducir que mediante el uso del análisis matemático y herramientas informáticas se diseñó e implementó el tren motriz conformado por un motor eléctrico, transmisión CVT y el controlador electrónico.

De acuerdo con (Jumbo & Reyes, 2012): en su trabajo de fin de grado “IMPLEMENTACIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO SOBRE EL CHASIS DE UNA MOTOCICLETA YAMAHA TTR125”, se ha podido concluir que el nivel de carga de la batería LiFePO₄ de 48V va a definir la eficiencia de la motocicleta eléctrica.

De acuerdo con (Cabrera Paredes & Calle Pérez, 2016) : en su trabajo de fin de grado “SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO, CONTROLADOR Y BATERÍA PARA EL VEHÍCULO FORMULA SAE DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”, se obtuvieron resultados factibles mediante matrices de selección que permitieron la adecuada selección de cada uno de los elementos para cumplir con los parámetros requeridos para poder competir en la “Formula SAE Electric”.

Planteamiento del problema

En la actualidad una de las mayores preocupaciones de la sociedad es la consideración y conservación del medio ambiente debido a la presencia de la contaminación ambiental la cual ha ido tomando protagonismo a lo largo de los años convirtiéndose en un gran factor negativo para la salud y el bienestar de las personas en su día a día, como menciona (Palacios Espinoza & Espinoza Molina, 2009-2013) “el incremento de la mortalidad por enfermedades

cardiopulmonares y cáncer de pulmón estaría entre el 3 y el 9%. Varias investigaciones en distintas ciudades del mundo demuestran que la contaminación del aire afecta la salud.”

Debido a esta situación, la tecnología ha evolucionado en los últimos años con el objetivo de desarrollar e implementar nuevos sistemas y acciones que ayuden a mejorar la calidad del medio ambiente. El sector automotriz es una de las principales causas del aumento de la contaminación atmosférica debido a que los vehículos expulsan gases contaminantes dañinos para la salud por ejemplo pueden ocasionar cáncer al pulmón, asma bronquial e incluso enfermedades cardiovasculares, es por esta razón que este campo laboral ha tomado cartas en el asunto y ha empezado a desarrollar nuevas tecnologías que permitan una alternativa más limpia logrando así una disminución en la emisión de gases nocivos para el ambiente como se menciona (Vargas, 1995)“por el tubo de escape sale dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOX), óxidos de azufre (SOX), hollín y otros compuestos tóxicos como bencenos, formaldehídos, alquitranes, sulfatos, etcétera, todas ellas sustancias contaminantes en mayor o menor grado. Esta lista de contaminantes, produce el conocido smog, que deja en la atmósfera su mancha gris oscura y hace irrespirable el aire.”

Existen diversas maneras con las cuales se puede disminuir las emisiones contaminantes de los automóviles, entre las principales son: mejorar la eficiencia de los vehículos o implementar nuevas fuentes de energía alternativas. Es por ello que en la actualidad los vehículos eléctricos han tomado protagonismo debido a que son más eficientes y ecológicos dado que su funcionamiento radica en una batería que se encarga de suministrar energía a su motor mediante la electricidad y por tanto no genera gases nocivos como lo hace un motor de combustión interna.

Es por ello que un vehículo eléctrico es una buena opción actualmente y a futuro para mejorar la calidad ambiental dado que su fuente de propulsión “la electricidad” se puede obtener de energías renovables, por ejemplo: (energía eólica, solar, hidráulica,

aprovechamiento de biomasa y biogas) de esta manera se deja atrás el empleo de un motor de combustión interna convencional por un motor eléctrico logrando así cero emisiones nocivas y una mejor relación con el medio ambiente.

Justificación

El presente proyecto tiene como finalidad realizar la implementación del sistema de transmisión y potencia de un prototipo de vehículo de competición formula SAE, proyecto en el que será aplicada una amplia investigación, además de poner en práctica los conocimientos teórico prácticos adquiridos durante la carrera y de esta manera obtener resultados positivos en las pruebas de rendimiento. Una vez terminada la presente investigación será entregada a la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz, para su estudio practico e investigativo; de esta manera podrá beneficiarse los estudiantes de la carrera y de toda la comunidad universitaria.

De esta manera también se busca resaltar la importancia de la implementación de este tipo de sistemas en los vehículos, ya que hoy en la actualidad, el problema de los combustibles y su impacto medioambiental es uno de los principales problemas a resolver. Hoy en día se pretende conocer a fondo la manera de aprovechar la electricidad como fuente de propulsión en su totalidad o parcialmente en el vehículo para lo cual servirá en gran parte en cuanto a movilidad al sector turístico, a las competencias y al transporte.

Objetivos

General

Implementar el sistema de potencia y transmisión de un prototipo de vehículo de competición fórmula SAE eléctrico para la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Específicos

- Investigar los tipos de motores eléctricos y los tipos de transmisión que se pueden emplear en un prototipo de vehículo de competición fórmula SAE eléctrico de acuerdo a sus características y beneficios que puede aportar.
- Dimensionar y colocar los componentes eléctricos y electrónicos en el bastidor del prototipo.
- Realizar las pruebas de funcionamiento del prototipo de vehículo de competición fórmula SAE eléctrico.

Alcance

El objetivo de este proyecto es implementar el sistema de potencia y transmisión en un prototipo de vehículo de competición formula SAE eléctrico en donde se espera que el mismo sirva de base a todo el campo automotriz para que estos tipos de vehículos sean implementados y fabricados de tal manera que estos resalten y sean muy utilizados por la sociedad en un futuro cercano e incluso que estos vehículos puedan servir de motivación para la búsqueda continua de mejoras en el medio ambiente y en el confort y seguridad de quienes ocupan el habitáculo del vehículo.

Capítulo II

Marco Teórico

Combustible

Como se sabe, el combustible es derivado del petróleo mediante procesos de destilación a grandes temperaturas, el cual es utilizado para la elaboración de gasolina y diésel, consideradas como las fuentes de energía más utilizadas en la actualidad por los vehículos.

Combustibles alternativos

Hay que tener en cuenta que el petróleo cada vez está más escaso, su precio es muy elevado, pero además se convierte en un factor contaminante del medio ambiente. Es por esta razón que el sector automotriz ha buscado implementar nuevos combustibles alternativos, entre los que se puede destacar la electricidad, GLP, hidrogeno, biocarburantes, gas natural, entre otros.

Figura 1

Combustibles alternativos del vehículo



Nota. En la figura 1 hace referencia a tres combustibles alternativos utilizados en los vehículos.

Tomado de (Hierro, Combustibles alternativos y Medio Ambiente, 2009)

Vehículos según la fuente de combustible

Teniendo como base la implementación de combustibles alternativos, se ha diseñado motores con el objetivo de disminuir la contaminación ambiental y encontrar nuevos sistemas de potencias ideales en el caso de que el petróleo en un futuro sea difícil de conseguir.

Vehículos con motores de combustión interna

Estos tipos de motores son los más utilizados en el mercado debido a que se usa el combustible como fuente de energía, la mayoría de vehículos utilizan la gasolina o el diésel para su funcionamiento.

Al utilizar estos tipos de combustibles como método de combustión, en el proceso se generan gases inofensivos y contaminantes, siendo estos últimos como por ejemplo el CO, CO₂ y Nox los que afectan en la salud de la población y contribuyen al avance de la destrucción de la capa de ozono y por ende al aumento de contaminación ambiental haciendo irrespirable el aire.

Vehículos con motores de GLP y GNC

Los vehículos que utilizan estos combustibles alternativos GLP (Gas Licuado de Petróleo) y GNC (Gas Natural Comprimido) para su funcionamiento han ganado protagonismo últimamente ya que los fabricantes han decidido apostar por su comercialización dado que su proceso de combustión es menos contaminante, pero con la desventaja de que se obtiene una menor potencia y su consumo de combustible es mayor a diferencia de un MCI.

Vehículos híbridos

Los motores híbridos se caracterizan por tener dos motores, uno de combustión interna y un motor eléctrico. Su funcionamiento radica según su disposición, en el caso de un motor híbrido en serie el MCI se encarga de recargar las baterías mientras que el motor eléctrico mueve a las ruedas, en el caso de un motor híbrido en paralelo cuando el motor eléctrico se

queda sin energía el MCI genera la potencia necesaria para mover el vehículo. De tal manera que una de sus fuentes de energía es la electricidad lo que reduce la emisiones de gases contaminantes siendo una alternativa de transporte más ecológica.

Vehículos eléctricos

Su fuente de energía es la electricidad por ende es un método más ecológico reemplazando al motor de combustión interna lo que disminuye en mayor cantidad las emisiones contaminantes al medio ambiente.

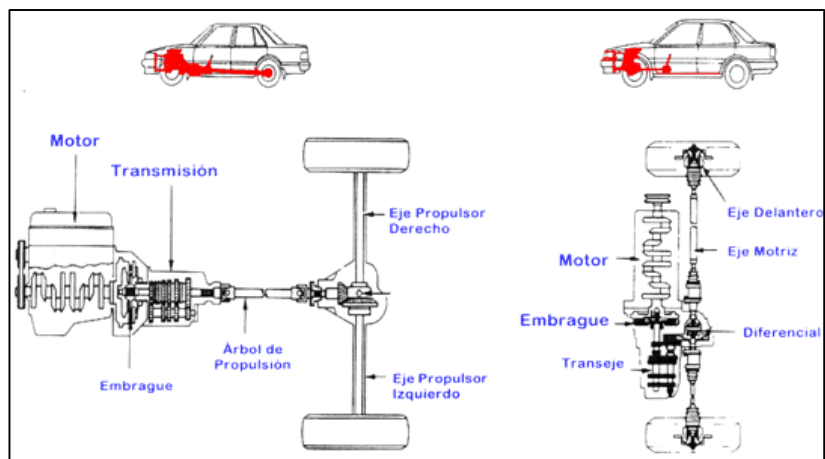
Además de que la electricidad se puede generar mediante energías renovables como: (energía eólica, energía solar, energía hidráulica, entre otros) siendo estos motores una de las mejores alternativas ecológicas para el transporte en un futuro.

Tren de potencia

En el tren de potencia del vehículo encontramos un conjunto de elementos que tienen la misión de trasladar energía hacia las ruedas con mucha eficiencia y controlando todo el tiempo la etapa de potencia.

Figura 2

Ejemplos de Tren de Potencia Convencional



Nota. En la figura 2 se muestra el tipo de tracción se determina la posición de las ruedas motrices. *Tomado de (Mayz Acosta, 2015)*

Al transmitir el movimiento de un lugar a otro debe existir una perfecta sincronización y armonía en cada componente que lo conforman con el objetivo de garantizar un movimiento suave y controlable del vehículo en todo momento.

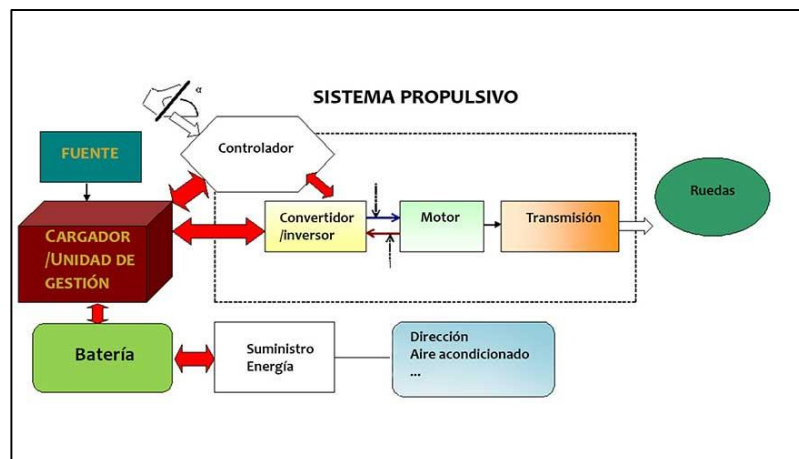
Comparando el proceso de generación de propulsión entre un motor de combustión interna y un vehículo eléctrico, la diferencia es obvia. A diferencia de los automóviles convencionales, que requieren varias marchas, los vehículos eléctricos utilizan transmisión de una sola velocidad porque los motores eléctricos pueden generar un par máximo a velocidades muy bajas.

Componentes del tren de potencia

El tren de potencia para vehículos eléctricos cuenta con mecanismos similares a los vehículos con motores MCI, en la mayor parte del tiempo vienen a ser los mismos o ya bien pueden llegar a ser adaptados.

Figura 3

Sistema de propulsión de un vehículo eléctrico



Nota. En la figura 3 se observa el esquema conceptual de configuración de un vehículo eléctrico. *Tomado de* (López Martínez, 2018)

Motores eléctricos

Los motores eléctricos son dispositivos diseñados para convertir la energía obtenida por medio de la batería en energía mecánica e impulsar el desplazamiento del auto. (Renault, 2022)

Figura 4*Motor Eléctrico*

Nota. En la figura 4 se muestra un motor eléctrico del Chevrolet Bolt. *Tomado de (Murias, 2019)*

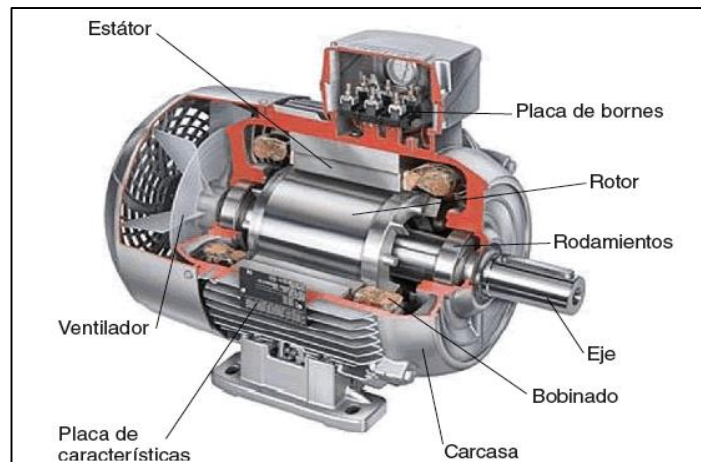
Con la ayuda de los componentes del tren de potencia, el motor eléctrico transmite la potencia hacia las ruedas permitiendo el desplazamiento del vehículo.

Componentes de un motor eléctrico

Un motor eléctrico convencional cuenta con cuatro componentes principales: *estator, rotor, conmutador, escobillas y bobinado.*

Figura 5

Partes de un Motor Eléctrico



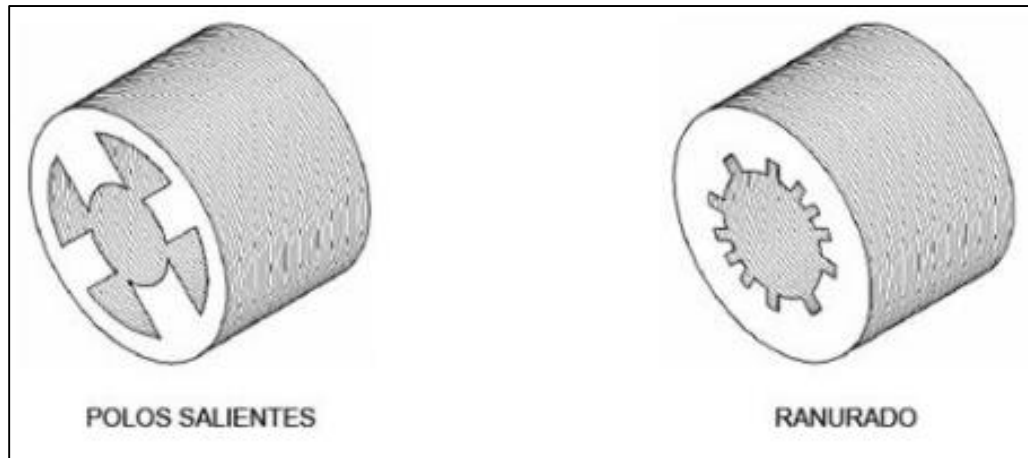
Nota. En la figura 5 se muestra un motor eléctrico en corte en donde se especifica cada uno de sus componentes. *Tomado de* (Electrotec, 2019)

Estator

Este elemento es la parte fija del motor, el cual es la base para la rotación del mismo. No se mueve de forma mecánica, pero si lo hace magnéticamente.

Existen dos tipos de estatores:

- a) Estator de polos salientes
- b) Estator ranurado

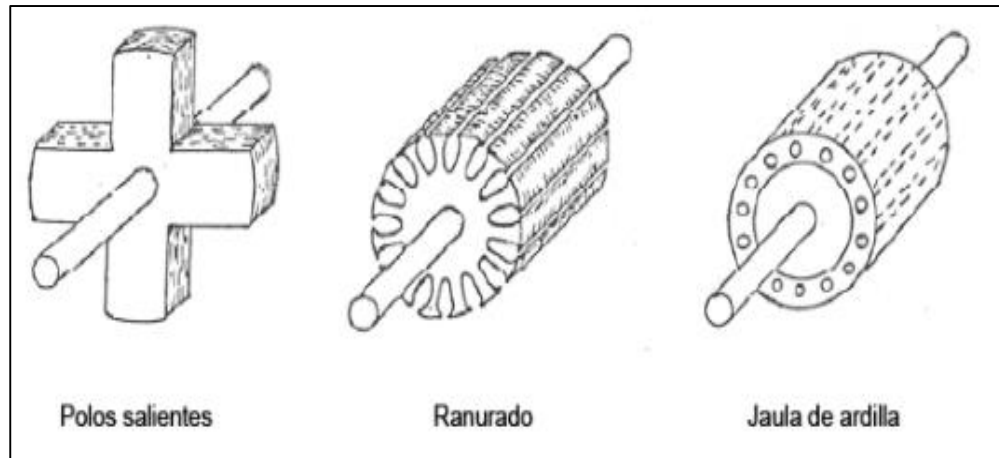
Figura 6*Tipos de Estatores*

Nota. En la figura 6 se muestra los dos tipos de estatores que se pueden encontrar en un motor eléctrico. *Tomado de* (Burbano Ortiz, 2018)

Rotor

Este elemento es la parte móvil del motor, el cual se encarga de la transferencia mecánica es decir convierte la energía eléctrica a mecánica. Se clasifican en tres tipos de rotores:

- a) Rotor ranurado
- b) Rotor de polos salientes
- c) Rotor jaula de ardilla

Figura 7*Tipos de Rotores*

Nota. En la figura 7 se muestra los tres tipos de rotores que se pueden encontrar en un motor eléctrico. *Tomado de* (Burbano Ortiz, 2018)

Conmutador

Actúa como un interruptor cambiando continuamente la dirección de la corriente entre el rotor y el circuito externo.

Figura 8

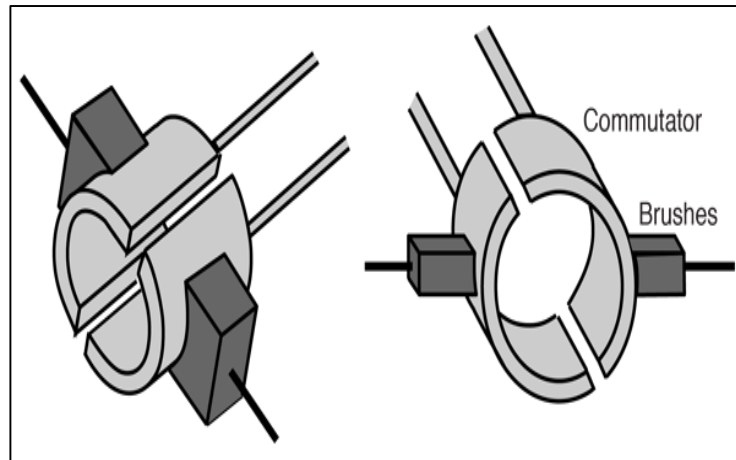
Conmutador de motor eléctrico



Nota. En la figura 8 se puede observar el conmutador de un motor eléctrico. *Tomado de* (Amazon, 2022)

Escobillas

Son de gran ayuda para tener una conexión fija entre la parte fija y las bobinas del rotor. Según (Esgraf, 2020) “Los anillos que van en el eje de giro están elaborados generalmente de cobre y están conectados a la bobina rotatoria. Las escobillas se encargan de hacer presión sobre estos, también llamados colectores, para permitir el paso de la electricidad y así el motor pueda arrancar”.

Figura 9*Escobillas de motor eléctrico*

Nota. En la figura 9 se puede observar las escobillas haciendo presión sobre los colector para permitir la conducción de electricidad hacia el motor eléctrico. *Tomado de* (Esgraf, 2020)

Bobinado

Es el arrollamiento que va en la parte interna de un motor eléctrico y por medio del bobinado se crean los campos magnéticos para la velocidad (RPM), el bobinado lo puede llevar tanto el estator como el rotor. (De la fuente Gonzales, 2020)

Figura 10

Bobinado de motor eléctrico



Nota. En la figura 10 se puede observar el bobinado de un motor eléctrico. *Tomado de* (De la fuente Gonzales, 2020)

Tipos de motores eléctricos

De acuerdo con la (GSL Industrias, 2021) los tipos de motores eléctricos tienen dos grandes ramas que son los motores de corriente continua y los de corriente alterna, estas a su vez tienen divisiones.

Motores de corriente continua (CC)

Su clasificación depende del tipo de conexión que existe entre el inductor y el inducido por lo cual encontramos cuatro subdivisiones, los cuales son: *motor de excitación en serie*, *motor de excitación en paralelo*, *motor de excitación compuesta* y *motor de imán permanente*. Las características de cada motor se presentan en la tabla 1 y 2.

Tabla 1

Definición de los tipos de motores de CC

Motor de Excitación en Serie	Motor de Excitación en Paralelo	Motor de Excitación Compuesta	Motor de Imán Permanente
Es un tipo de motor eléctrico DC en el cual el inducido y el devanado inductor o de excitación van conectados en serie.	Es un motor eléctrico DC cuyo bobinado principal está conectado en derivación o en paralelo con los bobinados inducido e inductor auxiliar.	Es un motor eléctrico DC cuya excitación es originada por bobinados independientes dispuestos en serie y conectados en derivación con el circuito formado por los bobinados inductor serie e inductor auxiliar.	El suministro DC está conectado directamente a los conductores de la armadura mediante las escobillas. El campo magnético principal es producido por los imanes permanentes montados en el estator.

Nota. En la tabla 1 se muestra la definición de cada uno de los tipos de motores de CC. *Tomado de* (Contreras Villamizar & Sánchez Rodríguez, 2010)

Tabla 2

Comparación de las características de los motores de CC

Regulación de velocidad	Control de velocidad	Par de arranque	Par limite	Aplicaciones
Motor de excitación en serie				
Varía inversamente con la carga marcha en cargas bajas y plena tensión.	Será máximo dependiendo del control de la carga.	Alto, varía con el cuadrado del voltaje limitado por la conmutación y el calentamiento	Alto, limitado por la conmutación y calentamiento y capacidad de la línea.	Cuando alto torque requerido y la velocidad puede ser regulada. Grúas, montacargas, etc.
Motor de citación en paralelo				
Pérdidas del 3 al 5% desde no carga a carga plena.	Cualquier rango decidido, dependiendo del diseño del motor y del tipo de sistema.	Bueno, con campos constantes, es directamente proporcional a la tensión aplicada a la armadura.	Alto limitado por la conmutación. Calentamiento y capacidad de la línea.	Cuando se necesita velocidad constante y el par de arranque no es severo. Ventiladores, bombas, sopladores y transportadores.
Motor de equitación compuesta				
Pérdidas del 3 al 20% desde no carga plena. Dependiendo de la cantidad de composición.	Cualquier rango decidido, dependiendo del diseño del motor y del tipo de sistema.	Tan grande como los motores en paralelo. Dependiendo de la cantidad de composición.	Alto. Limitado por la conmutación. Calentamiento y capacidad de la línea.	Cuando se requiere alto par de arranque, combinado con velocidad completamente constantes. Bombas de émbolo. Prensas. Ascensores engranaje.
Motor de imán permanente				
	Su velocidad puede ser cambiada.		Alto. Limitado por la conmutación.	Cuando se requiere una cantidad baja de carga.

Nota. En la tabla 2 se especifican las características de cada uno de los motores de CC.

Tomado de (Contreras Villamizar & Sánchez Rodríguez, 2010)

Motores de corriente alterna (AC)

A diferencia del motor DC, como su nombre indica, trabaja con corriente alterna.

Generalmente, por su facilidad de uso e instalación, estos motores son los más extendidos en los vehículos eléctricos. (Autonoción, 2021)

Estos motores tienen su clasificación que se basa en tres subtipos: *motor asíncrono o de inducción, motor síncrono y motor de arrollamiento en serie*. Sus características se describirán en la tabla 3.

Tabla 3

Definición de los tipos de motores de AC

Motor de inducción.	Motor Síncrono	Motor de arrollamiento en serie
Un motor de inducción es una máquina de inducción en la que un miembro. Se conecta la fuente de energía y un devanado polifásico secundario, un devanado en jaula de ardilla secundario.	Son máquinas eléctricas cuya velocidad de rotación está vinculada rígidamente con la frecuencia de la red AC con la cual trabaja.	Es un motor de conmutador donde el inductor y el inducido están conectados en serie.

Nota. En la tabla 3 se resume la definición de los tres tipos de motores AC más convencionales. *Tomado de* (Contreras Villamizar & Sánchez Rodríguez, 2010)

Batería

Podemos denominar a una batería como un dispositivo que puede almacenar y suministrar energía eléctrica, de ella se puede obtener la principal fuente de energía para que pueda funcionar un vehículo.

Dicha batería deberá cumplir con requerimientos tales como: rendimiento, energía específica, impacto ambiental, seguridad y una potencia específica para acelerar o subir una pendiente.

Figura 11

Batería



Nota. En la figura 11 se observa una batería de la marca Bosch utilizada por lo general en vehículos de combustión. *Tomado de* (BOSCH, 2022)

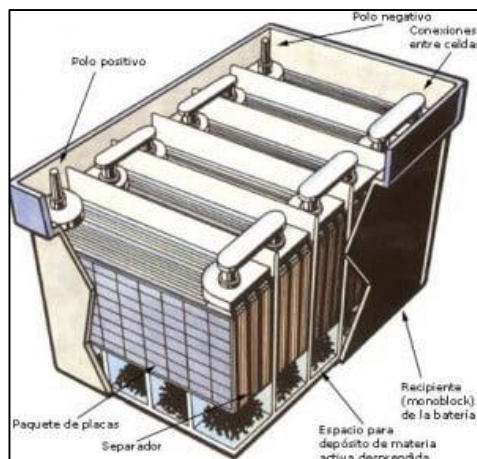
Tipos de baterías

De acuerdo a su aplicación podemos hablar de baterías de arranque que se aplican en motores convencionales y baterías de tracción que se utilizan en vehículos híbridos y eléctricos.

Plomo-Ácido

Figura 12

Batería Plomo-Ácido



Nota. En la figura 12 se observa la composición de una batería plomo-ácido. *Tomado de* (Buchmann, 2003)

Fueron de las primeras baterías en utilizarse y que al día de hoy comúnmente las encontramos en vehículos convencionales, se caracterizan por tener un bajo costo, alto rendimiento, además de la seguridad y fiabilidad que ofrece.

Sin embargo, encontramos desventajas como la baja energía específica que posee, su elevado peso, el tiempo de recarga que es elevado y los elementos con los que se fabrica al ser tóxicos son muy perjudiciales para el medio ambiente.

Están conformadas por un electrodo positivo (ánodo) de plomo y óxido de plomo en el electrodo negativo (cátodo), los cuales producen una solución de ácido sulfúrico como electrolito al estar sumergidos en agua destilada.

Níquel-Cadmio

Este tipo de baterías están descartadas debido a su alto grado de toxicidad por el cadmio, a pesar de su mayor densidad de energía respecto a las de plomo ácido.

Son baterías alcalinas las cuales poseen hidróxido de níquel como electrodo positivo y cadmio metálico como electrodo negativo son empleados en este tipo de batería. Pueden llegar a soportar bajas temperaturas, pueden resistir descargas excesivas, son sólidas y seguras. Sin embargo, no resulta factible su uso debido a que su costo es muy elevado lo cual se tendrá muy en cuenta al momento de instalarlo en el vehículo.

Figura 13

Baterías Comunes de Níquel-Cadmio



Nota. En la figura 13 se observa baterías comerciales en forma de pila. Tomado de (EcuRed, 2011)

Níquel-Hidruro de metal

De similar funcionamiento que las baterías de Ni-Cd a diferencia que el electrodo negativo utiliza hidrogeno y que al ser absorbido por un metal hidruro presenta una gran ventaja al no contener cadmio evitando por completo este elemento nocivo, también en cuestión de energía y potencia de la batería llega a ser mayor.

Figura 14*Baterías Níquel-Hidruro Metálico*

Nota. En la figura 14 se muestra la forma comercial de una batería de níquel-hidruro metálico.

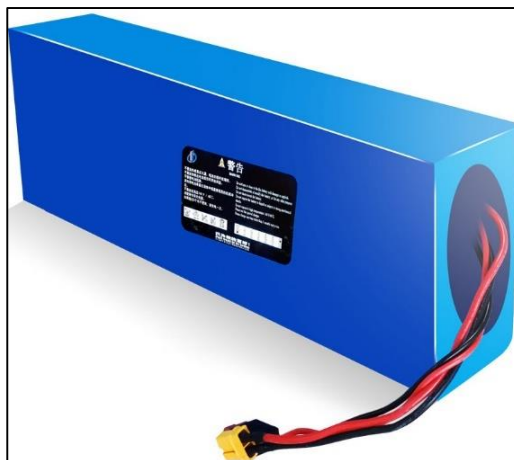
Tomado de (Oliva, 2018)

Ion-Litio

Esta batería es favorable para la instalación en vehículos híbridos, actualmente son las más utilizadas debido a su gran número de ventajas en relación a otras baterías. El litio resulta ser atractivo para ánodos por su reactividad y lo que genera su alta tensión y ligero peso. Las tensiones varían según el material del cátodo de entre 2V Y 3.7V. (Cabrera Paredes & Calle Pérez, 2016)

Figura 15

Batería de Li-Ion



Nota. En la figura 15 se observa una batería de Litio-Ion usada en scooter eléctrico. *Tomado de* (Gold Agents, 2017)

Entre sus características encontramos que ofrece una alta densidad, elevada potencia específica, un buen comportamiento a altas temperaturas y pueden ser reciclables. También debemos tener en cuenta que contiene componentes inflamables y tóxicos.

LiFePO4

La batería de Litio / Fosfato de Hierro es una batería de iones de Litio que utiliza FePO4 como material catódico.

Las ventajas que poseen este tipo de baterías son:

- Durante su vida útil no requieren mantenimiento.
- Mantienen todo su potencia hasta el mismo momento de la descarga.
- Son bastante seguras, ya que no explotan o incendian con sobrecargas.
- Su vida útil se encuentra entre los 2, 000 y 3, 000 ciclos durante 6 a 7 años.

(TECHNOSUN, 2011)

Figura 16

Batería LiFePO₄



Nota. En la figura 16 se presenta una batería LiFePo₄ de 12 V y 200Ah. Tomado de (Amazon, 2022)

ZEBRA

Figura 17

Batería ZEBRA



Nota. En la figura 17 se observa una batería ZEBRA en su forma comercial. Tomado de (Seguí Peidro, 2018)

Las baterías ZEBRA por sus siglas (Zero Emission Battery Research Activity) se están introduciendo recientemente en el mercado, proveyendo muy buenos resultados de autonomía en vehículo eléctricos. Este tipo de baterías trabaja a una alta temperatura (300°C), la cual se encuentra instalada en una caja aislada térmicamente en el exterior.

Cuentan con una gran capacidad de refrigeración, sin embargo, para volver a utilizarse debe ser calentada mediante la red eléctrica lo que presenta una gran desventaja al recuperar su temperatura de funcionamiento y en caso de no tener conectado el vehículo a la red tendremos un consumo energético pasivo. (Cuesta Capellan, Caracterización del tren de potencia de un vehículo eléctrico de categoría L7 tipo Smart, 2017)

Características

La correcta elección de una batería nos permitirá tener un óptimo dimensionamiento del tren de potencia, por tanto, es indispensable conocer ciertas características que poseen las baterías y de esa manera verificar que cumpla con las demandas en cada situación. Las características principales de una batería que se debe tener en cuenta son las siguientes:

Capacidad

La capacidad de una batería hace referencia al indicador de cantidad de energía que es capaz de almacenar, es decir la energía que dispondrá el motor y demás componentes del vehículo, y se expresa en unidades de amperios por hora (Ah).

Energía específica

Su unidad de medida es kWh/kg relacionando dos variantes muy importantes, el peso y la capacidad energética.

Densidad energética

Su unidad de medida es Wh/L, esta nos indica la relación entre el volumen ocupado por la batería y su capacidad de almacenamiento.

Ciclo de vida

El ciclo de vida de una batería será determinado por el número de cargas y descargas completas que es capaz de soportar, se dará a conocer los ciclos de carga y descarga mediante el tipo de batería que utilizaremos. (Cuesta Capellan, Caracterización del tren de potencia de un vehículo eléctrico de categoría L7 tipo Smart, 2017)

Tabla 4

Resumen del Ciclo de Vida de los Diferentes Tipos de Batería

Tipo de batería	Numero de ciclos (aprox.)
Ion-Litio	1200
ZEBRA	1000
Níquel-Hidruro metálico	750-1200
Níquel-Cadmio	800
Plomo-Ácido	500-900

Nota. En la tabla 4 se muestra los ciclos de vida que ofrecen los diferentes tipos de baterías.

Tomado de (Cuesta Capellan, Caracterización del tren de potencia de un vehículo eléctrico de categoría L7 tipo Smart, 2017)

BMS

Battery Management System que se traduce como un (Sistema de Gestión de Baterías) es un sistema electrónico encargado de proteger a las baterías de Li-Ion de explosiones, chispazos o algún problema que estas presenten cuando no se cargan de forma adecuada, además este sistema alarga la vida útil de las mismas.

Figura 18*BMS*

Nota. En la figura 18 se observa la estructura de un BMS. Tomado de (FCE, 2022)

Funciones de un BMS

Además de ser un elemento de seguridad, el BMS tiene diversas funciones que permiten visualizar el estado de la batería. De acuerdo con (Evexpert, 2021) el BMS tiene cinco funciones primordiales en la batería, las cuales son:

- Control de descarga y carga
- Determinación del estado de carga actual
- Determinación del estado de salud
- Balanceo de carga
- Grabación y comunicación

Calibración de un BMS

Existen casos en donde la pantalla del vehículo no muestra valores correctos acerca del estado de la batería, por lo que es necesario la calibración del mismo.

Hay diferentes formas de calibrar BMS y necesitara el apoyo del fabricante de automóviles para hacerlo. Sin embargo, estas son algunas de las practicas más comunes:

- Deje su automóvil durante la noche apagando completamente la energía, dejándolo dormir profundamente.
- Carga lentamente su vehículo hasta el 100%.
- Evite cargar su vehículo con frecuencia o todas las noches.

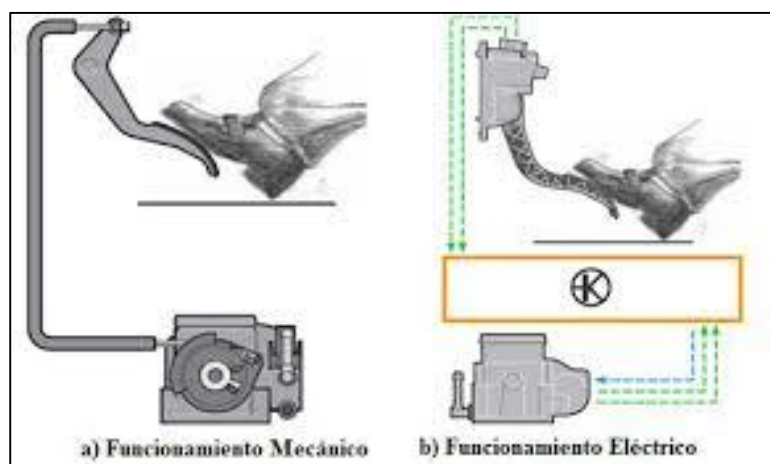
Si esto no funciona o mejora el proceso de calibración, la solución es comunicarse con la empresa fabricante. (Evexpert, 2021)

Pedal de Aceleración

El acelerador electrónico comúnmente lo logramos encontrar en la mayoría de vehículos convencionales debido a que la evolución de los sistemas de aceleración es muy avanzada. En la actualidad se han visto reemplazados muchos sistemas mecánicos, haciendo que las respuestas de aceleración sean mejores al reemplazar el cable en el pedal del acelerador por el accionamiento controlado electrónicamente.

Figura 19

Funcionamiento del Pedal de Aceleración



Nota. En la figura 19 se observa los dos tipos de funcionamiento del pedal de aceleración.

Tomado de (Hernández Morales, 2019)

Controlador

Cumple la función de comprobar el correcto funcionamiento del vehículo y regula la energía proporcionada por el motor eléctrico para ser suministrado el par deseado. Este sistema analizará el torque deseado en base a la posición del freno y acelerador donde el acelerador será interpretado como una señal de torque positiva y al frenar como negativo.

Figura 20

Controlador Electrónico



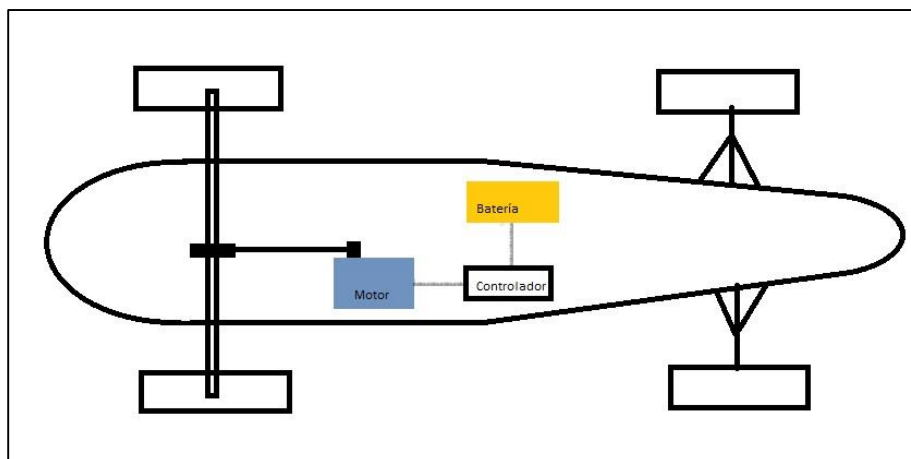
Nota. En la figura 20 se observa un controlador electrónico de vehículo eléctrico con características de 5500W y 72V. Tomado de (Aliexpress, 2022)

Transmisión de vehículo eléctrico

Un vehículo netamente eléctrico es propulsado por uno o más motores. La batería se encarga de suministrar la energía hacia el motor. Al contar con una propulsión plenamente eléctrica no solo nos centramos en la capacidad de la batería sino también en sus métodos de recarga. Éste es en la actualidad uno de los campos de estudio más importantes, ya que una mejora competitiva en autonomía o en los tiempos de recarga podría dar el impulso definitivo a todo el sector.

Figura 21

Arquitectura vehículo eléctrico



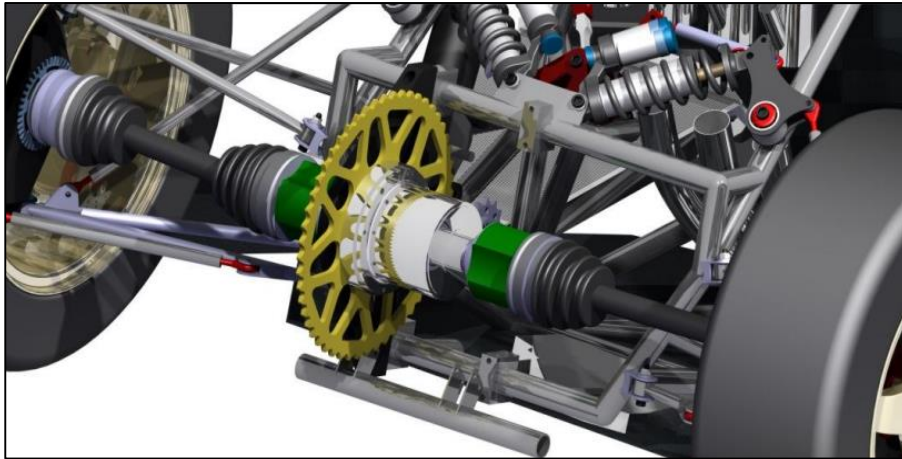
Nota. En la figura 21 se observa el esquema de disposición del prototipo eléctrico.

Diferencial

El conjunto diferencial reduce la velocidad de rotación transmitida desde la transmisión e incrementa la fuerza de movimiento, a su vez distribuye la fuerza de movimiento en la dirección izquierda y derecha transmitiendo este movimiento a las ruedas. El diferencial se encarga de absorber las diferencias de rotación del movimiento de las ruedas izquierdas y derechas, haciendo esto posible que el vehículo gire fácilmente.

Figura 22

Diferencial



Nota. En la figura 22 se observa un diferencial modelo Drexler. *Tomado de* (Automania)

Tipos de Diferencial

Se clasifican en dos grupos de diferenciales:

- Diferenciales convencionales o abiertos
- Diferenciales Autoblocantes

Diferencial Convencional

Está conformado por varios engranajes cónicos, los cuales giran sobre ejes montados dentro de la carcasa exterior (piñones satélites) que, a su vez, engranan con sendos piñones cónicos (engranajes de los semiejes o planetarios). El par motor se transmite directamente a la corona situada en la carcasa exterior y mediante los engranajes mencionados anteriormente obtenemos la transmisión hacia las ruedas.

Cuando el camino que deben recorrer ambas ruedas es el mismo, los piñones satélites no giran respecto de su eje y transmiten a cada eje de salida un par que es función de la resistencia ofrecida por el mismo. Por el contrario, cuando el camino a recorrer por cada rueda

es diferente, la rotación de los piñones satélites permite que las velocidades de salida de ambas transmisiones sean diferentes. (Ojeda Montoya , 2012)

Diferenciales Autoblocantes

Estos diferenciales los podemos encontrar en vehículos de tracción trasera, de gran potencia, ya que llegan a perder adherencia durante aceleraciones fuertes en una de las ruedas, para evitar un deslizamiento excesivo que generaría un volcamiento del vehículo. Mediante la adopción de este, se mejora la transmisión de esfuerzo, a la vez que evita un patinaje continuo de la rueda con menos adherencia y sus consecuencias para la estabilidad.

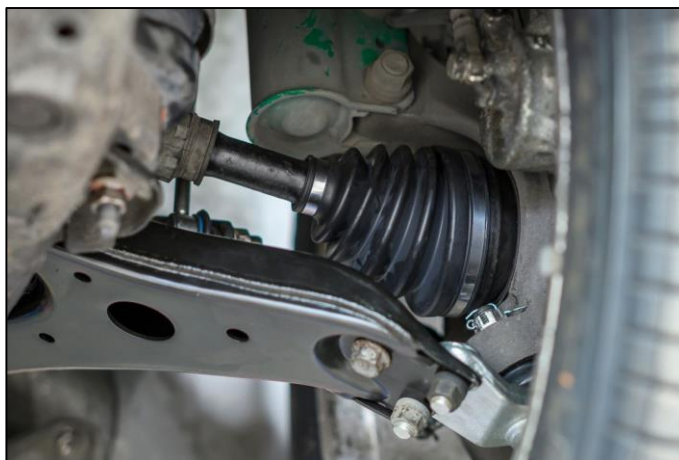
Los piñones satélites planetarios son análogos a los de un diferencial convencional. Es decir, cada piñón planetario se acopla sobre sendos bujes estriados, que a su vez encajan sobre cada una de las dos mitades de la caja diferencial. Entre cada mitad de la caja y el buje estriado correspondiente existen pequeños muelles helicoidales alojados en las carcasas. (Ojeda Montoya , 2012)

Juntas homocinéticas

La junta homocinética de los automóviles es un componente muy importante en la transmisión del movimiento. Esta pieza se encarga de transmitir la rotación de un eje de entrada a uno de salida, permitiendo este movimiento sin la necesidad de modificar la velocidad entre los ejes y sin importar el ángulo que se forma entre ellos. (Rodríguez, 2021)

Figura 23

Junta homocinética



Nota. En la figura 23 se muestra el ejemplo de junta homocinética en un vehículo. *Tomado de* (Rodríguez, 2021)

Protección para trabajos en vehículos eléctricos

Normas de seguridad

Las normas de seguridad tienen como objetivo prevenir, mitigar y/o directamente eliminar los riesgos que pueden ocasionar los accidentes de trabajo. También propicia la convivencia y la mejora del clima laboral.

Tabla 5

Normas de trabajo con alta tensión

Tipos de tensión	Normas internacionales	
	Valor de la tensión nominal (U en volt)	
	Corriente alterna (AC)	Corriente alterna (DC)
Tensión muy baja (TBT)	U < 50V	U < 120V
Tensión baja (BT)	50 < U < 1000V	120 < U < 1500V
Tensión alta (HT)	U > 1000V	U > 1500V

Nota. En la tabla 5 se observan los tipos de tensión y su valor de tensión nominal en CA y DC.

Tomado de (GRUPO M3, 2012)

Principales peligros de la electricidad

- No puede ser percibido por los sentidos humanos.
- No tiene olor, solo se detecta cuando el aire se cortocircuita y se descompone para producir ozono.
- No detectado visualmente.
- No reconocido por el gusto o el oído.
- Si no está debidamente aislado, puede ser fatal al tacto.
- El cuerpo humano funciona como un circuito eléctrico entre dos puntos con diferentes potenciales.
- No es el voltaje el que provoca el efecto fisiológico, sino la corriente que circula por el cuerpo humano. (Universidad Nacional de San Luis, 2006)

Clasificación de los accidentes eléctricos

Por contacto directo: Son causados por el flujo de electricidad a través del cuerpo humano. Puede causar descargas eléctricas, quemaduras y accidentes cerebrovasculares.

Por contacto indirecto: Riesgos secundarios por caídas luego de una electrocución. Quemaduras o asfixia, consecuencia de un incendio de origen eléctrico. Accidentes por una desviación de la corriente de su trayectoria normal. Calentamiento exagerado, explosión, inflamación de la instalación eléctrica. (Estrucplan, 2014)

Protecciones en instalaciones eléctricas

- Desconectar la parte de la instalación en la que se va a realizar el trabajo aislándola de todas las fuentes de alimentación.
- Prevenir cualquier posible realimentación.
- Verificar la ausencia de tensión.
- Poner a tierra y en cortocircuito

- Proteger frente a elementos próximos en tensión, en su caso, y colocar señales de seguridad para delimitar la zona de trabajo. (INSST, 2020)

Riesgos en baterías de tipo Li-Ion

El principal riesgo de las baterías de litio es la cantidad de energía que contienen. En casos extremos, puede cortocircuitarse e incluso quemarse, principalmente debido a un uso inadecuado o influencias externas. La liberación de oxígeno puede causar una fuga térmica. En otras palabras, el incendio que se desató es una reacción en cadena.

Sobrecarga: Esto significa que la batería se ha cargado por encima del voltaje permitido. En casos extremos, la propia batería puede incluso incendiarse. Para evitarlo, estas baterías contienen una unidad de control (BMS, del inglés Battery Management System) que se encarga de evitar la sobrecarga.

Descarga profunda: Esto se refiere cuando una batería de litio se descarga por encima del voltaje mínimo permitido de la misma. La descarga profunda daña la batería. Nuevamente, BMS es responsable de evitar esta situación de descarga profunda para minimizar el riesgo.

Temperatura extrema: La exposición a temperaturas superiores a 60 °C puede provocar que la batería de litio se encienda sola. Además, en el caso contrario, la batería puede dañarse y el sistema puede volverse inestable a temperaturas bajo cero.

Golpes o impactos: Las baterías de litio pueden dañarse, por ejemplo, si el operador accidentalmente la golpea fuerte. En tales situaciones, la batería puede dañarse y puede producirse un incendio. El impacto del también puede dañar el BMS, por este motivo, es especialmente importante que un técnico profesional compruebe el estado de la batería después de un fuerte impacto. (TOYOTA, 2021)

Equipo de seguridad personal

Calzado de trabajo y seguridad

De acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1 926/ 1 992-08, esta norma especifica los requisitos que debe cumplir el calzado de trabajo y de seguridad utilizados para proteger los pies y las piernas, de los riesgos industriales o de índole similar. (INEN, 1992)

Tabla 6

Clasificación del calzado de seguridad de acuerdo a su forma

Forma	Designación
4.1	El calzado de trabajo y de seguridad se clasifica de acuerdo a su forma en:
4.1.1.	Zapato. Es el calzado que cubre el pie dejando libre el tobillo.
4.1.2.	Botín. Es el calzado que cubre el pie y el tobillo.
4.1.3.	Bota caña mediana. Es el calzado que cubre el pie y parcialmente la pierna.
4.1.4.	Bota caña alta. Es el calzado que cubre el pie y la pierna.

Nota. En la tabla 6 se detalla la clasificación del calzado de seguridad de acuerdo a su forma de acuerdo a la norma INEN 1 926/ 1992-08. *Tomado de* (INEN, 1992)

Tabla 7

Clasificación del calzado de seguridad por su material de fabricación

Material	Designación
4.2	El calzado de trabajo y de seguridad se clasifican de acuerdo con los materiales y refuerzo que se emplean en su fabricación, y deben ser de uno de los tipos que se indican a continuación:
Tipo 1	De cuero, con entre-suela y planta de cuero.
Tipo 2	De cuero, con entre-suela de cuero o similar y media planta de caucho natural o sintético
Tipo 3	De cuero, con entre-suela de cuero o similar y media planta de PVC o material similar.
Tipo 4	De cuero, con entre-suela de cuero o similar y planta de caucho natural o sintético.
Tipo 5	De cuero, con entre-suela de cuero o similar y planta de PVC o material similar.
Tipo 6	De caucho, natural o sintético.
Tipo 7	De PVC o material similar.

Nota. En la tabla 7 se detalla la clasificación del calzado de seguridad de acuerdo a su material de fabricación de acuerdo a la norma INEN 1 926/ 1992-08. *Tomado de* (INEN, 1992)

Tabla 8

Clasificación de los zapatos de seguridad

Clase	Riesgos Específicos	Fuente de riesgo	Calzado recomendado	
			Forma	Tipo
Clase I	Riesgos eléctricos por conductividad para bajo voltaje, menor a 600 voltios.	Trabajo en reparaciones, operaciones e instalaciones en maquinaria, circuitos etc.	4.1.1	4
			4.1.2	5
			4.1.3	6
			4.1.4	7

Nota. En la tabla 8 se detalla el tipo de clase de zapato de seguridad a utilizar acorde a trabajos de riesgo eléctrico especificado en la norma INEN 1 926/ 1992-08. *Tomado de* (INEN, 1992)

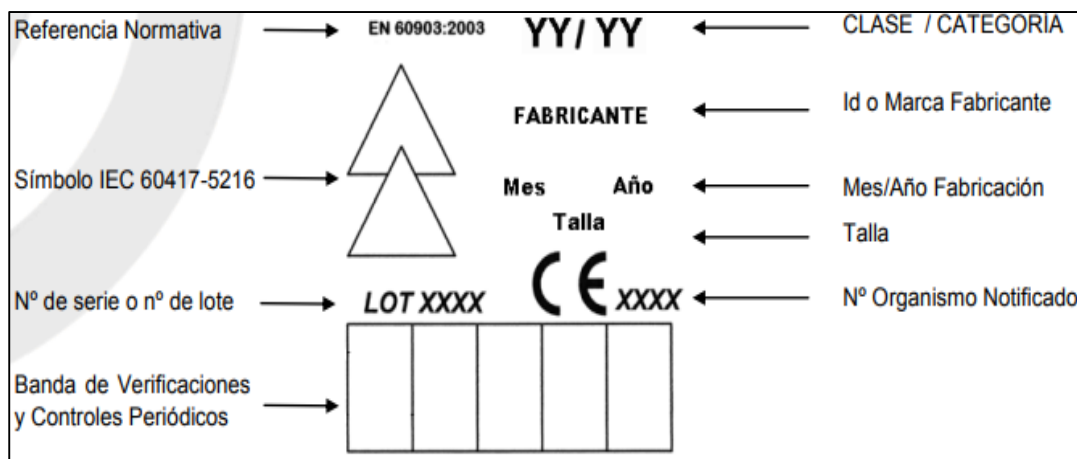
Guantes aislantes de la electricidad

Los guantes dieléctricos se utilizan para proteger las manos de las personas que realizan trabajos eléctricos. El material aislante (generalmente látex o caucho) que compone los guantes dieléctricos elimina la posibilidad de daños por descargas eléctricas. (Sumatec, 2018)

El material de fabricación es de látex natural, cumpliendo de esta manera las especificaciones de la norma europea EN 60903:2003 y de la norma internacional IEC 60903:2002.

Figura 24

Nomenclatura para guante aislante de electricidad



Nota. En la figura 24 se presenta la nomenclatura para guantes de protección eléctrica de acuerdo a la norma europea EN 60903:2003 y de la norma internacional IEC 60903:2002.

Tomado de (INSST, 2014)

A continuación, se explicará la nomenclatura para los diferentes valores de tensión que se pueden utilizar los guantes.

Tabla 9

Clasificación de guantes aislantes de electricidad por su tensión de trabajo.

Clase	Tensión alterna eficaz	Tensión continua V	Color
00	500	750	Beige
0	1 000	1 500	Rojo
1	7 500	11 250	Blanco
2	17 000	25 500	Amarillo
3	26 500	39 750	Verde
4	36 000	54 000	Naranja

Nota. En la tabla 9 se presenta la clasificación de los guantes de protección eléctrica según su tensión de trabajo de acuerdo a la norma europea EN 60903:2003 y de la norma internacional IEC 60903:2002. *Tomado de* (INSST, 2014)

Gafas de protección

Las gafas de seguridad son uno de los EPP más importantes para garantizar la seguridad del personal en el desempeño de sus funciones. Comúnmente utilizado en la construcción y el trabajo de campo, debe usarse en cualquier entorno que represente un riesgo para la integridad ocular del personal. (SpullIndustrial, 2020)

Las gafas para riesgo eléctrico se incluyen en situaciones en las que se usa electricidad que puede causar daños en la retina, quemaduras en la córnea y conjuntivitis. Para evitarlos, se recomienda el uso de lentes tipo pantalla facial, que son adecuadas. (SpullIndustrial, 2020)

Figura 25

Protector facial CRONOS



Nota. En la figura 25 se muestra un ejemplo de un lente tipo pantalla facial utilizado en trabajos con riesgo eléctrico. *Tomado de* (Libus, 2017)

Capítulo III

Implementación del Sistema de Potencia Eléctrico y Transmisión

A continuación, se detalla todos los componentes que conforman el sistema de potencia eléctrico y de transmisión, en donde se seleccionara el más conveniente de acuerdo a lo que se quiere obtener del proyecto para su posterior implementación.

Tabla 10

Componentes del Sistema de Potencia Eléctrico y Transmisión

Sistema de Potencia Eléctrico	Sistema de Transmisión
Motor eléctrico	Diferencial
Controlador	Juntas homocinéticas
Batería	
BMS	
Pedal del acelerador	

Nota. En la tabla 10 se presenta los componentes del tren de motriz a utilizar en el proyecto.

Selección del sistema de transmisión

Como cualquier vehículo eléctrico, no se dispone de caja de cambios para lo cual se debe implementar una relación de transmisión directa entre el diferencial y el motor eléctrico. Al tener un motor potente, la velocidad que vamos a obtener es alta pero también se debe priorizar el arranque y pruebas en pendientes para lo cual la relación de transmisión y el diámetro de los neumáticos que se implementara en el prototipo influirán en aquellos aspectos buscando obtener una velocidad mínima de al menos 90 km/h.

Los neumáticos que se van a implementar en el prototipo son de Rin 12 teniendo las siguientes características:

- Neumático de asfalto
- Rin de aluminio

Tomando en cuenta el arranque y pruebas en pendientes que se debe realizar al prototipo, se propuso definir la siguiente relación de transmisión.

Piñón del motor

Figura 26

Piñón de 10 dientes del motor



Nota. En la figura 26 se observa el piñón de 10 dientes que se lo va a implementar al motor.

Piñón del diferencial

Figura 27*Piñón de 45 dientes del diferencial*

Nota. En la figura 27 se observa el piñón de 45 dientes implementado en el diferencial.

Velocidad angular

Para encontrar la velocidad angular del prototipo se necesita obtener primero las rpm que se obtendrán del prototipo utilizando los siguientes datos:

- Relación de transmisión: 45/10
- Rpm que alcanza el motor: 5000 rpm

$$Rpm\ obtenida: Rpm\ del\ motor \div \frac{Conducido}{Conductor}$$

$$Rpm\ obtenida: 5000 \div \frac{45}{10}$$

$$Rpm\ obtenida: 1111\ rpm$$

Para encontrar la velocidad angular se debe transformar las rpm en $\frac{rad}{s}$

$$1111\ rpm \times \frac{rev}{min} \times \frac{min}{60\ s} \times \frac{2\pi rad}{rev} = 116,34\ \frac{rad}{s}$$

Velocidad lineal

Para encontrar la velocidad angular del prototipo se utilizará los siguientes datos:

- Velocidad angular (W): $116,34 \frac{rad}{s}$
- Radio de neumático rin 12 (en m): $0,215 m$

Velocidad lineal en m/s

$$116,34 \frac{rad}{s} \times 0,215m = 25,01 \frac{m}{s}$$

Velocidad lineal en km/h

$$25,01 \frac{m}{s} \times \frac{1km}{1000m} \times \frac{3600s}{1h} = 90,03 \frac{km}{h}$$

Relación de transmisión

Se obtuvo una velocidad lineal de $90,03 \frac{km}{h}$ lo cual es adecuado para el arranque y pruebas de funcionamiento que se vayan a realizar en el prototipo. De esta manera queda estipulado:

- Relación de transmisión: 45/10
- Rin de neumático: Rin 12

Instalación

Figura 28

Diferencial y juntas homocinéticas del prototipo



Nota. En la figura 28 se observa la implementación del diferencial en el prototipo.

Selección del motor

Para la selección del motor que se va a usar en el prototipo de competencia SAE eléctrico, se referenció de acuerdo con motores en el mercado, es así como se realizó una comparativa principalmente en potencia/peso. A continuación, se especificarán tres tipos de motores, de los cuales uno será el seleccionado para ser implementado en el prototipo.

Tabla 11

Características de un Motor 3000W

Ítem	Descripción
<i>Modelo</i>	HPM3000B -- High Power BLDC Motor
<i>Voltaje</i>	48/72V
<i>Potencia nominal</i>	2-3KW
<i>Potencia máxima</i>	6KW
<i>Velocidad</i>	3000-5000 rpm
<i>Par nominal</i>	10 Nm
<i>Par máximo</i>	25 Nm
<i>Eficiencia</i>	>90%
<i>Dimensiones</i>	18 cm de diámetro. 12,5 cm de altura
<i>Peso</i>	7,3 kg (aire), 8 kg (agua)

Nota. En la tabla 11 se muestra la ficha técnica de un motor eléctrico de 3000W. *Tomado de* (GoldenMotor, 2022)

Tabla 12

Características de un Motor 5000W

Ítem	Descripción
<i>Modelo</i>	HPM5000B -- High Power BLDC Motor
<i>Voltaje</i>	48/72V/96V/120V
<i>Potencia nominal</i>	3KW-7.5KW
<i>Velocidad</i>	2000-6000 rpm
<i>Eficiencia</i>	91%
<i>Dimensiones</i>	206 mm de diámetro. 126 mm de altura
<i>Peso</i>	11 kg (aire), 11.35 kg (agua)

Nota. En la tabla 12 se muestra la ficha técnica de un motor eléctrico de 5000W. *Tomado de* (GoldenMotor, 2022)

Tabla 13

Características de un Motor 10kW

Ítem	Descripción
<i>Modelo</i>	HPM-10KW -- High Power BLDC Motor
<i>Voltaje</i>	48/72V/96V/120V
<i>Potencia nominal</i>	8KW-20KW
<i>Velocidad</i>	2000-6000 rpm
<i>Eficiencia</i>	91%
<i>Dimensiones</i>	206 mm de diámetro. 170 cm de altura
<i>Peso</i>	17 kg (aire), 17.7 kg (agua)

Nota. En la tabla 13 se muestra la ficha técnica de un motor eléctrico de 10000W. *Tomado de* (GoldenMotor, 2022)

Selección de motor adecuado

Para la selección del motor eléctrico el cual se va a implementar en el prototipo de competición SAE se tomará en cuenta los parámetros que queremos conseguir: una velocidad máxima de 6000 rpm, una potencia de 10KW, la eficiencia (>90%) y el precio económico. Es

por esta razón que en la siguiente tabla se compara las características de los motores anteriormente mencionados y se seleccionara el adecuado.

Tabla 14

Comparación entre motores eléctricos

Parámetro	Motor 3000W	Motor 5000W	Motor 10000W
Voltaje (72V)	✓	✓	✓
Potencia (10KW)	X	X	✓
Velocidad máxima (6000 rpm)	X	✓	✓
Eficiencia (<90%)	✓	✓	✓
Peso (=18-20 Kg)	✓	✓	✓
Precio	✓	✓	✓

Nota. En la tabla 14 se observa la comparación entre los tres motores seleccionados para escoger el más adecuado al proyecto.

Una vez analizada la tabla comparativa entre las tres opciones de motor eléctrico, el elegido para ser implementado en el prototipo es el HPM-10KW -- High Power BLDC Motor refrigerado por aire, el cual cumplirá las expectativas deseadas en el proyecto a desarrollar.

Figura 29

Motor eléctrico 10000W marca BLDC



Nota. En la figura 29 se muestra el motor eléctrico de 10000W escogido para la implementación en el prototipo de vehículo de competición SAE eléctrico. *Tomado de* (GoldenMotor, 2022)

Instalación

Para la implementación se planteó construir una base para el motor para lo cual se empieza por diseñar soportes en el bastidor utilizando soldadura MIG ubicados en la parte posterior del ocupante y en los cuales ira alojado el motor con su base respectiva.

Figura 30

Soporte para motor eléctrico



Nota. En la figura 30 se observa el soporte del motor construido en el bastidor utilizando soldadura MIG.

Luego se diseñó una base cuadrada con ranuras para su respectiva colocación en el motor y en los soportes.

Figura 31

Base cuadrada colocada en el motor eléctrico



Nota. En la figura 31 se observa la base cuadrada colocada en el motor.

Se colocó el motor conjuntamente con su base en los soportes de manera horizontal con el piñón ubicado de lado derecho en una vista posterior esto debido al sentido de giro del motor. Por último, se conectó el motor con el diferencial mediante la cadena de transmisión.

Figura 32

Implementación de motor eléctrico en el bastidor



Nota. En la figura 32 se puede observar la relación de transmisión 45/10.

Selección del Controlador

El controlador que fue escogido para su implementación fue el Vector 500 Series debido a que sus características técnicas cumplen para el estatus de funcionamiento correcto del motor eléctrico.

Figura 33

Controlador Vector 500 Series Brushless 10Kw



Nota. En la figura 33 se observa el controlador trifásico que se va a implementar en el prototipo de competición. *Tomado de* (GoldenMotor, 2022)

Tabla 15

Características de controlador Vector 500 Series Brushless 10Kw

Parámetro	Valor
Voltaje	72 V
Corriente nominal del BUS de CC	30A - 200A
Potencia nominal de salida	10000W
Corriente	20~40mA

Nota. En la tabla 15 se observa las características técnicas del controlador Vector 500 Series Brushless 10Kw. *Tomado de* (GoldenMotor, 2022)

Instalación

Para la instalación del controlador se le diseñó una base la cual mediante soldadura MIG se le coloco en el bastidor al costado derecho del asiento y cercano a la ubicación del motor.

Figura 34

Base de controlador



Nota. En la figura 34 se observa al controlador unido a su base y colocado en el bastidor.

Figura 35

Implementación del controlador



Nota. En la figura 35 se observa al controlador colocado de forma horizontal ubicado al costado derecho del asiento del conductor.

Selección de la Batería

La batería de nuestro prototipo, deberá tener una capacidad de almacenaje de energía de aproximadamente de 30 Ah, con esta cantidad lograremos obtener la autonomía necesaria para el desarrollo de las actividades para la que está destinado.

Batería Litio Ion

Tabla 16

Características de Batería Litio Ion

Ítem	Descripción
Voltaje	72 V
Capacidad	30 Ah
Corriente de descarga	400 Ah
Corriente constante	150 Ah

Nota. En la tabla 16 se muestra las características técnicas de la batería seleccionada.

Al momento de tener un valor referencial de la capacidad con la que debe contar nuestra batería, escogeremos una en concreto ya que el mercado es muy extenso en cuanto a marcas y tipos de baterías.

Mediante el estudio de los diferentes tipos de baterías existentes ya descritos anteriormente se realiza una matriz de decisión que nos ayudará a determinar el tipo de batería de acuerdo a nuestras necesidades.

Tabla 17

Comparación entre distintos tipos de baterías

	Coste	Rendimiento	Seguridad	Densidad de potencia	Mantenimiento	Ciclo de vida	Medio Ambiente	Puntuación Final
Pesos	20%	15%	20%	15%	10%	10%	10%	
Plomo-Ácido	10	8	8	1	6	3	1	5,95
Níquel-Cadmio	5	9	8	8	6	5	0	6,25
Li-Ion	4	9	8	10	9	9	8	7,85
ZEBRA	5	6	7	8	5	10	7	6,7

Nota. En la tabla 17 se muestra la matriz de decisión para la selección de batería. *Tomado de* (Cuesta Capellan, Caracterización del tren de potencia de un vehículo eléctrico de categoría L7 tipo Smart, 2017)

Teniendo en cuenta la matriz que muestra las características de las baterías que existen en el mercado se optó por escoger la batería de Li-Ion (72V y 30A) por su precio en el mercado y por sus características que permiten realizar un buen trabajo. Pero para que esta batería funcione de manera correcta y permita que el prototipo no tenga dificultades al andar, se deberá modificar el BMS para que el prototipo tenga un buen rendimiento.

Instalación

Para la instalación de la batería se diseñó una base de madera con soportes a los costados para mantener la estabilidad de la batería, estos soportes de la base fueron soldadas en el bastidor.

Figura 36

Diseño de base para batería



Nota. En la figura 36 se observa la base en la cual se alojará la batería en el prototipo.

La batería será ubicada en la parte trasera de la piloto cerca al controlador y motor para su respectiva conexión.

Figura 37

Colocación de la batería



Nota. En la figura 37 se puede observar la ubicación de la batería de forma horizontal en el prototipo.

Selección del BMS

Considerando los datos de voltajes de la batería Li-Ion, el BMS incluido en la batería no era el adecuado para el correcto funcionamiento del prototipo por lo cual se implementó un BMS acorde a lo que se busca llegar.

Figura 38

BMS



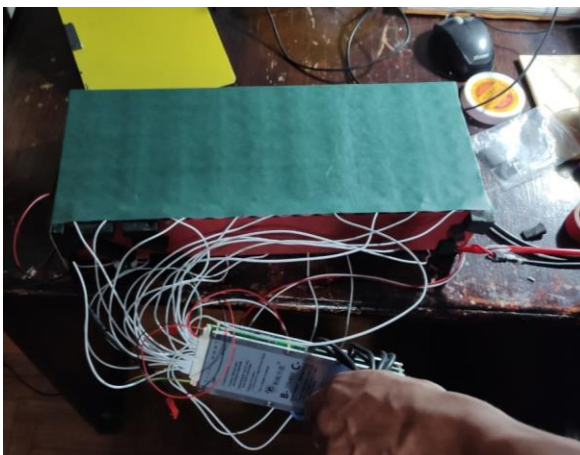
Nota. En la figura 37 se puede observar la colocación del BMS en la batería Li-Ion.

Instalación

Se coloca el BMS en la batería, la cual se volvió a empaquetar.

Figura 39

Instalación del BMS



Nota. En la figura 39 se puede observar el empaque de la batería junto al BMS para evitar que exista muchos cables alrededor.

Selección del Pedal del acelerador

Finalmente, para completar el tren de potencia y que su funcionamiento sea el correcto, se necesita un pedal de aceleración para que este pueda informar al controlador cuando el conductor necesita que el motor se active y la velocidad que se requiere.

Figura 40

Pedal del acelerador



Nota. En la figura 40 se observa el pedal del acelerador el cual será incluido en el prototipo.

Tomado de (Aliexpress, 2022)

Instalación

Se colocó una pequeña base para el pedal del acelerador en la parte delantera del prototipo que mediante la ayuda de las barrenaciones que ya tenía el pedal se lo atornillo al chasis.

Figura 41

Instalación del pedal de aceleración

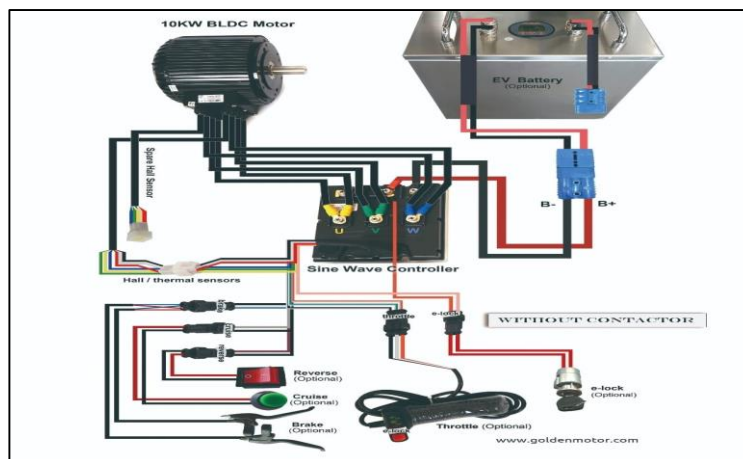


Nota. En la figura 41 se observa la instalación del pedal de aceleración en parte delantera del bastidor.

Diagrama de conexión de componentes

Figura 42

Diagrama de conexión de componentes del sistema de potencia



Nota. En la figura 42 se observa el diagrama de conexión del sistema de potencia.

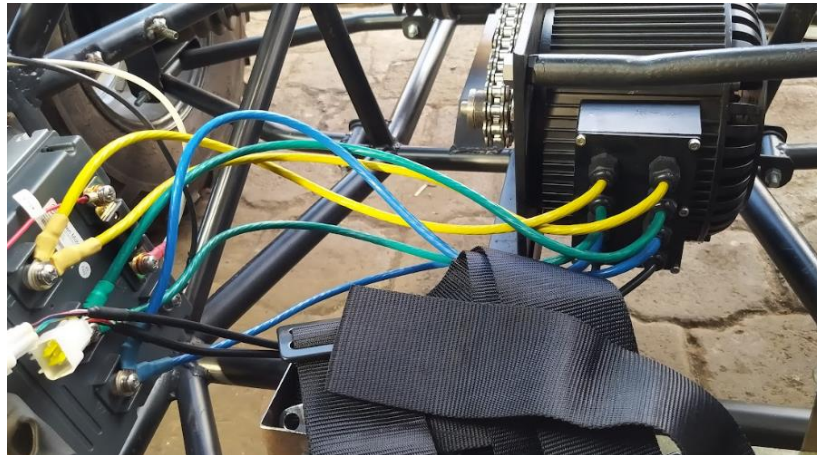
Conexión de componentes

Una vez instalados los componentes en su posición se procedió a la identificación de los cables, sus colores y realizar las conexiones pertinentes entre componentes de manera organizada para evitar intervenir en el funcionamiento de otros sistemas del prototipo de competición.

- Conexión de motor y controlador

Figura 43

Conexión entre motor BLDC y controlador



Nota. En la figura 43 se observa la conexión de los terminales del motor con el controlador según corresponda y de forma organizada.

- Conexión de controlador y batería

Figura 44

Conexión entre controlador y batería



Nota. En la figura 44 se observa la conexión entre cables según la polaridad entre el controlador y la batería.

- Conexión de pedal de aceleración y controlador

Figura 45

Conexión entre controlador y batería



Nota. En la figura 45 se observa la conexión entre el socket del controlador y el socket del pedal de aceleración.

Capítulo IV

Pruebas de Funcionamiento del Sistema de Potencia y Transmisión

Prueba en vacío

Se realiza la prueba en vacío desacoplando la cadena del piñón del motor y diferencial lo cual hará que gire únicamente el eje del motor, y no se accionara ningún mecanismo el cual llegue a generar algún peso. El consumo que se mide es del circuito completo, es decir lo que consume el controlador, motor y la batería del prototipo, la cual no sobrepasará los 20 A.

Figura 46

Comprobación de consumo



Nota. En la figura 46 se muestra la prueba de vacío que se realizó midiendo con una pinza amperimétrica en el positivo de la batería.

Pruebas de protocolo

Al finalizar con la instalación de todos los componentes que conforman el sistema de tren de potencia eléctrico y transmisión en el prototipo de competición formula SAE eléctrico, debemos comprobar el funcionamiento de cada componente es por esta razón que se empezó realizando 5 vueltas como pruebas de protocolo de manera que se pueda identificar inconvenientes que puedan afectar posteriormente las pruebas de funcionamiento.

Figura 47

Pruebas de protocolo de prototipo SAE eléctrico.



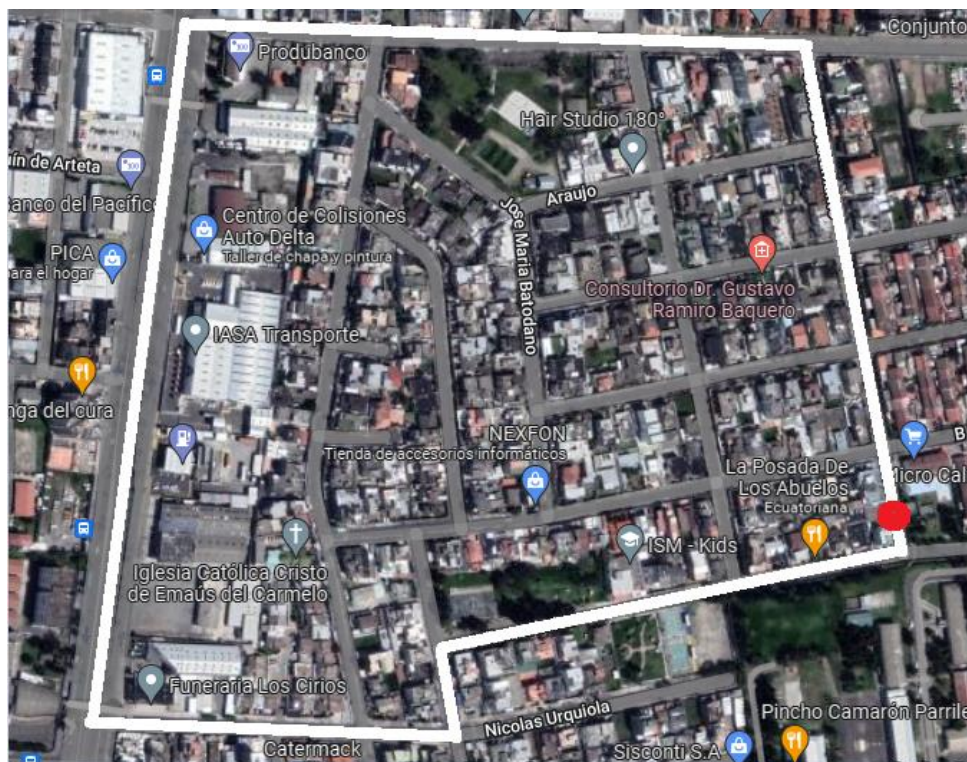
Nota. En la figura 47 se muestra la realización de pruebas de protocolo las cuales fueron 5 vueltas realizadas a una distancia de 100 metros de ida y vuelta.

Una vez concluidas las pruebas de protocolo, se verificó que todos los componentes estén funcionando correctamente al igual que estén bien colocados y sujetos al bastidor para poder empezar a realizar las pruebas de potencia, velocidad y autonomía, pero antes se diseñó la ruta en donde se pondrá a prueba el prototipo.

Diseño de la ruta

Figura 48

Diseño de la Ruta para Pruebas



Nota. En la figura 48 se observa el diseño de la ruta en donde se escogió un trayecto que tenga la presencia de rectas, curvas, inclinaciones, etc. Tomado de (Google Maps, 2022)

Pruebas de potencia

Las pruebas de funcionamiento se las realizó al sur de la ciudad de Quito específicamente en el barrio El Inca realizando una vuelta con una recorrido de 2 km. Como se observa en la figura 48, el trayecto marcado posee curvas, pendientes, rectas, y bajadas lo cual nos será de gran ayuda para determinar de mejor manera el comportamiento del prototipo de competición SAE eléctrico.

Una vez concluida las pruebas de potencia, mediante las características técnicas del motor y uso de una pinza amperimétrica obtuvimos los siguientes resultados.

Tabla 18

Resultados obtenidos en pruebas de potencia

Ítem	Descripción
Potencia	9360 W
Amperaje	130 A
Voltaje	72 V

Nota. En la tabla 18, se detallan los resultados obtenidos en las pruebas de potencia realizadas en un recorrido de 2 km.

Pruebas de velocidad

Para las pruebas de velocidad se usó la aplicación Torque la cual nos brinda ciertos parámetros como la longitud, latitud, altitud, velocidad, tiempo y entre otros parámetros. Los parámetros que se tomó en cuenta fue la velocidad y el tiempo, por lo que en el trayecto de los 2 km se obtuvo la siguiente gráfica

Como se observa en la figura 49 al realizar la prueba se pudo determinar que a una carga de batería del 84% y teniendo en cuenta no superar los 130 amperios, se alcanzó una velocidad máxima de 9.28 m/s que en kilometraje es 33.41km/h en un tiempo de 337 segundos.

$$2km = 337s$$

Figura 49

Grafica velocidad / tiempo



Nota. En la figura 49 se muestra la velocidad máxima alcanzada durante el recorrido de los 2 km.

Para obtener una mayor velocidad es recomendable incorporar de 2 a 3 baterías adicionales en el prototipo de manera que su conexión en paralelo nos permita obtener un mayor amperaje y de esta manera podamos aprovechar el máximo rendimiento del motor y alcanzar una velocidad considerable mínima de los 90 km/h.

Pruebas de autonomía

Como anteriormente se mencionó, al iniciar las pruebas la batería tenía una carga del 84% y luego de realizar el recorrido de la pista alrededor de 3 vueltas, la carga de la batería disminuyó en un 7%, es decir, al finalizar las pruebas la carga final de la batería fue de 74%. Por lo que, mediante una relación entre el porcentaje de batería, el kilometraje y el tiempo de prueba, se determinó que la autonomía aproximada del prototipo con una batería cargada al 100% es de más 3 a 4 horas a una velocidad entre 30 km/h y 40 km/h.

Trayecto realizado en el prototipo

Figura 50

Inicio de trayecto de prototipo



Nota. En la figura 50 se muestra el trayecto iniciado en la calle Carlos Bustamante.

Figura 51

Trayecto de prototipo en bajadas-curvas



Nota. En la figura 51 se muestra el trayecto realizado en calles Julian Arbaiza y Pedro Cornelio.

Figura 52

Trayecto de prototipo en bajadas



Nota. En la figura 52 se muestra el trayecto realizado en calles Nicolas Urquiola.

Figura 53

Trayecto de prototipo en pendientes-rectas



Nota. En la figura 53 se muestra el trayecto realizado en Av. Galo Plaza Lasso.

Figura 54

Trayecto de prototipo en cuestas-curvas



Nota. En la figura 54 se muestra el trayecto realizado entre Av. Galo Plaza Lasso y calle Fray Leonardo Murialdo.

Figura 55

Trayecto de prototipo en obstáculos



Nota. En la figura 55 se muestra el trayecto realizado en la calle Fray Leonardo Murialdo.

Figura 56*Fin de trayecto de prototipo*

Nota. En la figura 56 se muestra el trayecto realizado en la calle Carlos Bustamante.

Funcionamiento de componentes del sistema de potencia eléctrico y transmisión

Tabla 19*Estado de funcionamiento de componentes*

Ítem	Componentes	Estado		Observación
		Malo	Bueno	
1	Diferencial		✓	Ninguna
2	Junta homocinética		✓	Ninguna
2	Motor eléctrico		✓	Ninguna
3	Controlador		✓	El controlador empezó a calentarse después de terminar con las pruebas de potencia y velocidad
4	Batería		✓	Después de 130 A, el motor no brindaba suficiente velocidad.
5	BMS		✓	Ninguna

Ítem	Componentes	Estado		Observación
		Malo	Bueno	
5	Pedal de aceleración		✓	Ninguna

Nota. En la tabla 19 se detalla el estado de los componentes y observaciones luego de haber realizado las pruebas de funcionamiento.

Una vez realizadas las pruebas de protocolo se pudo concluir que cada uno de los componentes del sistema de tren de potencia eléctrico y transmisión están correctamente instalados y funcionando de manera óptima por lo cual al haber tenido estos resultados se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento teniendo previamente un diseño de ruta.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Se investigo los tipos de motores eléctricos y los tipos de transmisión que se pueden emplear en un prototipo de vehículo de competición fórmula SAE eléctrico de acuerdo a sus características y beneficios que puede aportar al proyecto teniendo en cuenta de elegir el más óptimo de acuerdo a su costo y beneficio.
- Se dimensiono y se colocó los componentes eléctricos y electrónicos diseñando bases para los mismos y empleando soldadura para la sujeción en el bastidor del prototipo.
- Se realizo pruebas de funcionamiento del prototipo de vehículo de competición fórmula SAE eléctrico en un recorrido de 2km donde se le evidencio un buen rendimiento en curvas, pendientes, rectas y bajadas.

Recomendaciones

- Cuando se vaya a manipular los componentes del sistema de potencia, primero se debe desenergizar el circuito eléctrico del prototipo, es decir, desconectar la conexión entre batería y controlador.
- Cuando se vaya a acelerar, es recomendable no mantener accionado el freno con el pie izquierdo para evitar un sobre esfuerzo del motor, lo que conllevaría a un sobrecalentamiento.
- Encender el prototipo únicamente cuando se lo vaya a utilizar caso contrario puede existir de energía sin uso.

Bibliografía

Aliexpress. (2022). *5500W 72V controlador vehículo eléctrico*. Obtenido de

<https://es.aliexpress.com/item/32898100727.html>

Aliexpress. (2022). *Pedales de velocidad*. Recuperado el 14 de agosto de 2022, de

<https://m.es.aliexpress.com/item/1005002689674891.html>

Amazon. (2022). *Batería de iones de litio de ciclo profundo de 12 V 200 Ah*. Obtenido de

<https://www.amazon.com/-/es/profundo-reemplaza-perfectamente-aplicaci%C3%B3n-mantenimiento/dp/B08S7799BD>

Amazon. (2022). *Conmutador de motor eléctrico (0.281 in x 0.591 in x 0.394 in, 10 engranajes)*.

Obtenido de <https://www.amazon.com/-/es/uxcell-Conmutador-0-281-0-591-0-394/dp/B00BG617BS>

Automania. (s.f.). *ksae.org*. Obtenido de

<https://www.ksae.org/jajak/func/download.php?path=L2hvbWUvdmlydHVhbC9rc2FIL2h0ZG9jcy8vamFqYWsvdXBsb2FkL0pfZXRjL0pfZXRjXzE1NjY5OTkwMDEyODY0OV81MjY4MCM5wZGY=&filename=7IKs7JeF7ISx67Cc7ZGc67O06rOgX+q4iOyYpOqzteqzvOuMgO2Vmeq1kF/snbTsirns07wucGRm>

Autonoción. (06 de Agosto de 2021). *Tipos de motores eléctricos*. Obtenido de

<https://www.autonocion.com/tipos-de-motores-electricos/>

BOSCH. (2022). *Batería 42 FE S4*. Obtenido de

<https://www.boschecuador.com/shop/producto?id=2186>

Buchmann, I. (2003). *¿Las baterías de plomo-ácido pueden ser competitivas actualmente?*

Obtenido de <http://blog.technosun.com/puede-ser-competitiva-actualmente-la-bateria-de-plomo-acido/>

- Burbano Ortiz, J. F. (2018). *Reparación de una Bicicleta Eléctrica*. Universidad San Francisco de Quito USFQ, Colegio de Ciencias e Ingenierías, Quito. Obtenido de <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/7287/1/138226.pdf>
- Cabrera Paredes , A. X., & Calle Pérez, C. R. (2016). *Selección del Motor Eléctrico, Controlador y Batería para el vehículo fórmula SAE de la Universidad Politécnica Salesiana*. Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12753/1/UPS-CT006618.pdf>
- Chuquiana, E., Torres, G., & Salazar, F. (2014). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL TREN MOTRIZ CON MOTOR ELÉCTRICO Y TRANSMISIÓN CVT, PARA UN VEHÍCULO BIPLAZA PLEGABLE*. Universidad De Fuerzas Armadas ESPE, Ciencias de la Energía y Mecánica, Latacunga. Recuperado el 10 de Julio de 2022, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9159/1/AC-ESPEL-MAI-0490.pdf>
- Contreras Villamizar, E. F., & Sánchez Rodríguez, R. (2010). *Diseño y Contrucción de un banco de prácticas en Motores Eléctricos, como apoyo a la asignatura Diseño de Maquinas II*. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Bucaramanga. Obtenido de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>
- Cuesta Capellan, G. (2017). *Caracterización del tren de potencia de un vehículo eléctrico de categoría L7 tipo Smart*. Escola Tècnica Superior, Barcelona. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/108997/tfmguillermocuestafinal.pdf>
- De la fuente Gonzales, M. A. (2020). *Componentes de un motor electrico*. Obtenido de Mindomo: <https://www.motoresydrives.com/rebobinado-reparacion-de-motores-electricos/>
- EcuRed. (2011). *Batería de níquel-cadmio*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Bater%C3%ADa_de_n%C3%ADquel-cadmio

Electrotec. (2019). *Fallas más frecuentes en motores eléctricos*. Obtenido de

<https://electrotec.pe/blog/DefectosMotoresElectricos>

Esgraf. (06 de Noviembre de 2020). *¿Qué son las escobillas de un motor eléctrico?* Obtenido

de <https://esgraf.com.mx/blog/que-son-las-escobillas-de-un-motor-electrico/>

Estrucplan. (25 de abril de 2014). *Peligros Y Clasificación De Los Accidentes Eléctricos*.

Obtenido de <https://estrucplan.com.ar/peligros-y-clasificacion-de-los-accidentes-electricos/>

Evexpert. (2021). *Sistema de gestión de baterías*. Obtenido de

<https://www.evexpert.es/eshop1/centro-de-conocimiento/sistema-de-gestion-de-baterias>

FCE. (22 de Marzo de 2022). *BMS, el sistema que regula el funcionamiento de la batería en el*

coche eléctrico. Obtenido de <https://forococheelectricos.com/diccionario/bms>

Gold Agents. (2017). *Certified 2000 Ciclo de vida de 18.650 baterías de Li-ion de litio*

recargable, BATERÍA E Scooter. Obtenido de <https://www.gold-agents.com/product.aspx?id=35540906>

GoldenMotor. (2022). *10 KW BLDC Motor Air Cooled*. Obtenido de

<https://goldenmotor.bike/product/48-volt-10kw-bldc-motor-air-cooled/>

GoldenMotor. (2022). *3 KW BLDC Motor Air Cooled*. Obtenido de

<https://goldenmotor.bike/product/72-volt-3kw-bldc-motor-air-cooled/>

GoldenMotor. (2022). *5 KW BLDC Motor Air Cooled*. Obtenido de

<https://goldenmotor.bike/product/48-volt-5kw-bldc-motor-air-cooled/>

GoldenMotor. (2022). *VECTOR 500 Series Brushless Motor Controller (10 kW Motors)*.

Obtenido de <https://goldenmotor.bike/product/vector-500-series-72-volt-brushless-motor-controller/>

Google Maps. (2022). Obtenido de <https://www.google.com.ec/maps/@-0.1332659,-78.4795046,627m/data=!3m1!1e3?hl=es>

GRUPO M3. (2012). *Seguridad en Alta Tension*. Obtenido de <https://www.vagindauto.com/archivos/featureds/Prevencion%20de%20riesgos%20y%20Seguridad%20vehiculos%20electricos.pdf>

GSL Industrias. (29 de Noviembre de 2021). *Tipos de Motores Eléctricos*. Obtenido de <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/tipos-de-motores-electricos>

Hernández Morales, E. G. (2019). *Control del cuerpo de aceleración electrónico basado en el par mediante HIL*. BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA, FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ELECTRÓNICA, Puebla. Obtenido de <https://repositorioinstitucional.buap.mx/bitstream/handle/20.500.12371/5079/848219TL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hierro, W. (26 de Octubre de 2009). *Combustibles alternativos y Medio Ambiente*. Obtenido de <https://www.excelenciasdelmotor.com/noticia/combustibles-alternativos-y-medio-ambiente>

INEN. (1992). *CALZADO DE TRABAJO Y DE SEGURIDAD. REQUISITOS*. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1926.pdf>

INSST. (junio de 2014). *Guantes aislantes de la electricidad*. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/487826/Guantes+aislantes+de+la+electricidad>

INSST. (2020). *Guía técnica par la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la protección frente al riesgo eléctrico*. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/203536/Gu%C3%ADa+t%C3%A9cnica+para+la+evaluaci%C3%B3n+y+prevenci%C3%B3n+de+los+riesgos+relacionados+con+la+prot>

ecci%C3%B3n+frente+al+riesgo+el%C3%A9ctrico/7455ad76-c68b-498a-b898-cdb8e09baa4f

Jumbo, D. A., & Reyes, P. L. (2012). *Implementación de un motor eléctrico sobre el chasis de una motocicleta Yamaha TTR125*. Universidad Politecnica Salesiana, Ingeniería Mecánica Automotriz, Cuenca. Recuperado el 11 de julio de 2022, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2915/1/UPS-CT002474.pdf>

León García, N. (2015). *Diseño de la adaptación de la electrónica y motores para un vehículo eléctrico de fórmula SAE*. UNIVERSIDAD DE ALCALÁ, INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMÁTICA INDUSTRIAL. Obtenido de <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/23218>

Libus. (2017). *PROTECTOR FACIAL CRONOS*. Obtenido de <https://www.libus.com.ar/protector-facial-cronos--det--904371>

López Martínez, J. (24 de abril de 2018). *Vehículos híbridos y eléctricos. Ventajas e inconvenientes*. Recuperado el 18 de mayo de 2022, de Interempresas: <https://www.interempresas.net/Sector-Automocion/Articulos/216238-Vehiculos-hibridos-y-electricos-Ventajas-e-inconvenientes.html>

Mayz Acosta, E. (2015). *Conocimientos Básicos del Automóvil*. Recuperado el Julio de 2022, de <https://slideplayer.es/slide/3149765/>

Murias, D. (10 de Octubre de 2019). *Los motores son también clave en el desarrollo del coche eléctrico: no todo es cuestión de baterías*. Obtenido de Motorpasion: <https://www.motorpasion.com/tecnologia/los-motores-son-tambien-clave-en-el-desarrollo-del-coche-electrico-no-todo-es-cuestion-de-baterias>

Ojeda Montoya , P. J. (2012). *Diseño y construcción de un sistema de transmisión con cadena y diferencial Torsen para un prototipo de vehículo tipo monoplaza para la competencia Formula Student*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Latacunga. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/5156?locale-attribute=en>

Oliva, L. (18 de Septiembre de 2018). *Conoce los tipos de baterías y las ventajas de estas para tu móvil*. Obtenido de SoyTecno: <https://soytecno.com/conoce-tipos-baterias-ventas-movil/>

Palacios Espinoza, E., & Espinoza Molina, C. (2009-2013). *Contaminación del aire exterior*. Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Cuenca. Obtenido de <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/medicina/article/view/883>

Renault. (2022). *Cómo funcionan los motores eléctricos de los autos*. Obtenido de <https://www.renault.cl/noticias/como-funcionan-los-motores-electricos>

Rodríguez, A. (27 de Agosto de 2021). *Qué es la junta homocinética en el auto y cuál es su función*. Obtenido de SiempreAuto: <https://siempreauto.com/que-es-la-junta-homocinetica-en-el-auto-y-cual-es-su-funcion/>

Seguí Peidro, C. (15 de Octubre de 2018). *Todo sobre baterías y almacenamiento de energía*. Obtenido de Barrio La pinada: <https://www.barriolapinada.es/baterias-almacenamiento-energia/>

SpullIndustrial. (25 de Noviembre de 2020). *Distintos lentes de seguridad para distintos riesgos*. Obtenido de <https://www.spullindustrial.com.mx/lentes-de-seguridad-transparentes/distintos-lentes-de-seguridad-para-distintos-riesgos/>

Sumatec. (08 de junio de 2018). *GUANTES DIELECTRICOS: PARA TU PROTECCIÓN MANUAL*. Obtenido de <https://sumatec.co/guantes-dielectricos-para-tu-proteccion-manual/>

TECHNOSUN. (15 de diciembre de 2011). *Características de las baterías de LiFePO4*. Obtenido de <http://blog.technosun.com/caracteristicas-de-las-baterias-de-lifepo4/>

TOYOTA. (03 de noviembre de 2021). *Baterías de litio: Riesgos y prevención*. Obtenido de <https://blog.toyota-forklifts.es/baterias-litio-riesgos-y-prevencion>

Universidad Nacional de San Luis. (2006). *NORMAS ESPECÍFICA DE SEGURIDAD DE RIESGO ELÉCTRICO*. Universidad Nacional de San Luis, Unidad de Gestion de Riesgos, San Luis. Obtenido de <http://www.ugr.unsl.edu.ar/normas/electricidad2.htm#:~:text=Tensi%C3%B3n%20de%20seguridad%3A%20La%20tensi%C3%B3n,y%20h%C3%BAmedos%20es%2024%20volt.%20No%20es%20perceptible%20por%20los,descompone%20el%20aire%20apareciendo%20Ozono.>

Vargas, J. C. (20 de Octubre de 1995). LA CONTAMINACIÓN Y LOS VEHÍCULOS. *EL TIEMPO*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-432309>

Anexos