



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO

AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
CARGA DE BATERÍAS DE LITIO PARA UN VEHÍCULO
ELÉCTRICO TIPO FÓRMULA STUDENT.**

AUTORES:

MORALES DÍAZ JHIMY GEOVANY

DE LA PORTILLA ARSINIEGAS DIEGO FRANCISCO

DIRECTOR:

ING. HERNÁNDEZ RUEDA ERIK PAÚL, MSc.

Ibarra, 2023

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

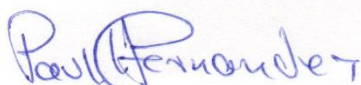
En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CARGA DE BATERÍAS DE LITIO PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO TIPO FÓRMULA STUDENT" presentado por el señor: DE LA PORTILLA ARSINIEGAS DIEGO FRANCISCO con número de cédula 0401830351, y MORALES DÍAZ JHIMY GEOVANY con número de cedula 1003716873, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 20 días del mes junio del 2023.

Atentamente



Ing. Paúl Hernández MSc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	040183035-1		
APELLIDOS Y NOMBRES:	De La Portilla Arsiniegas Diego Francisco		
DIRECCIÓN:	Bolívar – Carchi, Barrio San Vicente		
EMAIL:	dfdelaortillaa@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	(062) 287 – 669	TELÉFONO MOVIL:	0997553063

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100371687-3		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Morales Díaz Jhimy Geovany		
DIRECCIÓN:	Otavalo – Imbabura, Cdla. Vitelma Dávila		
EMAIL:	jgmoralesd@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MOVIL:	0980094841


DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CARGA DE BATERÍAS DE LITIO PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO TIPO FÓRMULA STUDENT.
AUTOR (ES):	De La Portilla Arsiniegas Diego Francisco, Morales Díaz Jhimy Geovany
FECHA:	20/06/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en mantenimiento automotriz
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Erik Paúl Hernández Rueda, MSc.

2. CONSTANCIAS

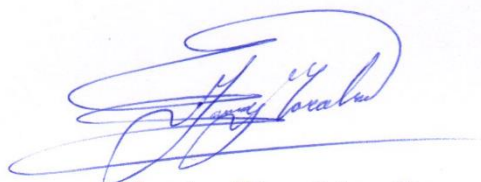
Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos del autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 20 días del mes de junio del 2023

AUTORES



De La Portilla Arsiniegas Diego Francisco
040183035-1



Morales Díaz Jhimy Geovany
100371687-3

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado en primer lugar a Dios por permitirme cumplir un reto más en mi vida, en segundo lugar a mis padres Sixto Morales y Fabiola Díaz por apoyarme incondicionalmente en cada paso que he dado y ser parte de este logro cumplido.

A cada uno de mis hermanos que han sido parte de este proceso y brindarme su apoyo y motivación en los momentos más difíciles. Por último, pero no menos importante a mi amigos y al resto de mi familia quienes han sido participes en el transcurso de mis estudios y aportar con su granito de arena.

JHIMY MORALES

El presente trabajo de titulación se lo dedico con mucho cariño a mi Madre Elsa Arsiniegas, quien a puesto su confianza en mi sin dudar un solo momento y me ha brindado su apoyo incondicional, también se lo dedico con mucho orgullo y nostalgia a mi Padre Diego Fernando De La Portilla quien fue un pilar fundamental para iniciar con mis estudios de tercer nivel, a pesar de su partida siempre lo llevo presente en mi vida.

A mi Hermano mayor Cristian quien me a motivado y me ha dado las fuerzas y el ñeque para continuar con mis estudios y su apoyo incondicional en todo lo que ha estado a su alcance, a mi Hermano menor Julián quien con su forma de ser discreta, me ha ayudado bastante para superarme como persona, como profesional y poder ser en un buen ejemplo a seguir.

DIEGO DE LA PORTILLA

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme ser perseverante en este proceso de vida y pese a los altos y bajos poder cumplir este logro profesional, igualmente un agradecimiento muy especial a mis padres por siempre tener esa palabra de aliento que me permitía seguir adelante, a mis hermanos, familia y amigos por apoyarme en cada decisión que he tomado.

Por otra parte, agradezco a la Universidad Técnica del Norte, a la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz y a sus docentes por las experiencias brindadas y los conocimientos compartidos. Finalmente, a mi tutor de tesis Ing. Paul Hernández, quien siempre tuvo la predisposición y paciencia en todo momento para llevar a cabo este trabajo de grado con éxito.

JHIMY MORALES

Agradezco con todo mi corazón a mi hermosa familia, a mis padres por formarme como una persona de bien y poder salir adelante, a mis hermanos por brindarme su apoyo y camaradería para lograr todos los objetivos.

Quiero agradecer a mi Tío Armando De La Portilla y su esposa Nancy Cazares por abrirme las puertas de su casa y transformarse en mi segundo hogar en Ibarra.

Quiero agradecer a mi Tía Rosa Arciniega por estar pendiente de mi a pesar de la distancia, y brindarme su apoyo para poder prepararme y obtener un cupo para ingresar a la universidad como también a lo largo de mis estudios.

Agradezco a mi hermano Cristian De La Portilla y su esposa Cindy Nazareno por estar presentes en mis momentos más difíciles y con mucho cariño y voluntad ayudarme a seguir adelante.

Quiero Agradecer a mi novia Marjorie Velasco quien desde el inicio de mi carrera me ha motivado y me ha dado las fuerzas para continuar con mis estudios gracias por llegar a mi vida e impulsarme a lograr mis objetivos.

Mi agradecimiento profundo a mis compañeros de trabajo del GAD Bolívar quienes me han colaborado en la elaboración de este trabajo de titulación.

También quiero agradecer a todos los docentes de la Universidad Técnica del Norte en especial al Ingeniero Paúl Hernández MSc por su gran ayuda y colaboración en la elaboración de este trabajo de titulación y sus conocimientos impartidos a lo largo mi carrera universitaria.

DIEGO DE LA PORTILLA

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	XIII
CAPÍTULO I.....	1
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	1
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	1
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	1
1.3 JUSTIFICACION	1
1.4 ALCANCE.....	2
1.5 ANTECEDENTES	2
1.6 HISTORIA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO.....	3
1.7 VEHÍCULO ELÉCTRICO	4
1.8 TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	4
1.8.1 Vehículo eléctrico puro (BEV).....	4
1.8.2 Vehículo eléctrico híbrido (HEV)	5
1.8.3 Vehículo eléctrico híbrido enchufable (PHEV).....	6
1.9 MOTORES ELÉCTRICOS	7
1.9.1 Motores eléctricos de imanes permanentes	8
1.9.2 Motor de corriente alterna (AC)	8
1.9.3 Motores de inducción asíncrona	8
1.9.4 Motor síncrono	10
1.10 BATERÍAS	11
1.10.1 batería de litio	12
1.10.2 Tipos de baterías de litio.....	12
1.11 SISTEMA DE CARGA DE BATERÍAS	14
1.11.1 Modos de carga.....	15
1.11.2 Tipos de cargadores	16
1.11.3 tipos de conectores.....	17
1.12 SISTEMA DE GESTIÓN DE LA BATERÍA (BMS).....	19
1.13 CARGADOR PFC	20
1.14 FÓRMULA SAE O FORMULA STUDENT.....	21
1.15 BUGGY MONOPLAZA	22
CAPÍTULO II.....	23

2	MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
2.1	MATERIALES Y EQUIPOS	23
2.2	DATOS ESPECÍFICOS DEL MOTOR	23
2.3	DATOS Y ESPECIFICACIONES DE LA BATERÍA	23
2.4	DATOS Y ESPECIFICACIONES DEL BMS	24
2.5	DATOS Y ESPECIFICACIONES DEL CARGADOR	25
2.6	FLUJOGRAMA.....	26
2.7	METODOLOGÍA	27
2.7.1	Propósito de la investigación.....	27
2.7.2	Tipo de investigación.....	27
2.8	DISEÑO ELECTRÓNICO	28
2.9	CONSTRUCCIÓN	30
2.9.1	Proceso de verificación de buen estado de las celdas.....	30
2.9.2	Pasos para la verificación de celdas.	30
2.9.3	Instalación de baterías de litio en el vehículo.....	34
2.9.4	Instalación de baterías de plomo en el vehículo	36
	CAPÍTULO III	38
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
3.1	PRUEBAS CON LA BATERÍA DE PLOMO	39
3.2	PRUEBAS CON LA BATERÍA DE LITIO.....	41
3.3	ANÁLISIS DE PRUEBAS	43
3.3.1	Comparativa de autonomía en tiempo	43
3.3.2	Comparativa de autonomía en distancia	43
3.3.3	Comparativa de tiempo de carga	44
3.3.4	Comparativa de tiempo de descarga.....	44
3.3.5	Comparativa de costos.....	45
3.3.6	Comparativa de peso	46
	CAPÍTULO IV.....	47
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
4.1	CONCLUSIONES	47
4.2	RECOMENDACIONES.....	48
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
	ANEXOS.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de estaciones de carga	17
Tabla 2 Tipos de conectores para vehículos eléctricos.....	18
Tabla 3 Especificaciones del motor Manta.....	23
Tabla 4 Batería de litio	24
Tabla 5 Especificaciones del BMS	24
Tabla 6 Cargador PFC	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Vehículo eléctrico puro (BEV)	5
Figura 2 Vehículo eléctrico híbrido (HEV)	6
Figura 3 Vehículo eléctrico híbrido enchufable (PHEV)	7
Figura 4. Motor eléctrico de flujo axial	7
Figura 5. Motor asíncrono	9
Figura 6 Batería de Litio.....	11
Figura 7 Ciclo de carga de un vehículo eléctrico	15
Figura 8 Controlador BMS	20
Figura 9 Cargador PFC.....	21
Figura 10 Buggy monoplaza	22
Figura 11 Circuito de prueba fórmula student.....	28
Figura 12 Configuración eléctrica de la batería	30
Figura 13 Diseño del banco de baterías.....	31
Figura 14 Estructura de separadores plásticos.....	31
Figura 15 Instalación de las celdas en los separadores.....	32
Figura 16 Banco de baterías con separadores.....	32
Figura 17 Pack con celdas soldadas	33
Figura 18 Conexión BMS bluetooth.....	33
Figura 19 Pack de baterías sellado	34
Figura 20 Verificación de carga en las series del banco de baterías de litio	34
Figura 21 Conexión en paralelo de baterías de litio	35
Figura 22 Ubicación de baterías de litio en el vehículo	35
Figura 23 Identificación de polaridades en controladora	36
Figura 24 Ubicación de baterías en el vehículo.....	37
Figura 25 Go-kart eléctrico	39
Figura 26 Prueba de autonomía con baterías de plomo.....	40
Figura 27 Prueba de autonomía con baterías de litio	41
Figura 28 Proceso de carga de baterías de litio	42
Figura 29 Nivel de batería del pack de litio proporcionado por la aplicación del BMS	42
Figura 30 Comparativa de autonomía en tiempo	43
Figura 31 Comparativa de autonomía en distancia	43
Figura 32 Comparativa de tiempo de carga.....	44

Figura 33 Comparativa de tiempo de descarga	44
Figura 34 Comparativa de costos de baterías	45
Figura 35 Comparativa de peso	46

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A Construcción de banco de baterías de litio	54
Anexo B Adecuación de paquetes de baterías de litio en caja metálica.....	54
Anexo C Medición del circuito de pruebas	55
Anexo D Vehículo eléctrico tipo formula Student.....	55
Anexo E Pesaje del vehículo.....	56
Anexo F Resultados pruebas de autonomía de la batería de plomo.....	57
Anexo G Pruebas de autonomía de la batería de litio	60

RESUMEN

Los motores de combustión interna generan emisiones de gases contaminantes que afectan de forma directa al calentamiento global, por lo que es necesario identificar nuevas alternativas que no generen contaminación; los vehículos eléctricos son la mejor alternativa al ser automotores 100% libres de emisiones. Los prototipos elaborados de Formula Student son diseñados para la integración de usuarios en competencias automotrices y se enfocan en el diseño estructural y estético.

Este trabajo tiene como objetivo principal diseñar e implementar un sistema de carga de baterías de litio para un vehículo eléctrico tipo fórmula student, con un enfoque en la reducción de contaminación y de este modo regirse a la reglamentación determinada por parámetros internacionales como es la CIK-FIA (Comisión Internacional del karting – Federación Internacional de Automovilismo). La construcción de la batería de litio fue mediante la utilización de celdas conectadas en serie y paralelo, con el fin de aumentar el voltaje nominal para abastecer el motor eléctrico de marca “Manta” que genera 10 HP y trabaja con un voltaje requerido de 48V.

Dentro de este proyecto se utilizó una investigación cuantitativa para establecer los datos obtenidos en las pruebas generadas; mediante el método científico se podrá recolectar información valida con respecto al tema de estudio, con el método experimental se reunirá valores específicos para el análisis del funcionamiento de la batería de plomo y de litio y a través del método de campo se recopilará información por medio de una investigación visual para establecer parámetros basados en normativas para ejecutar las respectivas pruebas de funcionamiento.

Una vez alcanzado el nivel máximo de energía en cada una de las baterías se realizará varias pruebas de trabajo continuas del prototipo dentro de la pista mencionada, tomando en cuenta los parámetros establecidos por la norma reguladora, con el fin de garantizar los resultados obtenidos. Finalmente, se comparará el funcionamiento del vehículo tipo formula student con baterías de litio y de plomo, tomando en cuenta el tiempo de carga, tiempo de descarga y autonomía de cada una de ellas.

Palabras claves: Formula Student, prototipo, batería de litio, batería de plomo, contaminación.

ABSTRACT

Internal combustion engines generate emissions of polluting gases that directly affect global warming, so it is necessary to identify new alternatives that do not generate pollution; electric vehicles are the best alternative as they are 100% emission-free vehicles. The prototypes developed by Formula Student are designed for the integration of users in automotive competitions and focus on structural and aesthetic design.

The main objective of this work is to design and implement a lithium battery charging system for a Formula Student electric vehicle, with a focus on pollution reduction and thus comply with the regulations determined by international parameters such as the CIK-FIA (International Karting Commission - International Automobile Federation). The construction of the lithium battery was by using cells connected in series and parallel, in order to increase the nominal voltage to supply the "Manta" brand electric motor that generates 10 HP and works with a required voltage of 48V.

Within this project a quantitative research was used to establish the data obtained in the generated tests; through the scientific method it will be possible to collect valid information regarding the subject of study, with the experimental method specific values will be gathered for the analysis of the operation of the lead and lithium battery and through the field method information will be collected by means of a visual investigation to establish parameters based on regulations to execute the respective operation tests.

Once the maximum energy level has been reached in each of the batteries, several continuous working tests of the prototype will be carried out within the mentioned track, taking into account the parameters established by the regulatory standard, in order to guarantee the results obtained. Finally, the performance of the formula student vehicle with lithium and lead batteries will be compared, taking into account the charging time, discharge time and autonomy of each one of them.

Key words: Formula Student, prototype, lithium battery, lead battery, pollution.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el diseño, construcción e implementación de un sistema de carga de baterías de litio para un vehículo eléctrico es de mucha importancia, debido a la utilización de energías renovables que no provengan de combustibles fósiles, con el fin de disminuir la contaminación del aire al emitir gases contaminantes producidos por la combustión química. Por otro lado, el vehículo Fórmula Student es un prototipo elaborado por estudiantes de ingeniería de todo el mundo, su función principal es la de competir tomando en cuenta aspectos de diseño, rendimiento y conducción; fomentando el trabajo en equipo, gestión de proyectos y desarrollo de habilidades técnicas.

El movimiento de estos monoplazas se genera en base a diferentes tipos de baterías, tomando para la presente investigación las baterías de litio por el costo, la facilidad de adquisición, su manipulación para crear celdas y por su alta capacidad energética. Para el proceso de carga es importante contar con un equipo adecuado, para así aprovechar al máximo su rendimiento y evitar daños en sus celdas debido a variación en el voltaje de entrada.

Además, es importante identificar que el tiempo de vida útil de la batería de litio depende de los mantenimientos periódicos que reciba el equipo y de los procesos de carga y descarga de manera controlada, para evitar generar cortocircuitos en sus celdas que provoquen una menor cantidad de energía almacenada, por ende, reducirá su tiempo de autonomía.

En el proceso de diseño de la batería de litio se elaboró diferentes cálculos y pruebas con el fin de determinar el voltaje requerido para el funcionamiento del vehículo formula student, que requiere de 48V y 85A para su correcto funcionamiento y se realizó conexiones en serie y en paralelo de cada uno de sus paquetes, para así lograr obtener los datos requeridos, garantizando una conducción cómoda y segura para el usuario.

Para la ejecución de las pruebas de ruta se tomó de referencia las condiciones científicas validadas de la norma SAE para garantizar los resultados obtenidos, por ende, es necesario la utilización de una pista con dimensiones establecidas para este tipo de vehículos. Finalmente, el circuito presenta una dimensión de 3 metros de ancho y 2 curvas cerradas que facilitarán comprobar la autonomía, el tiempo de trabajo y el funcionamiento en diversas condiciones.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e Implementar un sistema de carga de baterías de litio para un vehículo eléctrico tipo fórmula student.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Investigar acerca de la demanda energética de un vehículo eléctrico y la correcta configuración de las baterías a fin de obtener un mayor desempeño por parte del vehículo.
- Establecer el modelo ideal de carga del vehículo eléctrico con base a los datos obtenidos por parte del mismo.
- Diseñar e implementar el sistema de carga de baterías de litio para el vehículo eléctrico.

1.3 JUSTIFICACION

El presente trabajo busca incentivar el uso del vehículo eléctrico (VE) implementando un sistema de carga amigable y eficiente para el uso en cada uno de sus hogares. La investigación nace a partir de la competencia (existente) entre el VE Y el motor de combustión interna (MCI). Por lo que se hace muy importante este trabajo de grado al buscar una ayuda en la implementación de los VE en la sociedad mostrando su eficiencia, disminución de emisiones de gases y contaminación de ruido. (Cueva , Lucero, Guzmán , Rocha , & Espinoza , 2018, págs. 33-37)

En la actualidad existe un aumento excesivo en el precio de los combustibles en el país, ocasionado una disminución en el costo al adquirir vehículos con motores de gran cilindrada. La industria automotriz busca nuevas fuentes de energías renovables para sustituir los combustibles fósiles y el principal medio de generación de trabajo es la utilización de la electricidad. Según la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR) a partir del 24 de junio de 2015

mediante la resolución Nro. ARCONEL 038/15 se aprueba un sistema tarifario para hogares con VE de 0,05 \$/kWh en un periodo de 22:00- 08:00 y otros incentivos para el consumo eléctrico. Lo cual es una oportunidad para la ejecución de un sistema de carga para vehículos en el hogar con baterías de litio para brindar una mayor autonomía. (Perdón , y otros, 2017, pág. 45)

Con lo descrito anteriormente el trabajo de investigación tiene como finalidad la adecuación de un sistema de carga con baterías de litio que se pueda utilizar en los diferentes hogares sin complicación alguna y mejorar el sistema de baterías para un fácil mantenimiento correctivo en caso de ser necesario.

1.4 ALCANCE

La investigación tiene por finalidad realizar el diseño e implementación de un sistema de carga de baterías de litio para un vehículo eléctrico considerando la normativa SAE formula Student. Se realizó una exploración acerca de la demanda energética del antes mencionado VE, además de conocer la correcta configuración de las baterías de litio a fin de obtener un mayor desempeño por parte del automotor y recolectar información de los datos reales de funcionamiento. A su vez, se estableció un método o sistema de carga que nos permite maximizar la autonomía del mismo.

El modelo a utilizar del sistema de carga de baterías de litio tiene por finalidad maximizar la autonomía de un vehículo eléctrico con la ayuda de elementos electrónicos y en su defecto de un sistema computacional que nos permitan establecer un correcto cargado del vehículo.

1.5 ANTECEDENTES

En la actualidad y en el medio en que vivimos, el contar con un vehículo que nos permita trasladarnos de un lugar a otro de forma más rápida, segura y confortable ha dejado de ser un privilegio y ha pasado a ser una necesidad. Hoy en día los medios de transporte son los responsables del 63% de la contaminación total del planeta, esta cifra nos permite visualizar el gran problema que presenta la contaminación ambiental. Con el uso de medios alternativos de energía para el sistema de transporte se pueden reducir notablemente los índices de contaminación. (González Pérez, 2021, pág. 22)

Recientemente el tema de la movilidad eléctrica ha ocupado un papel relevante en las agendas de la mayor parte de los países y empresas automotrices. La adquisición de VE en un lugar obligará a readecuar las instalaciones de estaciones de carga, disminuyendo

la cantidad de emisiones contaminantes. El ingreso de VE al mercado nacional ayuda a movilizarse de un sitio a otro de forma cómoda, rápida, silenciosa y segura; debido a sus beneficios la industria automotriz ha generado un medio de transporte óptimo que presenta la disminución de mantenimientos, menor cantidad de averías y una eficiencia mayor en comparación a los motores de combustión interna. Los gobiernos incentivan a las personas a la compra de los VE reduciendo los impuestos, costos de compras y repuestos para el automotor. (De Quirós Aparicio , 2018, págs. 16-20)

El impulso que ha recibido el vehículo eléctrico en los últimos años está enfocado en los avances tecnológicos y la aparición de dispositivos electrónicos que ha permitido impulsar la investigación en este campo y favorecer la viabilidad de los dichos vehículos. A principios del siglo XX se realizó un intento sin éxito del armado de baterías de litio, debido a que los modelos de esa época eran inestables y peligrosos. Las primeras baterías compuestas en su estructura por litio surgen en la década de 1970 con el uso del litio metálico como ánodo. En 1980 se da inicio a la producción de pilas de litio recargables, que en la actualidad están ampliamente difundidas en el mercado. (Bordons , García Torres, & Ridaio, 2020, págs. 9-16)

1.6 HISTORIA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

El primero vehículo eléctrico surgió en el año de 1834 creado por Robert Anderson en Escocia con una autonomía de 12 minutos de funcionamiento y en 1835 el profesor Sibrandus Stratingh de Groninga fabricó carros eléctricos a escala para uso propio e investigación. Además, en el año de 1852 Gastón Planté creó la batería de plomo y ácido lo que revolucionó la industria automotriz creando un sistema de energía recargable. (Freysenet, 2011, pág. 11)

Ferdinand Porsche en el año de 1898 presentó su primer prototipo conocido como Egger-Lohner P1 que alcanzaba una velocidad de 34 km/h y una distancia de 79 km con una carga completa. Posteriormente en 1912 Thomas Edison fabricó la batería de hierro-níquel mejorando el tamaño de los vehículos y en 1913 se creó el motor de arranque eléctrico por Charles Kettering eliminando el arranque a manivela sacando del mercado a los vehículos eléctricos por su costo y tiempo de funcionamiento. (Chancusig Guerrero, 2014, págs. 5-8)

Las empresas automotrices fabricaron vehículos eléctricos como el Ford Ecostar, Toyota RAV4, Ford Ranger y General Motors lanzó el modelo Impact que presentó gran acogida

por su comodidad y aerodinámica. En 1997 Toyota destacó al presentar su modelo híbrido conocido hasta la actualidad como Prius, logrando ser un diseño eficiente. La compañía Tesla Motors demostró que los autos cero emisiones son rentables al presentar los modelos Roadster y el model S como pioneros de su empresa, dando apertura a las demás marcas en la creación de modelos híbridos y eléctricos puros para así ayudar al medio ambiente. (Collaguazo & Mena , 2018, págs. 3-5)

1.7 VEHÍCULO ELÉCTRICO

Un vehículo eléctrico presenta un sistema de propulsión por uno o más motores alimentados por electricidad que se encuentra almacenada en baterías recargables. Estos motores convierten la energía eléctrica en energía mecánica a través de interacciones electromagnéticas y muestra una disminución de CO₂, convirtiéndolo en un procedimiento limpio. Este tipo de autos proporcionan una conducción cómoda al disponer de una aceleración rápida y continúa sin importar las condiciones externas. (Frías Marín & Román Ubeda, 2019)

Las principales ventajas de un vehículo híbrido según (Rocha Hoyos, Tipanluisa , Reina, & Ayabaca, 2017) son:

- Ayuda al medio ambiente al no producir emisiones contaminantes.
- Menos averías ya que sus componentes no están expuestos a desgastes excesivos.
- Simplicidad mecánica y mayor rentabilidad.
- Los mantenimientos no son frecuentes, pero si deben ser programados.
- Mayor eficiencia que un motor de combustión interna.
- No generan ruido durante su funcionamiento y son fáciles de conducir al no presentar una caja de cambios.
- Existen incentivos de compra, establecidos por cada país.

1.8 TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

1.8.1 VEHÍCULO ELÉCTRICO PURO (BEV)

Son vehículos que constan de uno o varios motores eléctricos y se abastecen de la energía almacenada en la batería que se carga de forma directa enchufando el auto a la red eléctrica en un punto de carga o mediante los sistemas de recuperación de energía como son los frenos regenerativos o las desaceleraciones. Estos vehículos se los conoce como 0 emisiones y su autonomía depende del modelo y la marca, una carga completa de

aproximadamente 8 horas brinda desde 200km a 500km, convirtiéndose en una gran alternativa para el transporte urbano ya que presenta un motor en cada rueda.

Las principales limitaciones de estos vehículos son el deterioro de la batería ya que sus celdas se van quemando por lo que se debe realizar un reemplazo parcial o total. Por otra parte, las ventajas que ofrecen estos autos según (Guri Fernández, 2021, págs. 8-12) son:

- No produce emisiones contaminantes.
- No produce ruido ni vibraciones durante su funcionamiento.
- Par motor instantáneo.
- Conducción fácil y cómoda al no presentar caja de cambios.
- Mayor eficiencia alrededor del 90%.
- Presenta un proceso reversible de corriente (Vehicle 2 Grid).
- Mayor espacio en el vehículo.



Figura 1 Vehículo eléctrico puro (BEV)
(Trashorras Montecelos, 2019, pág. 15)

1.8.2 VEHÍCULO ELÉCTRICO HÍBRIDO (HEV)

Son los vehículos híbridos convencionales que no presentan un sistema de carga enchufable, consta de un motor principal de combustión interna que puede ser de gasolina o diésel y uno o dos motores eléctricos que sirven de apoyo en condiciones específicas de funcionamiento. Presentan una batería de alto voltaje que almacena la energía producida por los motores o sistemas auxiliares como frenos regenerativos y una batería de 12V para la utilización de diferentes accesorios como música, luces, etc.

Estos vehículos disminuyen las emisiones contaminantes durante su funcionamiento debido a que pueden operar de forma 100% eléctrica por distancias cortas. Consiste en

alternar el funcionamiento del motor de combustión con los motores eléctricos o en operar de forma combinada para brindar un mayor torque-potencia con respecto a los requerimientos del vehículo. (Chele Sancan, 2017, págs. 5-8)

Las principales ventajas de un vehículo híbrido según (Contreras Valenzuela, 2018, págs. 10-13) son:

- Reducción de los costos de combustible.
- Disminución de emisiones contaminantes.
- Par motor instantáneo.
- No presenta ralentí el motor de combustión interna (sistema Start/Stop).
- Mayor eficiencia durante la conducción.
- Reducción de ruido durante su funcionamiento.

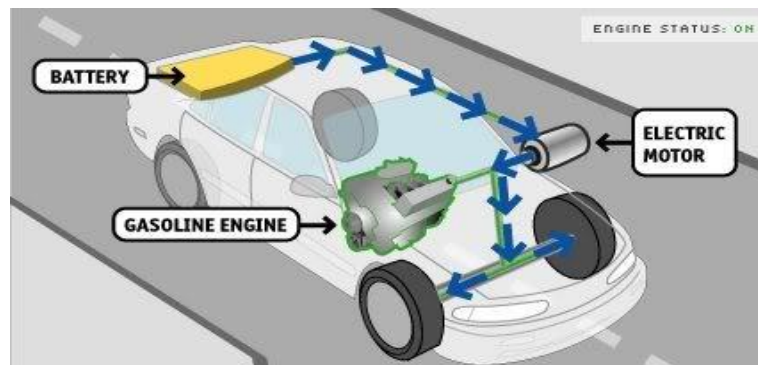


Figura 2 Vehículo eléctrico híbrido (HEV)
(Méndez , Cely , & Monar , 2016, pág. 9)

1.8.3 VEHÍCULO ELÉCTRICO HÍBRIDO ENCHUFABLE (PHEV)

Son vehículos con un motor de combustión interna y uno o varios motores eléctricos, con la diferencia que su batería es de gran capacidad de almacenamiento y se recargan enchufando a los sitios de carga o a la red eléctrica. Es un medio de transporte muy amigable con el medio ambiente dado que presenta una batería que brinda mayor autonomía en su modo eléctrico, logrando alcanzar hasta 60 km. Este diseño permite circular sin ruido y emisiones contaminantes al mantener apagado al motor térmico en condiciones normales de funcionamiento o se combinan los dos sistemas para ofrecer las máximas prestaciones. (Llaosa Fortanet, 2021, págs. 61-63)

Las principales ventajas de un vehículo híbrido enchufable son:

- Se adapta a cualquier condición de manejo.

- Bajo nivel de emisiones contaminantes.
- Presenta etiqueta ambiental 0 azul de la DGT (prioridades en la conducción).
- Incentivos fiscales (matriculación gratuita, disminución de costos de repuestos, reducción en peajes, etc.)
- Mayor confort (no produce ruidos o vibraciones).
- Sensación de un vehículo deportivo.

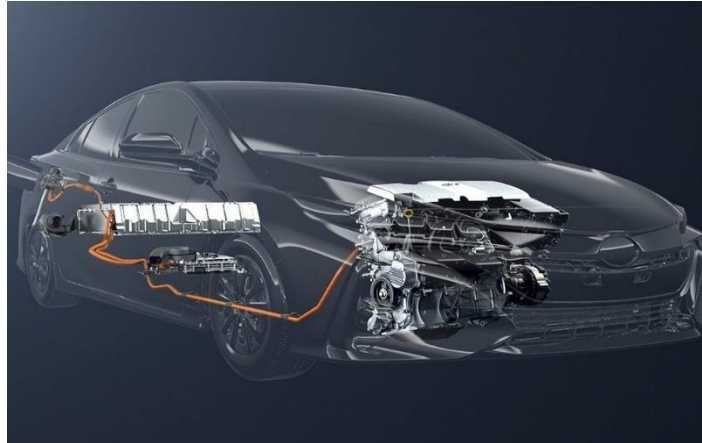


Figura 3 Vehículo eléctrico híbrido enchufable (PHEV)
(Cueva , Lucero, Guzmán , Rocha , & Espinoza , 2018, pág. 4)

1.9 MOTORES ELÉCTRICOS

El motor eléctrico tiene como función convertir la energía eléctrica en energía mecánica para crear un movimiento y producir un trabajo. El principio de funcionamiento se da a través de la atracción y la repulsión generada entre el estator y la bobina que está solidaria al rotor. En el momento que ingresa una corriente eléctrica al circuito se forman campos magnéticos produciendo el giro del rotor creando energía que se utilizará en diferentes actividades. (Enríquez, 2000, pág. 19).



Figura 4. Motor eléctrico de flujo axial
(Rosales Fernández, 2018, págs. 12-13)

1.9.1 MOTORES ELÉCTRICOS DE IMANES PERMANENTES

Son motores que presentan barras magnéticas de disprosio o neodimio colocadas en las puntas del rotor aumentando el empuje para lograr un mayor rendimiento y ahorro de energía sin necesidad de una excitación externa. Su funcionamiento se da por medio de un convertidor de frecuencia que garantiza un par constante ante cualquier velocidad, logrando conseguir una eficiencia muy alta con un diseño compacto. Son muy utilizados por ser silenciosos y por su tamaño en accionamientos eléctricos, compresores, ascensores, maquinas-herramientas, etc.

Estos motores son los preferidos en la industria debido a su diseño y materiales haciéndolos más robustos y resistentes ante cualquier situación de trabajo, su ciclo de vida es mayor en comparación a otros motores eléctricos ya que reduce el calor general del sistema y las emisiones de carbono. Además, se adapta a sistemas complejos y a nuevos componentes electrónicos dado que no utiliza un damper para su arranque. (Ramos Calambás , 2020, págs. 41-42)

1.9.2 MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA (AC)

Este tipo de motor funciona por medio de campos magnéticos que giran alrededor del rotor y estator creando una corriente alterna trifásica, para así transformarla en velocidad y torque con respecto a los requerimientos que presente. Los valores que se crean dentro del campo varían de forma constante dependiendo de la energía de entrada, por lo que los autos utilizan esta corriente por su bajo costo de fabricación y el tamaño reducido que presentan utilizando menor espacio en el vehículo. Son utilizados por su alta capacidad de giro y cargas débiles en sistemas de refrigeración, arranque y carga de energía. (Silicon Technology, 2016, págs. 36-38)

1.9.3 MOTORES DE INDUCCIÓN ASÍNCRONA

Este motor es alimentado a través de un campo electromagnético producido por la bobina. Consta de un estator que se encuentra fijo y un rotor en forma de cilindro que presenta un bobinado en su interior, para generar corriente por el movimiento de sus componentes. Su funcionamiento es por medio del devanado del rotor que no se encuentra conectado de forma directa al circuito del motor, se encuentra aislado. Además, las barras están unidas por anillos a las puntas del rotor logrando variar su velocidad con respecto a la carga que necesite. (Mujal, 2004, págs. 12-13)



Figura 5. Motor asíncrono
(Cóndor Arévalo, 2020, págs. 41-42)

Con respecto al diseño del rotor, según (De la Torre, 2019, págs. 56-64) existen dos tipos que son:

- **Rotor de jaula de ardilla:** Presenta un diseño cilíndrico con un eje en su interior que contiene barras conductoras longitudinales con ranuras o canales, logrando colocar en cortocircuito los anillos que forman la estructura y el campo magnético produce una fuerza de torsión al circular la corriente por el sistema. Estos motores son muy utilizados en la industria por su bajo costo y tamaño reducido, logrando disminuir los ruidos de funcionamiento y el bloqueo magnético del rotor. Se utiliza principalmente en bombas centrífugas, fresadoras, tornos, corte y troquelado de láminas, etc.
- **Rotor de herida:** Su disposición permite colocar una resistencia al bobinado para así controlar la energía producida, el motor que presenta este tipo de rotor se nombra devanado aislado de fase o generador de inducción doblemente alimentado. Su utilización se da por presentar un bajo consumo de corriente, un par de arranque elevado y una velocidad variable. Además, brinda un torque mínimo y su mantenimiento es muy costoso ya que necesita revisiones periódicas. (Sánchez, 2011)

El motor asíncrono según (De la Torre, 2019) por sus fases pueden ser:

- **Motor de inducción monofásico:** Su funcionamiento se basa en la alimentación del sistema por medio de una bobina principal y una bobina auxiliar desfasadas con 90° , que convierte la corriente alterna (CA) que puede ser de hasta 220V en energía mecánica para generar movimiento a través de la inducción

electromagnética. Se usan principalmente en moladoras industriales, bombas de agua, sierras de banco, taladros de mesa y aires acondicionados.

- **Motor de inducción trifásico:** Transforma la corriente alterna trifásica (CA) en energía mecánica con un alto torque ideal para trabajos pesados. Su funcionamiento se da al presentar una velocidad menor del rotor con respecto a la velocidad del campo magnético evitando que se alineen, logrado que la trayectoria de giro del rotor no se interrumpa. Estos motores son usados en instalaciones industriales o comerciales debido a su tamaño y potencia que entregan.

1.9.4 MOTOR SÍNCRONO

El motor síncrono presenta un estator fijo con imanes distribuidos alrededor de su cuerpo y un rotor bobinado con anillos rozantes que al enviar una corriente de alimentación se producirá un campo giratorio. Transforma la corriente alterna (CA) en energía mecánica a diferentes frecuencias y la velocidad que necesite el motor depende de la frecuencia de la corriente de abastecimiento. Este tipo de motores no son muy utilizados debido a que no pueden arrancar sin ayuda, por lo que la velocidad del rotor es cero cuando se encuentra parado. (Medina, 2014, págs. 35-36).

El motor síncrono según (Mondragón Albarrán, Cardoso Jiménez, & Bobadilla Beltrán, 2017, págs. 28-31) se clasifica en:

- **Motor de reluctancia:** Su funcionamiento es similar al de un motor inductivo, por lo que consta de un rotor de hierro simple sin imanes ni bobinas y un estator con bobinado distribuido alrededor de su cuerpo generando un campo electromagnético de calidad para así evitar pérdidas de energía. Se utiliza en motores paso a paso, cintas transportadoras y en aplicaciones dinámicas.
- **Motor de histéresis:** Es un motor con un funcionamiento diferente al no presentar devanados en el rotor y su estator puede presentarse en una distribución monofásico o trifásico con el fin de evitar pérdidas de energía. En su composición consta de una cámara de aire uniforme, no necesita de ningún sistema de excitación para generar energía y el par estimulado es proporcional al ángulo que se forma entre el rotor y el estator. Este motor es muy utilizado ya que se adapta a sistemas de engranajes, es silencioso y no presenta vibraciones durante su puesta en marcha.

1.10 BATERÍAS

Las baterías almacenan la energía en el interior de sus celdas que se encuentran ensambladas en un módulo y utiliza un electrolito para realizar una reacción química y evitar corto circuitos. Este diseño contiene en cada módulo unos sistemas de seguridad electrónicos y mecánicos para vigilar la actividad y las condiciones de funcionamiento que presente. Son muy utilizadas por su alto rendimiento, capacidad energética y resistencia a la descarga. Además, presentan un tamaño compacto y pueden trabajar por tiempos prolongados resistiendo ciclos de regeneración. (Manrique , 2014, págs. 61-62)

La entrega de energía al vehículo es máxima sin importar la cantidad de carga que presente y su vida útil es superior a las baterías convencionales. El funcionamiento se da por medio del electrolito que crea una diferencia de potencia al moverse del lado positivo al negativo, cuando la batería proporciona energía los electrones que se encuentran en el polo negativo se liberan por medio de un circuito externo dirigiéndose al polo positivo. Por otro lado, en el proceso de carga de energía los electrones van del polo positivo al negativo para regenerar el voltaje dentro de la batería. (Mejía Pérez, 2014, págs. 20-24)

Las principales propiedades de las baterías según (Pinto, 2021, pág. 12) son:

- Mayor densidad energética por lo que almacena mayor cantidad de energía en un menor volumen.
- Menor tiempo de descarga brindando mayores horas de funcionamiento en el vehículo.
- Baja pérdida por autodescarga evitando desgaste cuando no se encuentra en uso.
- Alta densidad de potencia entregando mayor cantidad de Vatios (W) sobre su peso en kilogramos (kg).



Figura 6 Batería de Litio
(Olmo , 2019)

Las principales baterías automotrices según (Borja Cedeño, 2019, págs. 32-35)son:

- Baterías de celdas húmedas.
- Batería de calcio.
- Batería de Níquel.
- Batería de Cadmio.
- Batería VRLA (AGM y Gel).
- Batería de ciclo profundo.
- Baterías de litio.

1.10.1 BATERÍA DE LITIO

El litio presenta un potencial de reducción muy bajo de $-3,05V$, lo que indica que puede regalar electrones con facilidad logrando una carga positiva, pero al ser un metal inestable se oxida rápidamente cuando entra en contacto con el aire y actúa de forma agresiva cuando se ingresa agua en su sistema. La batería de litio consta de un ánodo que es un electrodo negativo y es la pérdida de electrones por reacciones de oxidación, el cátodo es un electrodo positivo que captura electrones por medio de reacciones de reducción y el electrolito que trabaja como un separador entre los electrodos para mantener un equilibrio evitando corto circuitos por contacto directo entre el ánodo y el cátodo produciendo una diferencia de potencial. (Fernández Pulido, 2020, págs. 22-27)

El ánodo y cátodo se encuentran enlazados por medio de un electrolito y por un conductor externo por los cuales circulan los electrones, los conductores presentan un polo positivo y uno negativo. El funcionamiento se produce cuando la batería se encuentra cargada y el litio se encuentra en el ánodo, al iniciar el proceso de descarga los iones fluyen por medio del electrolito desde el ánodo al cátodo de óxido de litio y se alimenta el vehículo. Además, el voltaje que presenta la batería depende de la diferencia de potencial existente entre los electrodos positivos y negativos, si la diferencia es alta el voltaje es mayor. (Guri Fernández, 2021, pág. 11)

1.10.2 TIPOS DE BATERÍAS DE LITIO

1.10.2.1 LITIO Y ÓXIDO DE COBALTO

Son baterías compactas, de tamaño reducido y presenta una densidad energética de 170-185 Wh/kg por lo que se utilizan en laptops, celulares y cámaras fotográficas. Entre sus principales limitaciones tenemos una duración corta de funcionamiento, una potencia específica limitada y un problema de seguridad al presentar un aumento de tamaño por su

uso excesivo. En cuanto al trabajo, no se usan en el ámbito automotriz debido a que soportan aproximadamente 500 ciclos de recarga, convirtiéndose en baterías de uso doméstico y tecnológico. (Guevara Coronado & Vargas Pérez, 2019, págs. 32-33)

1.10.2.2 ÓXIDO DE LITIO – MANGANESO

Son baterías muy estables a altas temperaturas y seguras ante cualquier situación de funcionamiento, presentan una densidad energética de 90-110 Wh/kg y soporta cargas de hasta 1500 ciclos. El manganeso se encuentra de forma sencilla y barata, convirtiéndoles en baterías amigables con el medio ambiente al no producir emisiones contaminantes. Son muy utilizadas en herramientas eléctricas, equipos médicos, bicicletas eléctricas y vehículos híbridos. (Dingxin, 2021, pág. 11)

1.10.2.3 LITIO FOSFATO DE HIERRO

Son las baterías más seguras en el mercado por su estabilidad térmica y química, presenta una densidad energética baja que se encuentra entre 90-125 Wh/kg y soporta hasta 2000 ciclo de carga. No son tóxicas, soportan temperaturas elevadas y su costo de adquisición es muy cómodo al no presentar cobalto o níquel. Además, por su disposición de realizar cargas y descargas continuas son recomendadas para vehículos híbridos enchufables, motores estacionarios y herramientas eléctricas. (Trócoli Jiménez, 2012, págs. 22-26)

1.10.2.4 LITIO NÍQUEL MANGANESO ÓXIDO DE COBALTO

Son baterías que pueden suministrar alta cantidad de energía, estabilidad térmica y potencia específica; están formados por 33% de níquel, 33% de manganeso y 34% de cobalto. Debido a la proporción de cada material la batería puede adaptarse a las disposiciones del fabricante logrando mejorar la densidad energética de 155-190 Wh/kg y reducir los costos. Son capaces de soportar hasta 1500 ciclos de carga y voltajes muy elevados sin presentar desperfectos o pérdidas de energía. Es por eso que son muy utilizadas en vehículos híbridos y eléctricos puros, equipos estacionarios y electrónica portátil. (Sarango Tacuri, 2017, págs. 3-4)

1.10.2.5 LITIO NÍQUEL COBALTO ÓXIDO DE ALUMINIO

Se les conoce como baterías NCA las cuales presentan una densidad energética superior a las demás baterías de 200-250 Wh/kg y soporta hasta 1500 ciclos de carga. Su composición química es de 5% aluminio, 15% cobalto y 80% de níquel brindando un alto rendimiento. Por otro lado, son muy inestables por la cantidad excesiva de níquel por lo que requieren un medio de refrigeración y costosas por la compatibilidad entre los

diferentes materiales. Su principal mercado es en equipos electrónicos portátiles y vehículos eléctricos puros. (Álvarez Coronel & Méndez Chillogalli, 2022, págs. 13-14)

1.10.2.6 TITANATO DE LITIO

Son baterías que han evolucionada de una forma veloz y son muy utilizadas por su rápido tiempo de carga por la utilización de nanotecnología. Presentan una densidad energética de 65-100Wh/kg, son muy duraderas y soportan hasta 12000 ciclos de carga ideal para el uso de autobuses eléctricos. Se puede someter a cambios extremos de carga y descarga o a bajas temperaturas sin presentar daños en sus celdas. Son las baterías del futuro ya que brindan seguridad, baja cantidad de emisiones contaminantes y larga vida útil. (Ortega Herrera , 2014, págs. 15-16)

1.11 SISTEMA DE CARGA DE BATERÍAS

Las baterías de los vehículos eléctricos necesitan recargarse ya sea en un punto de carga o en la red doméstica, por el tiempo que tarda en llegar a una carga completa de aproximadamente 6 a 10 horas es recomendable hacerlo durante la noche. La duración de la carga depende de la máxima potencia de carga del vehículo, capacidad de la batería y la potencia del punto de carga. Además, el tiempo de funcionamiento de la batería se va reduciendo con los años al presentar daños en las celdas internas, por lo que se deberá cargar el vehículo con mayor frecuencia. (Arévalo Salcedo & Rodríguez Palacios, 2020, págs. 16-18)

Los sistemas de carga son ubicados en puntos estratégicos y dependiendo de la cantidad de vehículos existentes en el sector según (Barahona Rosero, 2017, págs. 30-33) pueden ser:

- **Residencial:** Están ubicadas en un edificio principal y son ideales para cargar durante la noche, estos puntos de carga son configurados para brindar energía durante el tiempo en que la corriente es más económica.
- **En parqueaderos:** Pueden ser privados de empresas o públicos que se encuentran con puntos de carga para un determinado número de vehículos y la recarga genera costos adicionales al servicio de parking.
- **En la carretera:** Están ubicados al contorno de las calles y se puede acceder a este servicio mediante una tarjeta de banco o por aplicaciones móviles. La carga en estos puntos es parcial de máximo 4 horas para así evitar el congestionamiento en las vías.

- **Estaciones de servicio:** Las cargas son rápidas y van de 30 minutos a 2 horas proporcionando una carga de hasta el 80% por la alta potencia de energía que presentan estos lugares.

Es necesario seguir las recomendaciones de los fabricantes para así prolongar la vida útil de la batería, por lo que se debe acelerar con suavidad con el fin de no desgastar de forma agresiva la batería, manejar en el modo ecológico, utilizar el freno regenerativo y conducir en un entorno urbano.



Figura 7 Ciclo de carga de un vehículo eléctrico
(Tecnofisis, 2018)

1.11.1 MODOS DE CARGA

El modo de carga se clasifica en cuatro modos dependiendo el vehículo y las condiciones que se presenten, según (Comba Cifuentes, 2020, págs. 39-42) son:





- **Modo 1. Corriente alterna (CA):** La carga se realiza por medio de un enchufe doméstico monofásico, el mismo que se utiliza para cualquier electrodoméstico. Estos tomacorrientes proporcionan una intensidad máxima de 16 Amperios y un voltaje menor a 220 Voltios de corriente alterna y puede generar daños en equipos que sean instalados de corriente continua. Este tipo de carga es recomendable para vehículos pequeños, cuadrones, bicicletas, etc. Por otra parte, en algunos países como España o EE.UU es prohibido el modo 1 dado que puede producirse sobrecalentamiento en el sistema ocasionando problemas eléctricos.

- **Modo 2. Corriente alterna (CA):** Es similar al modo 1 pero con la diferencia de que requiere un tomacorriente que consta con un sistema de protección para brindar seguridad al hogar, al vehículo y al usuario frente a cambios de voltaje que pueden generar cortocircuitos. La carga se debe efectuar con la ayuda de un cable característico con una guía entre el auto y el enchufe. Además, este modo resiste hasta 32 Amperios, un voltaje de 400V y 2,3kW realizando una carga completa de la batería en aproximadamente 8 horas.
- **Modo 3. Corriente alterna (CA):** Es el sistema más confiable y se encuentran en estaciones de carga, se realiza mediante un sistema de alimentación del vehículo eléctrico (SAVE) que presenta una instalación fija y controla la salida de energía cuando no se detecta una conexión en los dos terminales, pero su principal limitante es su costo de adquisición. Estos modelos pueden soportar desde 32 a 63 Amperios y 22kW logrando cargar en su totalidad la batería en 4 horas. Teniendo en cuenta sus características de funcionamiento se ubican en parqueaderos y lugares públicos.
- **Modo 4. Corriente continua (CC):** Es un sistema que se adapta a una red de media tensión y con la ayuda de un inversor transforma la corriente alterna en continua, es considerado el sistema más complejo y más fiable de todos los mencionados anteriormente, la carga se realiza por dos conectores en cada extremo que se encuentra sujeto a la electrolinera. Este tipo de carga proporciona una potencia de hasta 400 Amperios y 22kW permitiendo realizar un abastecimiento de energía en aproximadamente 30 minutos, de manera que son ideales para centros comerciales, parqueaderos, restaurantes o lugares de trabajo. Sin embargo, en este modo de carga la batería se deteriora por el tiempo corto de carga y la potencia elevada que recibe.

1.11.2 TIPOS DE CARGADORES

Las empresas en la actualidad han fabricado diferentes modelos de estaciones enfocadas en una carga rápida para evitar congestionamientos y han sido ubicadas en puntos estratégicos para el libre acceso de los usuarios. En un inicio los puntos de carga estaban diseñados para uno o dos modelos, pero en la actualidad las electrolineras poseen diferentes conectores para así abastecer de energía a la mayoría de los vehículos. En la tabla 1 se puede evidenciar los sistemas de carga más comunes en el mercado.

Tabla 1 Tipos de estaciones de carga

Tipo	Características	Modelo
ABB Terra 53 CJG	Presenta compatibilidad con conectores CHAdeMO, CCS y tipo 2. Proporciona una potencia de 43kW a 50kW y una frecuencia de 50Hz.	
INGETEAM Ingerev Rapid 50	Es compatible con conectores CHAdeMO, CCS y Tipo 2. Brinda una potencia de 50 kW AC y 50 Hz.	
Schneider Electric EVlink	Es compatible con CHAdeMO, CCS, Tipo 2 y SCAME. Provee una potencia de 50 kW y una frecuencia de 60 Hz.	
TESLA Supercharger	Presenta compatibilidad con todo modelo Tesla, Tipo 2 y SAE J1772. Suministra una potencia de 90 kW y una frecuencia variable de 50 a 60 Hz.	

Fuente: (Medina Rosero, 2018)




1.11.3 TIPOS DE CONECTORES

Los conectores de carga dependen del modelo y año de fabricación del vehículo eléctrico y deben presentar las siguientes características según (Dhianeshwar, Prabhjot, & Sreehari, 2016, págs. 12-13):

- **Instalación:** El diseño de los conectores debe ser fabricado cuidadosamente con el fin de brindar un sistema de aislamiento de corriente eléctrica, para evitar accidentes con el usuario durante el proceso de carga.

- **Polaridad:** Los conectores deben cumplir parámetros técnicos con respecto a las normativas internacionales, con un diseño especial que no permita el intercambio con otros tomacorrientes.
- **Acople:** Debe tener seguros de conexión para impedir una desconexión accidental ocasionando accidentes por fugas eléctricas.
- **Polo de puesta a tierra:** Es necesario este sistema que admita una conexión o desconexión mientras el auto se encuentra cargando.

Tabla 2 Tipos de conectores para vehículos eléctricos

Conector	Características	Vehículos	Modelo
SCHUKO	Se usó en el modo de carga 1 y 2 por lo que puede transmitir hasta 18 Amperios y 250 Voltios.	Motos y bicicletas eléctricas.	
TIPO 1	Soporta hasta 250 Voltios, 18 Amperios monofásicos y puede proporcionar 19,2 kW.	-Honda Fit EV -Renault Fluence y Kangoo -Toyota Prius -BMW Active -Tesla Roadster -Nissan Leaf -Ford Focus Electric -Chevrolet Volt	
TIPO 2	Trabaja mediante conexiones monofásicas de 16 Amperios y trifásicas de 63 Amperios. Puede suministrar hasta 500 Voltios y 43,5 kW.	-Tesla Model S -VW e-Golf -BMW i3 -Renault Zoe -Porsche Panamera	

CHAdEMO	Es un modelo particular que puede proporcionar hasta 200 Amperios y 500 Voltios logrando cargas rápidas. Este conector genera una potencia de hasta 62,5 kW.	-Citroën C-zero -Subaru Plug-in Stella -Fiat 500e -Peugeot Ion -Nissan Leaf -Mitsubishi i-MiEV	
SCAME	Trabaja con corrientes monofásicas y trifásicas logrando suministrar hasta 32 Amperios y 22 kW con un Voltaje menor a 500 V.	Se utiliza en micro autos eléctricos, cuadrones y motocicletas.	
CCS	Provee corriente de hasta 200 Amperios y 850 Voltios.	-VW e-Golf -VW e-Up! -BMW i3	
SAE J1772	Abastece de 200 a 450 Voltios, 80 Amperios y una potencia de 90kW. Se puede acoplar a tecnologías PCL para su uso en diferentes Smart Grids.	-Chevrolet Spark EV -Modelos Ford	

Fuente: (Foley, Winning, & Gallachoir, 2015)

1.12 SISTEMA DE GESTIÓN DE LA BATERÍA (BMS)

El BMS es un componente inteligente que se encarga del control y la gestión que realiza un sistema de almacenamiento de energía eléctrica, se le define como un cerebro de la batería y su función es aumentar el rendimiento, seguridad, longevidad y tasa de carga. El funcionamiento del BMS permite que exista un trabajo adecuado de la energía que produce un vehículo eléctrico para ser usada en sus actividades motrices y de comodidad o entretenimiento.

La función de un sistema controlador es verificar y controlar la carga y descarga durante el trabajo, pero también determinar el estado de la batería, informa el porcentaje de energía que existe almacenado en las celdas y brinda información de todo lo que sucede en el interior de la batería cuando el vehículo se encuentra detenido o en marcha. Además, puede intercambiar información de trabajo con dispositivos externos como son los controladores, dicho de otra forma, el BMS administra, controla y utiliza paquetes de baterías. (Gabbar Hossam, 2021, págs. 28-30)



Figura 8 Controlador BMS

(Ashtekar , Campiglia, & Laddha, 2019, pág. 13)

1.13 CARGADOR PFC

El cargador se encuentra ligado de forma directa con la eficacia de la batería del vehículo y es un corrector del factor de potencia; lo cual es la relación que existe entre la potencia real proporcionado por la toma de la corriente eléctrica y la potencia que puede llegar a generar una fuente de alimentación. Su trabajo se da mediante el transporte de la corriente por medio de cables y se generan picos de voltajes que se deben corregir mediante transformadores internos y diodos para así crear corriente directa, logrando proporcionar energía de forma cuando el conductor o los ocupantes lo necesiten.

Al utilizar un cargador de este tipo se aprovecha únicamente el 65% de la potencia suministrada y este problema se puede solucionar mediante un PFC pasivo en el cual se emplean bobinas y condensadores para elevar a 85% el factor de potencia, o a su vez, el PFC activo que trabaja mediante una serie de circuitos integrados que deben llevar en conjunto un MOSFET para lograr un 99% de la potencia que se llega a convertir en potencia útil o de trabajo. (Paipa Ramírez, 2020, págs. 706-717)



Figura 9 Cargador PFC

(IDOITWELL, 2021, pág. 64)

1.14 FÓRMULA SAE O FORMULA STUDENT

Es una competición que consiste en la participación de estudiantes de diferentes carreras en la realización de un diseño, construcción y funcionamiento de un prototipo. El objetivo de esta categoría es que el go-kart o buggy pueda acceder a una pista y realizar las pruebas sin ningún inconveniente. Además, la estructura es realizada con componentes reciclados en buen estado de autos y piezas propias para este tipo de vehículos. Dentro de las competencias de la fórmula SAE se califica las pruebas de diseño, presentación y costo; por lo que existen diferentes categorías según (Maza Rey, 2016, págs. 65-66) que son:

- **Clase 3:** Compiten solo vehículos en proceso de diseño y validación del modelo, con el fin de incentivar al progreso un vehículo no puede participar en esta categoría dos años seguidos.
- **Clase 2:** Es una categoría para prototipos que han conseguido fabricar un vehículo completo y el requisito mínimo es presentar un chasis terminado.
- **Clase 1:** Esta categoría está diseñada para vehículos construidos que son capaces de moverse sin inconvenientes y pueden competir durante 12 meses desde la primera prueba, con el fin de crear nuevos vehículos y mejorarlos. Para excepciones existe la categoría serie 200 que es diseñada para vehículos con dos años de antigüedad.

Es necesario contar con un equipo técnico con conocimientos afines para realizar todo tipo de reparación antes y durante las pruebas. Es necesario la utilización de diferentes equipos tecnológicos para brindar mayor seguridad y eficiencia al prototipo creado

considerando los costos y los recursos disponibles. Por otra parte, antes de la competencia los prototipos deben cumplir una serie de requisitos que son:

- **Cumplimiento de la normativa:** Tamaño, cilindrada, normas de seguridad, etc.
- **Análisis de ruido:** No debe sobrepasar los 110 decibeles.
- **Inclinación:** No debe presentar vuelcos o pérdida de fluidos a 45°.
- **Frenado:** Debe bloquear los cuatro neumáticos al presionar el pedal de freno.

1.15 BUGGY MONOPLAZA

Se denomina Buggy a un automóvil que presenta un chasis ligero, una carrocería desmontable y neumáticos grandes ideales para transitar sobre cualquier superficie. La suspensión que utilizan estos autos les permite circular de forma libre y debe constar de 4 llantas o más, alineadas capaz de soportar hasta 113 kg y 1,90 cm de altura. Las dimensiones máximas conforme a lo ancho son de 162 cm y el largo no está restringido. Estos vehículos deben soportar condiciones extremas como obstáculos y cambios climáticos drásticos, puntos para grúas en caso de presentar fallos mecánicos y una caja de vuelco o jaula con el fin de proteger al conductor en caso de una colisión. (Molina Salazar & Tovar Tobar , 2011, págs. 57-61)

Los Buggy se modifican dependiendo las pruebas que se presentan logrando mayor eficiencia y torque necesario para culminar las competencias, por el diseño es necesario saber conducir ya que son propensos a vuelcos y pérdidas de tracción. Existen modelos profesionales fabricados por marcas de vehículos conocidas y prototipos creados a base de componentes en buen estado de autos fuera de servicio. (Riera Espinoza, 2012, págs. 12-14)



Figura 10 Buggy monoplaza
(Mora Sinche & Suconota León, 2017, pág. 68)

CAPÍTULO II

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MATERIALES Y EQUIPOS

En este apartado se presenta los materiales que nos facilitarán conseguir los resultados de la implementación de la batería de litio a un vehículo eléctrico. El principal objetivo alcanzar es la adaptación de un sistema de carga que cumpla todos los requisitos para que el prototipo se movilice sin ningún inconveniente sobre cualquier superficie. La instalación de este sistema deberá brindar seguridad y comodidad al usuario durante la conducción, por lo que es importante distribuir correctamente los diferentes componentes y seleccionar de forma adecuada los materiales a utilizar.

2.2 DATOS ESPECÍFICOS DEL MOTOR

El motor utilizado en el presente trabajo es de marca “Manta” de corriente continua de 10 HP y que trabaja a un voltaje máximo de 48V, las especificaciones técnicas y características de trabajo se presentan a continuación:

Tabla 3 Especificaciones del motor Manta

Motor Manta DC 10 HP	Características
Voltaje (motor)	36V a 48V
Potencia a 36V	6 HP servicio continuo (sin refrigeración)
Potencia a 48V	10 HP máx no exceder los 125 °F
Eficiencia	94%
RPM máx del motor	4550
Temperatura de trabajo	125°F= 51,66 °C máx
Constante par	(0,13 Nm/ Amp)
Peso	22 libras
Diámetro	7,91”
Longitud	5,64”
Potencia generada requiere diodo 100 Amp. Bloqueo. (Generador)	

Fuente: (Manta S.A, 2020)

2.3 DATOS Y ESPECIFICACIONES DE LA BATERÍA

Para la adaptación de la batería de litio en el vehículo existen diversas alternativas en el mercado que se diferencian por el precio y las características de funcionamiento. A continuación, en la Tabla 3 se detalla las especificaciones técnicas de la batería a utilizarse.

Tabla 4 Batería de litio

Característica	Especificación	Diseño
Modelo	INR18650-2500mAh	
Tipo	Batería recargable de litio	
Capacidad nominal	2500 mAh	
Voltajes		
<ul style="list-style-type: none"> Nominal 	3.7 V	
<ul style="list-style-type: none"> Carga completa 	4.2 V	
<ul style="list-style-type: none"> Descarga de corte 	2.75 V	
Voltaje de trabajo	De 4.2 V a 2.75 V	
Resistencia interna	$\leq 25 \text{ m}\Omega$	
Potencia	9.25 Wh	
Ciclos de vida	≥ 800 veces	
Dimensión	18.4*65.2 mm	
Peso	Aprox. 45.6 g	
Temperatura		
<ul style="list-style-type: none"> Carga Descarga Almacenamiento 	0°C a 45°C -20°C a 60°C -20°C ~ 60 °C (1 mes) -20°C ~ 40°C (3 meses) -20°C ~ 25°C (1 año)	


Fuente: (Battery INR, 2021)

2.4 DATOS Y ESPECIFICACIONES DEL BMS

En la batería de litio se encuentra el sistema BMS que permite una carga y descarga correcta con el tiempo de eso, es un elemento de seguridad que previene accidentes, su función principal es la de monitorear el porcentaje de carga y el estado de salud que presenta la batería en tiempo real. En la tabla 4 se puede verificar las características del BMS utilizado:

Tabla 5 Especificaciones del BMS

Característica	Especificación	Diseño
Marca	Daly	
Modelo	Smart Li-ion Bluetooth BMS	
Voltaje de trabajo	48V	
Corriente de descarga	40- 60A	
<ul style="list-style-type: none"> Corriente de carga 	15A	
<ul style="list-style-type: none"> Celdas de control 	Litio Ion	

<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones L x A x E 	12.8 x 6.6 x 1.8 centímetros	
Sistema operativo	Android, iOS, Windows	
Conexión cable	cable UART (transmisor-Receptor Asíncrono Universal)	
Series de control	14S	
Aplicaciones móviles	SMART BMS	

Fuente: (BMS Daly, 2021)

2.5 DATOS Y ESPECIFICACIONES DEL CARGADOR

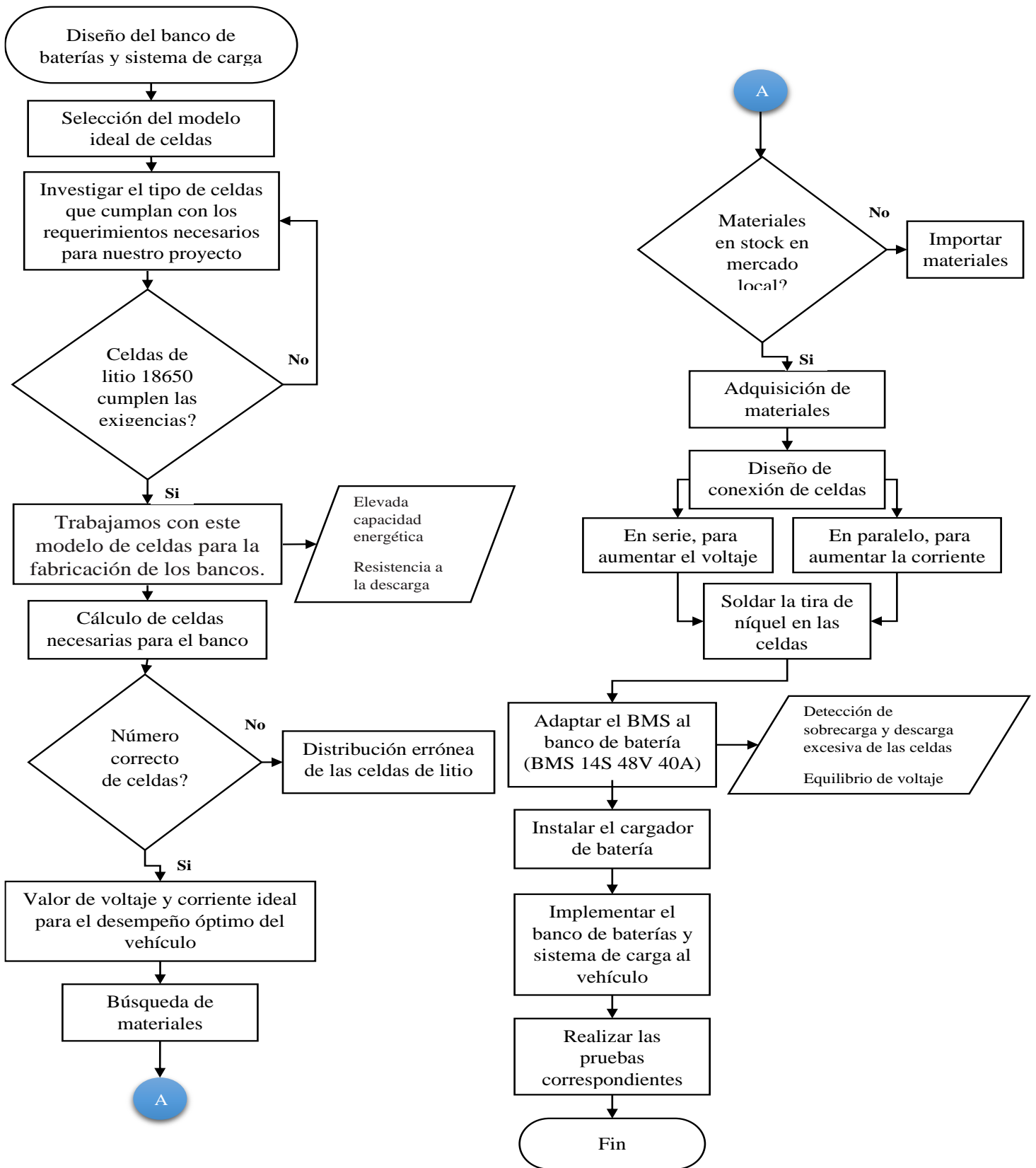
El cargador a utilizarse en el trabajo de investigación permite realizar cargas completas y parciales mediante la luz eléctrica de los domicilios al transformar los 110V en 48V mediante un sistema de reducción de voltaje. Este tipo de cargador nos ayuda a recargar las baterías de litio en cualquier situación logrando cargas rápidas para la utilización del vehículo eléctrico. En la tabla 5 se detalla las especificaciones:

Tabla 6 Cargador PFC

Característica	Especificación	Diseño
Marca	PFC	
Modelo	VL4810PF	
Voltaje de trabajo	50,4V	
Corriente de carga	48V- 10A	
Dimensiones L x A x E	220x120x70mm	
Peso	2,5 kg	
Certificado	Ce, RoHS, C-Tick	

Fuente: (Equipos PFC, 2022)

2.6 FLUJOGRAMA



2.7 METODOLOGÍA

2.7.1 Propósito de la investigación

La presente investigación se realizó con el fin de diseñar un nuevo sistema de carga de baterías de litio para un vehículo eléctrico según la normativa SAE. Es necesario realizar una correcta configuración de las baterías y una instalación adecuada para conseguir una mayor eficiencia y desempeño del prototipo. Además, esta implementación extenderá la vida útil con la ayuda de componentes electrónicos para así aprovechar al máximo la energía producida y generar mayor autonomía.

2.7.2 Tipo de investigación

Para el presente trabajo se utilizó diferentes tipos de investigaciones que permitieron establecer los aspectos más importantes para la adecuación del sistema de carga en el vehículo eléctrico conforme a la fórmula Student, con el fin de determinar la autonomía y la eficiencia del prototipo realizado.

2.7.2.1 Método científico

Con el método científico, se podrá obtener información de fuentes confiables para la argumentación del tema de estudio. Así mismo, nos permitirá adquirir datos específicos sobre normativas vigentes para la implementación de estos sistemas eléctricos y con estas referencias se presentará la propuesta de estudio. Mediante el método científico se obtendrá valores de funcionamiento de cada componente eléctrico y electrónico para así garantizar un correcto funcionamiento y no sobrepasar los rangos de trabajo establecidos por el fabricante, ocasionando la elevación de temperatura en las baterías o daños en el equipo motriz.

2.7.2.2 Método experimental

Con el método experimental se conseguirá datos específicos para la realización de un análisis en cuanto al funcionamiento y eficiencia de la adecuación de las baterías de litio. Las comprobaciones de esta investigación se realizarán mediante equipos de diagnóstico automotriz bajo condiciones científicas validadas como es la norma SAE, para determinar el cambio existente al realizar esta modificación. Las pruebas se realizarán en un circuito elaborado de acuerdo a los requerimientos del prototipo, en el cuál se reflejan las dimensiones ideales para este tipo de pruebas, para así obtener la autonomía y el funcionamiento en curvas abiertas, cerradas y planadas en tiempo y condiciones de trabajo reales.

El circuito a seguir para la realización de las pruebas consta de dos contracurvas cerradas, el espacio de circulación tiene una dimensión de 3 metros de ancho, que permite probar la puesta en marcha del vehículo fórmula Student. La velocidad del prototipo se obtendrá mediante información a través del GPS para validar los datos obtenidos y el tiempo se establecerá con la ayuda de un cronómetro profesional que revele datos en segundos y milisegundos el recorrido completo de la pista.

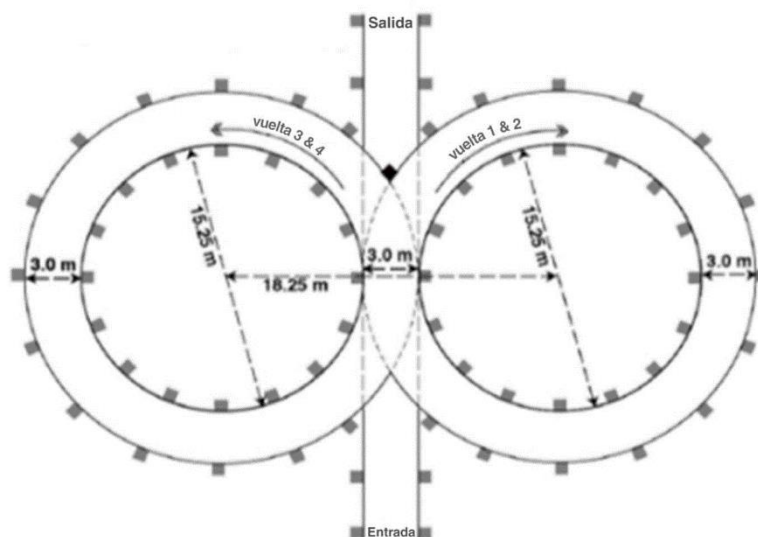


Figura 11 Circuito de prueba fórmula student.

(Bordons , García Torres, & Ridaio, 2020)

2.7.2.3 Método de campo

Este método de campo es considerado muy importante para la recopilación de información mediante una inspección visual y técnica de manera presencial. Es necesario identificar la problemática existente en el proyecto para establecer las falencias en el prototipo durante y después de su puesta en marcha. Con la investigación realizada se puede determinar los cambios que se van a realizar y las readecuaciones para brindar mayor autonomía.

2.8 DISEÑO ELECTRÓNICO

Para la construcción de nuestros bancos de baterías se realizó una selección de celdas de litio 18650, ya que presentan un desempeño ideal para las necesidades del proyecto y son fáciles de adquirir en el mercado ecuatoriano.

En cuanto a la elaboración del diseño electrónico del pack de baterías se tomó en cuenta dos parámetros necesarios, uno de ellos fue las exigencias del controlador electrónico existente en el buggy para su funcionamiento que requiere de un voltaje nominal de 48 V con un máximo de 54.6 V y un mínimo de 42.2 V; el otro parámetro a tomar en cuenta es la corriente nominal necesaria para el funcionamiento con el máximo desempeño del motor, la cual es de 85 amperios.

Con los datos antes mencionados procedimos a realizar el cálculo pertinente, como se muestra en las ecuaciones 1 y 2, el cual nos permitió conocer el número de celdas de litio requeridas para obtener los valores necesarios para el funcionamiento de nuestro vehículo, tomando en cuenta que cada una de estas baterías entrega un voltaje nominal de 3.7 V y una corriente nominal de 2.5 amperios. Para el antes mencionado cálculo se utilizó la ecuación 1 y 2 como se detalla a continuación:

$$V = n_s * V_u \quad [1]$$

$$V = 14 * 3.7 = 51.8 [V]$$

$$I = n_p * I_C \quad [2]$$

$$I = 9 * 2.5 = 22.5 [A]$$

Dónde:

V : Voltaje nominal del banco de baterías

n_s : Número de celdas en serie

V_u : Voltaje nominal unitario por celda

I : Corriente nominal del banco de baterías

n_p : Numero de celdas en paralelo

I_C : Corriente nominal unitario por celda

La conexión del banco de baterías basa su diseño en las leyes eléctricas, es decir, mediante la conexión en serie y paralelo con el fin de obtener un voltaje y un amperaje necesario para cumplir con los requerimientos del proyecto. Para ello, el diseño del pack queda estructurado de un total de 126 celdas de litio, 14 paquetes en serie y 9 en paralelo, cada una con un voltaje de 3.7, como se muestra en la figura 12.

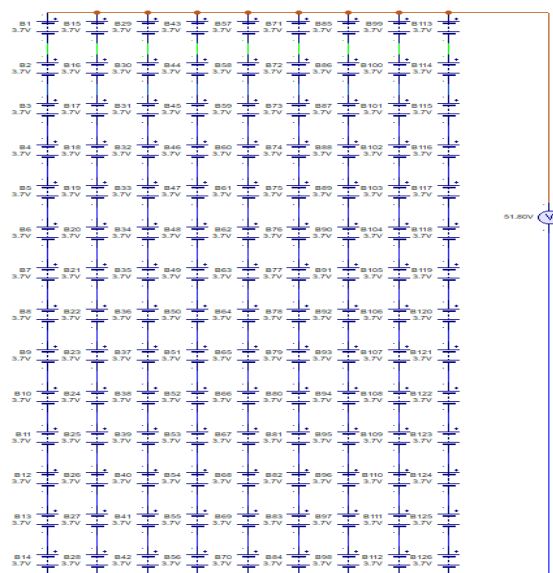


Figura 12 Configuración eléctrica de la batería

(Fernández Pulido, 2020)

2.9 CONSTRUCCIÓN

2.9.1 Proceso de verificación de buen estado de las celdas.

Una vez adquiridas las celdas 18650 es necesario realizar un proceso de verificación con el objetivo de identificar su estado y funcionamiento. Para nuestro banco eran necesarias 126 celdas de litio, cabe mencionar que al ser 4 bancos utilizamos un total de 504 y las cuales fueron sometidas a este proceso de verificación.

2.9.2 Pasos para la verificación de celdas.

Primer paso, se procede a comprobar las especificaciones de la celda de litio 18650 que se encuentran en una etiqueta en el lateral. Para la creación del banco todas las celdas deben tener las mismas especificaciones con el fin de obtener baterías con un voltaje de 3.7 V, y una corriente de 2500 mAh. El segundo paso consiste en realizar una medición con la ayuda de un multímetro para así verificar la tensión de salida de la celda de litio, para ello se coloca la punta positiva del multímetro en el terminal positivo de la batería y la punta negativa en el terminal negativo de la misma.

Tercer paso, se comprueba los valores de voltaje arrojados en la pantalla del multímetro, se identifica los valores que presentan las celdas, las cuales deben arrojar datos entre 3.6 y 3.7 V, en el caso de que la batería arroje un valor por debajo de los 3.5 V es necesario realizar un proceso de recarga y dejarla reposar por aproximadamente 2 horas para luego verificar la tensión que presente; si el voltaje continua manteniéndose con un valor por

debajo de 3.5 V se debe descartar la celda para evitar daños a corto plazo a través de la sustitución del componente defectuoso. Finalmente, realizado el proceso de revisión del estado de las celdas, se procedió al montaje del diseño del banco tanto en serie como en paralelo con el fin de obtener el voltaje y corriente deseados.

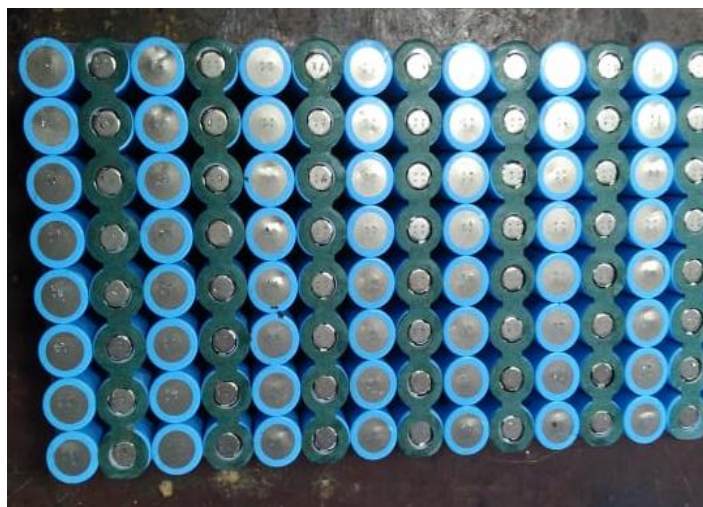


Figura 13 Diseño del banco de baterías

Posteriormente, se ensambló la estructura del banco con espaciadores de plástico donde se colocaron las celdas 18650.



Figura 14 Estructura de separadores plásticos

A continuación, se realizó la instalación de celdas en la estructura de los espaciadores de plástico.



Figura 15 Instalación de las celdas en los separadores

Posterior a la instalación de las celdas en la parte inferior de la estructura, se procedió a colocar la carcasa superior de los espaciadores sobre las celdas, con el fin de obtener una mayor fijación y estabilidad en el banco de las baterías de litio.



Figura 16 Banco de baterías con separadores

A continuación, una vez que se armó el banco de baterías, se procedió a soldar las conexiones entre las celdas; para ello se utilizó una tira de níquel de 0.20 mm de diámetro y una soldadora de puntos. Mediante el proceso antes mencionado se obtiene del pack de celdas, una salida positiva y una salida negativa.

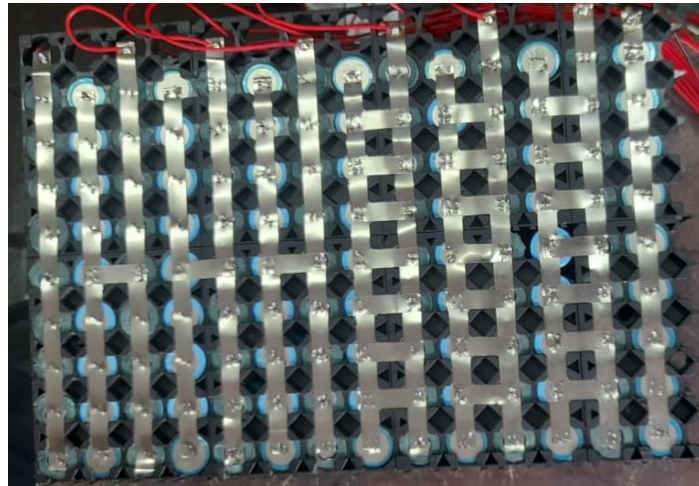


Figura 17 Pack con celdas soldadas

El paso siguiente es la conexión del BMS bluetooth, el cual consta de 13 cables de señal positiva y una negativa, cada cable de dicho elemento va conectado en cada serie positiva del pack de baterías y uno en la señal negativa. Además, por medio de una aplicación en el teléfono podemos obtener los voltajes tanto del banco como de las series individuales, de esta forma comprobamos el correcto funcionamiento y monitoreamos si presenta algún daño en alguna serie.

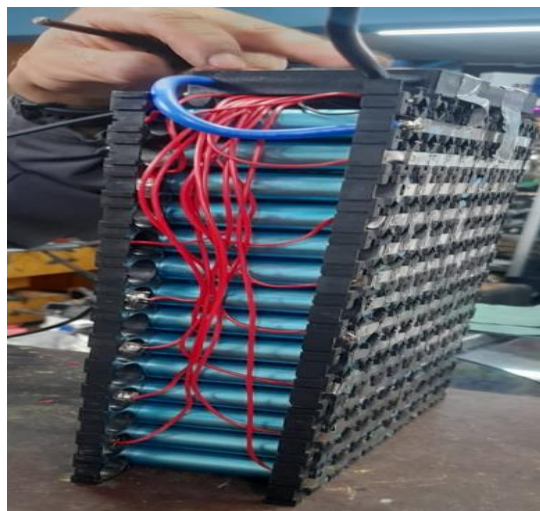


Figura 18 Conexión BMS bluetooth

Con las conexiones entre celdas soldadas, la instalación del BMS y fijada una salida positiva y negativa del banco de baterías; se procedió al sellado del mismo con el uso de materiales aislantes con el fin de evitar daños al someter al pack al medio ambiente, ya que el vehículo en el que se implementará dicho banco debe ser sometido a pruebas de ruta.



Figura 19 Pack de baterías sellado

Cabe mencionar que todo el procedimiento descrito como metodología de diseño es el mismo que se utilizó para la construcción de los 4 bancos de baterías.

2.9.3 Instalación de baterías de litio en el vehículo

Antes de instalar los bancos en el vehículo se procedió a verificar que los paquetes de baterías tengan valores de voltaje y corriente adecuados para su correcto funcionamiento, para ello se recurrió a comprobar dichos datos en la aplicación para celular SMART BMS, la cual nos permite constatar la tensión en cada una de las series conectadas en el interior de los bancos. Cada banco tiene un BMS independiente del cual salen cables de alimentación, mismos que sirven para carga, estos cables son calibre 12 de colores negro y blanco para el negativo y positivo respectivamente.



Figura 20 Verificación de carga en las series del banco de baterías de litio

Cada uno de los paquetes de baterías de litio tienen una tensión y corriente óptima que se ajusta a los requerimientos del motor eléctrico, cabe mencionar que los bancos se unieron en paralelo mediante cables con conectores XT60 y una caja estanca con barras de cobre esto para aumentar su autonomía de trabajo.



Figura 21 Conexión en paralelo de baterías de litio

Una vez listos los bancos de baterías se procedió a la instalación, para ello se ubicó dentro de una caja metálica, en la cual se encontraban acomodados los paquetes de baterías y el respectivo cargador, con el fin de equilibrar su peso, a su vez de la caja de empalmes salen cables negativo y positivo, los cuales se procedió a conectar en la bornera del vehículo, la cual sirve para unir de forma estable los diferentes cables de los diferentes sistemas que sea necesario, en nuestro caso los cables de alimentación de las baterías y los cables que alimentan el motor desde la controladora.



Figura 22 Ubicación de baterías de litio en el vehículo

Una vez instalados los bancos en el vehículo se comprobó que el sistema tenga la tensión y corriente adecuada para hacer funcionar el motor y por ende el vehículo, para ejecutar las pruebas de ruta.

2.9.4 Instalación de baterías de plomo en el vehículo

Debido a que se debe hacer una comparativa de autonomía entre un vehículo con baterías de litio y un vehículo con baterías de plomo, con el fin de conocer e identificar su trabajo en diferentes condiciones de funcionamiento y en tiempo real, a continuación, detallamos el proceso de instalación de las baterías de plomo tomando en cuenta las medidas de seguridad.

Como primer paso se procedió a la identificación de las polaridades de los cables de alimentación del vehículo para realizar conexiones seguras y evitar generar cortocircuitos en los sistemas, se lo realiza desde la controladora donde se distribuye los cables hacia el motor y las baterías, los cables rojo y negro son de la fuente de alimentación con las polaridades positivo y negativo respectivamente, las baterías de plomo al tener una tensión de 12 Voltios se las conecta en serie para alcanzar la capacidad necesaria para que trabaje el motor.

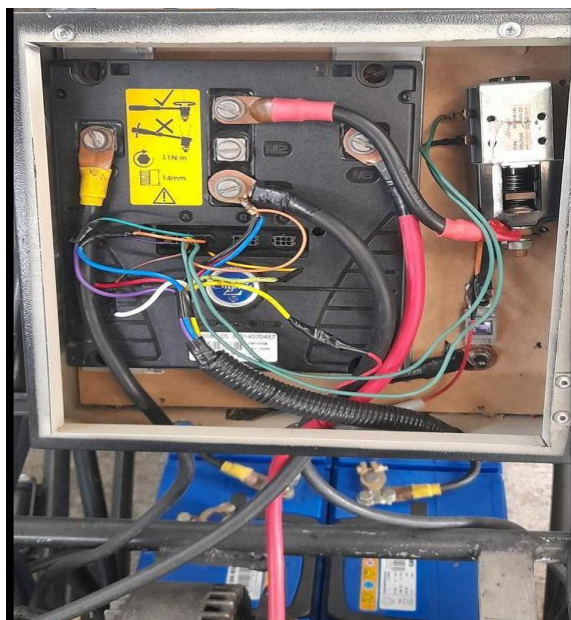


Figura 23 Identificación de polaridades en controladora

Una vez identificado las polaridades, se mide la tensión de cada una de las baterías comprobando que estén completamente cargadas. A continuación, se ubican las baterías en una base ensamblada al vehículo en la parte posterior del asiento del conductor.



Figura 24 Ubicación de baterías en el vehículo

Finalmente se comprueba que el sistema este alimentado con una tensión óptima para que el vehículo pueda funcionar de forma correcta, una vez comprobado dicho valor se procede con las pruebas de ruta.

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se detallan los resultados obtenidos durante los procesos que corresponden a diferentes pruebas de conducción ejecutadas, que permiten identificar la autonomía de la batería de litio y plomo; por lo que se realizó diferentes conducciones en un circuito cerrado para establecer la autonomía, tiempo de carga para abastecer las celdas en un 100% y el tiempo de descarga cuando el vehículo se encuentra en movimiento. Posteriormente, se analiza e interpreta los valores recolectados en las pruebas de campo que se presentaron durante el desarrollo del proyecto.

Para el proceso de montaje de las baterías de litio y de plomo en el go-kart se realizó una investigación acerca de los diferentes componentes y estructuras existentes para no interferir en el diseño del chasis, debido a que una distribución errónea de peso podría ocasionar dificultades durante la conducción, como: inestabilidad, variación en el camber y caster o desalineación de los neumáticos que puede producir el levantamiento de los mismos en curvas cerradas, desencadenando accidentes automovilísticos.

Por otro lado, el go-kart utilizado en el presente proyecto cumple con las normativas vigentes según la Comisión Internacional de Karting regulado por la Federación Internacional del Automovilismo (CIK/FIA) y el diseño del bastidor utilizado en el proceso de autonomía de las baterías de litio y plomo ofrece una conducción cómoda y segura al ocupante, debido al cumplimiento de las reglas establecidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN).

El diseño del go-kart cumple con las normativas antes mencionadas en donde se define las medidas de longitud y grosor del tubo del chasis y establece lo siguiente:

- La estructura debe ser de tubos de acero con o sin aleaciones.
- La estructura del chasis debe ser una estructura rígida con componentes soldados.
- La distancia entre ejes debe estar entre 1010 mm y 1290 mm.
- El ancho del go-kart debe ser al menos $\frac{2}{3}$ del tamaño del eje y no debe superar los 1400 mm.
- La longitud de los karts no debe exceder los 2000 mm

- La distancia desde el suelo hasta el punto más alto de la estructura no debe exceder los 600 mm.
- El diámetro del eje de transmisión no debe exceder los 50 mm y el espesor no debe exceder los 1,9 mm.



Figura 25 Go-kart eléctrico

Para identificar la autonomía de los paquetes de baterías tanto de litio como de plomo se realizó un proceso de evaluación que nos permitió medir la capacidad del vehículo al conducirlo de forma continua durante un periodo de tiempo determinado. Las pruebas ejecutadas se realizaron en un entorno cerrado, diseñando una pista de pruebas especial en base al circuito de la fórmula student, para obtener resultados óptimos y reales.

El propósito principal de la prueba es identificar el comportamiento de la batería de plomo y de litio al ser sometidos a una conducción y presentar un desgaste constante de energía, ocasionado por el movimiento del automotor. Durante las vueltas conducidas dentro del circuito se puede identificar una serie de datos como voltaje inicial, consumo de energía por vuelta y tiempo de conducción; estas pruebas nos permitieron evaluar el comportamiento de cada una de las baterías y la adaptación a diferentes circunstancias, garantizando la seguridad del ocupante y del go-kart.

3.1 PRUEBAS CON LA BATERÍA DE PLOMO

La prueba de autonomía con baterías de plomo se realizó en base al procedimiento detallado anteriormente, para ello lo que se realizó fue un recorrido por la pista las veces que sea necesario hasta lograr que el vehículo se detenga por su bajo nivel de energía en la batería, esto con el objetivo de verificar la autonomía de dicho vehículo. Para ello se

inició la prueba con un voltaje de batería de 51.7 V que corresponde al nivel del 100% de energía y el vehículo se detuvo en la vuelta 129 con un voltaje de 45.8 V.



Figura 26 Prueba de autonomía con baterías de plomo

Con lo antes mencionado y los valores recolectados durante la prueba, se establece que el vehículo eléctrico utilizando baterías de plomo logró una autonomía de 12.9 km con una velocidad promedio de 13.7 km/h.

En cuanto a la prueba de descarga de las baterías de plomo, se pudo verificar que al utilizarse en la prueba de autonomía se llegaron a descargar en un tiempo de 1:17:56 horas. Por otra parte, la carga de las baterías de plomo se las hizo con un cargador llegando a estar completamente cargadas al 100% en un tiempo de 7:00:15 horas.

La autonomía de la batería de plomo se determinó por la distancia recorrida en la pista antes de que la batería se agote por completo, impidiendo que el go-kart pueda seguir en movimiento, por ende, al detenerse en la vuelta 129 podemos inferir que completó 128 vueltas sin interrupciones antes de quedarse sin energía. Por otro lado, la velocidad promedio de conducción, se obtiene sumando cada una de las velocidades obtenidas en cada vuelta y dividiendo para la cantidad de datos. Es importante recalcar que para lograr obtener datos confiables y significativos que me permitan evaluar el desempeño real de la batería de plomo se requiere un seguimiento exhaustivo y preciso de los tiempos, velocidad del automotor y longitud de la pista.

3.2 PRUEBAS CON LA BATERÍA DE LITIO

La prueba de autonomía con baterías de litio se realizó con el mismo proceso que la prueba de autonomía con baterías de plomo, para obtener resultados óptimos al presentar las mismas condiciones de trabajo que puedan ser comparados entre sí y poder identificar la batería que presente mejores condiciones de trabajo. Es importante establecer que los resultados son diferentes al utilizar la batería de litio diseñada de forma manual, en la cual se obtuvo mayor autonomía en tiempo y distancia.

La prueba de autonomía inició con la batería abastecida en su totalidad con un voltaje de 54.3V que corresponde al 100% de su carga. La distancia recorrida fue de 334 vueltas al circuito cerrado, con un voltaje de 49.3 V.



Figura 27 Prueba de autonomía con baterías de litio

Con base a los valores recolectados durante la prueba de autonomía se registró una distancia de 33.4 km sin tomar en cuenta los cambios de ruta y movimientos durante la conducción; al presentar una distancia igual en cada vuelta podemos establecer que 0,1 km de distancia de la pista por el número de vueltas, permite conocer la distancia total que se convierte en la eficiencia de la batería.

En cuanto a la prueba de descarga de las baterías de litio, se pudo verificar que al utilizarse en la prueba de autonomía se llegaron a descargar en un tiempo de 2:53:17 horas. Por otra parte, la carga de las baterías de litio realizó en un tiempo de 5:50:30 hasta llegar al 100% de su energía.



Figura 28 Proceso de carga de baterías de litio

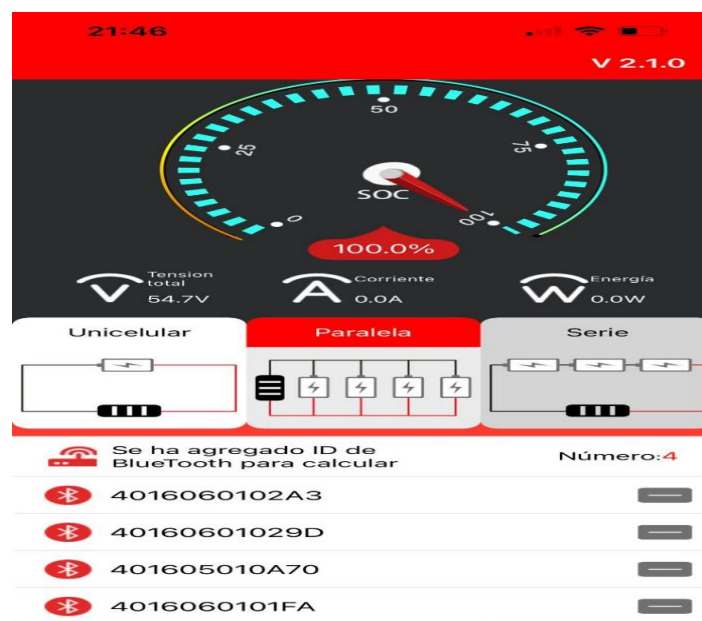


Figura 29 Nivel de batería del pack de litio proporcionado por la aplicación del BMS

La prueba de autonomía de la batería de litio se estableció tomando en cuenta el número de vueltas que corresponde a la distancia total recorrida por el go-kart, el tiempo de funcionamiento constante y la velocidad promedio con la que circulaba el automotor al realizar las pruebas en la pista. Identificando mediante los valores obtenidos que la autonomía de la batería de litio es de 333 vueltas sin interrupciones hasta disminuir la energía de funcionamiento, logrando mayor eficiencia y seguridad en el momento de la conducción.

3.3 ANÁLISIS DE PRUEBAS

3.3.1 COMPARATIVA DE AUTONOMÍA EN TIEMPO

La prueba de autonomía se llevó a cabo en un proceso similar tanto para las baterías de litio como para las de plomo, con el objetivo de obtener resultados reales que puedan ser comparados bajo las mismas condiciones de trabajo mediante diagramas.

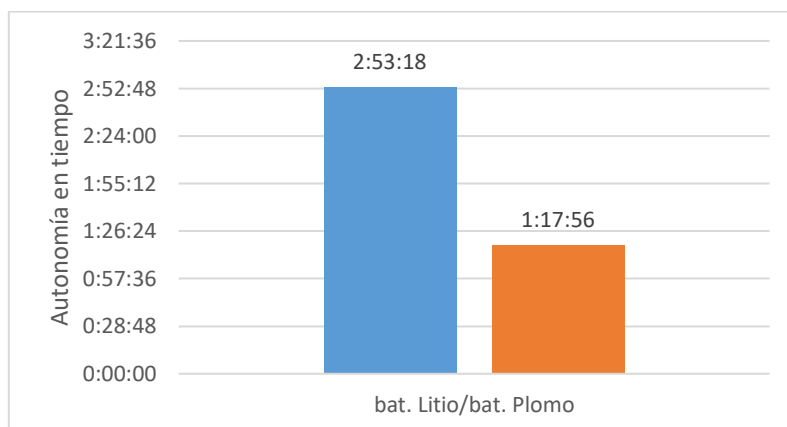


Figura 30 Comparativa de autonomía en tiempo

Los resultados obtenidos en la prueba de ruta mostraron que las baterías de litio presentaron un mejor desempeño en términos de tiempo de autonomía, debido a que el vehículo con las baterías antes mencionadas logra un funcionamiento de 2:53:18 horas a diferencia de al usar baterías de plomo que posee un tiempo de trabajo de 1:17:56 horas. Dichos datos nos permiten establecer que existe una superioridad considerable en cuanto a autonomía de usar en un vehículo eléctrico baterías de litio en comparación a baterías de plomo.

3.3.2 COMPARATIVA DE AUTONOMÍA EN DISTANCIA

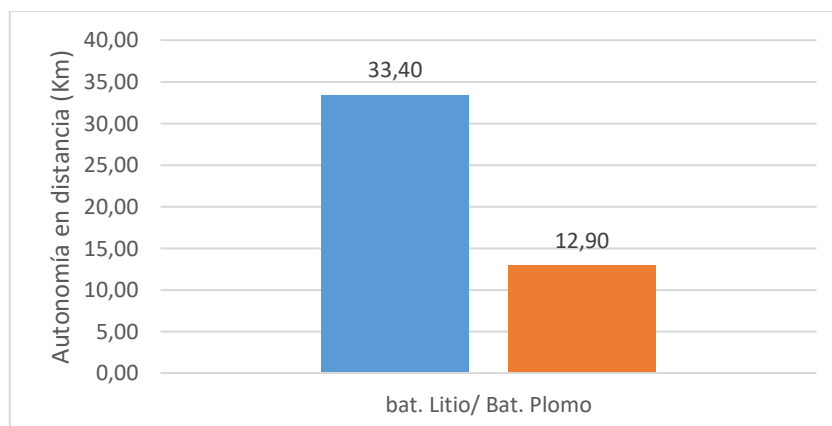


Figura 31 Comparativa de autonomía en distancia

Durante la prueba de ruta en el circuito establecido se registró que el automotor usando baterías de litio recorre una distancia de 33.4 km equivalente a 334 vueltas mientras que al usar baterías de plomo se obtiene una distancia de funcionamiento de 12.9 km equivalente a 129 vueltas, esto nos permite establecer la superioridad de las baterías de litio en términos de recorrido.

3.3.3 COMPARATIVA DE TIEMPO DE CARGA

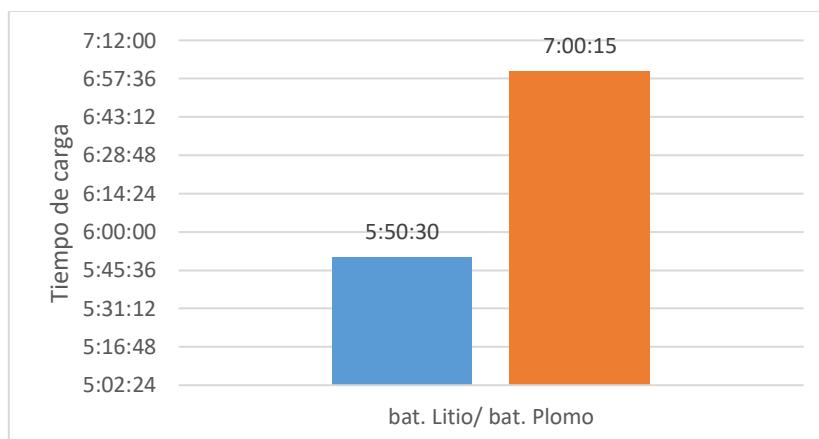


Figura 32 Comparativa de tiempo de carga

En cuanto a tiempo de carga, los datos obtenidos indican que una carga al 100% de las baterías de litio es de únicamente 5:50:30 mientras que para las de plomo es de 7:00:15. Con ello visualizamos resultados superiores indicativos de la eficiencia y velocidad de carga que presentan las baterías de litio en comparación de las baterías de plomo.

3.3.4 COMPARATIVA DE TIEMPO DE DESCARGA

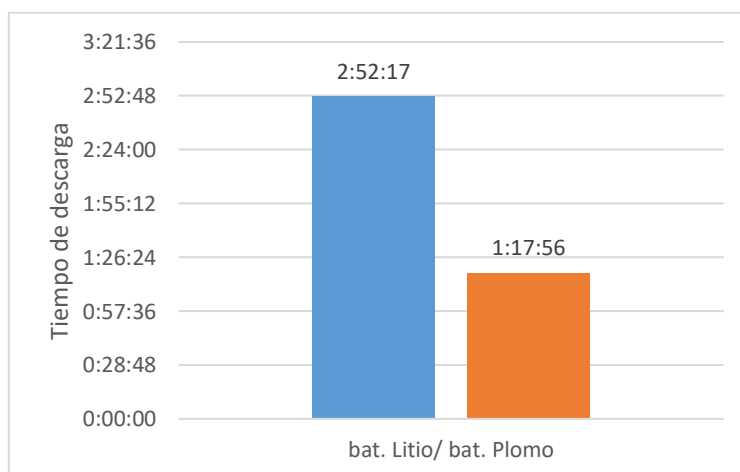


Figura 33 Comparativa de tiempo de descarga

En cuanto a tiempo de descarga de las baterías, el cual está relacionado directamente al funcionamiento en pista del vehículo, los datos que se obtuvieron por parte de las baterías de litio fue de un tiempo de 2:52:17 a diferencias de las de plomo que fue de 1:17:56. Tiempo en el cual las baterías de los dos tipos se quedaron sin energía para seguir el recorrido en el circuito.

3.3.5 COMPARATIVA DE COSTOS

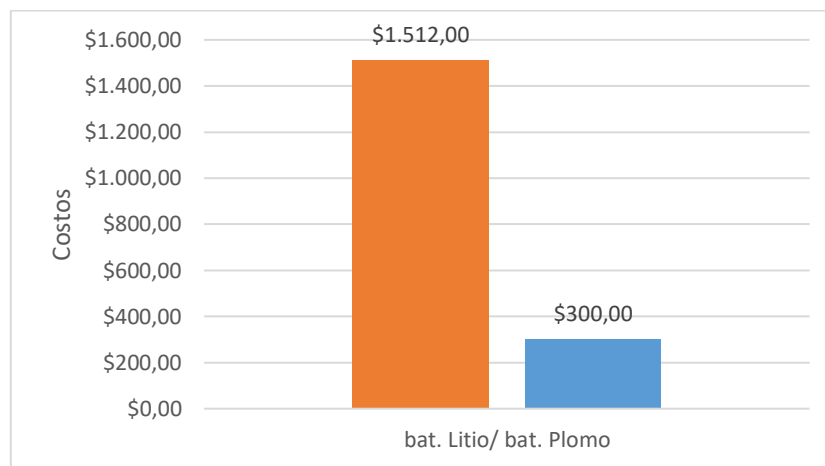


Figura 34 Comparativa de costos de baterías

Adicionalmente se realizó una investigación de costos con el fin de identificar y comparar la factibilidad de implementar en un vehículo eléctrico ya sea baterías de litio o baterías de plomo. Como se puede visualizar en la gráfica centrándonos en la parte económica y no en el desempeño, se establece que es mucho más factible recurrir a la elección de baterías de plomo, ya que para este proyecto la adquisición de las antes mencionadas baterías tendría un costo de \$300.00 dólares americanos mientras que la fabricación de los bancos de baterías de litio es de \$1512.00 dólares. Dando como resultado en términos monetarios la clara idea de la adquisición de baterías de plomo.

Finalmente, es importante recalcar que nuestra investigación se centra en conocer los métodos y accesorios para obtener una mayor autonomía por parte de un vehículo eléctrico en condiciones de pista y bajo parámetros establecidos, por ende, para nuestro proyecto es necesario utilizar baterías de litio ya que cuentan con los requerimientos necesarios.

3.3.6 COMPARATIVA DE PESO

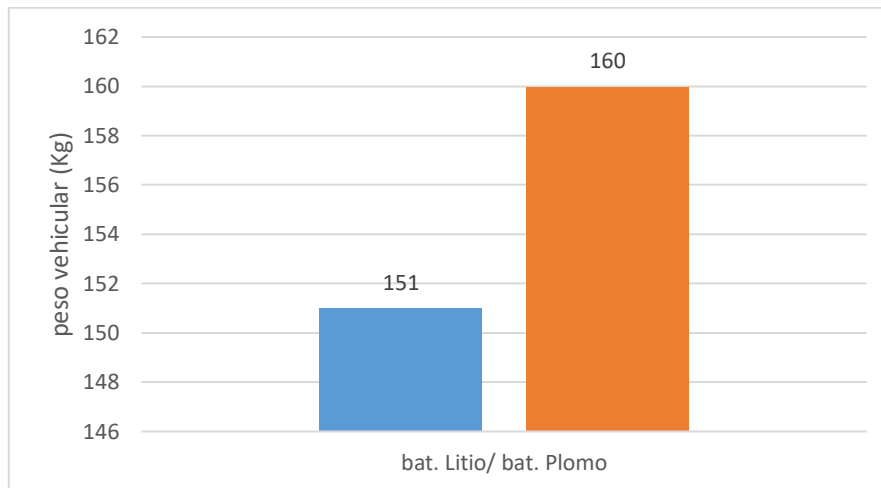


Figura 35 Comparativa de peso

En cuanto al peso vehicular podemos notar por medio de los datos obtenidos que un vehículo usando baterías de litio tiende hacer más liviano en un 6% que usando baterías de plomo esto debido a que el litio tiene un menor peso molecular que el plomo.

Finalmente, por medio de los resultados obtenidos, las pruebas ejecutadas mostraron un mejor rendimiento las baterías de litio, dichos datos respaldan la superioridad de las baterías antes mencionadas en términos de rendimiento y su idoneidad para uso en vehículos de carreras como go-karts, buggys o de transporte de carga.

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se concluye que la demanda energética y la configuración que presentan las baterías es crucial para determinar el rendimiento máximo de un vehículo eléctrico, por lo que, es importante comprender las necesidades del automotor para lograr una mayor eficiencia y autonomía que genera una conducción cómoda y segura para el conductor.
- Se estableció un modelo ideal de generación de energía para la batería de litio, con un diseño de 126 celdas, 14 paquetes en serie y 9 en paralelo; obteniendo un voltaje de 3,7 voltios de forma individual que garantiza una conducción óptima.
- En cuestión de autonomía comparando baterías de litio y baterías de plomo se obtuvo una diferencia de un 61 % en tiempo de mejora con la utilización de baterías de litio, a su vez un 55 % de mejora en distancia por parte de las antes mencionadas baterías comparadas con las de plomo.
- En cuanto a tiempo de carga por parte de las baterías de litio se obtuvo un 17% de rapidez de carga en comparativa con las de plomo. Por otra parte, en cuanto a tiempo de descarga se consiguió un 55% de mayor durabilidad de funcionamiento en pista por parte de las baterías de litio.
- En base a la investigación, el diseño e implementación de un sistema de carga de baterías de litio para un vehículo eléctrico tipo fórmula student es esencial para garantizar una carga segura y eficiente, debido a que el sistema motriz se enfoca en las necesidades del automotor.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda ejecutar un análisis detallado sobre la utilización energética del vehículo eléctrico y configurar las baterías con respecto a las necesidades de funcionamiento; considerando factores como el peso del vehículo, tipo de conducción y el trayecto de ruta.
- Es importante proporcionar una infraestructura adecuada para cargar las baterías de litio, lo que contribuye a una mayor durabilidad y una experiencia de carga más conveniente para los usuarios del vehículo.
- Es importante brindar un monitoreo continuo del modelo de carga de la batería de litio para mejorar su rendimiento y autonomía, por lo que, se debe recopilar mayor cantidad de información o datos técnicos sobre patrones de carga y descarga para mejorar el modelo y cantidad de energía generada.
- Se debe tener en cuenta los estándares de seguridad y funcionamiento, utilizando tecnologías de carga rápida para así reducir significativamente el tiempo de almacenamiento de energía y aumentar la flexibilidad en el uso del vehículo eléctrico tipo fórmula student.
- Es recomendable efectuar controles y mantenimientos periódicos del rendimiento del vehículo eléctrico y las baterías, para identificar áreas de mejora. Este proceso consta de monitorear el consumo de energía, autonomía, tiempo de carga y tiempo de descarga.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abramowicz Borja, H. F. (2017). *Estudio para la implementación de equipos de diagnóstico electrónico en un taller automotriz*. Quito: Universidad Internacional del Ecuador.
- Álvarez Coronel, C. X., & Méndez Chillogalli, D. A. (2022). *Revisión del estado del arte de la influencia de los diferentes modos de carga en la vida útil de las baterías de ion litio de un vehículo eléctrico*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Arévalo Salcedo, L., & Rodríguez Palacios, M. (2020). *Caso de estudio para la instalación y puesta en marcha de cargadores para carros eléctricos enfocados a vivienda para venta o arriendo del suministro*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Barahona Rosero, Á. L. (2017). *Análisis de la factibilidad técnica y ambiental de la inserción de autos eléctricos en el mercado ecuatoriano*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Chancusig Guerrero, F. D. (2014). *Análisis técnico económico para la inserción de vehículos eléctricos en el sistema eléctrico ecuatoriano*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Chele Sancan, D. G. (2017). *Vehículos híbridos, una solución interina para bajar los niveles de contaminación del medio ambiente causados por las emisiones provenientes de los motores de combustión interna*. Quito: Universidad Internacional del Ecuador.
- Collaguazo, F., & Mena, B. (2018). *Integración de VE en las Redes eléctricas modernas*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Comba Cifuentes, D. A. (2020). *Sistema de carga para vehículos eléctricos aplicados al área metropolitana de Bucaramanga*. Piedecuesta: Unidades Tecnológicas de Santander.
- Cóndor Arévalo, J. M. (2020). Evaluación de pérdidas energéticas en motores eléctricos trifásicos asíncronos utilizando análisis termográficos. *Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*, 41-42.
- Contreras Valenzuela, R. B. (2018). *Análisis del funcionamiento de charger research en el proceso de recarga de baterías de vehículos híbridos*. Guayaquil: Universidad Internacional del Ecuador.
- Cueva, E., Lucero, J., Guzmán, A., Rocha, J., & Espinoza, L. (2018). *Revisión del estado del arte de baterías para aplicaciones automotrices*. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- De la Torre, F. (2019). *Motor de Inducción Monofásico*. Universidad Nacional del Rosario.

- De Quirós Aparicio , B. (2018). *Ventajas e inconvenientes del vehículo eléctrico : comparación con el coche de combustión*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.
- Dhianeshwar, A., Prabhjot, K., & Sreehari, N. (2016). *EV: Communication Infrastructure Management System*. Chennai: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Dingxin, Y. (2021). *Reciclaje de baterías de litio para vehículos eléctricos*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Enríquez, H. (2000). *El abc de las instalaciones electricas* . México: Editorial Limusa S.A.
- Foley, A., Winning, I., & Gallachoir, B. (2015). *State-of-the-art in electric vehicle charging infrastructure*. Lille: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Freyssenet, M. (2011). *El coche eléctrico, la nueva revolución del automóvil*. Valladolid: Gerpisa CNRS.
- Frías Marín, P., & Román Ubeda, J. (2019). Vehículo Eléctrico: situación actual y perspectivas futuras. *Visión tecnológica*, 11-20.
- García Ruíz, M. (2015). *Pasado, presente y futuro de los vehículos eléctricos*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Guevara Coronado, A. M., & Vargas Pérez, S. (2019). *Evaluación del proceso de recuperación de litio y cobalto presentes en baterías gastadas de ion-li de vehículos eléctricos e híbridos por medio de un proceso de lixiviación ácida*. Bogotá: Fundación Universidad de América.
- Guri Fernández, D. (2021). *Potencial de Desarrollo de los Vehículos Eléctricos Puros en el Mercado Chino*. Barcelona: Barcelona School of Management.
- Llaosa Fortanet, A. (2021). *Diseño de un verificador automático para un cargador de a bordo (OBC) de 3,6kW para vehículo híbrido enchufable (PHEV)*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Manrique , A. (2014). *Explotación del litio, producción y comercialización de baterías de litio en Argentina*. Buenos Aires: Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales.
- Maza Rey, J. (2016). *Diseño cinemático y dinámico del sistema de suspensión para vehículo de competición formula student*. Santander: Universidad de Cantabria.
- Medina Rosero, J. S. (2018). *Estudio e implementación de electrolineras (servicio de carga de baterías para autos eléctricos) : Electrogas S.A*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- Medina, D. (2014). *Diseño, instalación y trucaje del sistema eléctrico para un vehículo de competición de rally de la marca SUZUKY FORSA I*. Quito: ESPE.
- Mejía Pérez, A. (2014). Electrolitos poliméricos para baterías de litio. *Revista de plásticos modernos: Ciencia y tecnología de polímeros*, 20-24.

- Méndez , A., Cely , M., & Monar , W. (2016). Diseño del Sistema de Freno Regenerativo de Automóviles Híbridos. *Revista Politécnica*, 9.
- Molina Salazar , J., & Tovar Tobar , J. F. (2011). *Diseño y construcción de un chasis tubular monoplaza tipo buggy para la participación de la ESPE-L en la fórmula automovilística universitaria*. Riobamba : Escuela Politécnica del Ejército.
- Mondragón Albarrán, C. M., Cardoso Jiménez, D., & Bobadilla Beltrán. (2017). Hábitos de estudio y rendimiento académico. . *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 26.
- Mora Sinche, G. A., & Suconota León, K. F. (2017). *Diseño y construcción del chasis tubular del vehículo híbrido tipo Buggy 4 x 4 para la carrera de Ingeniería Automotriz*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Mujal, R. M. (2004). *Protección de Sistemas Eléctricos*. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Olmo , E. G. (2019). *Caracterización de baterías de litio para el estudio del envejecimiento*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Ortega Herrera , M. A. (2014). *Síntesis y caracterización del material anódico: óxido de titanio y litio, para baterías de ión-litio*. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés.
- Pablo, Q. (2018). Diseño y fabricación del chasis para un kart KF4 según la normativa CIK/FIA. *Revista Turbo*, 27.
- Pinto, Ó. A. (2021). *Baterías de litio. Estudio de los procesos de intercalación de litio*. Santiago del Estero: Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- Ramos Calambás , D. (2020). *Modelado y control del motor sincrónico de imanes permanentes para aplicación en vehículos eléctricos*. Cali: Universidad Autónoma de Occidente.
- Riera Espinoza, P. F. (2012). *Trucaje y Adaptación de un Sistema de Suspensión y Dirección para un Vehículo Tipo Buggy de la Fórmula Automovilísticas Universitaria FAU*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Rocha Hoyos, J., Tipanluisa , L., Reina, S., & Ayabaca, C. (2017). Evaluación del Sistema de Tracción en un Vehículo Eléctrico Biplaza de Estructura Tubular. *Información Tecnológica*, 5-6.
- Rosales Fernández, J. (2018). Motores eléctricos para la industria. *Veritas Liberabit vos*, 12-13.
- Sánchez, D. (2011). *Diagnóstico de fallas en motores de inducción tipo jaula de ardilla mediante la aplicación de métodos híbridos*. Santiago de Cali: Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- Sarango Tacuri, F. (2017). *Baterías y refrigeración de baterías en vehículos eléctricos*. Loja: Universidad Nacional de Loja.

- Saurabh, S., Santosh, K., Kaushal Kamal, J., Sudhanshu Kumar, B., Dhiraj, G., Sivapuram, R., & Karuna, K. (2016). *Design of Suspension System for Formula Student Race Car*. Guwahati: Science Direct.
- Silicon Technology. (2016). *Aplicaciones del Servomotor en las Industrias*. Lima - Perú.
- Tecnofisis, G. (23 de Enero de 2018). *Ecotecnología del vehículo; Híbridos y eléctricos*.
Obtenido de <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/infraestructura-china-cargadores-coches-electricos-crecio-51-2017/20180123150648017001.html>
- Trashorras Montecelos, J. (2019). *Vehículos Eléctricos 100% ambientales*. Madrid: Paraninfo.
- Trócoli Jiménez, R. (2012). *Preparación y estudio de fosfato de hierro y litio con diferentes morfologías y su aplicación en baterías de ión-litio*. Córdoba: Universidad de Córdoba.
- Vendrell García, J. (2020). *Desarrollo de un hardware para el monitorizado de motores trifásicos asíncronos de jaula de ardilla*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

ANEXOS



Anexo A Construcción de banco de baterías de litio



Anexo B Adecuación de paquetes de baterías de litio en caja metálica



Anexo C Medición del circuito de pruebas



Anexo D Vehículo eléctrico tipo formula Student



Anexo E Pesaje del vehículo

Anexo F Resultados pruebas de autonomía de la batería de plomo

# Vuelta	Tiempo	Distancia (km)	Velocidad promedio (km/h)
1	00:37.59	0.1	11.53
2	01:17.61	0.1	14.1
3	01:57.56	0.1	13.8
4	02:36.08	0.1	12.8
5	03:16.70	0.1	14.2
6	04:17.64	0.1	12.2
7	05:09.21	0.1	10.8
8	05:58.15	0.1	12.4
9	06:44.09	0.1	11.8
10	07:27.29	0.1	13.5
11	08:09.64	0.1	12.8
12	08:48.78	0.1	14.3
13	09:25.25	0.1	15.7
14	09:59.85	0.1	16.2
15	10:35.83	0.1	14.4
16	11:09.94	0.1	16.0
17	11:53.08	0.1	13.1
18	12:32.66	0.1	14.8
19	13:10.52	0.1	13.8
20	13:51.69	0.1	14.8
21	14:39.63	0.1	11.3
22	15:20.80	0.1	13.6
23	15:59.32	0.1	13.5
24	16:36.77	0.1	13.9
25	17:16.01	0.1	13.5
26	18:04.69	0.1	12.3
27	18:49.27	0.1	12.5
28	19:35.05	0.1	13.1
29	20:15.74	0.1	13.7
30	20:55.34	0.1	14.3
31	21:34.04	0.1	14.6
32	22:07.08	0.1	15.3
33	22:39.34	0.1	15.7
34	23:10.08	0.1	15.9
35	23:44.71	0.1	16.1
36	24:22.15	0.1	14.8
37	24:55.10	0.1	15.1
38	25:28.22	0.1	15.6
39	26:01.13	0.1	15.9
40	26:41.71	0.1	15.6
41	27:20.08	0.1	14.9
42	27:50.12	0.1	14.6
43	28:30.22	0.1	14.9
44	29:05.12	0.1	15.1
45	29:39.82	0.1	15.4

46	30:28.17	0.1	14.5
47	31:02.50	0.1	14.2
48	31:35.20	0.1	13.9
49	32:11.35	0.1	14.3
50	32:45.94	0.1	14.7
51	33:22.12	0.1	13.5
52	33:58.24	0.1	14.6
53	34:32.14	0.1	15.0
54	35:06.24	0.1	15.2
55	35:39.64	0.1	15.6
56	36:19.03	0.1	14.9
57	36:57.23	0.1	14.4
58	37:28.15	0.1	15.2
59	38:02.15	0.1	15.6
60	38:38.76	0.1	15.7
61	39:15.24	0.1	14.6
62	39:49.62	0.1	14.7
63	40:24.02	0.1	14.9
64	40:57.22	0.1	15.3
65	41:32.80	0.1	15.4
66	42:20.27	0.1	15.2
67	42:51.12	0.1	15.2
68	43:24.41	0.1	16.0
69	43:54.51	0.1	16.4
70	44:27.73	0.1	16.5
71	45:07.41	0.1	15.4
72	45:42.22	0.1	14.5
73	46:16.72	0.1	15.1
74	46:50.13	0.1	15.3
75	47:24.86	0.1	15.5
76	48:06.25	0.1	14.8
77	48:39.17	0.1	13.8
78	49:11.28	0.1	15.2
79	49:43.36	0.1	15.6
80	50:22.38	0.1	16.0
81	50:47.07	0.1	16.2
82	51:20.28	0.1	16.3
83	51:49.29	0.1	16.5
84	52:33.30	0.1	16.6
85	52:56.95	0.1	16.6
86	53:33.24	0.1	14.8
87	54:08.12	0.1	15.2
88	54:40.26	0.1	15.8
89	55:12.77	0.1	16.1
90	55:43.02	0.1	16.4
91	56:14.04	0.1	16.6
92	56:43.36	0.1	16.8
93	57:11.22	0.1	17.1

94	57:41.56	0.1	17.2
95	58:10.39	0.1	17.4
96	58:44.51	0.1	16.6
97	59:14.17	0.1	16.3
98	59:44.18	0.1	17.1
99	1:00:15.18	0.1	17.4
100	1:00:43.17	0.1	17.6
101	1:01:16.08	0.1	17.6
102	1:01:50.72	0.1	17.5
103	1:02:22.43	0.1	17.4
104	1:02:57.25	0.1	17.2
105	1:03:31.33	0.1	17.2
106	1:04:08.21	0.1	16.6
107	1:04:39.40	0.1	15.7
108	1:05:12.95	0.1	16.3
109	1:05:42.02	0.1	16.8
110	1:06:12.22	0.1	17.0
111	1:06:42.62	0.1	17.2
112	1:07:12.20	0.1	17.3
113	1:07:42.66	0.1	17.4
114	1:08:14.20	0.1	17.4
115	1:08:46.04	0.1	17.5
116	1:09:25.71	0.1	16.2
117	1:10:00.28	0.1	16.0
118	1:10:33.70	0.1	15.2
119	1:11:03.28	0.1	15.7
120	1:11:34.30	0.1	16.1
121	1:12:03.17	0.1	16.4
122	1:12:32.28	0.1	16.7
123	1:13:04.70	0.1	16.1
124	1:13:43.18	0.1	15.6
125	1:14:28.84	0.1	14.4
126	1:14:59.22	0.1	13.4
127	1:15:45.46	0.1	13.1
128	1:16:42.26	0.1	12.1
129	1:17:56.62	0.1	10.4

Anexo G Pruebas de autonomía de la batería de litio

# Vuelta	Tiempo	Distancia (km)	Velocidad promedio (km/h)
1	00:46.91	0.1	15.0
2	00:36.21	0.1	15.2
3	01:51.02	0.1	15.6
4	02:26.56	0.1	15.8
5	03:00.32	0.1	16.0
6	03:34.59	0.1	16.3
7	04:14.02	0.1	16.5
8	04:53.82	0.1	16.4
9	05:28.08	0.1	15.9
10	06:10.69	0.1	14.5
11	06:51.03	0.1	14.4
12	07:23.04	0.1	14.5
13	07:55.12	0.1	15.3
14	08:26.31	0.1	15.9
15	08:56.90	0.1	16.3
16	09:28.25	0.1	16.5
17	09:58.09	0.1	16.8
18	10:27.45	0.1	17.0
19	10:58.51	0.1	17.1
20	11:28.27	0.1	17.2
21	12:11.02	0.1	16.8
22	12:48.34	0.1	16.2
23	13:22.20	0.1	15.5
24	13:55.76	0.1	15.9
25	14:28.68	0.1	16.3
26	15:02.94	0.1	16.4
27	15:35.47	0.1	16.3
28	16:07.46	0.1	16.5
29	16:38.56	0.1	16.6
30	17:09.92	0.1	16.8
31	17:43.02	0.1	15.9
32	18:12.81	0.1	17.3
33	18:43.02	0.1	17.5
34	19:13.87	0.1	17.6
35	19:43.51	0.1	17.8
36	20:13.16	0.1	17.9
37	20:43.26	0.1	18.1
38	21:15.09	0.1	18.0
39	21:47.32	0.1	17.9
40	22:20.18	0.1	17.8
41	22:58.66	0.1	16.6
42	23:30.02	0.1	16.3
43	24:00.34	0.1	16.4
44	24:29.97	0.1	16.8
45	25:00.86	0.1	17.0

46	25:30.65	0.1	17.2
47	26:03.70	0.1	17.6
48	26:28.77	0.1	17.7
49	26:57.34	0.1	17.8
50	27:26.50	0.1	17.9
51	28:04.66	0.1	17.2
52	28:35.41	0.1	16.8
53	29:05.25	0.1	16.6
54	29:35.02	0.1	17.1
55	30:05.43	0.1	16.4
56	30:36.11	0.1	16.4
57	31:06.88	0.1	17.2
58	31:36.45	0.1	17.5
59	32:05.54	0.1	17.8
60	32:33.95	0.1	18.0
61	33:10.36	0.1	17.3
62	33:40.12	0.1	17.2
63	34:11.81	0.1	17.2
64	34:37.78	0.1	17.5
65	35:06.68	0.1	17.9
66	35:35.52	0.1	18.2
67	36:04.78	0.1	18.3
68	36:33.61	0.1	18.4
69	37:03.61	0.1	18.4
70	37:35.39	0.1	18.3
71	38:12.87	0.1	17.5
72	38:43.38	0.1	16.9
73	39:13.52	0.1	16.9
74	39:43.81	0.1	17.2
75	40:13.89	0.1	17.5
76	40:42.98	0.1	17.7
77	41:12.08	0.1	18.0
78	41:39.41	0.1	18.3
79	42:10.33	0.1	18.3
80	42:38.54	0.1	18.4
81	43:13.42	0.1	17.9
82	43:40.98	0.1	17.7
83	44:08.25	0.1	18.2
84	44:34.11	0.1	18.8
85	45:01.35	0.1	19.0
86	45:29.24	0.1	19.1
87	45:55.43	0.1	19.3
88	46:21.01	0.1	19.6
89	46:46.80	0.1	19.8
90	47:16.26	0.1	19.7
91	47:49.83	0.1	18.8
92	48:17.97	0.1	17.9
93	48:45.86	0.1	18.6

94	49:13.96	0.1	19.0
95	49:41.02	0.1	19.3
96	50:09.31	0.1	19.5
97	50:34.86	0.1	19.8
98	51:01.32	0.1	19.9
99	51:28.98	0.1	20.0
100	51:57.96	0.1	20.1
101	52:30.36	0.1	19.7
102	52:57.76	0.1	18.9
103	53:24.28	0.1	18.4
104	53:49.96	0.1	19.1
105	54:17.60	0.1	19.3
106	54:45.72	0.1	19.4
107	55:12.19	0.1	19.5
108	55:38.37	0.1	19.7
109	56:03.28	0.1	19.9
110	56:30.97	0.1	20.0
111	57:10.83	0.1	19.4
112	57:41.38	0.1	18.7
113	58:12.16	0.1	17.8
114	58:41.97	0.1	16.7
115	59:12.26	0.1	16.4
116	59:43.32	0.1	16.9
117	1:00:14.17	0.1	17.1
118	1:00:44.96	0.1	17.2
119	1:01:15.72	0.1	17.2
120	1:01:47.35	0.1	17.3
121	1:02:17.29	0.1	17.6
122	1:02:44.35	0.1	18.2
123	1:03:12.09	0.1	19.1
124	1:03:37.67	0.1	19.4
125	1:04:04.71	0.1	19.6
126	1:04:30.87	0.1	19.8
127	1:04:57.47	0.1	19.9
128	1:05:23.98	0.1	19.9
129	1:05:51.32	0.1	20.1
130	1:06:25.32	0.1	19.8
131	1:07:04.06	0.1	18.7
132	1:07:33.70	0.1	18.5
133	1:08:04.16	0.1	17.4
134	1:08:33.34	0.1	17.2
135	1:09:03.28	0.1	17.4
136	1:09:33.75	0.1	17.6
137	1:10:03.68	0.1	17.7
138	1:10:32.71	0.1	17.8
139	1:11:02.60	0.1	17.9
140	1:11:33.21	0.1	18.0
141	1:12:10.59	0.1	18.4

142	1:12:40.09	0.1	17.2
143	1:13:09.28	0.1	16.9
144	1:13:39.46	0.1	17.2
145	1:14:08.78	0.1	17.6
146	1:14:38.73	0.1	17.8
147	1:15:07.72	0.1	17.9
148	1:15:38.93	0.1	18.0
149	1:16:09.52	0.1	18.0
150	1:16:49.32	0.1	18.1
151	1:17:15.21	0.1	17.6
152	1:17:43.42	0.1	17.3
153	1:18:10.96	0.1	18.2
154	1:18:40.51	0.1	18.5
155	1:19:08.61	0.1	18.7
156	1:19:38.72	0.1	18.8
157	1:20:07.95	0.1	18.8
158	1:20:36.05	0.1	18.9
159	1:21:03.53	0.1	19.0
160	1:21:34.52	0.1	19.1
161	1:22:09.89	0.1	18.7
162	1:22:37.35	0.1	18.2
163	1:23:04.63	0.1	17.9
164	1:23:31.35	0.1	17.8
165	1:23:59.75	0.1	18.4
166	1:24:27.84	0.1	18.7
167	1:24:54.27	0.1	18.8
168	1:25:21.79	0.1	19.0
169	1:25:47.39	0.1	19.2
170	1:26:15.34	0.1	19.2
171	1:27:09.24	0.1	18.4
172	1:27:28.07	0.1	17.6
173	1:27:50.65	0.1	17.9
174	1:28:19.18	0.1	18.3
175	1:28:48.52	0.1	18.5
176	1:29:17.97	0.1	18.6
177	1:29:46.71	0.1	18.7
178	1:30:21.07	0.1	18.7
179	1:30:46.95	0.1	18.7
180	1:31:16.24	0.1	18.8
181	1:31:50.33	0.1	18.2
182	1:32:19.54	0.1	17.9
183	1:32:47.07	0.1	18.2
184	1:33:14.49	0.1	18.6
185	1:33:42.55	0.1	19.0
186	1:34:11.82	0.1	19.0
187	1:34:41.01	0.1	19.1
188	1:35:15.71	0.1	19.2
189	1:35:38.68	0.1	19.2

190	1:36:05.03	0.1	19.3
191	1:36:40.62	0.1	18.6
192	1:37:11.06	0.1	17.9
193	1:37:42.04	0.1	17.2
194	1:38:11.80	0.1	17.5
195	1:38:41.01	0.1	17.8
196	1:39:10.37	0.1	18.0
197	1:39:40.08	0.1	18.2
198	1:40:08.52	0.1	18.3
199	1:40:36.65	0.1	18.4
200	1:41:09.72	0.1	18.3
201	1:41:37.35	0.1	17.9
202	1:42:05.47	0.1	18.1
203	1:42:33.94	0.1	18.5
204	1:43:03.01	0.1	18.6
205	1:43:34.04	0.1	18.7
206	1:44:02.15	0.1	18.6
207	1:44:30.67	0.1	18.7
208	1:44:59.55	0.1	18.8
209	1:45:27.42	0.1	19.0
210	1:46:03.43	0.1	18.8
211	1:46:33.34	0.1	17.9
212	1:47:03.24	0.1	17.4
213	1:47:33.60	0.1	17.8
214	1:48:04.31	0.1	17.9
215	1:48:37.02	0.1	17.7
216	1:49:07.89	0.1	17.8
217	1:49:38.52	0.1	17.9
218	1:50:08.14	0.1	18.0
219	1:50:37.82	0.1	18.1
220	1:51:13.98	0.1	18.3
221	1:51:42.79	0.1	17.9
222	1:52:11.40	0.1	18.1
223	1:52:40.25	0.1	18.4
224	1:53:09.09	0.1	18.7
225	1:53:41.10	0.1	18.5
226	1:54:13.84	0.1	18.3
227	1:54:47.07	0.1	18.0
228	1:55:21.48	0.1	17.9
229	1:55:54.07	0.1	17.6
230	1:56:41.82	0.1	16.9
231	1:57:14.14	0.1	16.5
232	1:57:50.12	0.1	17.5
233	1:58:22.14	0.1	17.8
234	1:58:52.47	0.1	17.9
235	1:59:22.49	0.1	18.3
236	1:59:52.08	0.1	18.5
237	2:00:21.64	0.1	18.6

238	2:00:52.50	0.1	18.6
239	2:01:22.90	0.1	18.2
240	2:02:01.96	0.1	17.6
241	2:02:34.09	0.1	16.9
242	2:03:07.95	0.1	16.9
243	2:03:44.18	0.1	16.8
244	2:04:19.98	0.1	16.7
245	2:04:53.41	0.1	16.5
246	2:05:25.43	0.1	16.2
247	2:05:57.84	0.1	16.4
248	2:06:30.06	0.1	16.3
249	2:07:01.63	0.1	16.4
250	2:07:34.66	0.1	16.6
251	2:08:09.64	0.1	16.2
252	2:08:42.08	0.1	16.1
253	2:09:15.12	0.1	16.7
254	2:09:45.75	0.1	17.0
255	2:10:16.80	0.1	17.2
256	2:10:48.21	0.1	17.3
257	2:11:19.60	0.1	17.4
258	2:11:50.64	0.1	17.5
259	2:12:21.25	0.1	17.6
260	2:12:57.12	0.1	17.2
261	2:13:28.14	0.1	16.9
262	2:13:58.69	0.1	16.9
263	2:14:30.21	0.1	17.0
264	2:15:02.32	0.1	17.3
265	2:15:33.64	0.1	17.4
266	2:16:04.94	0.1	17.6
267	2:16:34.87	0.1	17.6
268	2:17:05.98	0.1	17.7
269	2:17:35.68	0.1	17.8
270	2:18:11.20	0.1	17.2
271	2:18:42.64	0.1	16.9
272	2:19:13.37	0.1	16.5
273	2:19:42.58	0.1	17.0
274	2:20:12.78	0.1	17.5
275	2:20:42.48	0.1	17.7
276	2:21:12.30	0.1	17.9
277	2:21:41.56	0.1	18.1
278	2:22:12.14	0.1	18.2
279	2:22:40.18	0.1	18.3
280	2:23:15.04	0.1	17.9
281	2:23:46.30	0.1	17.5
282	2:24:18.06	0.1	16.9
283	2:24:50.01	0.1	16.7
284	2:25:21.16	0.1	16.1
285	2:25:51.98	0.1	16.4

286	2:26:22.46	0.1	16.7
287	2:26:53.25	0.1	16.9
288	2:27:23.67	0.1	17.1
289	2:27:55.17	0.1	17.1
290	2:28:29.89	0.1	16.9
291	2:29:00.70	0.1	16.5
292	2:29:34.26	0.1	16.8
293	2:30:04.10	0.1	17.2
294	2:30:35.41	0.1	17.5
295	2:31:05.64	0.1	17.8
296	2:31:35.84	0.1	17.9
297	2:32:05.73	0.1	18.0
298	2:32:36.89	0.1	18.1
299	2:33:08.29	0.1	18.0
300	2:33:44.09	0.1	17.9
301	2:34:13.69	0.1	17.6
302	2:34:55.63	0.1	17.2
303	2:35:16.12	0.1	17.5
304	2:35:48.26	0.1	17.5
305	2:36:22.47	0.1	17.5
306	2:36:52.69	0.1	17.6
307	2:37:25.90	0.1	17.5
308	2:38:00.60	0.1	17.6
309	2:38:34.10	0.1	17.4
310	2:39:24.74	0.1	17.0
311	2:40:02.39	0.1	16.2
312	2:40:37.96	0.1	15.8
313	2:41:15.02	0.1	14.8
314	2:41:51.76	0.1	14.9
315	2:42:28.87	0.1	14.9
316	2:43:09.15	0.1	14.9
317	2:43:50.36	0.1	14.6
318	2:44:22.75	0.1	14.9
319	2:44:54.26	0.1	15.1
320	2:45:35.05	0.1	14.9
321	2:46:06.08	0.1	15.8
322	2:46:37.65	0.1	16.4
323	2:47:08.06	0.1	16.9
324	2:47:39.04	0.1	16.6
325	2:48:09.85	0.1	16.3
326	2:48:40.06	0.1	16.2
327	2:49:11.11	0.1	16.0
328	2:49:43.07	0.1	15.8
329	2:50:13.86	0.1	15.6
330	2:50:50.43	0.1	15.1
331	2:51:23.64	0.1	15.0
332	2:52:01.42	0.1	14.9
333	2:52:38.05	0.1	14.2

334	2:53:17.51	0.1	13.6
-----	------------	-----	------