



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRACCIÓN
ELÉCTRICA APLICADO A UN VEHÍCULO PROTOTIPO
HÍBRIDO DE TRES RUEDAS DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN
SAPIA DE LA ESPOCH.**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

CRISTIAN GONZALO CHOCA SOCOY

JUAN CARLOS COELLO JURADO

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRACCIÓN
ELÉCTRICA APLICADO A UN VEHÍCULO PROTOTIPO
HÍBRIDO DE TRES RUEDAS DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN
SAPIA DE LA ESPOCH.**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: CHOCA SOCOY CRISTIAN GONZALO

JUAN CARLOS COELLO JURADO

DIRECTOR: Ing. LUIS FERNANDO BUENAÑO MOYANO Msc.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Cristian Gonzalo Choca Socoy & Juan Carlos Coello Jurado

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

Nosotros, CHOCA SOCOY CRISTIAN GONZALO Y COELLO JURADO JUAN CARLOS, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 18 de marzo del 2022



Cristian Gonzalo Choca Socoy

060422756-1



Juan Carlos Coello Jurado

180518895-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de Titulación; tipo: Proyecto Técnico, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRACCIÓN ELÉCTRICA APLICADO A UN VEHÍCULO PROTOTIPO HÍBRIDO DE TRES RUEDAS DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN SAPIA DE LA ESPOCH.**”, realizado por los señores: **CHOCA SOCOY CRISTIAN GONZALO Y COELLO JURADO JUAN CARLOS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos y legales; en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-03-18
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano Msc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2022-03-18
Dr. Mario Efraín Audelo Guevara MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-03-18

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a toda familia quienes me supieron apoyar a lo largo de mi vida estudiantil para así cumplir con esta meta, gracias a mis padres por el apoyo brindado que a pesar de las dificultades que se presentaron siempre encontraron la manera de ayudarme y seguir con mi meta planteada.

Juan

Dedico este trabajo, mi esfuerzo a mi madre, por ser pilar fundamental y demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar las circunstancias y a mis hermanos (VICTORIA, LEONARDO, MARCO Y MARICELA), por su amor incondicional y por su apoyo en cada momento de mi vida estudiantil.

Cristian

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, le agradezco a Dios por las bendiciones de vida y de seguir con mis estudios, por las enseñanzas que tuve a lo largo de mi vida como estudiante, por los errores cometidos ya que me caí y supe levantarme con más fuerzas para seguir.

Gracias a mis padres por el apoyo moral y económico que me dieron día a día para poder culminar con esta meta, a mis hermanos agradezco que hayan estado con sus concejos y especialmente a mi hermano Mauricio por extenderme el apoyo en los problemas que en algún día se presentaron. Gracias a mis maestros Ing. Johnny Pancha, Dra. Olga Barrera e Ing. Ramiro Cepeda que con sus conocimientos forjaron en mi un gran profesional y lo más importante una gran persona capaz de enfrentar todo obstáculo que presente la vida de aquí en adelante.

Agradezco a los docentes que pusieron su confianza en este proyecto Ing. Luis Buenaño y Dr. Mario Audelo. Mil gracias a todos y especialmente a mi Dios.

Juan

Agradezco a Dios por darme la vida, fortaleza para continuar cuando he estado a punto de rendirme.

A mi madre por estar siempre a mi lado en las buenas y en las malas y por hacer de mí una persona de bien y mis hermanos por compartir tantos momentos que llenan de alegría nuestras vidas.

A los docentes académicos que han sido guía de preparación del aprendizaje personal y profesional, que en el transcurso de nuestra vida estudiantil ha sido grato su compañía ya que las aulas han sido nuestro segundo hogar.

Cristian

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE ECUACIONES.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	4
1.3. Justificación.....	5
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	6
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	6

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	7
2.1. Estado del arte.....	7
2.2. Bases teóricas.....	8
2.2.1. <i>Motor eléctrico</i>	8
2.2.2. <i>Motores de corriente continua</i>	9
2.2.2.1. <i>Ventajas de los motores de corriente continua (CC)</i>	9
2.2.2.2. <i>Desventajas de los motores de CC</i>	10
2.2.2.3. <i>Partes que constituyen un motor de CC</i>	10
2.2.2.4. <i>Tipos de motores de CC</i>	11
2.2.3. <i>Motores de corriente alterna</i>	12
2.2.3.1. <i>Motor de corriente alterna asíncrono</i>	12
2.2.3.2. <i>Motor de corriente alterna síncrono</i>	12

2.2.4.	Motores universales	12
2.2.5.	Características para la selección de motor eléctrico	13
2.2.5.1.	<i>Características del motor eléctrico de CC</i>	13
2.2.5.2.	<i>Características del motor eléctrico de CA</i>	13
2.2.6.	Fórmulas para cálculo de potencia para selección de motor eléctrico	13
2.2.7.	Sistema de transmisión de fuerza	15
2.2.7.1.	<i>Transmisión por banda</i>	15
2.2.7.2.	<i>Transmisión por cadena</i>	16
2.2.7.3.	<i>Transmisión por engranes</i>	16
2.2.8.	Fórmulas para el cálculo para la Relación de transmisión	17
2.2.9.	Batería	17
2.2.10.	Parámetros electroquímicos de baterías recargables	18
2.2.10.1.	<i>Fuerza electromotriz, voltaje o potencial (E)</i>	18
2.2.10.2.	<i>Capacidad específica (Q)</i>	18
2.2.10.3.	<i>Energía específica (W)</i>	18
2.2.10.4.	<i>Ciclos de vida (E)</i>	18
2.2.11.	Tipos de baterías más usadas en vehículos eléctricos	19
2.2.11.1.	<i>Baterías PLOMO-ÁCIDO</i>	19
2.2.11.2.	<i>Baterías NÍQUEL-CADMIO</i>	20
2.2.11.3.	<i>Baterías de NÍQUEL-HIDRURO METÁLICO</i>	20
2.2.11.4.	<i>Baterías de ion-LITIO</i>	21
2.2.11.5.	<i>Fórmulas para selección de batería</i>	22
2.2.12.	Inversores de corriente y voltaje	23
2.2.12.1.	<i>Inversor de voltaje</i>	23
2.2.12.2.	<i>Inversor de corriente</i>	24
2.2.13.	Controlador	24
2.2.14.	BMS	25

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	26
3.1.	Diagrama de etapas del proyecto	26
3.2.	Metodología de investigación a realizar	26
3.3.	Desarrollo del proyecto	29
3.3.1.	<i>Cronograma (planificación de actividades)</i>	29
3.3.2.	<i>Recursos y materiales</i>	30
3.3.2.1.	<i>Presupuesto</i>	30

3.3.2.2.	<i>Talento humano</i>	30
3.3.2.3.	<i>Equipos y materiales</i>	31
3.3.3.	<i>Desarrollo del proyecto</i>	31
3.3.3.1.	<i>Bosquejo</i>	31
3.3.3.2.	<i>Planos de diseño de base de motor eléctrico</i>	32
3.3.3.3.	<i>Diseño de engranes para transmisión</i>	32
3.3.3.4.	<i>Simulación</i>	33
3.3.3.5.	<i>Selección de motor eléctrico</i>	36
3.3.3.6.	<i>Ficha técnica de motor seleccionado</i>	38
3.3.3.7.	<i>Selección de batería</i>	39
3.3.3.8.	<i>Ficha técnica de batería seleccionada</i>	41
3.3.3.9.	<i>Selección de piñones y catalinas de transmisión</i>	41
3.3.3.10.	<i>Ensamble mecánico</i>	43
3.3.3.11.	<i>Ensamble eléctrico</i>	47
3.3.3.12.	<i>Presentación final</i>	49

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	50
4.1.	Pruebas	50
4.1.1.	<i>Prueba de aceleración</i>	50
4.1.1.1.	<i>Instrumentos utilizados para la obtención de datos</i>	50
4.1.1.2.	<i>Rutas usadas para la obtención de datos</i>	52
4.1.2.	<i>Prueba de autonomía</i>	54
4.2.	Análisis de resultados	56
4.2.1.	<i>Análisis de pruebas de aceleración</i>	56
4.2.1.1.	<i>Análisis de resultados de las pruebas sin pendiente</i>	56
4.2.1.2.	<i>Análisis de resultados de las pruebas con pendiente</i>	59
4.2.2.	<i>Análisis de prueba de autonomía</i>	62
4.3.	Especificaciones técnicas	63
4.3.1.	<i>Especificación técnica del motor</i>	63
4.3.2.	<i>Especificación técnica de la batería</i>	63
4.3.3.	<i>Especificación técnica de la transmisión</i>	64
4.3.4.	<i>Especificación técnica del chasis</i>	64
4.3.5.	<i>Especificación técnica del performance</i>	64

CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	66
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Descripción de los componentes de un motor eléctrico CC	10
Tabla 1-3:	Metodologías de investigación implementadas para cumplir todos los objetivos del proyecto	27
Tabla 2-3:	Cronograma	29
Tabla 3-3:	Costos Directos	30
Tabla 4-3:	Costos Indirectos	30
Tabla 5-3:	Costos de talento humano	30
Tabla 6-3:	Equipos y materiales	31
Tabla 7-3:	Costos totales	31
Tabla 8-3:	Datos de prototipo.....	36
Tabla 9-3:	Resultados de cálculos para potencia de motor eléctrico	38
Tabla 10-3:	Motores eléctricos.....	38
Tabla 11-3:	Ficha técnica de QSMOTOR	39
Tabla 12-3:	Baterías	40
Tabla 13-3:	Ficha técnica de batería seleccionada.....	41
Tabla 14-3:	Resultados de relación de transmisión	43
Tabla 1-4:	Datos de porcentaje de pendiente.....	54
Tabla 2-4:	Tiempo para alcanzar la velocidad máxima en recta	56
Tabla 3-4:	Tiempo para alcanzar la velocidad máxima en pendiente	60
Tabla 4-4:	Registros de autonomía.....	63
Tabla 5-4:	Especificación técnica del motor	63
Tabla 6-4:	Especificación técnica de la batería	63
Tabla 7-4:	Especificación técnica de la transmisión	64
Tabla 8-4:	Especificación técnica del chasis	64
Tabla 9-4:	Especificación técnica del performance	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Primer vehículo eléctrico de Ányos Jedlik en 1828.....	2
Figura 2-1:	Vehículo de Sibrandus Stratingh en 1835.....	2
Figura 3-1:	Toyota Prius	4
Figura 1-2:	Motor eléctrico	9
Figura 2-2:	Motor eléctrico de CC	10
Figura 3-2:	Disposición.....	12
Figura 4-2:	Fuerzas actuantes en un vehículo	14
Figura 5-2:	Transmisión por banda	16
Figura 6-2:	Transmisión por cadena.....	16
Figura 7-2:	Transmisión por engranes.....	17
Figura 8-2:	Inversor monofásico	23
Figura 9-2:	Forma de onda fase-neutro	24
Figura 10-2:	Estructura de inversor AC – DC	24
Figura 1-3:	Diagrama de etapas del proyecto	26
Figura 2-3:	Bosquejo general el proyecto	32
Figura 3-3:	Planos de estructura de base de motor	32
Figura 4-3:	Diseño de disposición de piñones de transmisión	33
Figura 5-3:	Base de motor.....	33
Figura 6-3:	Deformación total.....	34
Figura 7-3:	Factor de seguridad de base de motor.....	34
Figura 8-3:	Diseño de pedal de acelerador	35
Figura 9-3:	Deformación total del pedal	35
Figura 10-3:	Factor de seguridad de pedal	36
Figura 11-3:	Ensamble de catalinas y piñones en eje de tracción.....	43
Figura 12-3:	Montaje del motor eléctrico en la base diseñada	44
Figura 13-3:	Ensamble de base de motor eléctrico en el prototipo.....	44
Figura 14-3:	Instalación de catalina en la rueda de tracción.....	45
Figura 15-3:	Ensamble de cadena entre el motor y el eje de tracción.....	45
Figura 16-3:	Ensamble de pedal de acelerador.....	46
Figura 17-3:	Ensamble de controlador de motor en el prototipo	46
Figura 18-3:	Revisión de cables de señal del controlador.	47
Figura 19-3:	Conexión eléctrica entre el controlador y el motor eléctrico.	47
Figura 20-3:	Instalación de conector para la batería.....	48
Figura 21-3:	Diagrama eléctrico de conexiones	48

Figura 22-3:	Ensamble final.....	49
Figura 23-3:	Presentación final de prototipo	49
Figura 1-4:	Aplicación "Torque PRO"	51
Figura 2-4:	Tarjeta "logindata"	51
Figura 3-4:	Circuito de "logindata".....	52
Figura 4-4:	Ruta sin pendiente	52
Figura 5-4:	Ruta en pendiente	53
Figura 6-4:	Ruta donde se realizó la prueba de autonomía.....	54
Figura 7-4:	SOC máximo de batería	55
Figura 8-4:	SOC mínimo de batería	55

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4:	Altitud vs distancia recorrida	53
Gráfico 2-4:	Registros de velocidad en ruta sin pendiente.	56
Gráfico 3-4:	Voltaje de registro 1.....	57
Gráfico 4-4:	Voltaje de registro 2.....	57
Gráfico 5-4:	Voltaje de registro 3.....	58
Gráfico 6-4:	Voltaje de registro 4.....	58
Gráfico 7-4:	Voltaje de registro 5.....	58
Gráfico 8-4:	Registros de velocidades en ruta con pendiente	59
Gráfico 9-4:	Voltaje de registro 1.....	60
Gráfico 10-4:	Voltaje de registro 2.....	61
Gráfico 11-4:	Voltaje de registro 3.....	61
Gráfico 12-4:	Voltaje de registro 4.....	61
Gráfico 13-4:	Voltaje de registro 5.....	62

ÍNDICE ECUACIONES

Ecuación 1-2:	Fórmula de la potencia del motor	14
Ecuación 2-2:	Fórmula de fuerzas de arrastre del vehículo.	14
Ecuación 3-2:	Fórmula de la fuerza del peso en pendiente.....	14
Ecuación 4-2:	Fórmula de la fuerza de fricción aerodinámica contra el viento.	14
Ecuación 5-2:	Fórmula de la Fuerza de fricción entre neumático y calzada	15
Ecuación 6-2:	Fórmula de la potencia real requerida del motor	15
Ecuación 7-2:	Relación de transmisión	17
Ecuación 8-2:	Potencia de tracción	22
Ecuación 9-2:	Potencia de la línea de transmisión.....	22
Ecuación 10-2:	Energía de la batería.....	22
Ecuación 11-2:	Energía real de la batería	22

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: FICHA TÉCNICA DE VEHÍCULO PROTOTIPO

ANEXO B: COMPONENTES DE BASE DE MOTOR ELÉCTRICO

ANEXO C: DISPOSICIÓN DE ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN

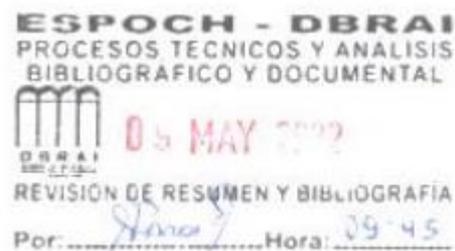
ANEXO A: DIMENSIONES DE ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN

RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue la implementación de un sistema de tracción eléctrico a un vehículo prototipo de tres ruedas mediante el análisis y selección de los elementos que permitirán reducir el esfuerzo humano durante el desplazamiento del vehículo, para ello se realizó una revisión bibliográfica para identificar los elementos presentes en una tracción eléctrica de un vehículo, el peso bruto vehicular del prototipo es de 422 Kg, se determinó una potencia requerida de 11.11 KW, además con esta potencia calculada se estimó que el prototipo se mueva a una velocidad de 45 Km/h en un tiempo de 15 segundos en una vía con pendiente de 7.5%, y una batería de 28.53 Ah que se ofrezca una autonomía aproximada de 10 km. Donde se implementó un kit de motor eléctrico trifásico marca QSMOTOR de potencia máxima de 13.5 KW que incluía el controlador, una batería ensamblada con celdas de níquel metal hidruro con un voltaje de 72 voltios nominales y una capacidad de 29 Ah, y además se determinó una relación de transmisión de 1:10 mediante cálculos para los engranes y catalinas. Una vez implementado los componentes, se realizó pruebas de aceleración para hallar la velocidad máxima y el tiempo promedio en alcanzarla, y pruebas de autonomía, para ello se recolectó datos de velocidad y tiempo mediante la aplicación “TORQUE PRO”. Finalmente, mediante un estudio estadístico con los datos recolectados se obtuvo que el vehículo es capaz de alcanzar una velocidad máxima de 40 Km/h en un tiempo promedio de 17.6 segundos, además se obtuvo una autonomía de 8.21 Kilómetros. Se realizó las pruebas necesarias para comprobar el correcto ensamble de la tracción eléctrica en diversas rutas, en lo cual no se obtuvo ningún inconveniente, sin embargo, se recomienda conducir de manera prudente y responsable.

Palabras clave: <SISTEMA DE TRACCIÓN ELÉCTRICO> <TRANSMISIÓN> <PESO BRUTO VEHICULAR> <PROTOTIPO> <PRUEBAS DE AUTONOMÍA>.

0851-DBRA-UPT-2022



SUMMARY

The objective of this project was the implementation of an electric traction system to a three-wheeled prototype vehicle through the analysis and selection of the elements that will reduce the human effort during the vehicle moving. A bibliographic review was made to identify the elements present in an electric traction of a vehicle, the gross vehicle weight of the prototype is 422 Kg, a required power of 11.11 KW was determined. In addition, with this calculated power was estimated that the prototype moves at a speed of 45 km/h, in a time of 15 seconds on a road with a slope of 7.5%, and a battery of 28.53 Ah that offers an approximate range of 10 km. A QSMOTOR three-phase electric motor kit with a maximum power of 13.5 KW was implemented, which included the controller, a battery assembled with nickel metal hydride cells with a nominal voltage of 72 volts and a capacity of 29 Ah, and a transmission ratio of 1:10 was determined by means of calculations for the gears and catalytic converters. Once the components were implemented, acceleration tests were carried out to find the maximum speed and the average time. To reach it, and autonomy tests, for which speed and time data were collected using the "TORQUE PRO" application. Finally, by means of a statistical study with the collected data, it was obtained that the vehicle is able to reach a maximum speed of 40 Km/h in an average time of 17.6 seconds, and an autonomy of 8.21 kilometers was also obtained. The necessary tests were carried out to verify the correct assembly of the electric traction on various routes, in which no inconvenience was obtained. However, it is recommended to drive in a careful and responsible manner.

Key words: <ELECTRIC TRACTION SYSTEM>, <TRANSMISSION>, <GROSS VEHICULAR WEIGHT>, <PROTOTYPE>, <AUTONOMY TESTS>.

Firmado
digitalmente por
SANDRA PAULINA SANDRA PAULINA
PORRAS PUMALEMA PORRAS PUMALEMA
Fecha: 2022.05.11
13:18:56 -05'00'

INTRODUCCIÓN

El sistema de tracción eléctrica ha generado una gran aceptación por parte de fabricantes automotrices debido a su reducción de contaminantes al ambiente con relación al sistema convencional de un vehículo impulsado con un motor de combustión interna.

La demanda del mercado automovilístico aumenta de forma constante, sin embargo, en Ecuador el incremento del precio de combustibles para vehículos convencionales a dando un golpe económico para la sociedad. En la actualidad la gasolina más usada en el país ha visto un incremento del 72.3% con respecto al año 2018. Debido a estos factores un hecho que se ha podido apreciar en las vías del país, es la adquisición de diferentes vehículos con propulsión alternativa tal es el caso como híbridos y eléctricos.

Por estos motivos la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en conjunto con el grupo de investigación SAPIA realiza el estudio para el desarrollo de un proyecto de tracción eléctrica en el prototipo de tres ruedas, donde ofrecerá innovación para una movilidad ecológica, inicialmente aplicada dentro de la institución.

Cabe decir que esta tecnología que pretende implementar en el vehículo de tres ruedas no es nada nueva ya que ha sido desarrollada desde los años 1800 siendo en el año de 1828 presentado el primer prototipo de vehículo eléctrico. (Wakefield, EH, 1993)

Para el desarrollo del capítulo se pretende investigar antecedentes, así como problemas que puedan presentar este tipo de tecnologías, de esta manera se plantean los diferentes objetivos a alcanzar durante el desarrollo de este proyecto.

Durante el desarrollo del segundo capítulo se realizará una recopilación bibliográfica de sistemas actuales para generar un rendimiento, potencia y torque necesario en la tracción del prototipo, con esta fundamentación teórica se planteará las ecuaciones necesarias para determinar las especificaciones técnicas de los componentes a ser implementados en la tracción eléctrica siendo el motor eléctrico, energía de la batería, sistema de catalinas y piñones.

Para la elaboración del tercer capítulo se debe adquirir los elementos mecánicos y eléctricos a ser implementados en el sistema de tracción eléctrica en base a cálculos realizados, una vez probados y verificados su funcionamiento de manera individual, se procederá con el diseño para los diversos componentes adquiridos, se realizará el ensamble en el prototipo y finalmente se llevará a cabo las pruebas requeridas del funcionamiento para comprobar el correcto ensamble.

Durante el capítulo final se llevarán a cabo diversas pruebas de aceleración y autonomía, en las cuales encontraremos la velocidad máxima del prototipo y el tiempo que tardará en alcanzar dicha velocidad, y también se determinará la distancia que podrá recorrer el vehículo con una carga completa de la batería.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

La invención de vehículos con sistema de tracción eléctrica no es nada nuevo, siendo desarrollado incluso antes que los motores de combustión interna, en 1800 con la invención de la pila de Volta, se dio lugar al desarrollo de sistemas de tracción eléctrica, siendo en el año de 1828 con un modesto prototipo el primer vehículo propulsado por un motor eléctrico inventado por Ányos Jedlik (Wakefield, 1993, p. 500).

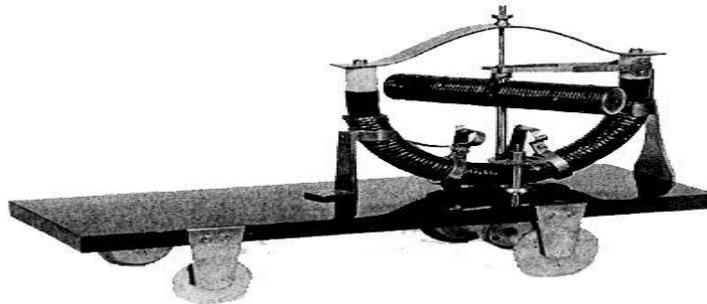


Figura 1-1: Primer vehículo eléctrico de Ányos Jedlik en 1828

Fuente: Moreno, 2016.

Para el año de 1834 Thomas Davenport desarrolló su propio modelo propulsado por un modesto motor eléctrico de corriente continua inventado por él, este modesto prototipo era movido por una batería. En este año se inventa el motor de corriente continua. (Moreno, 2016)

En el año de 1835 Sibrandus Stratingh desarrolla un vehículo que utilizaba baterías no recargables, siendo este considerado el precedente de los actuales vehículos de propulsión eléctrica (Wakefield, 1993, p. 500).



Figura 2-1: Vehículo de Sibrandus Stratingh en 1835

Fuente: Moreno, 2016.

En 1842 apareció un vehículo de cuatro ruedas desarrollado por Robert Davidson, que utilizaba baterías de zinc-ácido que llegaba a alcanzar una velocidad de 4 mph, para este año y durante décadas el principal problema de estos vehículos era la poca capacidad energética de las baterías, además de su elevado costo de implementación frente a los motores de vapor que utilizaban carbón (Wakefield, 1993, p. 500).

Con el desarrollo de baterías recargables de ácido-plomo (actualmente usado en el arranque de vehículos de combustión interna) en el año de 1850 y la invención del dinamo en el año de 1860, además de su posterior perfeccionamiento en estos dos desarrollos tecnológicos, se dio un gran impulso a los sistemas de tracción eléctrica (Moreno, 2016, p. 131).

Los primeros modelos eléctricos se construyeron y comercializaron en 1898 en las ciudades de Londres y Nueva York. Su sistema de tracción eléctrica se constituía de un motor de corriente continua y conectados a un sistema de baterías capaces de ser conectados en una configuración de serie y paralelo para poder controlar la velocidad y el torque (Wakefield, 1993, p. 500).

Durante la primera década del siglo XX varios modelos de coches eléctricos fueron fabricados y comercializados, siendo los caballos sustituidos por motores de corriente continua y una batería, que permitía tener autonomía de movilidad entre 20 y 30 Km, pudiendo llegar a alcanzar una velocidad de 25 Km/h, sin embargo estos coches eléctricos no podían recorrer distancias largas debido a su limitada autonomía, además de no ser accesible por su elevado costo de 2.000 dólares, debido a la inflación en la actualidad fácilmente supera los 20.000 dólares. A pesar eso era superiores a los primeros vehículos de combustión interna que aparecieron en los años 20, por su facilidad de conducción, su arranque no presentaba problemas a diferencia del motor de combustión interna que necesitaba ser impulsado en sus primeras revoluciones por una manivela, e incluso a pesar de su alto costo los vehículos de tracción eléctrica resultaban más económicos que los recién desarrollados vehículos de combustión interna y sobre todo no emitían fuerte ruidos, vibraciones y olor a gasolina como los vehículos con tracción de combustión eléctrica (Wakefield, 1993, p. 500).

A partir de los años de 1920 con el descubrimiento y posterior explotación de grandes yacimientos petroleros, abarato los costos de combustible e hizo posible la construcción de carreteras que unían ciudades, inclino definitivamente la balanza a favor de los vehículos de motor de combustión interna, sumado a esto con la invención de la cadena de montaje de Henry Ford hizo que los vehículos de motor de combustión interna redujeran notablemente su precio, pues para el año de 1920 un vehículo eléctrico con una autonomía de 25 Km alcanzaba un precio de 2.000 dólares, mientras su equivalente en motor de combustión interna alcanzaba un precio de tan solo 600 dólares, con la ventaja de una autonomía prácticamente ilimitada. Debido a estos sucesos en los años 30 el vehículo de tracción eléctrica dejaría de fabricarse (Moreno, 2016, p. 132).

En los años 70 los vehículos a gasolina tienen una decaída debida al incremento del precio de su fuente de energía que es la gasolina, por tanto, día una oportunidad a los vehículos impulsados

con un sistema eléctrico que sean aceptados en el mercado automotor, además las personas toman conciencia de la contaminación atmosférica que producía los vehículos de combustión interna, los cuales generaban el efecto invernadero y cambios climáticos (Moreno, 2016, p. 122).

En la actualidad los vehículos eléctricos son impulsados con motores de corriente alterna, en cambio los motores de corriente continua son implementados en vehículos livianos como Scooter, coches de golf o sillas de ruedas para minusválidos. Una ventaja de los motores de corriente continua es la variación de su velocidad, la cual está sobre un motor de corriente alterna que su velocidad está determinada por su frecuencia, en otras palabras, la velocidad de un motor de corriente alterna es constante (Chan & Chau, 2011, p. 21).

A partir del siglo XX se implementa la electrónica y frenos regenerativos lo cual aumenta la eficiencia de un motor eléctrico a un 90%, superando a su competencia el motor de combustión interna con un 20% de eficiencia. El problema que genera un sistema eléctrico es el tema de las baterías, siendo un limitante en economía y rendimiento de los vehículos eléctricos. (Moreno, 2016)

En la actualidad en tema de vehículo híbridos el más destacable en el comercio automotor es el Toyota Prius, compuesto con un motor a gasolina de 57 KWh, dos motores síncronos de imanes permanentes de 18 KW y 33 KW, respectivamente y una batería de ion litio de 1.8 KWh. Este vehículo ofrece la autonomía de 10 Km como vehículo eléctrico (Moreno, 2016, p. 127).



Figura 3-1: Toyota Prius

Fuente: Toyota, 1997.

En la actualidad en Ecuador se ha masificado el uso de vehículos de tracción eléctrica, siendo los vehículos personales los que mayor tasa de crecimiento han tenido, siendo su circulación en ciudades muy común, el uso de estos vehículos ha frenado las emisiones contaminantes de CO₂.

1.2. Planteamiento del problema

El prototipo de tres ruedas está compuesto por un sistema de propulsión mediante el esfuerzo físico de los ocupantes, el cual resulta ser muy agotador para la movilidad del vehículo debido a los factores como el peso del prototipo y dos ocupantes, así como el diseño de la tracción mediante pedales.

La tracción eléctrica ofrecerá una movilidad para un prototipo de tres ruedas, con el fin de reducir el esfuerzo humano que requiere movilizar el vehículo, se implementará una tracción eléctrica en el prototipo, van a estar presentes diversos problemas a la hora de la adquisición de elementos y montaje de estos. Para una correcta tracción eléctrica se va a tomar en cuenta la potencia ofrecida por un motor, para que este realice su función de una manera correcta y su consumo de corriente no exceda al ofrecido, en el punto de una batería se va a tomar en cuenta el tiempo de durabilidad de su capacidad amperimétrica hora y si esta ofrece las características esperadas, además en tema de baterías en el mercado ecuatoriano son muy escasa de obtener.

1.3. Justificación

En Ecuador desde el año 2000 el incremento de CO₂ ha pasado de 1634 toneladas de CO₂ en el año 2000 hasta su último estudio en 2016 con 2496 toneladas métricas según el Centro de Análisis de Información sobre Dióxido de Carbono, División de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge (Centro de Análisis de Información sobre Dióxido de Carbono, División de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge, 2018, p. 1).

Dada la importancia del cambio de matriz energética en el Ecuador, la implementación de tecnologías de movilidad eléctrica, en la actualidad el uso y la demanda de vehículos de tracción eléctrica han incrementado en el país, en parte por la exoneración que tienen estos tipos de vehículos que no excedan un precio de 40.000 dólares americanos, además de no pagar aranceles en sus repuestos eléctricos como lo son la batería y cargadores destinados para este tipo de vehículos (El Universo, 2019, párr. 2-6).

A nivel mundial las ventas de vehículos eléctrico tanto vehículos eléctricos de batería BEV (por sus siglas en inglés, Battery Electric Vehicle) y vehículos híbridos enchufables PHEV (plug-in hybrid electric vehicle) han ido incrementado cada año pasando de 2,26 millones de vehículos vendidos en 2019 a 3,24 millones de unidades vendidas en el año 2020, siendo el mercado europeo quien lidera las unidades vendidas de vehículos eléctricos con un total de 1,4 millones de BEV y PHEV vendidas durante el año 2020, desplazando al mercado chino como líder de ventas de vehículos BEV y PHEV (Irlé, 2020, párr. 1).

A partir del año 2016 la venta de vehículos ha incrementado cada año, pasando de 84 vehículos eléctricos vendidos en el año 2016 a 105 vehículos vendidos en 2020, en este periodo de tiempo el pico más alto de ventas es en el año 2018 con un total de 130 vehículos eléctricos vendidos en el Ecuador, entre los vehículos eléctricos más comercializados en el país se registra tres marcas según datos de AEDE, siendo estos la marca china Dayang, Hanteng, la marca surcoreana Kia y la marca europea Renault. Los precios de estos vehículos comercializados se encuentran en un rango de precios entre 13.000 y 30.000 dólares americanos (Diario Expreso, 2019, p. párr. 1-8).

La carrera de ingeniería automotriz en conjunto con el grupo de investigación SAPIA de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, propone la construcción de un vehículo prototipo híbrido con tracción eléctrica y humano, con el fin de reducir emisiones de gases contaminantes y reducir el esfuerzo humano en la movilidad de este. El prototipo ya culminó la fase de diseño y construcción de chasis, implementación de dirección, suspensión y la tracción mediante esfuerzo humano.

Este proyecto puede ser implementado como vehículo alternativo para transporte personal o turismo comunitario, en lugares donde el abastecimiento de combustible es escaso, pero cuentan a su disposición de red eléctrica, además de no generar contaminación por lo que el ecosistema en el turismo comunitario no se vería afectado por las emisiones de gases contaminantes, como si ocurre con vehículos a gasolina o diésel.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Implementar un sistema de tracción eléctrico a un vehículo prototipo de tres ruedas mediante el análisis y selección de los elementos idóneos que permita reducir el esfuerzo humano durante el desplazamiento del vehículo.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar la recopilación bibliográfica mediante el uso de plataformas de investigaciones científicas, para la fundamentación teórica del funcionamiento del sistema
- Determinar la potencia requerida para el sistema de tracción eléctrica mediante cálculos estudiados en la cátedra de dinámica del vehículo usando los datos existentes del prototipo, proporcionados por el grupo de investigación SAPIA.
- Generar un diseño para los componentes del sistema de tracción eléctrica, mediante el uso de software CAD-CAE para generar soportes que garanticen la seguridad de estos componentes.
- Determinar los elementos para una correcta instalación del sistema de tracción eléctrica en el prototipo mediante la disposición del espacio existente, y revisiones de disponibilidad de los elementos en catálogos y páginas de proveedores.
- Implementar el sistema de tracción eléctrica en el prototipo de tres ruedas mediante el uso de herramientas especializadas para completar la movilidad del vehículo prototipo.
- Realizar pruebas de funcionamiento de la tracción eléctrica en el vehículo prototipo de tres ruedas mediante pruebas de ruta para garantizar el correcto ensamble de los componentes y comprobar la autonomía de la batería.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Estado del arte

Camacho Álvaro; Guevara Eduardo. En su tesis “Diseño e implementación del sistema de tracción y control eléctrico para un Cross car biplaza turístico”, en este trabajo de titulación trata del diseño e implementación de un sistema de control eléctrico aplicado en un Cross car para dar una solución a la contaminación ambiental producida por un vehículo impulsado con un motor de combustión interna. Para ello implementan un conjunto eléctrico para la tracción del vehículo sustituyendo al sistema convencional de tracción con motor de combustión interna, el sistema eléctrico cuenta con un motor eléctrico de corriente continua de potencia de 6KW nominales y un voltaje de 48V a 72V, módulo de mando para controlar las revoluciones entregadas por el motor, cargador de batería con entradas de 110V, un panel para el control electrónico, baterías de carga rápida integrado con un freno regenerativo para ayudar con la carga. El Cross car está diseñado para que se traslade a una velocidad máxima de 50 km/h con dos ocupantes.

En el trabajo de titulación realizado por (Rosero & López, 2018, p. 88) denominado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN PARA UN PROTOTIPO DE AUTO ELÉCTRICO BIPLAZA UTA-CIM17”, desarrolla el proyecto técnico de construcción de un sistema de propulsión eléctrico para un vehículo prototipo, en el cual son implementados componentes tanto mecánicos como eléctricos, haciendo uso de energías alternativas reduciendo la contaminación ambiental y la contaminación auditiva. Para la implementación del sistema de propulsión, los autores utilizan un motor eléctrico de corriente continua de tipo imanes permanentes con escobilla, a 2600 RPM, 48V, un peso de 18 Kg y una potencia entre 6 a 9.5 KW, acompañado de un sistema de transmisión de cadena-piñón, certificado bajo la norma ISO 9001. Para la transmisión utiliza un diferencial con ejes ensamblados en los tambores de los neumáticos, mientras que el eje de entrada del diferencial se encuentra unido mediante piñones y cadena al motor, el mismo que se sostiene en una base diseñada para la sujeción de este. Al final en la prueba de carretera el vehículo alcanzó una velocidad de 11,68 m/s en un lapso de 8,56s, partiendo desde el reposo con una distancia de 100m.

Yamir Sánchez Torres. En su artículo “Diseño y simulación del sistema de propulsión de un triciclo eléctrico”, diseña y simula el sistema de transmisión de triciclo eléctrico, el cual aplica una ecuación que describe la dinámica del movimiento del vehículo, el cual con ello se puede mostrar el desempeño que dará la tracción eléctrica en el triciclo. El autor desarrolla la simulación de la tracción en el software Matlab®R2013b, el cual obtiene resultados de comparación de

rendimiento de autonomía y consumo energético del sistema eléctrico con respecto al sistema de combustión interna.

Montenegro Aníbal, Ruiz Edwin. En su tesis “DISEÑO, ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO HÍBRIDO (INSTALACIÓN DE LA TRACCIÓN TRASERA PARA EL ACOPLAMIENTO AL MOTOR ELÉCTRICO)”, presenta un sistema híbrido compuesto con un motor de combustión interna y un motor eléctrico, el cual está implementado en un vehículo SEAT 127 del año 1975. El prototipo está constituido con una tracción delantera la cual va a ser impulsada por un sistema de tracción con un motor de combustión interna de un vehículo FIAT y el motor eléctrico generara una tracción trasera en el prototipo, para la tracción trasera está constituida con los componentes como pieza de acople número uno, el cual sirve como base para el motor eléctrico y además cumpliendo la función de disipar el calor producido por el mismo motor eléctrico, el sistema está compuesto también de una pieza de acople numero dos el cual es una pieza integrado con un estriado en la parte interna para cumplir con la función de traspasar la fuerza motora y el torque, esta pieza hecha de un acero SAE 4140 y por ultimo cuenta con una pieza de acople número tres la cual es una base general de 4 milímetros para la sujeción de las piezas número uno y dos. Para el montaje de los componentes los autores procedieron a sujetar la tracción delantera, realizado esto ubicaron las juntas homocinéticas a la caja de transmisión del sistema y colocaron las puntas de los frenos, ruedas y procediendo a un alineamiento de este. Como resultado obtuvieron una eficaz prueba de funcionamiento

M. Duran; J. Aguilera; G. Guerrero-Ramírez; A. Claudio; L.G. Vela y J. Gudiño-Lau. En su artículo “Modelado del sistema de tracción para un vehículo eléctrico”, presenta componentes diseñados para la conversión de un vehículo convencional de tracción con motor de combustión interna a un vehículo de tracción eléctrica, el cual describe los elementos principales del sistema eléctrico, además presenta un modelo matemático para una simulación del sistema de tracción eléctrica.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Motor eléctrico

Componente el cual genera energía mecánica a partir de la energía eléctrica, esto se logra gracias al campo magnético el cual genera una rotación mediante un bobinado de formas diferentes. Cuando la bobina se llena de energía eléctrica esta se comporta como un imán con polo opuesto al imán presente en la parte interior del motor (Rosero & López, 2018, p. 88) . En la figura 1-2 se observa la constitución de un motor eléctrico



Figura 1-2: Motor eléctrico

Fuente: Farina, 2018.

2.2.2. Motores de corriente continua

Los motores de corriente continua tienen aplicaciones muy puntuales, a diferencia de los motores de corriente alterna que son usados en más aplicaciones tanto de industria como domésticos, debido a las características idóneas tienen un campo específico de aplicaciones, especialmente por los motores de baja potencia como los *brushles* (sin escobilla), paso a paso, etc.

Fueron los primeros motores eléctricos en ser desarrollados y durante los más de 125 años de existencia, los motores de corriente continua han ido evolucionando tanto en su forma como en su avance tecnológico, obteniendo motores de gran potencia, así como, motores muy pequeños, haciendo de estos motores idóneos para cubrir aplicaciones tanto en industria, accionamiento de diversos aparatos eléctricos y electrónicos, en sistemas de mecanismo en vehículos y la automoción con sistemas de tracción eléctrica (Roldán, 2014, p. ix).

Los motores de corriente continua son alimentados por corriente continua, esto puede darse de dos maneras, de forma directa con una fuente de corriente continua como pilas o baterías o también puede ser alimentado por corriente alterna rectificada por un equipo externo o un equipo propio dentro del sistema del motor eléctrico a corriente continua antes de llegar al motor. En estos tipos de motores se pueden aplicar variadores de velocidad, que se encargan de aplicar velocidad variable controlando la tensión, esta velocidad se puede seleccionar de acuerdo con las necesidades de la máquina o aparato (Roldán, 2014, p. ix).

2.2.2.1. Ventajas de los motores de corriente continua (CC)

- Tienen operaciones suaves en arranque, marcha y frenado
- Buen control de aceleración y desaceleración
- Variar su velocidad
- Ajustar su funcionalidad con facilidad a las necesidades de trabajo o proceso
- Permitir posicionamientos de alta presión
- Buen control de par motor

- Economizar energía
- Buena respuesta en aplicaciones de tracción

Los motores de corriente continua pueden ser aplicados en procesos de mucha exigencia y variabilidad de parámetros como: par motor, control de arranque y frenado, variar su velocidad en funcionamiento (Roldán, 2014, p. ix).

2.2.2.2. Desventajas de los motores de CC

Los motores de CC, también presentan desventajas en las que podemos resaltar las siguiente:

- Mayor costo
- Necesita equipos de arranque y control especiales
- Mayor mantenimiento
- Averías más frecuentes que en un motor de CA

2.2.2.3. Partes que constituyen un motor de CC

En la siguiente figura se puede apreciar la constitución básica de un motor de CC, representando sus partes y elementos tanto magnéticos como eléctricos.

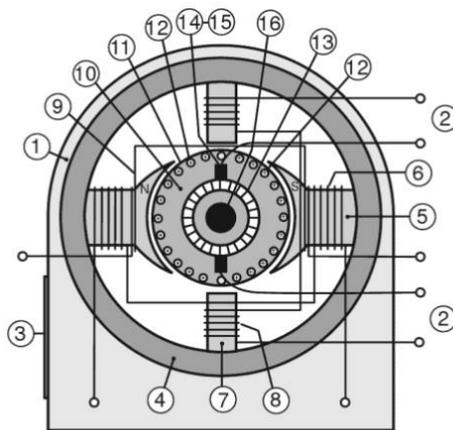


Figura 2-2: Motor eléctrico de CC

Fuente: Roldán, 2018.

Tabla 1-2: Descripción de los componentes de un motor eléctrico CC

1	Carcasa	9	Bobinado de compensación
2	Caja de conexiones	10	Conjunto rotor
3	Placa de características	11	Circuito magnético con ranuras para alojar los conductores de la bobina
4	Culata	12	Bobina rotórica (inducido)

5	Polos principales	13	Colector de delgas
6	Bobinado inductor	14	Porta escobillas
7	Polos auxiliares o de conmutación	15	Escobillas
8	Bobinado auxiliar o de conmutación	16	Eje del motor

Fuente: Roldán, 2018.

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

2.2.2.4. Tipos de motores de CC

Los motores de corriente continua se los puede clasificar en dos grupos:

- Por el tipo de conexión
- Imanes permanentes

De acuerdo al tipo de conexión se diferencian por su manera de conectar el devanado, el inducido y el inductor al sistema de red, hay que destacar que los devanados pueden estar conectados de manera independiente a la red o estar conectados entre sí en serie o de manera paralela, e incluso de forma mixta, de acuerdo a esos se puede clasificar en cinco tipos (Valenzuela, 2013, p. 16).

- Motor de CC derivación
- Motor de CC excitación independiente
- Motor de CC serie
- Motor de CC Compuesto acumulado
- Motor de CC compuesto diferencial

Por otro lado, los motores de CC de imán permanente tienen dentro de su carcasa imanes permanentes, lo que lo caracteriza y diferencia de los otros tipos de motores eléctricos, la ventaja que este tipo de motores tiene sobre los motores de tipo de campo devanado es que no necesitan las alimentaciones de electricidad para la excitación ni el devanado asociado, esto hace que mejore su confiabilidad debido a que no existen bobinas de excitación del campo que fallen además la probabilidad de que se presente una sobre velocidad debido al campo es prácticamente nula (Valenzuela, 2013, p. 16).

2.2.3. Motores de corriente alterna

Los motores de corriente alterna son elementos muy confiables por su alto rendimiento y por su fiabilidad al no necesitar excitación en el rotor. Los tipos de motores de corriente alterna se encuentra divididos en asíncronos y síncronos.

2.2.3.1. Motor de corriente alterna asíncrono

Este motor el cual tiene una alimentación de corriente trifásica es el más usado en la industria eléctrica debido a su facilidad de uso, robustez y ofrece un fácil mantenimiento

Las aplicaciones de estos motores por lo general son en el uso para compresores, bombas de agua, ascensores hidráulicos o eléctricos, escaleras mecánicas, ventilación y portones automáticos (Farina, 2018, p. 68).

2.2.3.2. Motor de corriente alterna síncrono

La característica principal de un motor síncrono es la capacidad que tiene para mantener una velocidad constante. Para ello el sistema dispone de un bobinado de forma circular se observa en la figura 3 - 2, cuando se les aplica una corriente alterna se conseguirá un campo magnético que es denominado campo giratorio (Cembranos, 2015, párr. 4-5).

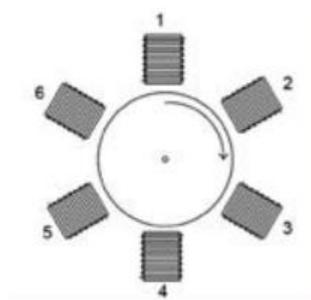


Figura 3-2: Disposición

Fuente: Cembranos, 2015.

2.2.4. Motores universales

Este motor tiene la característica de recibir la alimentación de corriente continua y corriente alterna sin alterar el funcionamiento. Su funcionamiento radica en la excitación del inductor y el inducido con la misma corriente, generando un circuito de alimentación en serie. Además, estos tipos de motores su forma de fabricación es similar a la de un motor de corriente continua (Rosero & López, 2018, p. 15).

2.2.5. Características para la selección de motor eléctrico

Para la implementación de sistemas de tracción eléctrica en vehículos, se puede aplicar motores de corriente continua o motores de corriente alterna, cada una de ellas tiene características que facilitan o complican la instalación.

2.2.5.1. Características del motor eléctrico de CC

Tienen la ventaja de generar más torque que los motores de CA, por lo que se puede omitir la instalación de un complejo sistema de transmisión y que sea el control de velocidad y giro del motor de CC quien determine la velocidad de giro del motor y el sentido de giro del mismo. Además de poder ser alimentado directamente de una batería, por este motivo se vuelve más simple el control de este tipo de motor. En la implementación de estos sistemas de tracción debe realizarse con cuidado pues una falla en el motor puede causar un cortocircuito en toda la batería, provocando un posible incendio del motor (Camacho & Guevara, 2014, p. 8).

2.2.5.2. Características del motor eléctrico de CA

Para la implementación de sistemas de tracción eléctrica con motores de CA, es necesario transformar la corriente continua de las baterías a corriente alterna, por lo que no se puede alimentar el motor de manera directa, sumado a esto el control de velocidad es más complejo, tiene costos más altos y su temperatura es notablemente más alta, en algunos casos necesitando sistemas de refrigeración, sin embargo, el rendimiento de este tipo de motor es mayor, tiene la capacidad de alcanzar altas velocidades en cortos periodos de tiempo. Una característica importante en la implementación de este tipo de motor a sistemas de tracción eléctrica es su relativa sencillez de instalación además de ser más segura, si ocurre una falla en el motor no se crea un cortocircuito en la batería, sino que por efecto del inversor averiado simplemente se detiene el vehículo (Camacho & Guevara, 2014, p. 8).

2.2.6. Fórmulas para cálculo de potencia para selección de motor eléctrico

En base a las fuerzas que actúan sobre un vehículo en pendiente se realiza el análisis de estos, en la siguiente imagen se ilustra las fuerzas que actúan sobre el vehículo (Gillespie, 1992).

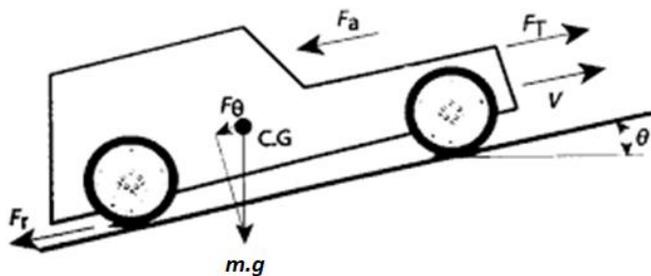


Figura 4-2: Fuerzas actuantes en un vehículo

Fuente: Gillespie, 1992.

Ecuación 1-2: Fórmula de la potencia del motor

$$Potencia = F_{te} * V_{max} \quad (Ec. 1)$$

Donde:

F_{te} = Fuerza total de tracción

V_{max} = Velocidad maxima

Ecuación 2-2: Fórmula de fuerzas de arrastre del vehículo.

$$F_{te} = F_{peso} + F_a + F_{ar} + m * a \quad (Ec. 2)$$

Donde:

F_{peso} = Fuerza del peso en pendiente

F_a = Fuerza de fricción aerodinamica contra el viento

F_{ar} = Fuerza de fricción entre neumático y calzada

m = Masa

a = Aceleración

Ecuación 3-2: Fórmula de la fuerza del peso en pendiente

$$F_{PESO} = m * g * \text{sen}\theta \quad (Ec. 3)$$

Ecuación 4-2: Fórmula de la fuerza de fricción aerodinámica contra el viento.

$$F_a = \frac{1}{2} * A_{fr} * c_d * \rho * (vel_t)^2 \quad (Ec. 4)$$

Donde:

F_a = Fuerza aerodinámica

A_{fr} = Area frontal del vehiculo

c_d = coeficiente aerodinámico

ρ = densidad del aire

vel_t = velocidad del vehiculo \pm velocidad del viento

Ecuación 5-2: Fórmula de la Fuerza de fricción entre neumático y calzada

$$F_{ar} = U_{rr} * m * g * \cos\theta \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

F_{ar} = Fuerza de arrastre

U_{rr} = Coficiente de rozamiento dinámico entre neumático y asfalto

m = masa del vehiculo

g = gravedad

θ = ángulo de pendiente

Ecuación 6-2: Fórmula de la potencia real requerida del motor

$$P_m = \frac{\text{potencia}}{\eta_m} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

η_m = Eficiencia del motor eléctrico

2.2.7. Sistema de transmisión de fuerza

Los elementos más usados para transmisión están los siguientes:

- Transmisión por banda
- Transmisión por cadena
- Transmisión por engranes
-

2.2.7.1. Transmisión por banda

Sistema el cual funciona mediante una banda de caucho proporcionando una transferencia de potencia a largas distancias como se observa en la figura 5 – 2, ofrece una transmisión sin la necesidad de una lubricación y además tiene la facilidad de transmitir la potencia a varios ejes. Las desventajas de este sistema de transmisión tienen una relación de transmisión no constante por el motivo de deslizamientos, deformaciones en la banda debido a grandes fuerzas presentes en el sistema de transmisión (Vargas et al., 2015, p. 47).

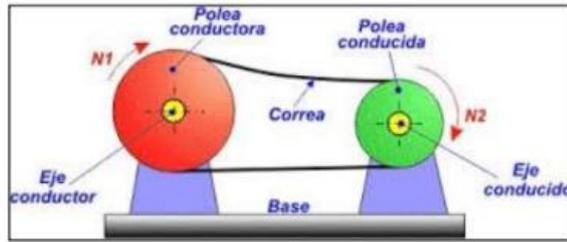


Figura 5-2: Transmisión por banda

Fuente: Rosero & López, 2018.

2.2.7.2. Transmisión por cadena

Sistema de transmisión implementado principalmente para transferir grandes cantidades de par y a velocidades altas y bajas. Las cadenas se realiza una adquisición mediante la disposición del número de dientes de las catalinas disponibles, en la figura 6 – 2 se observa la configuración de los elementos. Las ventajas que proporciona este sistema al igual que de banda tiene la capacidad de transmitir potencia a largas distancia, además tiene una gran aceptación de uso y ofrece un rendimiento de 0.94 a 0.98 (Pardo, 2016, p. 16).



Figura 6-2: Transmisión por cadena

Fuente: Pardo, 2016.

2.2.7.3. Transmisión por engranes

El sistema de engranes es comúnmente encontrar en sistemas de transmisión de vehículos como la caja de velocidades, en este sistema depende netamente de los números de dientes de cada engrane para generar la relación de transmisión. Una transmisión por engranes la relación de transmisión es constante e independiente de cargas, ofrece seguridad en la transmisión y un rendimiento elevado de 0.93 a 0.99 (Zúñiga, 2014, p. 19).

Las desventajas de este sistema dependen de un contacto entre los dientes de los engranes, se observa en la figura 7 – 2, el cual va a necesitar de una lubricación, al instante de funcionamiento generara ruido y los costos de instalación son elevados (Rosero y López, 2018, p. 18).

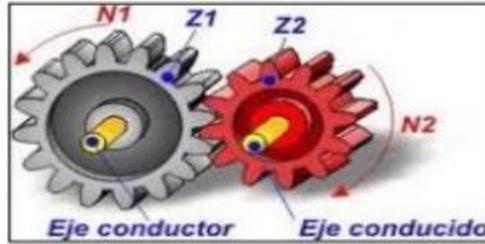


Figura 7-2: Transmisión por engranes

Fuente: Rosero & López, 2018.

2.2.8. Fórmulas para el cálculo para la Relación de transmisión

La relación de transmisión es un factor importante en la transmisión de potencia, que se puede definir como la relación que existe entre la velocidad de salida y la velocidad de entrada, esto además permite variar el torque de salida con respecto al torque de entrada.

Para realizar el cálculo de la relación de transmisión del vehículo prototipo, debemos considerar la siguiente formula 7 – 2 descrita a continuación.

Ecuación 7-2: Relación de transmisión

$$N_1 * Z_1 = N_2 * Z_2 \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

N_1 = velocidad del piñón del motor eléctrico.

Z_1 = numero de dientes del piñón del motor eléctrico.

N_2 = velocidad del piñón del eje motriz.

Z_2 = numero de dientes del piñón del eje motriz.

2.2.9. Batería

La definición de batería se la puede describir como un acumulador o conjunto de acumuladores de electricidad, la batería es un dispositivo conformado por una o más celdas electroquímicas que pueden convertir la energía química en energía eléctrica.

Existen dos tipos de baterías, las que consumen su energía almacenada y ya no pueden volver a cargarse por lo que deben ser desechadas y las baterías que tienen la capacidad de reactivarse al aplicarles al paso de corriente eléctrica por un periodo de tiempo prolongado de manera contraria al flujo normal de corriente de la batería (Jaume, 2017, p. 6).

El campo de aplicación de baterías es muy amplio yendo desde pequeños dispositivos que utilizan baterías de bajas capacidades con unos cuantos cientos de miliamperios-hora, hasta aplicaciones

dentro de la industria automotriz con baterías que requieren medianas y altas capacidades con decenas e incluso cientos de amperios-hora (Peña, 2011, p. 16).

2.2.10. Parámetros electroquímicos de baterías recargables

El rendimiento de la batería depende en gran medida de las características de fabricación de sus celdas o elementos, entre los parámetros más importantes de una batería que se debe tener en cuenta son:

2.2.10.1. Fuerza electromotriz, voltaje o potencial (E)

Esta fuerza se mide en voltios y viene dada por la diferencia entre los potenciales redox, de los materiales activos tanto en el ánodo como el cátodo. Es importante que el potencial sea alto, ya que esto permite reducir el número de celdas que deben ser conectadas en serie para elevar el voltaje nominal de la batería (Amarilla, 2011, p. 119).

2.2.10.2. Capacidad específica (Q)

Este parámetro nos indica la cantidad total de carga eléctrica que la batería es capaz de almacenar, la unidad que se utiliza usualmente para identificar esta característica es el amperio-hora (Ah) (Amarilla, 2011, p. 119).

2.2.10.3. Energía específica (W)

Este parámetro indica la cantidad de energía eléctrica que se puede almacenar en la batería, este parámetro es muy importante debido a que une los dos parámetros mencionados anteriormente, la fuerza electromotriz y la capacidad específica. La energía específica puede calcularse como el producto de la fuerza electromotriz por la capacidad específica, sobre el peso de la batería (Amarilla, 2011, p. 119).

2.2.10.4. Ciclos de vida (E)

Los ciclos de vida de una batería se determinan como los ciclos de carga sobre los ciclos de descarga (carga/descarga), sin que este alcance una carga inferior al 80% de la carga nominal, para vehículos eléctricos es recomendable tener un mínimo de 500 ciclos de vida (Amarilla, 2011, p. 119).

2.2.11. Tipos de baterías más usadas en vehículos eléctricos

La industria automotriz ha empleado diferentes tipos de baterías ya sea para alimentar los sistemas eléctricos y electrónicos de vehículos de combustión interna, como para generar sistemas de tracción eléctricos en vehículos híbridos y vehículos eléctricos, siendo cuatro tipos de baterías las más utilizadas, cada una diferenciada claramente por el material usado en su elaboración así como sus capacidades y características técnicas, siendo estas las tradicionales baterías plomo-ácido, baterías de níquel-cadmio, baterías de níquel-hidruro metálico y las baterías de litio.

2.2.11.1. Baterías PLOMO-ÁCIDO

Las baterías de plomo-ácido son las más comunes en la industria automotriz, sobre todo en vehículos convencionales de tracción de motor de combustión interna. Este tipo de baterías suelen ser fabricadas de 6V y 12V nominal, gormadas por celdas de dos voltios cada una. Tienen una gran capacidad de descarga en periodos de tiempo breve, cumpliendo principalmente la función de arrancar motores de combustión interna. Las baterías Plomo-ácido están formadas por un depósito de ácido sulfúrico y en su interior una seri de placas de plomo, arregladas de forma alterna batería (Jaume, 2017, p. 6).

El uso de estas baterías tiene tanto aspectos positivos como negativos de acuerdo con la funcionalidad y uso que se las da.

Ventajas:

- Gran capacidad para suministrar corrientes altas durante la descarga.
- Baja tasa de auto descarga (5% mensual).
- Eficiencia por encima del 80%.
- Facilidad de reciclaje.

Desventajas:

- Excesivo peso.
- Energía específica baja, menor a 30 Wh/kg, ineficiente para vehículos híbrido y eléctricos.
- Largos periodos de carga.
- Resistencia baja a las descargas accidentales y a la sobrecarga.
- Corrosión elevada en los bornes.
- Requieren mantenimiento periódico.

Estas baterías son las primeras en ser desarrolladas, por lo que han ido evolucionando a lo largo del desarrollo automotriz, a pesar de la evolución tecnológica que han tenido estas baterías y funcionar eficientemente en vehículos de motor de combustión interna, no cumplen con los requerimientos de vehículos con sistemas de tracción eléctrica.

2.2.11.2. *Baterías NÍQUEL-CADMIO*

Las baterías níquel-cadmio estas compuestas por un ánodo de hidróxido de níquel, mientras su cátodo este compuesto por cadmio y un electrolito de potasio, la combinación de estos materiales, hace posible poder recargar este tipo de baterías una vez que se agota, permitiendo de manera eficiente su reutilización, a pesar de estos, carece de alta densidad energético llegando a tener un máximo de 50Wh/Kg, sin embargo puede soportar sobrecargas sin sufrir daños, es decir que puede seguir conectado a la carga una vez haya sido cargado completamente, sin averiarse (Jaume, 2017, p. 16).

Este tipo de baterías superan en características y prestaciones técnicas a las baterías plomo-ácido y a continuación se presenta las ventajas y desventajas de estas baterías níquel-cadmio.

Ventajas:

- Buen desempeño en temperaturas entre -40 °C y 60 °C
- Permite sobrecarga sin malograrse
- Altos ciclos de vida mayor a 1500 ciclos

Desventajas:

- Elevado costo
- Altamente contaminante debido a la presencia de cadmio
- Tasa de auto descarga alta, mayor a 10%
- Tensión nominal por celda baja, 1,2 V por celda
- A elevadas temperaturas, tiene un deterioro prematuro

A pesar de ser superiores en prestaciones a baterías de plomo-ácido, para vehículos híbridos y de tracción eléctrica, no proveen suficiente autonomía a este tipo de vehículos.

2.2.11.3. *Baterías de NÍQUEL-HIDRURO METÁLICO*

Son consideradas la evolución de las baterías níquel-cadmio, utilizan un ánodo de hidróxido de níquel, mientras su cátodo este compuesto por un electrolito de potasio y una aleación de metal, capaz de insertar hidrogeno de manera electroquímica y de manera reversible (Amarilla, 2011, p. 125).

Estas baterías están formadas por celdas de 1,2 V de tensión nominal al igual que las baterías níquel -cadmio, sin embargo, las baterías níquel-hidruro metálico tienen un aumento de capacidad, menor peso y efecto memoria frente a las baterías níquel-cadmio (Peña, 2011, p. 26).

Ventajas:

- Mayor densidad energético frente a las baterías NiCd
- Densidad energética entre 60 a 80 Wh/Kg
- Permiten carga rápida que duran entre 1 a 3 horas

- Su carga rápida permite el uso de sistemas frenos regenerativos
- Bajo impacto ambiental frente a las baterías NiCd
- Son libre de mantenimiento

Desventajas:

- Ciclos de vida relativamente bajos entre 300 y 600 ciclos de vida
- Costos altos, pueden llegar a costar cuatro veces más que una batería plomo-ácido
- Auto descarga elevada, entre 15 a 20 % cada mes
- No soportan fuertes descargas

Por sus mejoras técnicas este tipo de baterías son utilizadas en vehículos híbridos de tracción tanto eléctrica como de combustión interna, sin embargo, para vehículos eléctricos no son óptimos por su bajo voltaje por celda que para llegar al voltaje de funcionamiento de motores eléctricos deben conectarse en serie un gran número de celdas lo que produce un aumento notorio de peso.

2.2.11.4. *Baterías de ion-LITIO*

Este tipo de baterías fueron estudiadas en la década de los setenta y ochenta, siendo en el año de 1991 la primera vez que fueron comercializados por SONY, su desarrollo tomó importancia conjuntamente con el desarrollo de teléfonos móviles que para entonces utilizaban baterías de níquel-cadmio, el voltaje por celda se encuentra entre 3,3 y 3,7 V muy por encima de otras baterías. Su alta eficiencia y densidad energética hicieron que la industria automotriz pusiera su atención al desarrollo de baterías de ion-litio, siendo estas las baterías con mejores características técnicas para la implementación de sistemas de tracción eléctrica por la alta autonomía que estos vehículos pueden tener con baterías de ion-litio (Amarilla, 2011, p. 130).

Ventajas:

- Elevada densidad energética entre 80 a 170 Wh/Kg
- Alto ciclo de vida, aun después de 1000 ciclos, estas baterías retienen una eficiencia del 90%
- Moderado impacto ambiental
- Es libre de mantenimiento
- Bajo efecto de auto descarga

Desventajas:

- Costos elevados, actualmente son las baterías más costosas del mercado automotriz
- Disminución de prestaciones en elevadas temperaturas, mayores a 50 °C
- Acelerada degradación en condiciones de abuso de sobre descarga o sobrecarga.
- Requieren un circuito de seguridad para mantener el voltaje durante la carga y descarga.

2.2.11.5. Fórmulas para selección de batería

Para determinar la energía necesaria en la batería se deberá considerar la aplicación de las siguientes ecuaciones (Mehrdad , y otros, 2018)

Ecuación 8-2: Potencia de tracción

$$P_{traction} = F_{te} * v \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

F_{te} = Fuerza total de arrastre

v = Velocidad

Ecuación 9-2: Potencia de la línea de transmisión

$$P_{drive\ line} = \frac{P_{traccion}}{\eta_g * (1-s)} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

η_g = Eficiencia de la transmisión

s = Deslizamiento

Ecuación 10-2: Energía de la batería

$$E = P_{drive\ line} [Kw] * \frac{d[km]}{v[km/h]} \quad (\text{Ec. 10})$$

Ecuación 11-2: Energía real de la batería

$$E_{bat} = \frac{1}{\eta_{bat}} * \frac{1}{\eta_m} * \frac{1}{\eta_{inv}} * \frac{1}{(SOC_{max} - SOC_{min})} * E \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

η_{bat} = eficiencia de la batería

η_m = Eficiencia del motor eléctrico

η_{inv} = Eficiencia del inversor

SOC_{max} = Estado de carga maximo de la batería

SOC_{min} = Estado de carga mínima de la batería

2.2.12. Inversores de corriente y voltaje

La función de un inversor consiste en la transformación de un voltaje o corriente de alimentación DC a un voltaje o corriente AC de salida, con frecuencia y magnitud ajustables.

2.2.12.1. Inversor de voltaje

- *Inversor de modulación de ancho de pulso.* – este inversor consiste en una alimentación de voltaje DC, donde un diodo rectifica el voltaje de línea dado que este controla la amplitud y frecuencia de voltaje de salida que va a estar en AC. Este resultado es obtenible gracias a la modulación de ancho de pulsos de conmutadores y por esto se les denomina inversores PWM (Costales, & Romo, 2002, p. 13).
- *Inversor de onda cuadrada.* – “este inversor el voltaje de entrada DC ajusta la magnitud del voltaje de salida AC, el inversor controla solamente la frecuencia del voltaje de salida. El voltaje de salida AC tiene una forma de onda similar a una cuadrada” (Costales, & Romo, 2002, p. 13).
- *Inversor monofásico con cancelación de voltaje.* – en este inversor la salida es monofásica, lo cual permite controlar la frecuencia y magnitud de salida, en la figura 8 – 2 se observa el circuito de un inversor monofásico. Si la entrada hacia en inversor es de forma constante y los conmutadores no son modulados por el ancho de pulso, la forma de onda va a ser de forma cuadrada, en la figura 9 – 2 se observa esta onda. Este inversor combina las características de los inversores de ancho de pulso y de onda cuadrada (Costales, & Romo, 2002, p. 13).

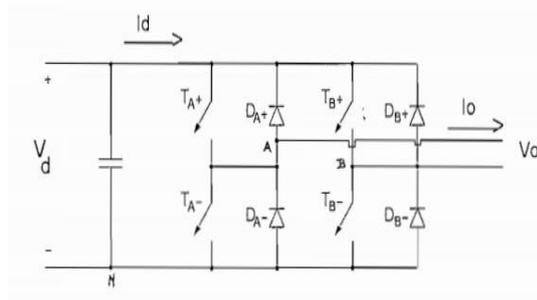


Figura 8-2: Inversor monofásico

Fuente: Costales & Romo, 2002, p. 14.

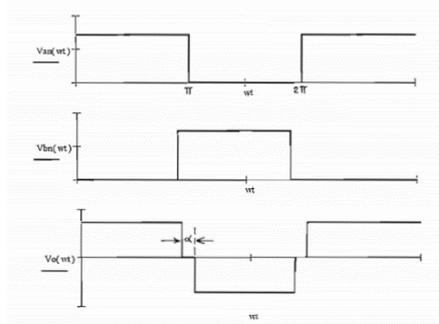


Figura 9-2: Forma de onda fase-neutro

Fuente: Costales & Romo, 2002, p. 14.

2.2.12.2. Inversor de corriente

Estos inversores se aplican generalmente en industrias y sistemas de tracción debido a su configuración robusta y confiable ante posibles casos de cortocircuitos y ruidos ambientales. Además, ofrece pulsaciones de torque u otros problemas que se presenten en el sistema, esto se evita con la modulación PWM. En la figura 10 – 2 se presenta la estructura del inversor con alimentación AC – DC (Costales & Romo, 2002, p. 18).

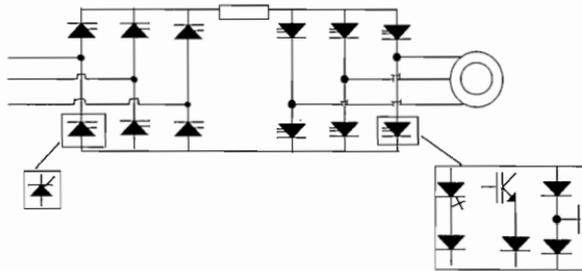


Figura 10-2: Estructura de inversor AC – DC

Fuente: Costales & Romo, 2002, p. 18.

2.2.13. Controlador

Para la gestión del motor se utiliza un microprocesador que funciona por PWM (*Pulse Width Modulation*), que trabaja sobre un conjunto de transistores mosfet de alta potencia dispuestas en forma de puente H, (este circuito de transistores permite el control y gestión de motores de corriente continua), así logrando hasta un 97% de eficiencia de conmutación en los transistores. La disposición H en cuatro cuadrantes permite que tanto el cuadrante uno como el cuatro, entreguen la energía de la batería al motor, permitiendo la aceleración y movimiento del vehículo, mientras que los cuadrantes restantes, el cuadrante dos y tres, actúan en la regeneración de energía, esto mientras el vehículo se encuentra en desaceleración, lo que permite la recarga de la

batería y ende el aumento de autonomía. Al usar un motor de corriente continua, el controlador permite un trabajo más preciso, tomando parámetros como la señal de posición del acelerador, sensor de frenado, señal de la batería y el sentido de giro del motor (Rocha et al., 2017, p. 32).

2.2.14. BMS

Los dispositivos electrónicos han ido evolucionando y con estos sus sistemas de almacenamiento de energía, lo cual han desarrollado cada vez mejores baterías, en telefonía móvil se puede evidenciar de manera directa, pues hace algunos años estos dispositivos no requerían baterías de alta densidad energética, en la actualidad muchos dispositivos electrónicos requieren cada vez más energía para alargar la autonomía de funcionamiento, pero con el desarrollo de baterías de mayor capacidad vienen también el desarrollo de sistemas de gestión de batería, es por eso que el desarrollo del Gestor de carga de Batería BMS (*Battery Management System*) es importante en la gestión energética de los dispositivos, debido a que estos gestionan con facilidad la zona de funcionamiento seguro SOA (*Safe Operating Area*), lo que evita daño prematuro en la batería, además de reducir el riesgo de incendio de la batería. Actualmente la gran mayoría de dispositivos eléctricos y electrónicos cuentan con este sistema de protección para la batería. (Huerta, 2014)

La principal función de un sistema de gestor de carga de batería BMS es asegurar el correcto funcionamiento de la batería, para realizar esta función el BMS realiza diferentes operaciones las cuales son:

- Toma de datos
- Determinación del estado de carga
- Controla la carga y descarga de la batería
- Gestión del estado térmico
- Gestión de seguridad
- Comunicación con el usuario mediante una interfaz

No todos los sistemas de BMS realizan todas estas operaciones, sino, que depende de la complejidad de la batería y sobre todo la aplicación donde se la va a implementar, en aplicaciones más complejas el BMS puede realizar todas las operaciones anteriormente nombradas, mientras en sistemas más simples puede ser necesario tan solo realizar un menor número de dichas operaciones, el ingeniero definirá el grado de complejidad y el número de operaciones necesarias y óptimas para el correcto funcionamiento del dispositivo implementado con baterías de litio y BMS (Fernández, 2017, p. 25).

En la implementación de sistemas de tracción eléctrica con motores de corriente continua este dispositivo BMS es muy importante para la salud de la batería y la seguridad de los ocupantes del vehículo.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diagrama de etapas del proyecto

En la Figura 1 – 3. Se muestra un diagrama de flujo que describe los pasos de la elaboración del proyecto, presenta los pasos realizados en capítulos anteriores, presentes y futuras elaboraciones, es fundamental conocer todas las etapas desde el primer capítulo que esta con el planteamiento del problema, con su respectiva justificación, planteamiento de objetivos y revisión bibliográfica. En el segundo capítulo consiste en la elaboración del marco teórico que describirá los temas referentes al proyecto, aplicación de citas bibliográficas. En el capítulo tres se describe la metodología a seguir para una elaboración correcta del proyecto.

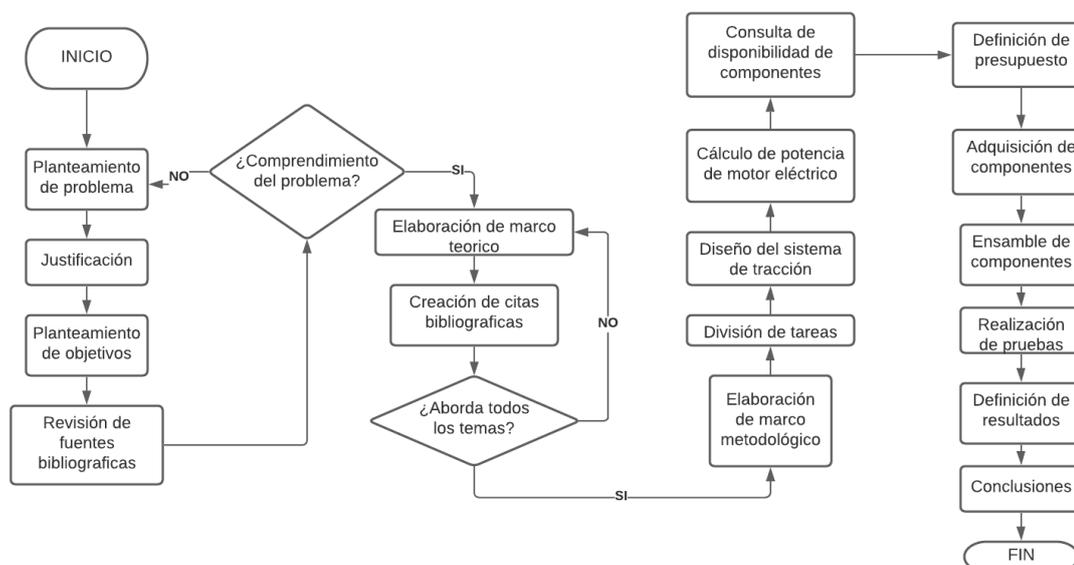


Figura 1-3: Diagrama de etapas del proyecto

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

3.2. Metodología de investigación a realizar

Para lograr el objetivo de Implementar un sistema de tracción eléctrico a un vehículo prototipo de tres ruedas mediante el análisis y selección de los elementos idóneos que permita reducir el esfuerzo humano durante el desplazamiento del vehículo, se ha considerado diferentes métodos de investigación para ser aplicados en cada uno de los objetivos específicos, esto permitirá alcanzar de manera correcta los objetivos planteados en esta tesis. En la tabla 1 - 3 se puede apreciar los métodos considerados para cumplir con cada objetivo del proyecto, además de las técnicas e instrumentos a implementar.

Tabla 1-3: Metodologías de investigación implementadas para cumplir todos los objetivos del proyecto

Objetivo	Preguntas	Método	Técnicas	Instrumentos
Realizar la recopilación bibliográfica mediante el uso de plataformas de investigaciones científicas, para la fundamentación teórica del funcionamiento del sistema	¿En qué consiste un sistema de tracción eléctrico de un vehículo?	Cuantitativo y cualitativo Revisión literaria	Revisar bibliografía en sitios especializados a investigación, referente al tema de sistemas de tracción eléctrica.	Internet Computadora
Determinar la potencia requerida para el sistema de tracción eléctrica mediante cálculos estudiados en la catedra de dinámica del vehículo usando los datos existentes del prototipo, proporcionados por el grupo de investigación SAPIA, para alcanzar una velocidad máxima de 50 Km/h en una pendiente máxima de 7.5%.	¿Qué parámetros se debe considerar para calcular las fuerzas de arrastre de un vehículo? ¿Cómo se puede calcular la potencia requerida de un motor para mover un vehículo?	Cuantitativo y cualitativo. Revisión literaria	Revisar bibliografía en libros de dinámica del vehículo, para comprobar mediante cálculos la potencia requerida por el motor para mover el vehículo con parámetros establecidos por los tesisas, tomando en cuenta las características del vehículo prototipo.	Libros de dinámica del vehículo
Generar un diseño óptimo para los componentes del sistema de tracción eléctrica, mediante el uso de software CAD-CAE para generar soportes que garanticen la seguridad de estos componentes.	¿Qué materiales son eficientes para la fabricación de una base para un motor?	Cuantitativo y cualitativo.	Realizar modelos de bases para implementar un motor eléctrico, realizar simulación de esfuerzos y deformación.	Software CAD-CAE Equipos de computo
Determinar los elementos óptimos para una correcta instalación del sistema de tracción eléctrica en el prototipo mediante	¿Qué tipo de motor eléctrico se puede implementar en una tracción eléctrica?	Histórico comparativo	Realizar una búsqueda de elementos necesarios para la implementación de tracción eléctrica y verificar la	Catálogos y páginas de proveedores de motores eléctricos,

la disposición del espacio existente, y revisiones de disponibilidad de los elementos en catálogos y páginas de proveedores	¿Qué tipos de motores eléctricos son comercializados en el País y la región?		disponibilidad en el país, o métodos de importación.	controladores y baterías.
Implementar el sistema de tracción eléctrica en el prototipo de tres ruedas mediante el uso de herramientas especializadas para completar la movilidad del vehículo prototipo.	¿Qué procedimientos se debe seguir para una correcta instalación de los equipos de la tracción eléctrica?	Sintético	Instalar los componentes de la tracción eléctrica en el prototipo mediante asesoría técnica	Diagramas de instalación, diseño CAD
Realizar pruebas de funcionamiento y autonomía de la tracción eléctrica en el vehículo prototipo de tres ruedas mediante pruebas de ruta para garantizar el correcto ensamble de los componentes y comprobar la capacidad de descarga de la batería.	¿Cuántos kilómetros de autonomía podemos esperar del sistema de tracción eléctrico?	Cuantitativos y cualitativos	Realizar pruebas en ruta para verificar que el sistema de tracción eléctrico funciona adecuadamente, además de recoger datos para verificar la autonomía de este mismo. Rectificar imperfecciones en el diseño de la transmisión.	Vehículo prototipo, una ruta de prueba.

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

3.3. Desarrollo del proyecto

3.3.1. Cronograma (planificación de actividades)

Tabla 2-3: Cronograma

Actividades	Duración de actividad (semanas)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Recolección y análisis de información.	■															
Redacción del capítulo 1: presentación, introducción, antecedentes, justificación, alcance y objetivos		■														
Análisis del estado del vehículo prototipo de tres ruedas.			■													
Redacción del capítulo II				■												
Cálculo de potencia requerida en el motor, batería y análisis de relaciones de transmisión en los piñones a ser implementados en el sistema de tracción eléctrico					■											
Búsqueda de disponibilidad de elementos en el mercado en base a cálculos						■										
Redacción del capítulo III							■									
Diseño y simulación de soportes para componentes del sistema de tracción eléctrica								■								
Implementación del sistema de tracción eléctrica en el vehículo									■							
Redacción del capítulo IV										■						
Primera presentación y revisión del trabajo de titulación, por parte del tutor encargado.											■					
Pruebas de funcionamiento del sistema												■				
Correcciones al sistema de tracción eléctrica													■			
Presentación y revisión del trabajo de titulación, por parte del tutor encargado.														■		
Redacción de conclusiones y recomendaciones															■	
Presentación formal del trabajo de titulación al tutor designado																■

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

3.3.2. Recursos y materiales

3.3.2.1. Presupuesto

Para realizar el trabajo de titulación se ha considerado dos tipos de costos directos y costos indirectos detallados en las siguientes tablas.

Tabla 3-3: Costos Directos

COSTOS DIRECTOS				
N°	Detalle	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	Motor eléctrico 7,5 KW, controlador EM200, acelerador y velocímetro	1	\$1500,00	\$1500,00
2	Batería de níquel metal hidruro, 72 voltios, 2089w, 29Ah.	1	\$511,95	\$511,95
3	Cadena de transmisión paso 4-28	1	\$50,00	\$50,00
4	Importación de motor eléctrico	1	\$600,00	\$600,00
			Total	\$2661,95

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

Tabla 4-3: Costos Indirectos

COSTOS INDIRECTOS				
	Detalle	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	Transporte	4	\$10,00	\$40,00
2	Hospedaje y alimentación	8	\$3,00	\$150,00
3	Imprevistos	1	\$100,00	\$100,00
			Total	\$290,00

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

3.3.2.2. Talento humano

Tabla 5-3: Costos de talento humano

TALENTO HUMANO	
Detalle	Precio Total
Asesoría externa	\$100,00
Asesoría de importación	\$100,00
Mano de obra	\$200,00
Total	\$400,00

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

3.3.2.3. Equipos y materiales

Tabla 6-3: Equipos y materiales

EQUIPOS				
N°	Detalle	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	Alquiler de soldadora	1	\$20,00	\$20,00
2	Alquiler de amoladora	1	\$20,00	\$20,00
3	Alquiler de taladro	1	\$20,00	\$20,00
			Total	\$60,00
MATERIALES				
N°	Detalle	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	Ángulos de acero al carbón	3	\$2,50	\$7,50
2	Placa de acero al carbón	4	\$5,00	\$20,00
3	Cable de alta tensión	6	\$5,00	\$30,00
4	Pernos de sujeción	20	\$0,50	\$10,00
5	Placa de acero ASTM A36	1	\$20,00	\$20,00
6	Catalina de 42 dientes paso 4-28	1	\$12,00	\$12,00
7	Piñón de 16 dientes paso 4-28	2	\$6,00	\$12,00
8	Catalina de 56 dientes paso 4 -28	1	\$15,00	\$15,00
			Total	\$126,50

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

Tabla 7-3: Costos totales

COSTOS TOTALES	
Detalles	Costos totales
Costos directos	\$2661,95
Costos indirectos	\$290,00
Talento humano	\$400,00
Equipos	\$60,00
Materiales	\$126,50
Total	3538,45

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

3.3.3. Desarrollo del proyecto

3.3.3.1. Bosquejo

En la siguiente Figura 2 – 3 se detalla la ubicación de los principales elementos del sistema de tracción eléctrico, tomando en cuenta parámetros como: distribución de espacio, el diseño de la carrocería y la seguridad de los ocupantes ante una posible fuga eléctrica.

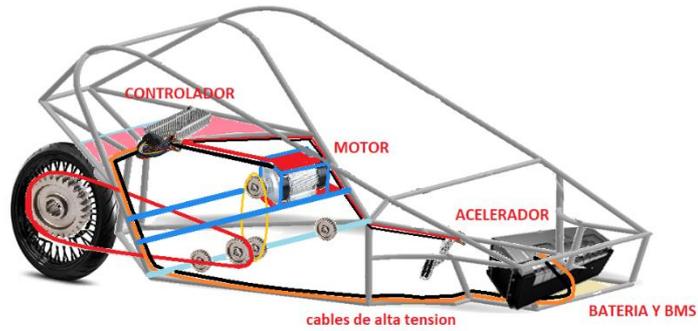


Figura 2-3: Bosquejo general el proyecto

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

3.3.3.2. Planos de diseño de base de motor eléctrico

Para la base del motor se toma en consideración la disponibilidad de espacio en el vehículo prototipo, así como las dimensiones del motor eléctrico, tomando estas medidas como dimensión a partir de la ficha técnica del motor, se diseña una base que soporte el peso del motor, así como las cargas que este produce, en la figura 3 – 3. se presenta las dimensiones de la base del motor eléctrico.

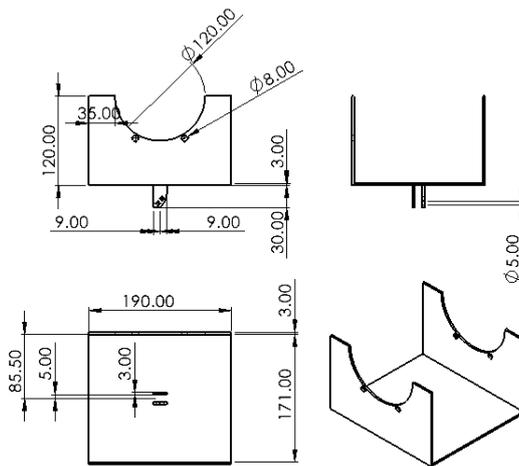


Figura 3-3: Planos de estructura de base de motor

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

3.3.3.3. Diseño de engranes para transmisión

El diseño de engranes tomando en cuenta las necesidades del vehículo, como lo son la velocidad en cada uno de los piñones y el número de dientes se puede observar en la figura 4 – 3. Se observa la composición de los piñones y catalinas a detalle en el anexo C.

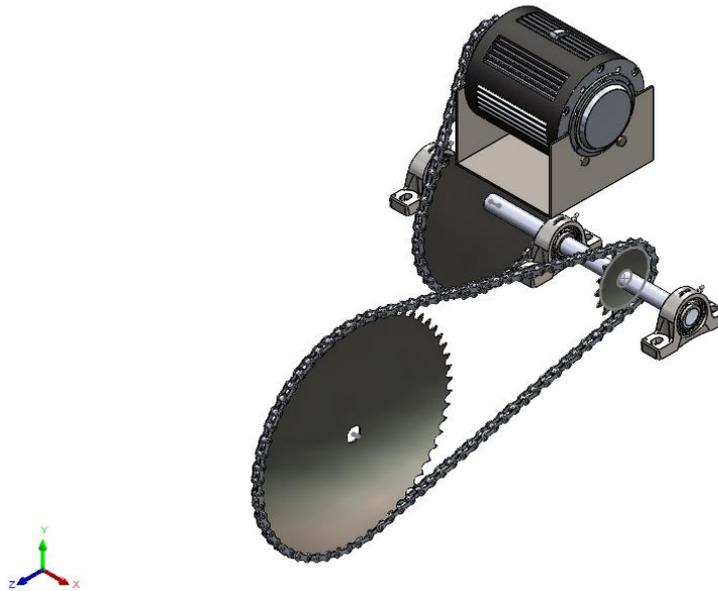


Figura 4-3: Diseño de disposición de piñones de transmisión

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

3.3.3.4. Simulación

En la figura 4 – 3 se muestra el diseño del soporte del motor que se va a elaborar, el cual está diseñado con un material acero ASTM A36

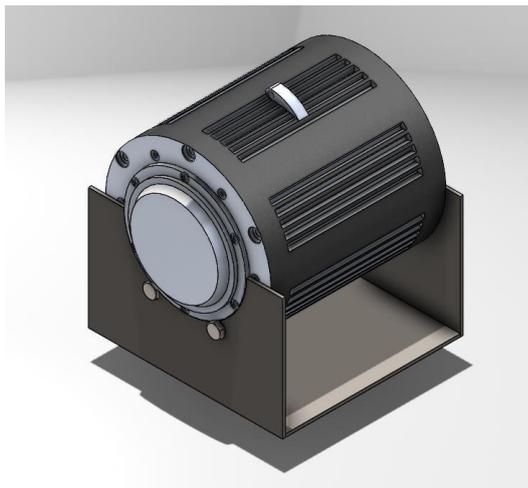


Figura 5-3: Base de motor

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

En la figura 5 – 3. Se muestra la simulación de un análisis estructural de la base del motor donde se da una deformación máxima de 0.3533 mm, en la zona donde se asienta el motor, para el análisis estructural se toma en cuenta una fuerza de 137.34 N que es el peso del motor eléctrico,

sobre la sección semicircular de la base, además se aplica un torque de 14.3 Nm sobre la misma sección.

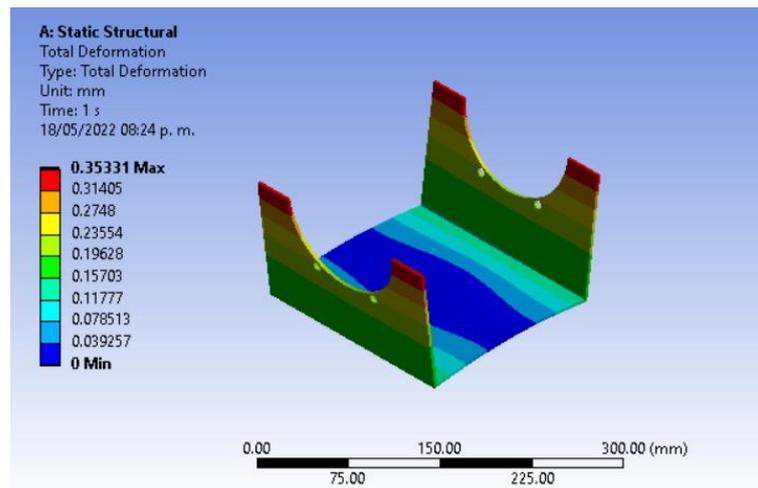


Figura 6-3: Deformación total

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

En la figura 7 – 3 se muestra el factor de seguridad que ofrece el soporte ante la carga del motor eléctrico. Se observa un factor de seguridad alto de 15, por lo que se puede decir que no va a existir inconvenientes con la operación con este elemento.

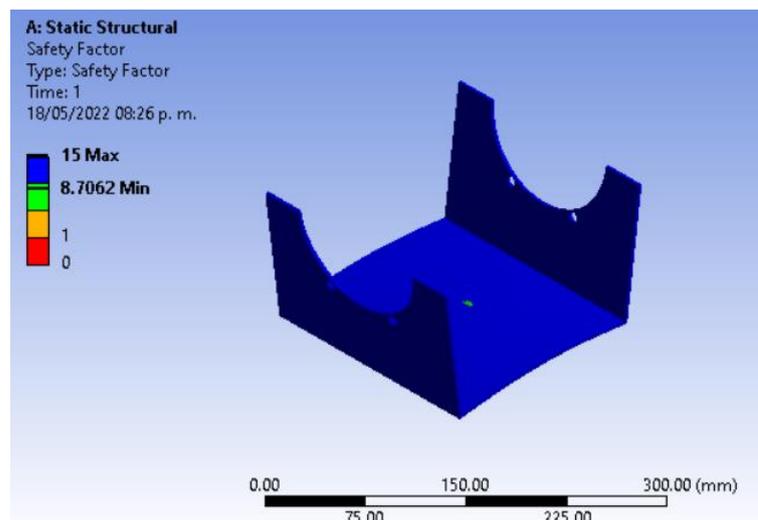


Figura 7-3: Factor de seguridad de base de motor

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

En la figura 8 – 3. Se diseñó del pedal para adaptar el acelerador de tipo manubrio.

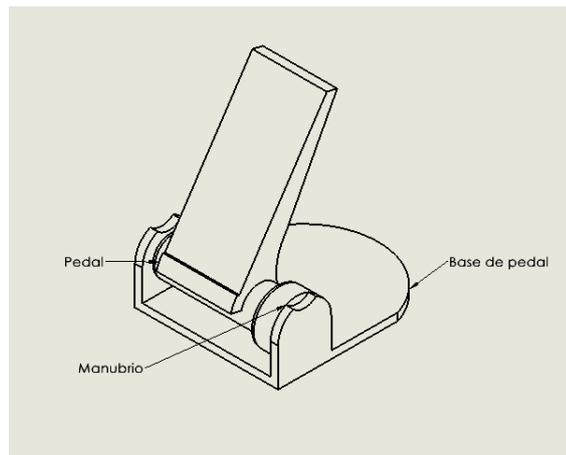


Figura 8-3: Diseño de pedal de acelerador

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

En la figura 9 – 3. Se presenta la simulación de la deformación total con un valor máximo de 2.70 mm, al aplicar una fuerza de 242.9 N que ejerce el pie de una persona de 80 kg. El material utilizado es el filamento FLA+ que tiene como valor de elasticidad de 2.3GPa. (3dlaboratorio, 2020)

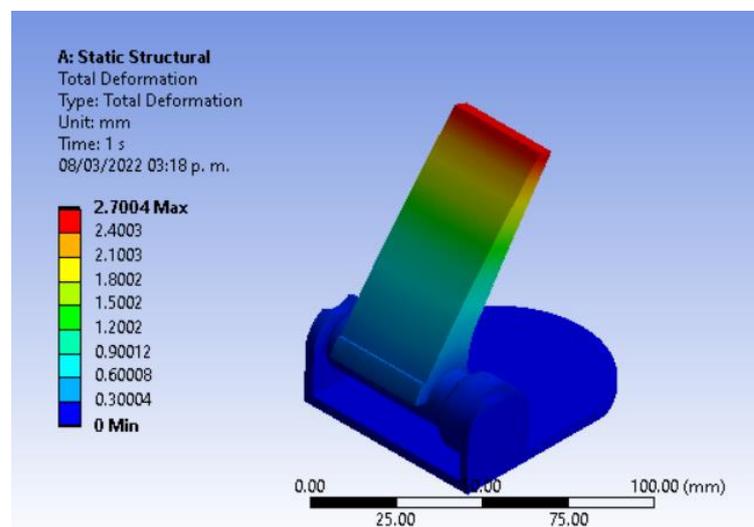


Figura 9-3: Deformación total del pedal

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

En la figura 10 – 3 se muestra el factor de seguridad de 3.67 del pedal, por lo que se puede decir que no va a existir inconvenientes con la operación con este elemento.

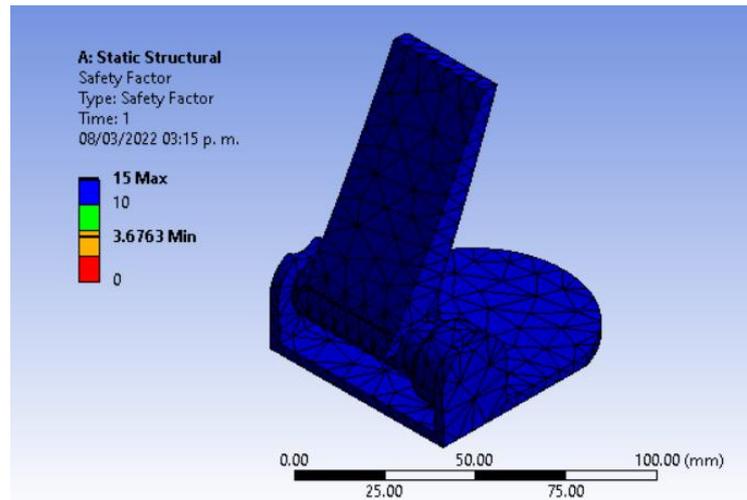


Figura 10-3: Factor de seguridad de pedal

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

3.3.3.5. Selección de motor eléctrico

Para la selección del motor eléctrico se toma en cuenta características físicas del vehículo prototipo como el peso y material para seleccionar los materiales que se empleen en la tracción eléctrica, tanto en la potencia, como el ensamble de la base donde se asentará y que este sea seguro.

El cálculo de la potencia necesaria del motor para la tracción se realiza en base a la ficha técnica del vehículo prototipo, siendo estas descritas a continuación en la tabla 8 - 3.

Tabla 8-3: Datos de prototipo

Datos del vehículo			
Descripción	Valor	Unidades	Símbolo
Peso bruto	420	Kg	m
Peso en vacío	245	Kg	m
Coefficiente aerodinámico	0,36	-	Cd
Velocidad máx.	12.50	m/s	V_{max}
Área frontal	1,651	m ²	A_{fr}
Velocidad del viento	2,77	m/s ²	-
Coefficiente de rozamiento dinámico entre neumático y asfalto	0,015	-	U_{rr}
Eficiencia del motor	90	%	n_m

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

Tomando en consideración los datos de la tabla 8 – 3 se aplican las fórmulas de dinámica del vehículo lo que permite encontrar la potencia del motor eléctrico necesaria para aplicar en la tracción, a continuación, se describe las fórmulas necesarias para realizar dicho cálculo.

La potencia mínima requerida en el motor para alcanzar una velocidad máxima de 45 Km/h y una pendiente de 7,5%, se aplica la dinámica del vehículo, tomando en cuenta las fuerzas que actúan sobre el vehículo en un plano inclinado, tal como se aprecia en la Figura 4 - 2.

Se consideró alcanzar la velocidad máxima en un tiempo de 15 segundos, por lo que se aplican las fórmulas de MRUV movimiento rectilíneo uniformemente variado, para hallar la aceleración, dando como resultado una aceleración de $a = 0.833 \text{ m/s}^2$.

Reemplazando en la ecuación 2 – 2 las ecuaciones 3 – 2, 4 – 2, y 5 – 2 y en función de los valores de la tabla 8 – 3, se obtiene las fuerzas de arrastre presentes en el vehículo.

$$F_{te} = F_{peso} + F_a + F_{ar} + m * a$$

$$F_{te} = m * g * \text{sen}\theta + \frac{1}{2} * A_{fr} * cd * \rho * (vel_t)^2 + U_{rr} * m * g * \text{cos}\theta + m * a$$

$$F_{te} = 420 * 9.81 * \text{sen}(7.5^\circ) + \frac{1}{2} * 1.615 * 0.36 * 1.19 * (13.27)^2 + 0.015 * 420 * 9.81$$

$$* \text{cos}(7.5^\circ) + 420 * 0.833$$

$$F_{te} = 799.99 \text{ N}$$

Aplicando el valor hallado en la ecuación 1 – 2, se obtiene la potencia del motor en este caso la velocidad máxima que se consideró fue de 45 km/h.

$$Potencia = F_{te} * V_{max}$$

$$Potencia = 799.99 \text{ N} * 12.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Potencia = 9999.8669 \text{ W}$$

Aplicando el valor hallado en la ecuación 1 – 2, se aplica la ecuación 6 – 2, considerando la eficiencia del motor del 90%, encontrando la potencia real del vehículo para alcanzar la velocidad esperada.

$$P_m = \frac{potencia}{\eta_m}$$

$$P_m = \frac{9999.8669}{90}$$

$$P_m = 11.111 \text{ KW}$$

$$P_m = 14.55 \text{ HP}$$

En la tabla 9 – 3 se resume los resultados encontrados de las fuerzas de arrastre que actúan sobre el vehículo.

Tabla 9-3: Resultados de cálculos para potencia de motor eléctrico

Resultados de fuerzas actuantes sobre el vehículo			
Descripción	Valor	Unidades	Simbología
Potencia del motor	9.99	KW	-
Fuerzas de arrastre del vehículo	799,989	N	F_{te}
Fuerza del peso en pendiente	307,49	N	F_{peso}
Fuerza de fricción aerodinámica contra el viento.	80,86	N	F_a
Fuerza de fricción entre neumático y calzada.	61,63	N	F_{ar}
Potencia real requerida del motor	11.111	KW	P_m
Potencia real requerida del motor	14.55	HP	P_m

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

Para la selección del motor eléctrico se consideró la potencia determinada mediante los cálculos, en este caso el motor que mejor se acopla a los parámetros establecidos en la tabla 9 – 3, es el motor 3 de la tabla 10 – 3.

Tabla 10-3: Motores eléctricos

Motor eléctrico	Voltaje (V)	Potencia (W) max	Eficiencia (%)	Velocidad (RPM)
Motor 1 KRMV1020	36	3000	90	3500
Motor 2 Kunray	72	6000	91	3600
Motor 3 QSMOTOR	72	13000	94	4000

Fuente: Aliexpress, sf

3.3.3.6. Ficha técnica de motor seleccionado

En función a la tabla 9 - 3 se consideró la adquisición del motor QSMOTOR con las siguientes características que se muestra en la tabla 11 – 3.

Tabla 11-3: Ficha técnica de QSMOTOR

Ficha técnica de QSMOTOR		
		
Especificaciones	Descripción	Unidades
Tipo de motor	BLDC In-Wheel Hub Motor	-
Marca	QS Motor	-
Potencia nominal	7500	W
Pico de potencia	13.5	KW
Voltaje nominal	72	V
Velocidad	4000	RPM
Par nominal	14.3	N*m
Par máximo	72	N*m
Corriente nominal	89	A
Eficiencia máxima	94	%
Peso	14	Kgf

Fuente: SIAECOSYS, sf.

3.3.3.7. Selección de batería

Aplicando las ecuaciones 8 – 2, se determina la potencia de tracción, el cual está en función de las fuerzas de arrastre del vehículo de la ecuación 2 – 2, en este caso el vehículo va a movilizarse a una velocidad crucero de 30 km/h, lo que quiere decir es que va a procurar ir a velocidad constante.

$$P_{traction} = 414.87 \text{ N} * 8.33 \text{ m/s}$$

$$P_{traction} = 3.4577 \text{ KW}$$

Una vez hallada la potencia de tracción se podrá calcular la potencia de línea de tracción mediante la ecuación 9 – 2. Para ello se considera la eficiencia de la transmisión de 0.95 y un deslizamiento de 0.1.

$$P_{drive\ line} = \frac{3.4577 \text{ KW}}{0.95 * (1 - 0.10)}$$

$$P_{drive\ line} = 4.0436 \text{ KW}$$

Reemplazando la ecuación 10 – 2 en la ecuación 11 – 2, cuyo objetivo es determinar la energía real en la batería. Para ello se considera una autonomía de 10 km a la velocidad crucero indicada anteriormente, los estados de carga máximos se consideran con un valor de máximo del 95% y un mínimo de 5%

$$E_{bat} = \frac{1}{\eta_{bat}} * \frac{1}{\eta_m} * \frac{1}{\eta_{inv}} * \frac{1}{(SOC_{max} - SOC_{min})} * P_{drive\ line} [Kw] * \frac{d[km]}{v[km/h]}$$

$$E_{bat} = \frac{1}{0.9} * \frac{1}{0.9} * \frac{1}{0.9} * \frac{1}{(0.95 - 0.05)} * 4.0436 [Kw] * \frac{10[km]}{30[km/h]}$$

$$E_{bat} = 2.0543 KW * h$$

Para encontrar la capacidad que debe tener la batería se aplica el criterio de energía es igual a voltaje por capacidad, en este caso se determina con un voltaje de 72 voltios debido a que es lo necesitado por el motor eléctrico implementado

$$E_{bat} = V * C$$

$$C = \frac{E_{bat}}{V}$$

$$C = \frac{2054.3 [W * h]}{72[V]}$$

$$C = 28.5319 A * h$$

Dado a los valores encontrados se considerará las baterías disponibles en el mercado que se muestra en la tabla 12 – 3. Dadas las características descritas en la tabla 12 – 3 de las baterías encontradas en el mercado y en función del valor encontrado de la energía necesaria de 2.05 KWh y una capacidad de 28.53 Ah para recorrer 10 Km, se selecciona la batería de Níquel Metal Hidruro, debido a que sus características que se ajustan a lo requerido.

Tabla 12-3: Baterías

Batería	Voltaje (V)	Potencia nominal (KWh)	Capacidad (Ah)	Peso (Kg)
Batería ion litio	72	1.440	20	7
Batería Ultracell 100Ah 12V GEL Ciclo Profundo	12	1.200	100	30.4
Batería Níquel Metal Hidruro	72	2.089	29	16

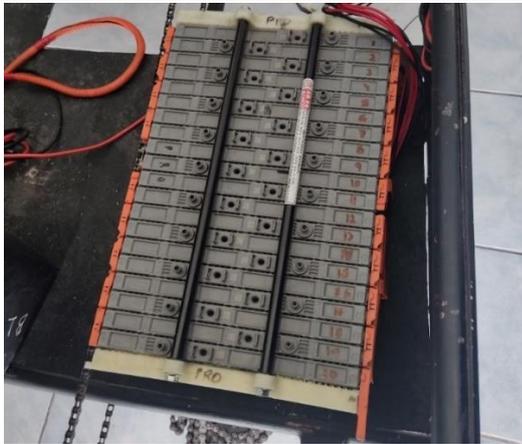
Fuente: mercadolibre, sf

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

3.3.3.8. Ficha técnica de batería seleccionada

En la tabla 13 – 3, se describe las características de la batería seleccionada para implementar en la tracción eléctrica.

Tabla 13-3: Ficha técnica de batería seleccionada

Ficha técnica Batería Níquel Metal Hidruro		
		
Especificaciones	Descripción	Unidades
Tipo de batería	Níquel Metal Hidruro (Ni-MH)	-
Potencia nominal	2.089	KWh
Voltaje nominal	72	V
Numero de celdas	10 (módulos)	-
Capacidad	29	Ah
Voltaje en celda	7.2	V
Intensidad en celda	6	A
Peso	16	Kg

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

3.3.3.9. Selección de piñones y catalinas de transmisión

Sabiendo que el motor ya viene con un piñón de 14 dientes, y que la velocidad del giro del motor es de 4000 RPM, se aplica la ecuación 7-2, en la cual se considera una catalina existente en el mercado de 32 dientes, obteniendo la primera relación de transmisión que va del motor eléctrico al eje de transmisión a la que llamaremos Rel_1 , adicional a esto al despejar la formula se encuentra la velocidad de salida en el eje de transmisión.

$$N_2 = \frac{N_1 * Z_1}{Z_2}$$

$$N_2 = \frac{4000rpm * 14}{32}$$

$$N_2 = 1750 rpm$$

En función de las velocidades encontradas se puede determinar la relación de transmisión de la primera sección de piñones de transmisión.

$$G = \frac{N_1}{N_2}$$

$$G = 2: 1$$

De la misma manera se aplica la ecuación 7-2 para calcular la relación de transmisión desde el eje de transmisión hacia la rueda motriz del vehículo prototipo, en este caso se considera que el objetivo es alcanzar una velocidad máxima de 45 Km/h, que es lo mismo que 385 RPM. Considerando la siguiente ecuación.

$$v = 2 * \pi * 3.6 * r * \frac{w}{60}$$

$$w = \frac{60}{v * 2 * \pi * 3.6 * r}$$

$$w = \frac{60}{45 \text{ (km/h)} * 2 * \pi * 3.6 * 0.31 \text{ (m)}}$$

$$w = 385 \text{ rpm}$$

El vehículo prototipo cuenta con un piñón en el eje de transmisión de 16 dientes que estará conectado mediante cadena a la rueda motriz, con estas consideraciones se procede a despejar la formula y encontrar el número de dientes en la catalina de la rueda motriz del vehículo.

$$Z_3 = \frac{N_2 * Z_2}{N_3}$$

$$Z_3 = \frac{1750 * 16}{385}$$

$$Z_3 = 72$$

En función de las velocidades encontradas se puede determinar la relación de transmisión de la segunda sección de piñones de transmisión.

$$G = \frac{N_1}{N_2}$$

$$G = 5: 1$$

Al encontrar las relaciones de transmisión en las dos secciones de piñones se multiplica estas relaciones para encontrar la relación de transmisión final entre el motor y la rueda motriz. Dando una relación de transmisión final de 10:1, es decir que, por cada 10 revoluciones del motor, la rueda motriz dará una vuelta.

En la tabla 14 - 3, se detalla los resultados de numero de dientes y velocidad en el piñón y las catalinas de la transmisión del vehículo prototipo.

Tabla 14-3: Resultados de relación de transmisión

Resultados de la relación de transmisión del vehículo		
Descripción	Velocidad (RPM)	Número de dientes
Piñón del motor	4000	14
Catalina eje de transmisión	1750	32
Piñón eje de transmisión	1750	16
Catalina rueda motriz	385	72

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

3.3.3.10. *Ensamble mecánico*

Paso 1. Instalación de catalinas y piñones en el eje de tracción.

Para el primer paso se instaló en base a la selección de las catalinas y piñones. En la figura 11 – 3 se observa el ensamble de la catalina conducida por el piñón del motor, se lo realizó mediante un proceso de torneado y soldadura.



Figura 11-3: Ensamble de catalinas y piñones en eje de tracción

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

Paso 2. Instalación del motor eléctrico en la base diseñada.

En el segundo paso se ensambla el motor eléctrico y su respectiva base realizada, se realiza los ajustes necesarios en los pernos de sujeción entre el motor y la base.

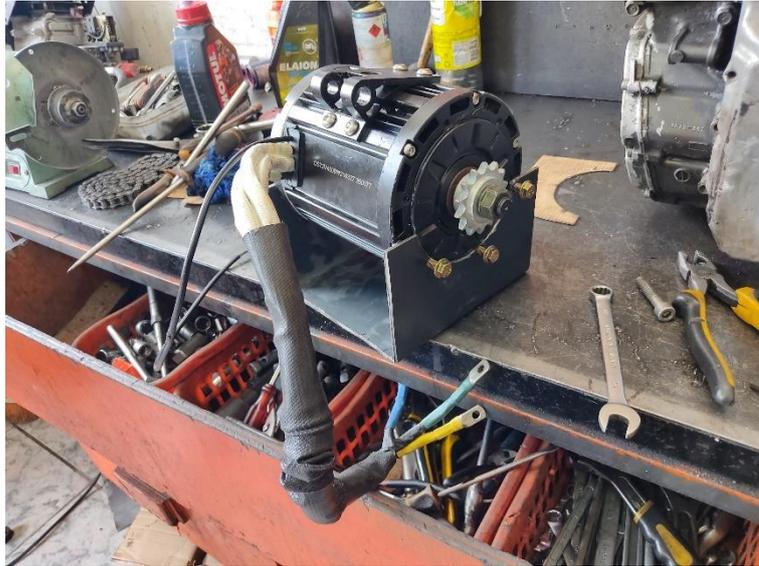


Figura 12-3: Montaje del motor eléctrico en la base diseñada

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

Paso 3. Ensamble de base de motor eléctrico en el prototipo.

En la figura 13 – 3. Se observa el ensamble que se realizó, el cual está instalado mediante dos pernos de acero de 3/8 de pulgada. Un perno está situado en la parte superior del motor eléctrico y el otro en la parte inferior de la base, los dos pernos sirven de anclas para que la base no se mueva.



Figura 13-3: Ensamble de base de motor eléctrico en el prototipo

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

Paso 4. Instalación de catalina en la rueda de tracción y cadena de transmisión.

En la figura 14 – 3. se observa la instalación de una catalina seleccionada mediante cálculos realizados y la disposición en el mercado.



Figura 14-3: Instalación de catalina en la rueda de tracción.

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

Paso 5. Ensamble de cadena entre el motor y el eje de tracción.

En el paso 5 se instala la cadena de transmisión que conecta el piñón del motor eléctrico y la catalina instalada en el eje de tracción.



Figura 15-3: Ensamble de cadena entre el motor y el eje de tracción.

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

Paso 6. Ensamble de pedal de acelerador.

En la figura 16 – 3 se observa la ubicación donde se instaló el pedal de aceleración, para ello se realiza dos perforaciones en el piso del prototipo para que el pedal que sujeto con 2 pernos y sus respectivas tuercas de sujeción.



Figura 16-3: Ensamble de pedal de acelerador

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

Paso 7. Instalación de controlador en el prototipo

En la figura 17 – 3 se observa la ubicación donde se ensambló al controlador, para ello se realizó cuatro perforaciones en la fibra de vidrio del prototipo y está sujeto mediante 4 pernos y sus respectivas tuercas.

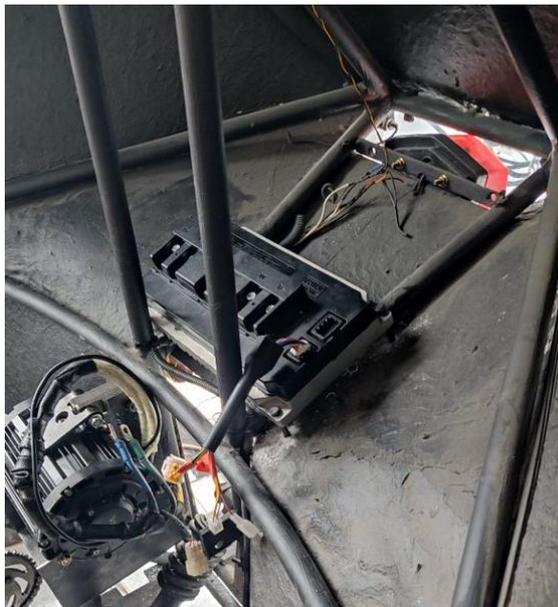


Figura 17-3: Ensamble de controlador de motor en el prototipo

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

3.3.3.11. *Ensamble eléctrico*

Paso 1. Revisión de cables de señal del controlador.

En la figura 18 – 3. Se observa el cableado de señal del controlador y el cableado que se conectara a los demás componentes de la tracción eléctrica.

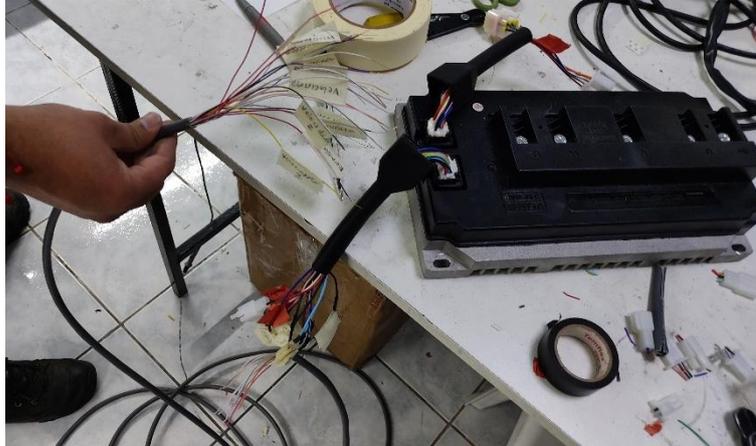


Figura 18-3: Revisión de cables de señal del controlador.

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

Paso 2. Conexión eléctrica entre el controlador y el motor eléctrico.

En este paso es importante tomar en cuenta las conexiones de las fases del motor eléctrico en el controlador, se conectó cada fase en su respectivo conector del controlador siendo las tres fases U, V y W, que de fabrica vienen con este distintivo tanto en los cables de las fases del motor, así como en el controlador, lo que brinda mayor seguridad al momento de conectar y evitar cometer errores de conexión.



Figura 19-3: Conexión eléctrica entre el controlador y el motor eléctrico.

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

Paso 3. Instalación de conector para la batería.

En la figura 20 – 3, se observa la instalación de un socket de 6 pines en la batería que este alimenta al motor eléctrico.

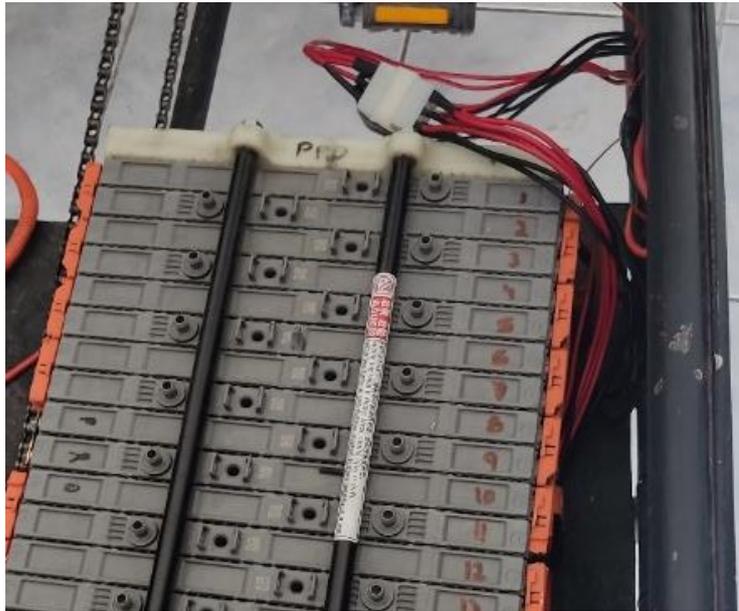


Figura 20-3: Instalación de conector para la batería.

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

Paso 4. Diagrama eléctrico

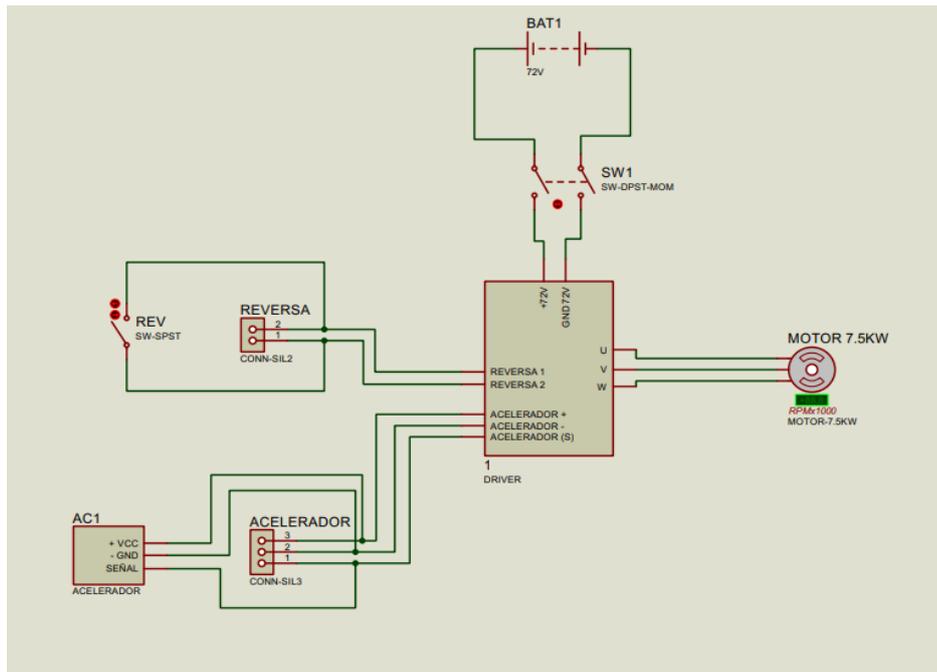


Figura 21-3: Diagrama eléctrico de conexiones

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

3.3.3.12. *Presentación final*

En las figuras 22 – 3 y 23 - 3 se observa el ensamble final tanto en parte mecánica y eléctrica de la tracción eléctrica del prototipo de tres ruedas.



Figura 22-3: Ensamble final

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021



Figura 23-3: Presentación final de prototipo

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Pruebas

Una vez realizado el ensamble de toda la tracción eléctrica en el vehículo prototipo se plantea realizar dos pruebas, esto con la finalidad de validar, que la selección de motor, así como los piñones y catalinas fueron correctas, además de confirmar la autonomía que es prototipo tendrá al usar la batería seleccionada.

Dichas pruebas son la prueba de aceleración y la prueba de autonomía.

4.1.1. *Prueba de aceleración*

En esta prueba de aceleración que se plantea realizar, se acelerará al vehículo prototipo desde el reposo, hasta alcanzar su velocidad máxima, para comprobar dos aspectos fundamentales con relación a lo esperado, si el vehículo alcanza la velocidad máxima planteada y el tiempo en que este tarda en alcanzar dicha velocidad máxima, de esta manera se compara los cálculos realizados en el dimensionamiento de la tracción eléctrica en el apartado de selección de motor eléctrico, así como en el apartado de selección de piñones y catalinas de transmisión, con los datos que se obtengan en la pruebas de funcionamiento reales.

Para la prueba de aceleración se plantea realizar en dos condiciones de ruta, en las cuales una será con la presencia de una pendiente de 7.5% de inclinación ascendente, y la otra condición de ruta será con la ausencia de pendiente.

Para obtener una mejor comprensión del comportamiento del vehículo durante esta prueba, se plantea realizar cinco registros de datos, para cada condición de ruta, que posteriormente se analiza y grafica dicho comportamiento en esta prueba.

4.1.1.1. *Instrumentos utilizados para la obtención de datos*

Para la obtención de resultados se realiza mediante la captura de datos en la aplicación “Torque Pro”, lo que permite obtener datos de velocidad y altitud en cada segundo, el cual se puede observar en la figura 1 – 4.



Figura 1-4: Aplicación "Torque PRO"

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021

Para la obtención de consumo de tensión se implementa un “logindata” el cual se observa en la figura 2 – 4, este sistema consta mediante implementaciones de Arduino el cual se puede observar en la figura 3 – 4.

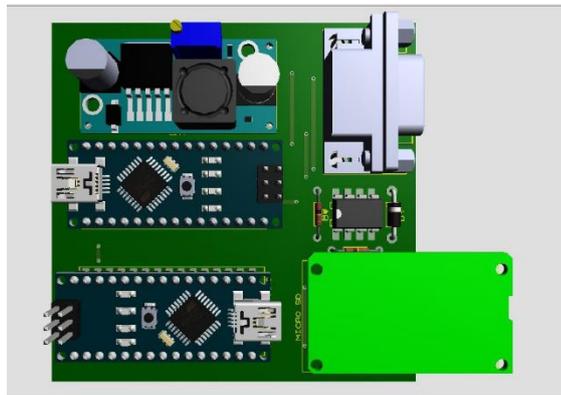


Figura 2-4: Tarjeta “logindata”

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021

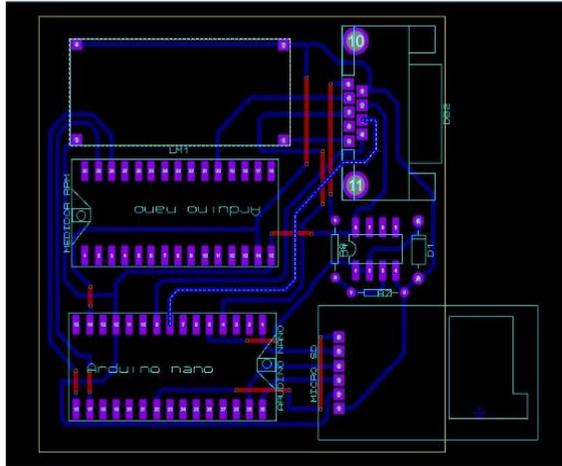


Figura 3-4: Circuito de “logindata”

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021

4.1.1.2. *Rutas usadas para la obtención de datos*

Para obtener los resultados del vehículo se realiza en dos condiciones diferentes siendo estas la prueba de ruta sin pendiente y la prueba de ruta en pendiente, se realiza 5 pruebas diferentes para cada una de las dos condiciones.

La prueba de ruta en plano se realiza en las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo en una ruta recta sin obstáculos, la cual se puede observar en la figura 4 – 4.



Figura 4-4: Ruta sin pendiente

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021

La prueba de ruta en pendiente se realiza de igual manera en las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, en una ruta recta sin obstáculos y con una visible pendiente, la cual se observa en la figura 5 – 4.

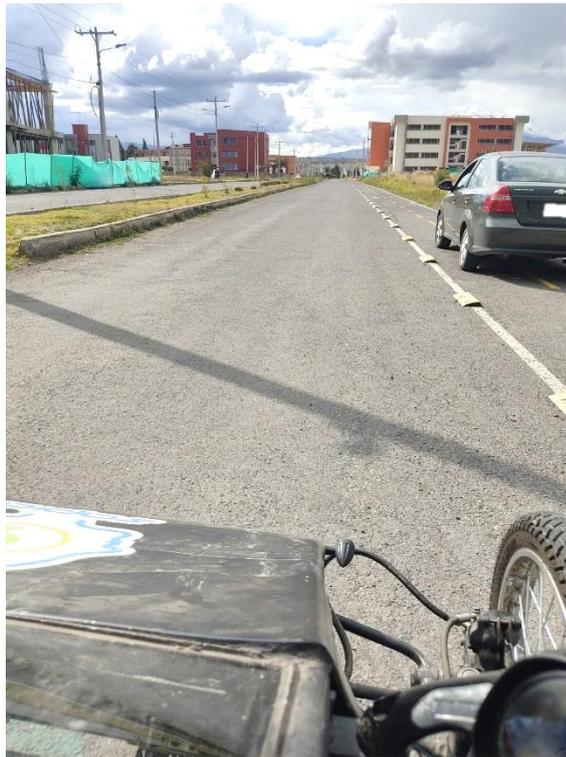


Figura 5-4: Ruta en pendiente

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021.

Mediante la aplicación troque pro es posible registrar la altitud en la que se realizan las pruebas, en este caso se desea determinar una pendiente con 7.5% de inclinación ascendente. En el gráfico 1 – 4, se observa la distancia recorrida y la altitud ascendida, obteniendo los resultados de pendiente en la tabla 1 – 4

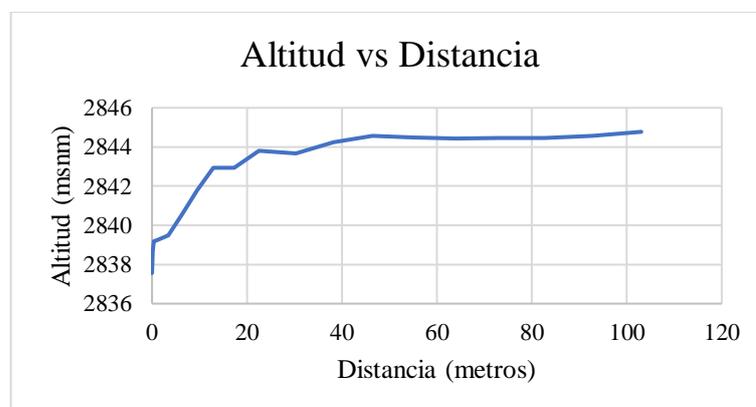


Gráfico 1-4: Altitud vs distancia recorrida

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021.

Tabla 1-4: Datos de porcentaje de pendiente

Delta altitud	7.211914	metros
Distancia	103.04	metros
Pendiente	7.00486733	%

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021

Con los resultados obtenidos del porcentaje de pendiente se observa que el resultado de la pendiente es muy similar a la que el equipo de trabajo requiere para realizar las pruebas de ruta del vehículo prototipo con presencia de pendiente ascendente, por lo que se considera factible la ruta y se procede a realizar las pruebas en ruta con el vehículo prototipo.

4.1.2. Prueba de autonomía

Para determinar la autonomía del prototipo se consideró el recorrido total que realizó a una velocidad crucero de 30 km/h, se aplicó la aplicación mostrada para la anterior prueba de aceleración la cual es “Torque pro”. En el con ello se determinó la distancia recorrida por el prototipo de tres ruedas. Esta prueba se realizó en la avenida “9 de octubre” de la ciudad de Riobamba.

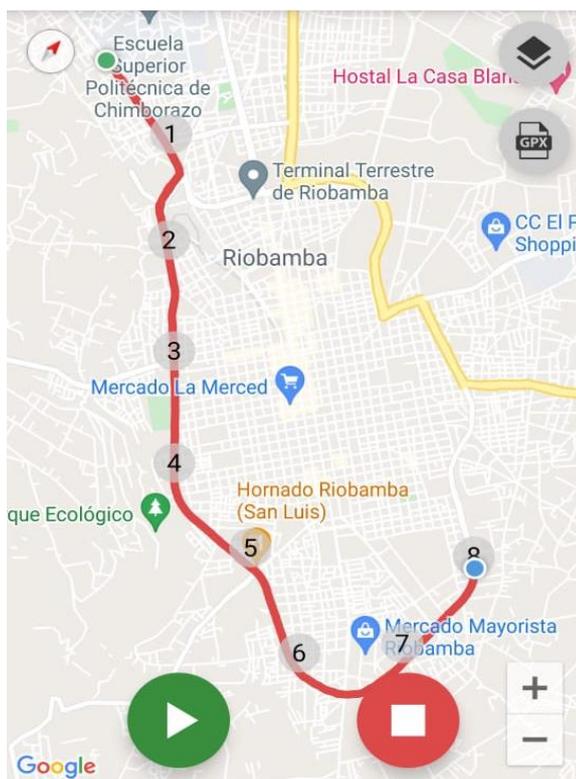


Figura 6-4: Ruta donde se realizó la prueba de autonomía

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021

Para esta prueba se considera los estados de carga máxima y mínima de la batería, siendo estos un SOC máximo de 82 voltios donde se observa en la figura 7 – 4 y un mínimo de 62 voltios donde se observa en la figura 8 – 4.



Figura 7-4: SOC máximo de batería

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021



Figura 8-4: SOC mínimo de batería

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021

4.2. Análisis de resultados

4.2.1. Análisis de pruebas de aceleración

4.2.1.1. Análisis de resultados de las pruebas sin pendiente

En base a los datos obtenidos en la aplicación, se realiza el análisis de los datos de velocidad y tiempo, obtenidos en la ruta sin pendiente, dando como resultado el gráfico 2 – 4, en el cual se indica una velocidad máxima alcanzada en función del tiempo, de cada una de las cinco pruebas realizadas en el vehículo prototipo de tres ruedas.

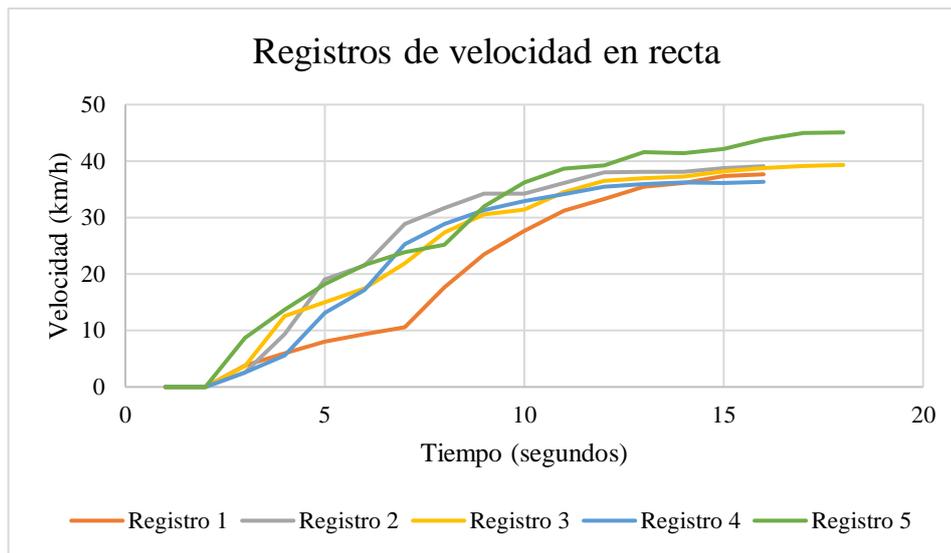


Gráfico 2-4: Registros de velocidad en ruta sin pendiente.

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021.

En la tabla 2 – 4, se puede observar el tiempo que le toma al vehículo en alcanzar la velocidad máxima en cada una de las pruebas realizadas, así como el promedio de las pruebas en alcanzar la velocidad máxima del vehículo prototipo, la desviación estándar y el intervalo de confianza, en las pruebas realizadas en ruta sin pendiente.

Tabla 2-4: Tiempo para alcanzar la velocidad máxima en recta

Registro	Tiempo en segundos de 0 a 45 km/h
1	14
2	14
3	16
4	14
5	16

Promedio	14.8
Desviación estándar	1.09544512
Intervalo de confianza	1.36017476

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021.

De acuerdo con el análisis estadístico de las pruebas de velocidad realizadas al vehículo, el vehículo prototipo de tres ruedas, alcanza su velocidad máxima de 45 Km/h en 14.8 segundos \pm 1.36 segundos.

Con los datos recolectados en el circuito del “Login Data”, se realiza el análisis de datos de voltaje durante las pruebas de funcionamiento en ruta sin pendiente, las cuales se puede observar en los siguientes gráficos de Voltaje y del tiempo.

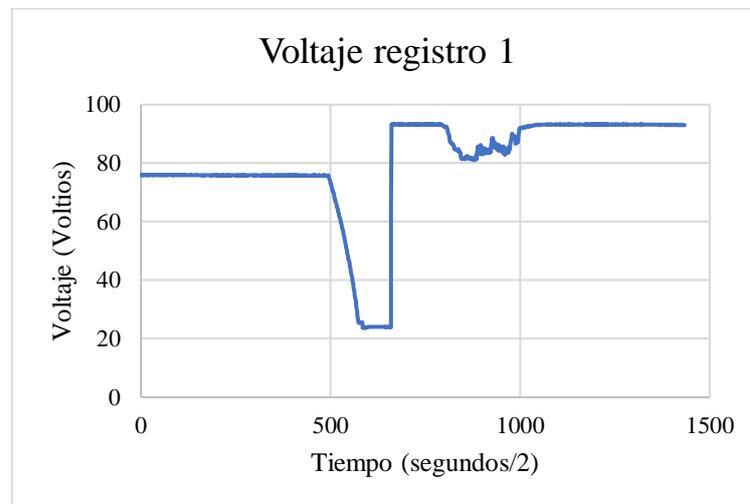


Gráfico 3-4: Voltaje de registro 1

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021.

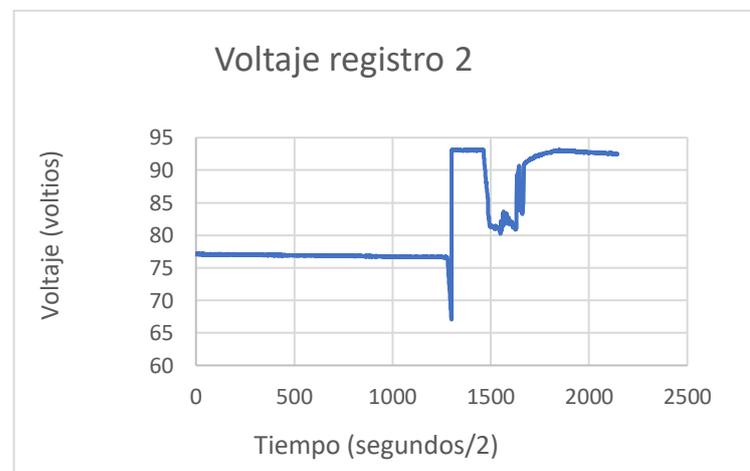


Gráfico 4-4: Voltaje de registro 2

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021.

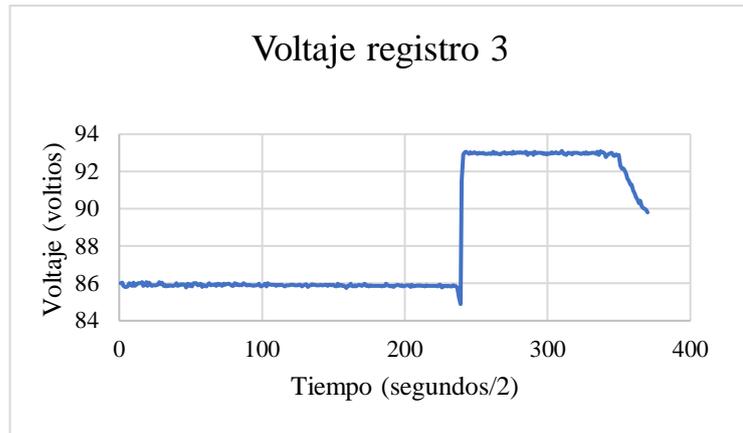


Gráfico 5-4: Voltaje de registro 3

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021.

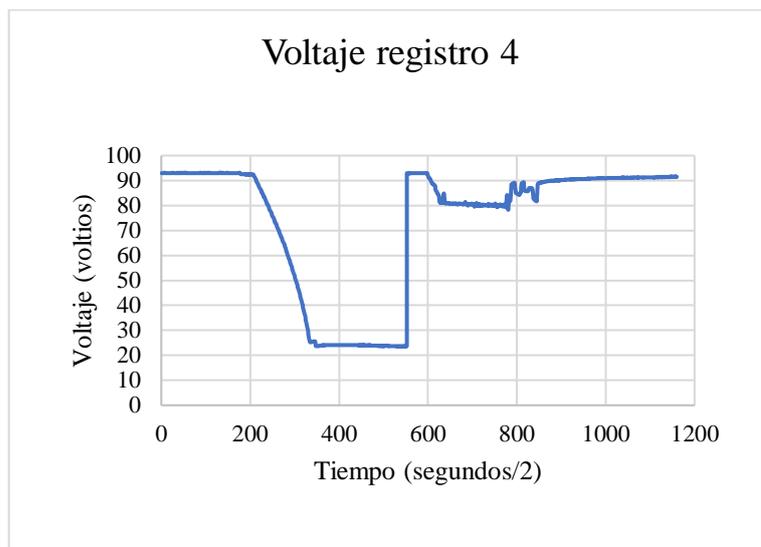


Gráfico 6-4: Voltaje de registro 4

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021.

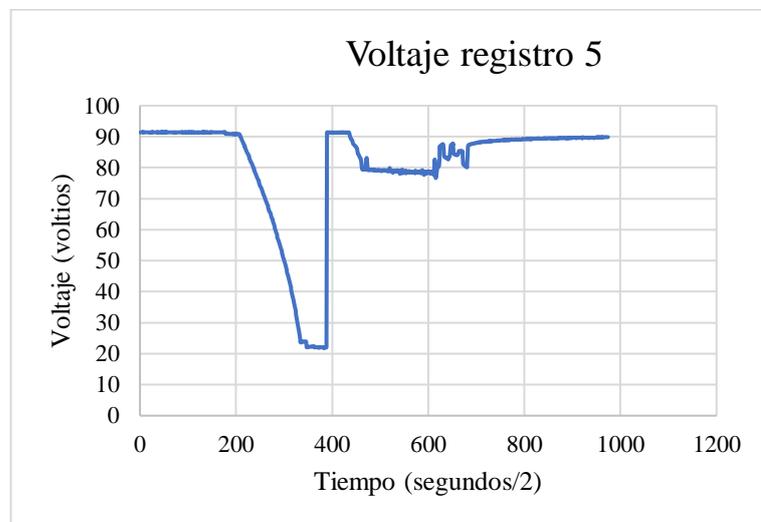


Gráfico 7-4: Voltaje de registro 5

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021

En el gráfico 3 – 4, gráfico 6 – 4 y gráfico 7 - 4 se observa una caída de voltaje, que llega hasta los 24 Voltios, esto se debe a que durante ese tiempo se apagó todos los componentes eléctricos del vehículo, es por eso que al momento de volver a encender los componentes eléctricos del sistema de tracción la batería vuelve a alimentar el controlador y se inicia el registro de datos con el voltaje real de la batería que durante las pruebas oscila entre 78 voltios y 83 voltios mientras el vehículo se mantiene estacionado, cabe recalcar que el voltaje aumenta hasta un voltaje que oscila entre 91 voltios y 93 voltios cuando se acelera el vehículo y se empieza con la movilización y prueba de velocidad de este, lo cual se puede apreciar en los gráficos.

En el gráfico 4 - 4 y gráfico 5 - 4, se observa que el vehículo se encendió y se realizó las pruebas de velocidad sin antes apagar los componentes eléctricos del vehículo prototipo, por lo que el registro de datos de voltaje empieza entre los 78 voltios y 86 voltios, y al igual que en las pruebas 1, 4 y 5 se aprecia como al momento de acelerar el vehículo prototipo y empezar con las pruebas de velocidad, el voltaje se incrementa hasta oscilar entre 91 y 93 voltios.

4.2.1.2. Análisis de resultados de las pruebas con pendiente

Con los datos registrados en la aplicación Torque Pro, durante las pruebas de ruta en pendiente, se realiza el análisis de datos de velocidad y tiempo, en el grafico 8 – 4, se observa el comportamiento de la velocidad hasta llegar a ser máxima en función del tiempo, durante cada una de las cinco pruebas realizadas con el vehículo prototipo de 3 ruedas.

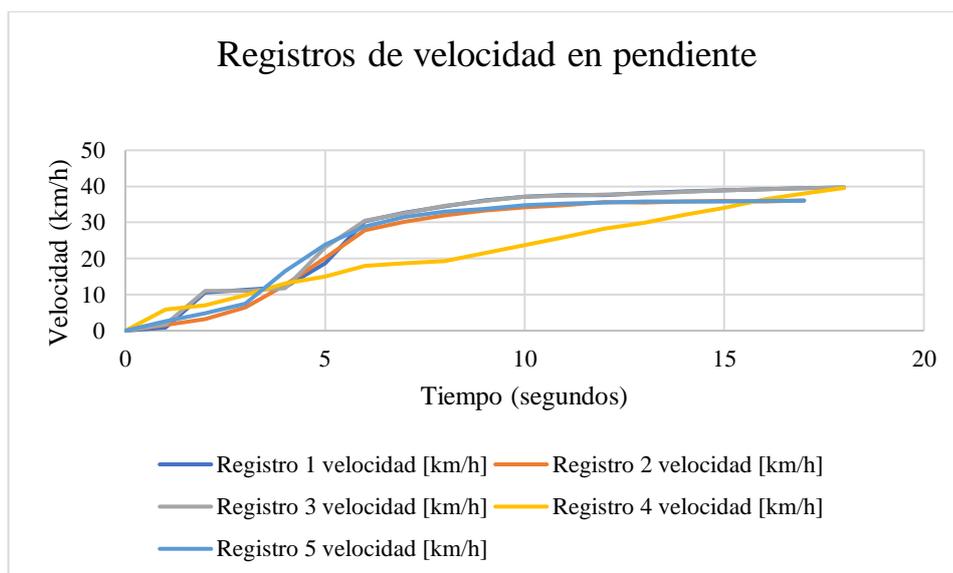


Gráfico 8-4: Registros de velocidades en ruta con pendiente

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021

En la tabla 3 – 4, se observa el tiempo que le toma al vehículo en alcanzar la velocidad máxima en cada una de las pruebas realizadas, así como el promedio de las pruebas en alcanzar la velocidad máxima del vehículo prototipo, la desviación estándar y el intervalo de confianza, en las pruebas realizadas en ruta con pendiente.

Tabla 3-4: Tiempo para alcanzar la velocidad máxima en pendiente

Registros	Tiempo en segundos de 0 a 45 km/h
1	18
2	17
3	18
4	18
5	17
Promedio	17.6
Desviación estándar	0.547722558
Intervalo de confianza	0.680087381

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021

De acuerdo con el análisis estadístico de las pruebas de velocidad realizadas al vehículo en la ruta con pendiente, el vehículo prototipo de tres ruedas, alcanza su velocidad máxima de 45 Km/h en 17.6 segundos \pm 0.68 segundos.

Con los datos recolectados en el circuito del “Login Data”, se realiza el análisis de datos de voltaje durante las pruebas de funcionamiento en ruta con pendiente, las cuales se puede observar en los siguientes gráficos de Voltaje y del tiempo.

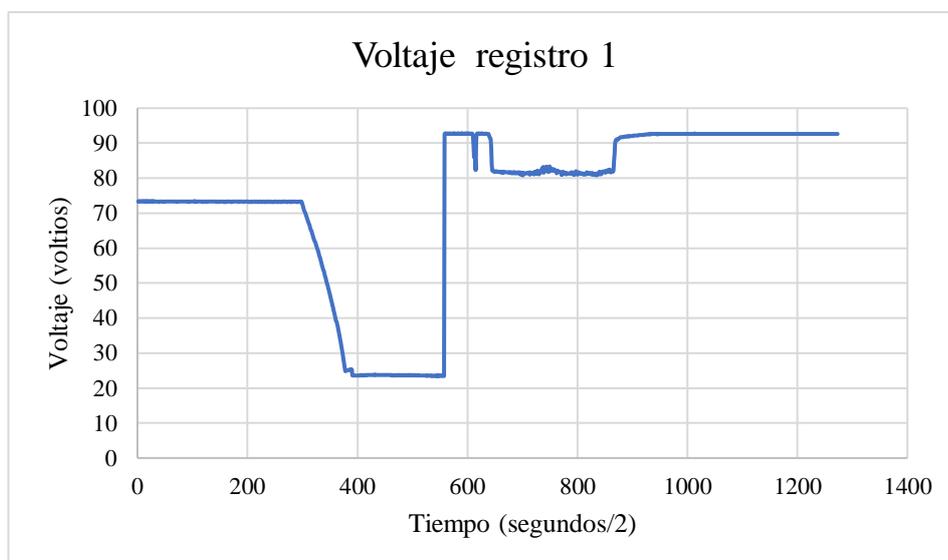


Gráfico 9-4: Voltaje de registro 1

Realizado por: Choca, Cristian; Coello, Juan, 2021.

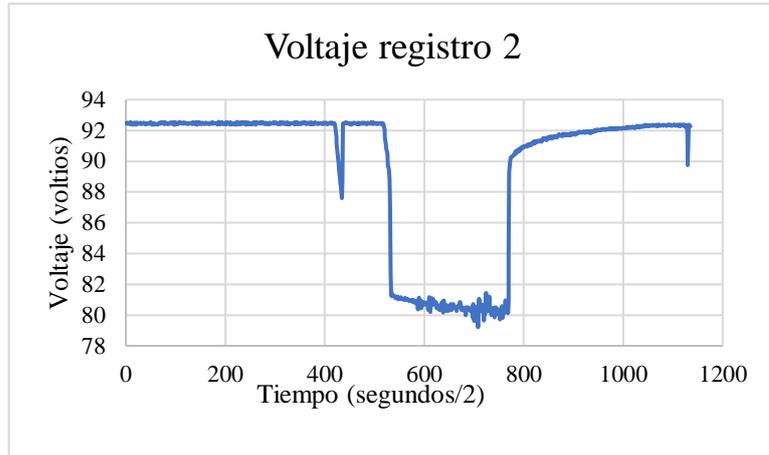


Gráfico 10-4: Voltaje de registro 2

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021.

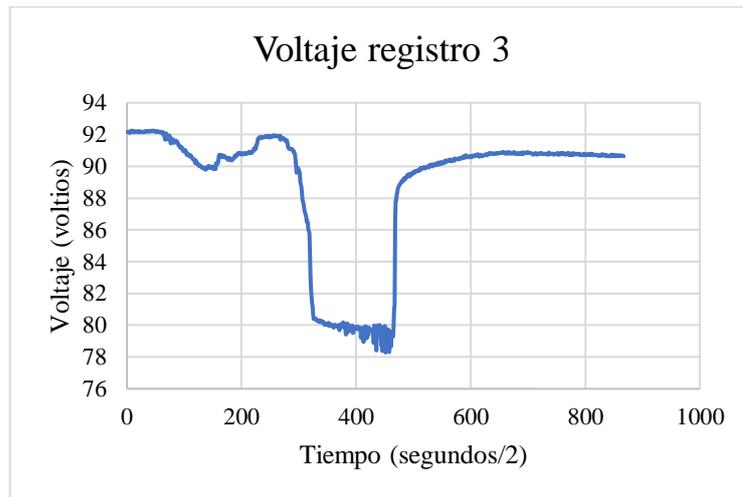


Gráfico 11-4: Voltaje de registro 3

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021.

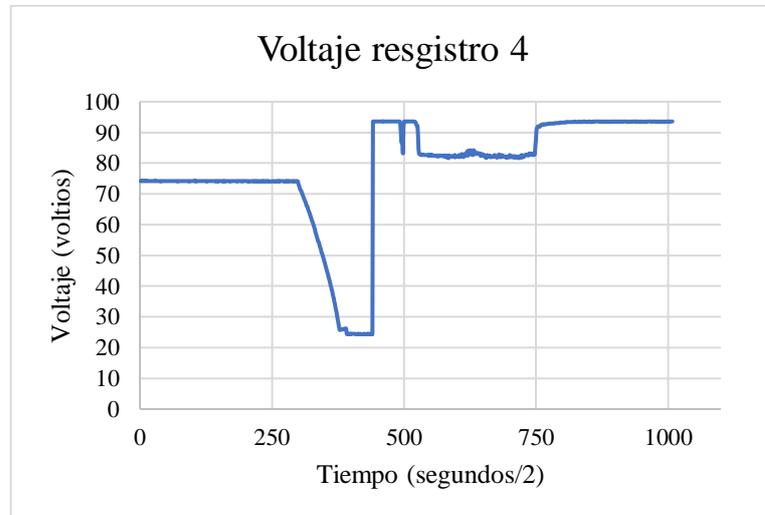


Gráfico 12-4: Voltaje de registro 4

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021.

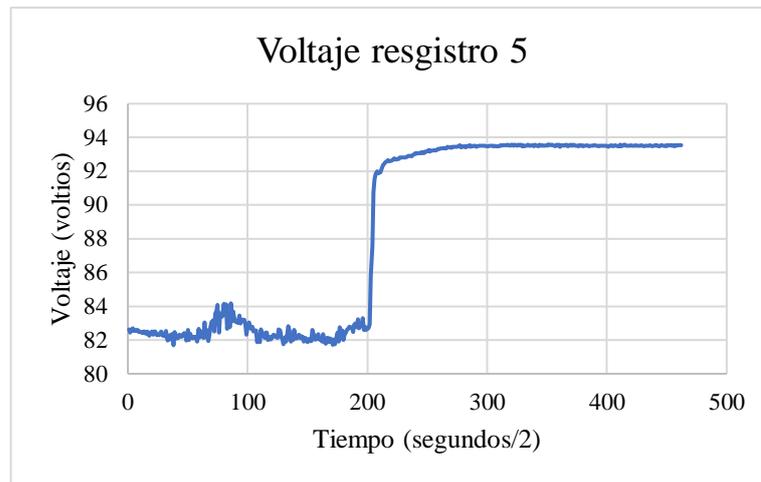


Gráfico 13-4: Voltaje de registro 5

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021.

En el gráfico 9 - 4 y el gráfico 12 - 4 se puede observar una caída de voltaje que llega hasta los 24 Voltios, esto nos indica que todos los componentes eléctricos de la tracción eléctrica fueron apagados, posterior a esto se observa un aumento en el voltaje, en el cual se alcanza valores de voltaje real de la batería que van entre 81 voltios y 83 voltios, instantes en los cuales se enciende todos componentes eléctricos y la batería alimenta el controlador, al iniciar las pruebas en ruta con pendiente el vehículo se acelera, por lo que la tensión aumenta hasta los 93 voltios, instantes en los que se realiza las pruebas de velocidad.

En el gráfico 10 - 4, gráfico 11 - 4 y gráfico 13 - 4, no se observa una caída de voltaje demasiada baja, por lo que durante estas pruebas, los componentes eléctricos de la tracción se encienden antes de realizar las pruebas, por lo que el voltaje oscila entre 78 y 84 voltios, en los tres gráficos mencionados se puede observar que el voltaje aumenta a un valor que oscila entre 92 y 94 voltios, esto se da durante la aceleración del vehículo prototipo, al momento de realizar la pruebas de ruta con pendiente.

4.2.2. Análisis de prueba de autonomía

De acuerdo con los valores recolectados en la aplicación mencionada se obtuvo un recorrido de 8.21 km de promedio de tres pruebas realizadas y un tiempo promedio de 21.88 minutos, donde se observa en la tabla 4 - 4.

Tabla 4-4: Registros de autonomía

	Autonomía (km)	Tiempo (minutos)
Registro 1	8.260379838	20.73333333
Registro 2	8.192249764	22.23333333
Registro 3	8.19119	22.68333333
Promedio	8.214606534	21.88333333
Desviación estándar	0.039644385	1.021028893
IC	0.098482112	2.536376377

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021.

4.3. Especificaciones técnicas

4.3.1. Especificación técnica del motor

En la siguiente tabla se especifica las características técnicas del motor.

Tabla 5-4: Especificación técnica del motor

Motor	
Tipo de Motor	Eléctrico
Potencia máxima (KW)	13.5
Potencia máxima (HP)	18.10
Torque (Nm)	14.3
Tensión (V)	72

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021

4.3.2. Especificación técnica de la batería

En la siguiente tabla se especifica las características técnicas de la batería.

Tabla 6-4: Especificación técnica de la batería

Batería	
Tipo	Níquel-Metal Hidruro (Ni-HM)
Tensión nominal (72)	72
Numero de celdas	10 (módulos)
Capacidad (Ah)	29
Potencia (KWh)	2.089

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021

4.3.3. Especificación técnica de la transmisión

En la siguiente tabla se especifica las características técnicas de la transmisión.

Tabla 7-4: Especificación técnica de la transmisión

Transmisión	
Relación de transmisión de motor hacia la rueda	10:1
RPM de salida de rueda	385

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021

4.3.4. Especificación técnica del chasis

En la siguiente tabla se muestra las especificaciones técnicas del chasis.

Tabla 8-4: Especificación técnica del chasis

Especificación técnica del chasis		
Largo (m)		2.80
Ancho (m)		2.1
Alto (m)		1.55
Coeficiente aerodinámico		0.36
Peso bruto total (Kg)		422
Dirección		Mecánica
Frenos	Delantero	Disco ventilado
	Posterior	Disco ventilado

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021

4.3.5. Especificación técnica del performance

En la siguiente tabla se especifica el performance del vehículo prototipo.

Tabla 9-4: Especificación técnica del performance

Performance	
Aceleración sin pendiente (de 0 a 45 Km/h) (s)	14.8
Aceleración con pendiente (de 0 a 45 Km/h) (s)	17.6
Autonomía (Km)	8.21

Realizado por: Choca Cristian; Coello Juan, 2021

CONCLUSIONES

- Se realizó la recopilación bibliográfica mediante el uso de plataformas de investigación científica, del cual se obtuvo una fundamentación teórica del funcionamiento del sistema de tracción eléctrica.
- Para cumplir con los parámetros de peso y potencia requerida para lograr el desplazamiento del vehículo prototipo se implementó un motor eléctrico de marca QSMOTOR BLDC In-Wheel Hub Motor con una potencia de 7.5 KW nominales, con voltaje de 72 V, el cual permitió alcanzar una velocidad máxima de 40 Km/h en pendiente de 7.5%, en un tiempo promedio de 17.6 segundos.
- Después de aplicar un análisis estructural en software CAD-CAE en la base del motor, da como resultado un factor de seguridad de 15, lo que dio paso a la fabricación de la estructura.
- La implementación del sistema de tracción eléctrica permitió reducir el esfuerzo humano considerablemente para el desplazamiento del vehículo, convirtiendo el vehículo de tracción humana a un vehículo eléctrico.
- Se realizó pruebas de funcionamiento de lo cual se determinó una autonomía de 8.2 Km a una velocidad cruceo de 30 Km/h, además se comprobó el correcto ensamble de los componentes eléctricos y mecánicos implementados

RECOMENDACIONES

- Debido al bajo desarrollo de este tipo de tecnologías en el País, es recomendable la adquisición de estos componentes para sistemas de tracción eléctrica, en países con mayor desarrollo tecnológico, como lo es el mercado chino y estadounidense.
- Es importante la investigación de este tipo de proyectos, por lo que capacitar a los estudiantes en el desarrollo de sistemas de tracción eléctrica, puede generar nuevas generaciones de investigadores con conocimiento en esta nueva tendencia de desarrollo de movilidad eléctrica.
- Se realizaron las pruebas necesarias para comprobar el correcto ensamblaje de la tracción eléctrica en diversas rutas, en lo cual no se obtuvo ningún inconveniente, sin embargo, se recomienda conducir de manera prudente y responsable.
- Realizar un estudio de la implementación de un sistema de freno regenerativo con el fin de verificar la viabilidad para la preservación de la capacidad energética en la batería implementada.
- La autonomía del vehículo prototipo se está limitada por el tipo de batería utilizada, siendo esta de níquel metal hidruro, para incrementar la autonomía del vehículo es necesario la implementación de una batería de mayor densidad energética, que además incluya un sistema de gestión de batería (BMS), para una correcta gestión de la carga y descarga, siendo la mejor opción actual en el mercado las baterías de Ion Litio, sin embargo, se debe tomar en cuenta el elevado costo de estas baterías.

GLOSARIO

Auto descarga: En las baterías es un proceso en el cual la batería sufre una descarga sin estar en uso, la tasa de autodescarga depende de varios factores, en los que tenemos el tipo de batería, el material de la batería, temperatura, etc.

Catalina: Rueda dentada de mayor tamaño de un sistema de transmisión por engranajes ya sea directa o por cadena.

Chasis: Estructura interna de un vehículo que sostiene los diferentes componentes mecánicos del vehículo como el motor, transmisión, suspensión y la carrocería, por lo general su construcción es robusta.

Choque eléctrico: lesión o quemadura producida en las personas por una descarga eléctrica.

Coefficiente aerodinámico: Es un número adimensional que va entre 0 y 1, mide la resistencia de un objeto al paso del viento, mientras menor sea este número será más eficiente y tendrá menor resistencia al paso del viento.

Factor de seguridad: En el diseño y fabricación de piezas mecánicas, el factor de seguridad indica la confiabilidad de la pieza construida, teniendo que ser siempre mayor a 1, mientras mayor sea este número, más se garantiza que el elemento mecánico no falle mientras está en funcionamiento.

Msnm: Metros sobre el nivel del mar.

Piñón: Rueda dentada más pequeña de un sistema de transmisión por engranajes ya sea directa o por cadena.

Prototipo: Primer dispositivo que se fabrica a partir de una idea, esto puede realizarse con el fin de probar una hipótesis, además de su funcionamiento, ya sea para realizar mejoras o advertir futuras fallas en la construcción de este.

RPM: Revoluciones por minuto.

SOC: (*State of charge*), Indica el nivel de energía almacenada en una batería, siendo expresada en porcentaje que va de 0 a 100%.

BIBLIOGRAFÍA

AMARILLA, J. M. *Guía del Vehículo Eléctrico – Capítulo 6: Baterías recargables avanzadas para vehículos eléctricos* [en línea]. Madrid – España: 2011, pp. 119-129. [Consulta: 11 noviembre 2021]. Disponible en: <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM015005.pdf>

CAMACHO CAÑIZARES, Álvaro & GUEVARA BARROS, Eduardo. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRACCIÓN Y CONTROL ELÉCTRICO PARA UN CROSS CAR BIPLAZA TURÍSTICO (Proyecto de titulación) (Pregrado) [en línea]. Universidad de las Fuerzas Armadas, ESPE. Latacunga – Ecuador: 2014, p. 8. [Consulta: 25 julio 2021]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/8619/T-ESPEL-MAI-0463.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CHAN, C. C. & CHAU, K.T. 2001. *Modern electric vehicle technology*. New York – EE UU, Oxford University Press. 2001.

CEMBRANOS, Florencio. *Ventajas de los motores síncronos asimétricos* [blog]. Técnica industrial. 2015. [Consulta: 09 junio 2021]. Disponible en: https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Ventajas+de+los+motores++s%C3%ADncronos+asim%C3%A9tricos&btnG=

CENTRO DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SOBRE DIÓXIDO DE CARBONO, DIVISIÓN DE CIENCIAS AMBIENTALES DEL LABORATORIO NACIONAL DE OAK RIDGE. *Emisiones de CO₂ (toneladas métricas per cápita) – Ecuador* [blog]. Banco Mundial, 2021. [Consulta: 25 junio 2021]. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC?end=2018&locations=EC&start=2000>

COSTALES, Alcívar & ROMO, Carlos. 2002. Inversor de corriente trifásico (Proyecto) (Pregrado) [en línea]. Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Ingeniería. Quito – Ecuador: 2002, p. 18. [Consulta: 24 octubre 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10432/3/T1984.pdf>

DIARIO EXPRESO. *En Ecuador se comercializan cuatro marcas de autos eléctricos.* [en línea] 07 de Junio de 2019. [Consulta: 18 abril 2021]. Disponible en: <https://www.aeade.net/en-ecuador-se-comercializan-cuatro-marcas-de-autos-electricos/>

EL UNIVERSO. Con aranceles e impuestos, autos eléctricos doblarían su precio en Ecuador [en línea]. El Universo: 07 de junio de 2019. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/06/07/nota/7364850/aranceles-autos-electricos-doblarian-precio/>

FARINA, Alberto Luis. Motores eléctricos trifásicos: usos, componentes y funcionamiento. Ingeniería Eléctrica [en línea]. 2018, pp. 68-72. [Consulta: 24 diciembre 2021]. Disponible en: https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Motores+el%C3%A9ctricos+trif%C3%A1sicos%3A+usos%2C++componentes+y+funcionamiento&btnG=

FERNÁNDEZ - HIJICOS, Sergio. Diseño e implementación de un BMS de baterías Li-ion modular (Trabajo Fin de Grado) (Pregrado) [en línea]. Universidad de Alcalá, Escuela Politécnica Superior. Madrid – España: 2017. [Consulta: 25 octubre 2021]. Disponible en: <https://1library.co/document/dy4nprrq-diseno-implementacion-bms-baterias-li-ion-modular.html>

IRLE, Roland. *Las ventas mundiales de vehículos enchufables superaron los 3,2 millones en 2020* [blog]. EV Volumes.com, 2020. [Consulta: 30 abril 2021]. Disponible en: <https://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/>

JAUME, Bertran. Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas (Trabajo de Final de Grado) (Pregrado) [en línea]. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona. Barcelona – España: 2017, p. 6. [Consulta: 24 noviembre 2021]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/87655074.pdf>

MORENO, Francisco. *Vehículos Eléctricos. Historia, Estado Actual y Retos* [En línea]. Buenos Aires – Argentina: European Scientific Institute, ESI, 2016, pp. 131-132. [Consulta: 21 junio 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Silvina-Elias/publication/305046323_Internationalization_of_Higher_Education_in_the_light_of_some_indicators/links/59073f2b4585152d2e98e92a/Internationalization-of-Higher-Education-in-the-light-of-some-indicators.pdf#p

PARDO, Anthony. Diseño del sistema de transmisión de potencia a las ruedas para un vehículo tipo formula SAE con motor eléctrico (Trabajo de titulación) (Pregrado) [en línea]. Universidad Politécnica Salesiana, Sede Matriz Cuenca, Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz. Cuenca – Ecuador, 2016, p. 16. [Consulta: 25 octubre 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12908/1/UPS-CT006727.pdf>

PEÑA ORDÓÑEZ, Carlos. Estudio de baterías para vehículos eléctricos (Proyecto Fin de Carrera) (Pregrado) [en línea]. Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III. Madrid – España, 011, p. 16. [Consulta: 18 noviembre 2021]. Disponible en: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordenez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ROCHA HOYOS, Juan., TIPANLUISA, Luis., REINA, Salvatore & AYABACA, César. *Evaluación del sistema de tracción de un vehículo eléctrico biplaza de estructura tubular.* Información Tecnológica [en línea]. 2017, (Ecuador), 18(2), pp. 29-36. [Consulta: 10 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v28n2/art04.pdf>

ROLDÁN VILORIA, José. *Motores de corriente continua Motorización de máquinas y vehículos. Características, cálculos y aplicaciones.* Madrid: Ediciones Paraninfo S.A., 2014.

ROSERO, Darwin & LÓPEZ, Edwin. Diseño y construcción del sistema de propulsión para un prototipo de auto eléctrico BIPLAZA (Proyecto Técnico) (Pregrado) [en línea]. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de ingeniería Mecánica. Ambato – Ecuador, 2018, p. 88. [Consulta: 09 junio 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27922>

VALENZUELA, Jonathan. *Manual de tipos de motores eléctricos, reconocimiento y sus aplicaciones en la industria* [en línea]. Escuela Politécnica Nacional. Quito – Ecuador: 2013, p. 16. [Consulta: 25 julio 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6069/1/CD-4796.pdf>

VARGAS, Wilson., BONILLA, William., SALAZAR, Freddy., LARA, Hernán., ORTIZ, Javier., MENA, Stalin & CRUZ, Mauricio. *Diseño y construcción del Sistema de Propulsión de un triciclo monoplace eléctrico para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores* [en línea]. Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, ESPE. 2015, (Ecuador), 9, pp. 44-52. [Consulta: 25 octubre 2021]. Disponible en: <file:///D:/Tami/Downloads/jbucheli,+Dise%C3%B1o+y+construcci%C3%B3n+del+Sistema+de+Propulsi%C3%B3n+de+un.pdf>

WAKEFIELD, E. H. *History of the Electric Automobile: Battery-Only Powered.* EE.UU, 1993, p. 500.

WAKEFIELD, E. H. *Historia de los automóviles eléctricos automóviles con batería* [blog]. The National Academic of sciences engineering medicine, 1993. [Consulta: 07 junio 2021 Disponible en: <https://trid.trb.org/view/383992>

ZÚÑIGA, Víctor. Propuesta de las características técnicas de un vehículo para uso privado en lima metropolitana (Tesis) (Pregrado) [en línea]. Pontifica Universidad Católica del Perú. Perú, 2014, p. 19. [Consulta: 24 diciembre 2021]. Disponible en: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5767/ZU%c3%91IGA_VICTOR_VEHICULO_ELECTRICO_PRIVADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

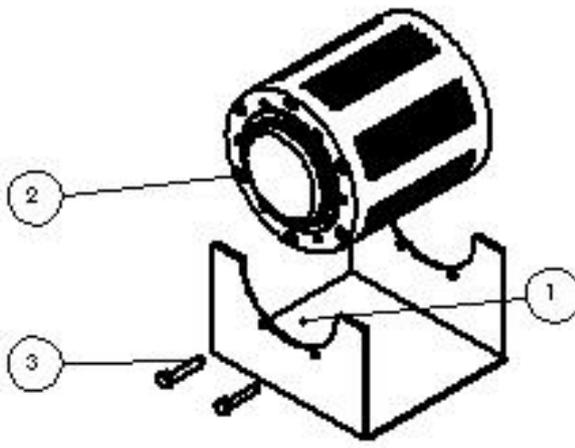
ANEXOS

ANEXO B: FICHA TÉCNICA DE VEHÍCULO PROTOTIPO

<u>Ficha técnica vehículo prototipo de tres ruedas</u>		
		
Motor		
Tipo	Eléctrico	
Potencia máxima (KW)	13.5	
Potencia máxima (HP)	18.10	
Torque (Nm)	14.3	
Tensión (V)	72	
Batería		
Tipo	Níquel-Metal Hidruro (Ni-HM)	
Tensión nominal (72)	72	
Numero de celdas	10 (módulos)	
Capacidad (Ah)	29	
Potencia (KWh)	2.089	
Transmisión		
Relación de transmisión de motor hacia la rueda	1:10	
RPM de salida de rueda	385	
Dimensiones y pesos		
Largo	2.80	
Ancho	2.1	
Alto	1.55	
Coeficiente aerodinámico	0.36	
Peso bruto total (Kg)	420	

Performance		
Aceleración sin pendiente (de 0 a 45 Km/h) (s)		14.8
Aceleración con pendiente (de 0 a 45 Km/h) (s)		20
Autonomía (km)		8.21
Chasis		
Dirección		Mecánica
Frenos	delantero	Discos ventilados
	trasero	Discos ventilados

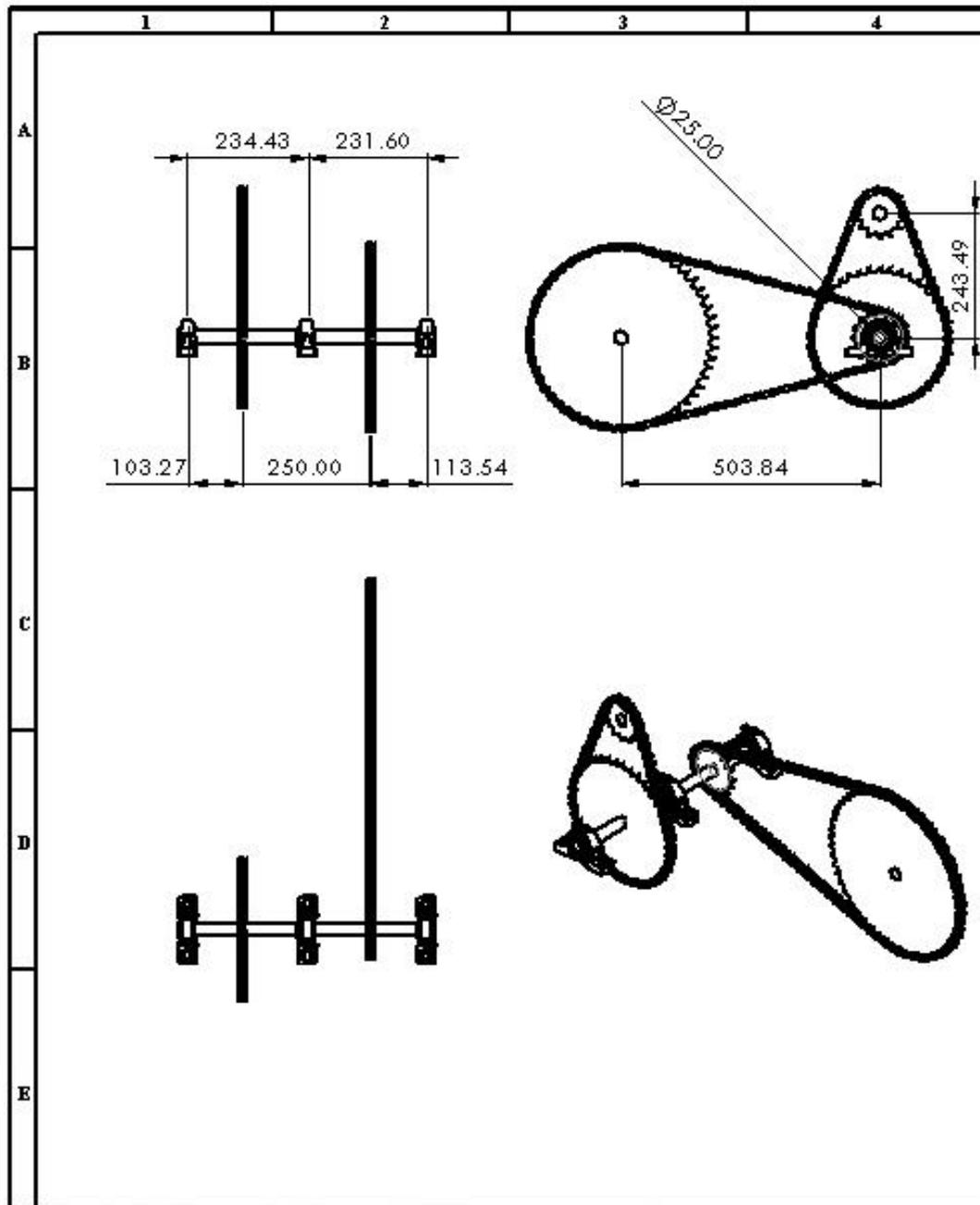
ANEXO C: COMPONENTES DE BASE DE MOTOR ELÉCTRICO

1	2	3	4																																
A																																			
B																																			
C																																			
D																																			
E	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">N.º DE ELEMENTO</th> <th style="width: 25%;">N.º DE PIEZA</th> <th style="width: 45%;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="width: 15%;">CANTIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>base motor final</td> <td></td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td>motor electrico</td> <td></td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td>Ø 8 765 - M8x1.0 x 40 x 22-N</td> <td></td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> </tbody> </table>			N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	1	base motor final		1	2	motor electrico		1	3	Ø 8 765 - M8x1.0 x 40 x 22-N		2																
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD																																
1	base motor final		1																																
2	motor electrico		1																																
3	Ø 8 765 - M8x1.0 x 40 x 22-N		2																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">N.º Línea: 1 de 1</td> <td style="width: 15%;">N.º Hoja: 1</td> <td style="width: 20%;">Sustitución:</td> <td style="width: 50%;">Codificación: FM-EIN-MEX-D-88-18-18-13</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Email:</td> <td colspan="2">Desclasificación:</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Teléfono:</td> <td colspan="2" rowspan="5" style="text-align: center; vertical-align: middle;"> Elementos de transmisión </td> </tr> <tr> <td style="width: 15%;">Diseño</td> <td style="width: 15%;">Nombre</td> <td style="width: 15%;">Firma</td> <td style="width: 15%;">Fecha</td> </tr> <tr> <td>Proyectó</td> <td>Castañeda, J. Carlos, C</td> <td></td> <td>2022</td> </tr> <tr> <td>Dibujó</td> <td>Castañeda, J. Carlos, C</td> <td></td> <td>2022</td> </tr> <tr> <td>Revisó</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Aprobó</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		N.º Línea: 1 de 1	N.º Hoja: 1	Sustitución:	Codificación: FM-EIN-MEX-D-88-18-18-13	Email:		Desclasificación:		Teléfono:		Elementos de transmisión		Diseño	Nombre	Firma	Fecha	Proyectó	Castañeda, J. Carlos, C		2022	Dibujó	Castañeda, J. Carlos, C		2022	Revisó				Aprobó				ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
N.º Línea: 1 de 1	N.º Hoja: 1	Sustitución:	Codificación: FM-EIN-MEX-D-88-18-18-13																																
Email:		Desclasificación:																																	
Teléfono:		Elementos de transmisión																																	
Diseño	Nombre			Firma	Fecha																														
Proyectó	Castañeda, J. Carlos, C				2022																														
Dibujó	Castañeda, J. Carlos, C				2022																														
Revisó																																			
Aprobó																																			
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 15%;">Peso (Kg)</th> <th style="width: 15%;">Tolerancia</th> <th style="width: 15%;">Escala</th> <th style="width: 15%;">Registro</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">28</td> <td style="text-align: center;">2:1 (mm)</td> <td style="text-align: center;">1:1</td> <td style="text-align: center;">  </td> </tr> </table>		Peso (Kg)	Tolerancia	Escala	Registro	28	2:1 (mm)	1:1																									
Peso (Kg)	Tolerancia	Escala	Registro																																
28	2:1 (mm)	1:1																																	
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;"> /observaciones: SEGUN DISEÑO </td> <td style="width: 40%; text-align: center;">  </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> Nombre de archivo: BaseMotorD.A.C. sldprt </td> </tr> </table>		/observaciones: SEGUN DISEÑO		Nombre de archivo: BaseMotorD.A.C. sldprt																													
/observaciones: SEGUN DISEÑO																																			
Nombre de archivo: BaseMotorD.A.C. sldprt																																			

ANEXO D: DISPOSICIÓN DE ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN

	1	2	3	4																																				
A																																								
B																																								
C																																								
D	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">N.º DE ELEMENTO</th> <th style="width: 25%;">N.º DE PIEZA</th> <th style="width: 45%;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="width: 15%;">CANTIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Remache inferior</td> <td></td> <td style="text-align: center;">71</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td>Remache superior</td> <td></td> <td style="text-align: center;">71</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td>Piñon de 14 dientes</td> <td></td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td>Catalina 42 dientes</td> <td></td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5</td> <td>Catalina 56 dientes</td> <td></td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td>Piñon 16 dientes</td> <td></td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">7</td> <td>Eje 25mm</td> <td></td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">8</td> <td>Chumacera</td> <td></td> <td style="text-align: center;">3</td> </tr> </tbody> </table>				N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	1	Remache inferior		71	2	Remache superior		71	3	Piñon de 14 dientes		1	4	Catalina 42 dientes		1	5	Catalina 56 dientes		1	6	Piñon 16 dientes		1	7	Eje 25mm		1	8	Chumacera		3
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD																																					
1	Remache inferior		71																																					
2	Remache superior		71																																					
3	Piñon de 14 dientes		1																																					
4	Catalina 42 dientes		1																																					
5	Catalina 56 dientes		1																																					
6	Piñon 16 dientes		1																																					
7	Eje 25mm		1																																					
8	Chumacera		3																																					
E																																								
N.º. Láminas: 1 de 1 N.º. Hojas: 1 Sustituido:		Codificación: PM-01M-MBR-0-001-01-2015 Descomposición:		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA																																				
Email: Teléfono(s):		Elementos de transmisión		Peso (Kg)	Tolerancias	Escala	Registro																																	
Datos	Nombre			Firma	Fecha	10	±0.1 (mm)	1:20																																
Proyectó	Cuello, J. Chaca, C				2011																																			
Dibujó	Cuello, J. Chaca, C				2011																																			
Material: SEGUN DISEÑO		Nombre de archivo: EnsamblajeDTC.sldprt		ES EL DISEÑO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE ESPOCH. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN DE ESTE MATERIAL NO AUTORIZADO. CONSERVAR Y PROTEGER DE LOS CAMBIOS DEL GOBIERNO PARA LA LEY.																																				

ANEXO E: DIMENSIONES DE ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN



N°. Lámina: 1 de 1	N°. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: FM-ENGMER-D-001-01-2015	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfonos:			Denominación: Diseño de transmisión	Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma	Fecha		±0.3 [mm]	1:20	
Proyectó	Cedra Juan, Chom		2022	MATERIAL: SEGUN DISEÑO ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE ESPOCH. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA. COMPROBATE VIALACION DE LOS ARTICULOS 298 Y 299 DE LA LEY.			
Dibujó	Cedra Juan, Chom		2022				
Revisó				Nombre de archivo: Ensamblaje DAC s1.ppt			
Aprobó							