



ESCUELA SUPERIO POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“DIMENSIONAMIENTO DE LA FUENTE DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL ION-LITIO CUBIERTO CON GEL PARA ALCANZAR 2500KM EN UN VEHÍCULO SOLAR DE COMPETENCIA”

DAQILEMA GUAMBO GEOVANNY MARCELO

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2019

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

2018-10-23

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

DAQULEMA GUAMBO GEOVANNY MARCELO

Titulado:

**“DIMENSIONAMIENTO DE LA FUENTE DE ACUMULACIÓN DE
ENERGÍA MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE LA EFICENCIA
ENERGÉTICA DEL ION-LITIO CUBIERTO CON GEL PARA
ALCANZAR 2500KM EN UN VEHICULO SOLAR DE COMPETENCIA”**

Sea aceptado como total complementación de los requerimientos para el Título de:


INGENIERO AUTOMOTRIZ



Ing. Carlos José Santillán Mariño

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:



Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo

DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN



Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano

ASESOR TRABAJO DE TITULACIÓN

ESPOCH

Facultad de Mecánica

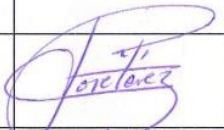

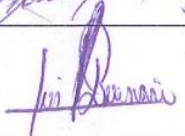
EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: GEOVANNY MARCELO DAQUILEMA GUAMBO

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “DIMENSIONAMIENTO DE LA FUENTE DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE LA EFICENCIA ENERGÉTICA DEL ION-LITIO CUBIERTO CON GEL PARA ALCANZAR 2500KM EN UN VEHICULO SOLAR DE COMPETENCIA”

Fecha de Examinación: 2019-05-23

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA	✓		
Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo DIRECTOR	✓		
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano MIEMBRO	✓		

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.


RECOMENDACIONES:

El presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.


Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de titulación denominado **“DIMENSIONAMIENTO DE LA FUENTE DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE LA EFICENCIA ENERGÉTICA DEL ION-LITIO CUBIERTO CON GEL PARA ALCANZAR 2500KM EN UN VEHICULO SOLAR DE COMPETENCIA”** que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Geovanny Marcelo Daquilema Guambo
CI: 060477503-1

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Geovanny Marcelo Daquilema Guambo, declaro bajo juramento que el presente trabajo es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos usados en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados. En tal virtud, los fundamentos teóricos, científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis y toda mi carrera estudiantil a Dios, quien ha estado en todos los momentos buenos y malos de mi vida, brindándome fuerzas para superar las vicisitudes que se han venido presentando a lo largo de esta magnífica experiencia universitaria.

Todo mi sacrificio y dedicación depositados en mi vida estudiantil y en el presente, se las dedico a mis padres José Miguel que aunque no se encuentre conmigo físicamente, ha sabido guiar mi camino y desde el cielo siempre me brinda su cuidado, y a mi madre Luz Imelda que con su valentía, amor incondicional y ejemplo han sabido guiar mi vida y a quien le debo todo.

A mi hermano Dennys que siempre ha sabido brindarme su cariño y ha sido mi modelo a seguir, además de ser el pilar fundamental en mis enseñanzas y a María Belén quien ha sabido brindarme su cariño y apoyo incondicional en todos mis proyectos y metas.

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Automotriz, por inculcarme todos los conocimientos necesarios para defenderme en el área laboral, por la paciencia y consejos brindados en todos estos años de carrera, gracias a ellos he logrado cumplir mi objetivo que es ser un Ingeniero Automotriz de calidad y ético.

Agradezco a todas las personas que estuvieron ahí brindándome su apoyo para seguir adelante y no rendirme, en especial a mis Padres por su confianza y esfuerzo diario. A mi Tutor y Asesor por guiarme con su experiencia, sabiduría, para culminar con éxito esta etapa.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

Pág.

CAPÍTULO I

1	ANTECEDENTES	1
1.1	Planteamiento del problema	1
1.2	Justificación:	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	<i>Objetivo General</i>	3
1.3.2	<i>Objetivos Específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2	MARCO TEÓRICO	5
2.1	Reglamentos de Competencias Solares	5
2.1.1	<i>La Bridgestone World Solar Challenge</i>	5
2.1.1.1	<i>Categorías</i>	5
2.1.1.2	<i>Especificaciones vehículo</i>	5
2.1.1.3	<i>Colector solar</i>	6
2.1.2	<i>La Atacama Solar Challenge</i>	6
2.1.2.1	<i>Categorías</i>	6
2.1.2.2	<i>Especificaciones del vehículo</i>	7
2.1.2.3	<i>Colector solar</i>	7
2.1.3	<i>La American Solar Challenge</i>	7
2.1.3.1	<i>Categorías</i>	8
2.1.3.2	<i>Especificaciones del vehículo</i>	9
2.1.3.3	<i>Colector solar</i>	9
2.2	Baterías	10
2.2.1	<i>Tensión de celda y batería</i>	10
2.2.2	<i>Tensión de carga</i>	11

2.2.3	<i>Tensión de descarga</i>	11
2.3	Tipos de baterías	12
2.3.1	<i>Baterías de níquel-hidruro metálico</i>	12
2.3.1.1	<i>Características funcionales de las baterías de níquel-hidruro metálico</i>	13
2.3.1.2	<i>Ventajas:</i>	13
2.3.1.3	<i>Desventajas:</i>	13
2.3.2	<i>Baterías litio</i>	13
2.3.2.1	<i>Características generales de las baterías de litio</i>	14
2.3.2.2	<i>Ventajas:</i>	15
2.3.2.3	<i>Desventajas:</i>	15
2.3.3	<i>Baterías de polímero de litio</i>	15
2.3.3.1	<i>Características funcionales del polímero de litio (LIPO)</i>	15
2.3.3.2	<i>Ventajas:</i>	16
2.3.3.3	<i>Desventajas:</i>	16
2.3.4	<i>Baterías de litio-ion con cátodo de LiCoO₂</i>	17
2.3.4.1	<i>Características funcionales del ion de litio (con cátodo de LiCoO₂)</i>	17
2.3.4.2	<i>Ventajas:</i>	17
2.3.4.3	<i>Desventajas:</i>	17
2.3.5	<i>Baterías de Litio Ferro-Fosfato LiFePO₄</i>	18
2.3.5.1	<i>Características funcionales del ion de litio con cátodo de LiFePO₄</i>	18
2.3.5.2	<i>Ventajas:</i>	19
2.3.5.3	<i>Desventajas:</i>	19
2.4	Ciclo de vida de la batería	21
2.5	Carga de la batería LiFePO ₄	21
2.5.1	<i>Carga convencional</i>	21
2.5.1.1	<i>Carga rápida "forzada"</i>	22
2.5.1.2	<i>AUTO EQUILIBRIO</i>	22
2.6	REGULADOR DE VOLTAJE.....	22
2.7	Fusibles.....	23

CAPÍTULO III

3	MÉTODOS Y TÉCNICAS:	28
3.1	Metodología.....	28
3.1.1	<i>Diagrama de procesos técnicos</i>	29
3.2	Técnicas	30
3.2.1	<i>Investigación aplicada</i>	30

3.2.2	<i>Investigación Bibliográfica</i>	30
3.3	Dimensionamiento del banco de acumulación de energía.....	30
3.3.1	<i>Estudio de los requerimientos del prototipo</i>	30
3.3.1.1	<i>Peso</i>	30
3.3.1.2	<i>Potencia (Motores)</i>	30
3.3.1.3	<i>Módulo</i>	31
3.3.1.3.1	<i>Controlador ROBOTEQ HBL2360 y HBL2396</i>	31
3.3.1.4	<i>Características según las reglamentaciones</i>	32
3.3.1.5	<i>Espacio para la implementación</i>	33
3.3.2	<i>Selección de baterías</i>	33
3.3.2.1	<i>Baterías de polímero de litio (LIPO)</i>	33
3.3.2.2	<i>Baterías de Litio Ferro Fosfato (LiFePO4)</i>	34
3.3.3	<i>DISEÑO DE LAS CONEXIONES</i>	34
3.3.4	<i>Selección de componentes</i>	37
3.3.4.1	<i>Prototipo con baterías de polímero de litio:</i>	37
3.3.4.1.1	<i>Regulador de Tensión de 40-70V</i>	38
3.3.4.1.2	<i>Diseño del Sistema de Refrigeración</i>	39
3.3.4.1.3	<i>Selección de Conductores</i>	40
3.3.4.1.4	<i>Selección de Terminales de Conexión</i>	41
3.3.4.2	<i>Prototipo con baterías de Litio Ferro-Fosfato (LiFePO4)</i>	41
3.3.4.2.1	<i>Modulo regulador reductor de tensión</i>	42
3.3.5	<i>Implementación de los Bancos</i>	46
3.3.6.1	<i>Diagrama de Implementación con Baterías LIPO y Módulo HBL2360</i>	47
3.3.6.2	<i>Diagrama de Implementación con Baterías LiFePO4 con Módulos HBL2360 y HBL2396</i>	48

CAPÍTULO IV

4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
4.1	Pruebas.....	49
4.1.1	<i>Simulación del Sistema de Refrigeración para el Banco de Baterías de Ion Litio</i> . 49	
4.1.2	<i>Primera Prueba de Campo: Eficiencia del Banco de Baterías de Ion Litio con 53V de tensión y una corriente de 10 Amph</i>	51
4.1.3	<i>Segunda Prueba de Campo: Eficiencia Energética del Banco de Baterías de LiFePO4 con una carga de 66,9V de Tensión y una corriente de 20 Amph en un Vehículo Monoplaza de Competencia (Go-Kart)</i>	54

4.1.4	<i>Tercera Prueba de Campo: Eficiencia Energética del Banco de Baterías de LiFePO4 con una carga de 71,8V de Tensión y una corriente de 20 Amph en una motoneta eléctrica.</i>	<i>60</i>
4.2	Comparación de Eficiencia Energética utilizando Proyecciones Lineales.....	61
4.3	Elección y Comparación de Resultados para la Selección del Banco de Baterías.	62

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Baterías de coches eléctricos e híbridos.....	10
Figura 2-2: Circuito equivalente de una batería (6celdas).....	11
Figura 3-2: Curva de descarga de una batería LiPO.....	12
Figura 4-2: Celdas de Pack de batería de alta tensión de Níquel Metal Hidruro.....	12
Figura 5-2: Prototipo de Batería de Litio desarrollada en el 2012.....	14
Figura 6-2: Prototipo de batería de litio-ion-polímero.....	16
Figura 7-2: BtrPower 60V 20Ah Rechargeable Ebike.....	19
Figura 8-2: Parámetros de la Batería LiFePO4 adquiridas.....	20
Figura 9-2: Curva ciclo de vida LiFePO4.....	21
Figura 10-2: Estado de Carga.....	22
Figura 11-2: Fusible Símbolo Eléctrico.....	23
Figura 12-2: Fusible Cilíndrico.....	24
Figura 13-2: Fusible de Cuchilla (Uña).....	24
Figura 14-2: Fusible de Pastilla.....	25
Figura 15-2: Fusible Encapsulado de Vidrio.....	25
Figura 16-2: Fusible Tipo Chicote.....	25
Figura 17-2: Fusible de Tapón Enrosicable.....	26
Figura 18-2: Fusible de Cartucho.....	26
Figura 19-2: Fusible de Plomo.....	27
Figura 20-2: Fusible Diazed.....	27
Figura 1-3: Diagrama de Procesos Técnicos.....	29
Figura 2-3: Esquema del controlador HBL23xx de Roboteq.....	31
Figura 3-3: Módulo LG CHEM LiPO.....	33
Figura 4-3: Batería LiFePO4 BtrPower.....	34
Figura 5-3: Conexión Baterías LiPO LG Chem.....	35
Figura 6-3: Conexión Batería LiFePO4 BtrPower.....	36
Figura 7-3: Módulo de Batería LiPO LG Chem en SolidWorks.....	37
Figura 8-3: Conexión de Baterías LiPO.....	37
Figura 9-3: Regulador de Tensión de 40 - 70 V.....	38
Figura 10-3: Esquema del Separador de Aluminio en SolidWorks.....	39
Figura 11-3: Sistema de Refrigeración Modelado en SolidWorks.....	39
Figura 12-3: Vista Explosionada Sistema de Refrigeración.....	40
Figura 13-3: Amperaje que soportan los cables de cobre.....	40
Figura 14-3: Terminales y conectores eléctricos.....	41
Figura 15-3: Circuito de Protección de la batería LiFePO4.....	42
Figura 16-3: Regulador Reductor de Tensión DC Buck modelo AP-D5830A.....	43
Figura 17-3: Polos de Conexión de Alimentación.....	44
Figura 18-3: Salida Ajustable de Corriente y Voltaje.....	45
Figura 19-3: Sistema de Refrigeración del Regulador de Voltaje.....	45
Figura 20-3: Plano para la Construcción del Regulador.....	46
Figura 21-3: Diagrama de Implementación Baterías LiPO.....	47
Figura 22-3: Diagrama de Implementación de Baterías LiFePO4.....	48
Figura 1-4: Simulación del Sistema de Refrigeración en SolidWorks.....	50
Figura 2-4: Conexión Baterías LiPO, Regulador Reductor de Voltaje.....	51
Figura 3-4: Medición de Amperaje.....	52
Figura 4-4: Gráfica de Parámetros obtenidos.....	52
Figura 5-4: Medición de tensión.....	54

Figura 6-4: Pista de Pruebas	55
Figura 7-4: Sujeto en Pruebas de Carretera	55
Figura 8-4: Go-Kart en una Balanza Digital.....	55
Figura 9-4: Cargador para Batería de LiFePO4.....	59
Figura 10-4: Estado inicial de Carga Baterías LiFePO4.....	60

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Contaminación Ambiental: ¿Cuál es la Principal Fuente?	1
Tabla 1-2: Alimentación de Energía BWSC.....	6
Tabla 2-2: Alimentación de Energía CSA	7
Tabla 3-2: Alimentación de Energía ASC	9
Tabla 4-2: Datos Técnicos de la batería recargable Ebike LiFe04 BtrPower	20
Tabla 1-3: Especificaciones Del Motor Brushless Voilamart 48v-1500w.....	30
Tabla 2-3: Especificaciones Técnicas del Regulador de Voltaje DC Buck Modelo.....	43
Tabla 1-4: Parámetros para la Simulación.....	49
Tabla 2-4: Dimensión del Túnel de Viento.....	49
Tabla 3-4: Resultados de la Simulación del Sistema de Refrigeración.....	50
Tabla 4-4: Peso Corporal, Peso Go-Kart y Peso Total.....	56
Tabla 5-4: Voltaje de Consumo en Pruebas	56
Tabla 6-4: Velocidad y Tiempo en Pruebas	57
Tabla 7-4: Datos tomados durante la prueba de campo	58
Tabla 8-4: Datos tomados en la prueba de campo	60

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4: Curvas Tensión de Descarga en Baterías LiPO	53
Gráfico 2-4: Gráficas de Consumo de Voltaje por sujeto de prueba.....	58
Gráfico 3-4: Proyección de Datos de Eficiencia Energética	59
Gráfico 4-4: Proyección de Datos de Eficiencia Energética	61
Gráfico 5-4: Comparación de Eficiencia Energética.....	62

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo general determinar la eficiencia energética y seleccionar el banco de baterías adecuado para un prototipo solar de competencia para alcanzar 2500 Km de recorrido para lo cual se utiliza dos diferentes bancos de baterías dimensionados, el primero con módulos de Polímero de Litio y el segundo con módulos de Litio Ferro-Fosfato, primero al verificar su disponibilidad en el mercado, costos, características, prestaciones y limitaciones. Para la realización de este estudio se utiliza varios tipos de metodología entre ellos el método deductivo el mismo que es necesario ya que se incursiona en el estudio de los diferentes módulos de baterías permisibles por los reglamentos de competencias solares; El método comparativo es utilizado ya que se realizará análisis para comparar beneficios y perjuicios de cada banco de baterías; Es necesario la utilización del método experimental ya que con el mismo se podrá determinar cuáles son los componentes adecuados para la implementación y pruebas de cada uno de los bancos y por la utilización del método Analítico se determinó que por las necesidades del controlador y la unidad de potencia los bancos de baterías deben proveer valores nominales de tensión de 60 V y corriente de 20 Amph. Una vez seleccionado la cantidad de cada uno de los módulos necesarios se determinó que el banco de baterías con módulos LiPO debe utilizar un regulador de tensión para proveer un valor de 60 V de tensión y una corriente de 10,6 Amph la cual entrega una eficiencia energética de 1,5 Km en un circuito controlado. El segundo banco de baterías usa celdas de Litio Ferro-Fosfato y un regulador reductor de voltaje para entregar al módulo una tensión de 60 V y una corriente de 20 Amph el mismo que entrega una eficiencia energética de 47,84 Km en el mismo circuito, El banco de baterías LiPO se puede utilizar pero por su mejor eficiencia energética se recomienda usar el banco de baterías de Litio Ferro Fosfato.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <PROTOTIPO SOLAR DE COMPETENCIA>, <POLIMERO DE LITIO>, <LITIO FERRO-FOSFATO>, <REGULADOR REDUCTOR DE TENSIÓN>, <EFICIENCIA ENERGÉTICA>.



ABSTRACT

The general objective of this research is to determine the energy efficiency and select the appropriate battery bank for a competitive solar prototype to reach a journey of 2500 km, in which two different sized battery packs are used, the first with lithium polymer modules and the second with Iron-Phosphate lithium modules. Firstly, it is important to verify its availability in the market according to costs, characteristics, features and limitations. In the framework of this study, it has been conducted several types of methodology, including the deductive method, which is necessary since the study of the different battery modules by the solar competency regulations is required and allowed; The comparative method is used since analysis will be performed to compare benefits and losses of each battery pack; It is also necessary to use the experimental method since with it will be possible to determine which are the adequate components for the implementation and tests carried out on each one of the banks and by using the analytical method it was determined the controller requirements and the Power unit. Therefore, Battery banks should provide nominal voltage values of 60 V and operating current rating up to 20 Amp. Once the amount of each of the necessary modules was selected, it was determined that the battery set with LIPO modules must use a voltage regulator to provide a voltage of 60 V and a current of 10.6 Amp which delivers an energy efficiency of 1.5 km in a controlled circuit. The second battery bank uses Lithium Iron-Phosphate cells and a voltage reducing regulator to deliver a voltage of 60 V and a current of 20 Amp to the module, which delivers an energy efficiency of 47.84 km on the same circuit, The LIPO battery bank can be used but for its better energy efficiency it is recommended to use the Lithium Iron Phosphate battery bank.

KEYWORDS: <ENGINEERING AND TECHNOLOGY SCIENCES>, <COMPETITIVE SOLAR PROTOTYPE>, <LITHIUM POLYMER>, <IRON PHOSPHATE LITHIUM>, <VOLTAGE REDUCING REGULATOR>, <ENERGY EFFICIENCY>.



INTRODUCCIÓN

Hoy en día se desarrollan competencias con vehículos alimentados con energía fotovoltaica a nivel mundial, para promover el uso de energías alternativas y de esta manera combatir contra el principal problema que enfrenta la humanidad como es la contaminación ambiental. El uso de la energía solar en nuestro país es de uso escaso por el escaso conocimiento de producción y utilización. Mediante estudios realizados en la posterioridad se puede transformar la energía solar en energía eléctrica que es almacenada en baterías basadas en Litio y así dar alimentación a la unidad de potencia para dar movimiento a los diferentes tipos de vehículos solares.

Uno de los mayores problemas para el consumo y utilización de vehículos solares es el alto precio de fabricación sin embargo los beneficios que brindan son mayores ya que a largo plazo es más económico y ayudan a la conservación del ambiente.

Hasta el momento se tiene registro de varias competencias solares uno de las principales competencias solares es la Bridgestone World Solar Challenge la misma que se realiza en el territorio de Australia desde la ciudad de Darwin hasta el territorio de Adelaide con un recorrido de 3000 Km.

Cada carrera existente posee reglamentos iguales entre ellos por ejemplo el colector de energía puede usar módulos de baterías de Ion Litio, Polímero de Litio, Litio Ferro-Fosfato entre otros. Cada uno de ellos con un peso máximo determinado.

CAPÍTULO I

1 ANTECEDENTES

1.1 Planteamiento del problema

La contaminación ambiental o atmosférica afecta directamente al medio ambiente, por ello y con el fin de reducir el impacto negativo que tiene sobre nuestra salud es importante conocer cuáles son sus fuentes principales y a qué cantidades se está expuesto diariamente la sociedad. La Organización Mundial de la Salud (OMS), el Centro Común de Investigación y la Comisión Europea han identificado las principales fuentes de contaminación en las diferentes regiones del mundo (Salomon, 2015)

Tabla 1-1: Contaminación Ambiental: ¿Cuál es la Principal Fuente?

TRÁFICO VEHÍCULAR	25%
LA COMBUSTIÓN Y LA AGRICULTURA	22%
QUEMA DE COMBUSTIBLE DOMÉSTICO	20%
EL POLVO NATURAL Y LA SAL	18%
ACTIVIDADES INDUSTRIALES	15%

Fuente: (Salomon, 2015)

Realizado por: Geovanny Daquilema

Durante el trabajo de los motores de combustión interna se desprenden las siguientes sustancias tóxicas principales: óxidos de nitrógeno, hollín, monóxido de carbono, hidrocarburos, aldehídos, sustancias cancerígenas (bencipireno), compuestos de azufre y plomo. Además de los gases de escape de los MCI, otras fuentes de toxicidad son también los gases del cárter y la evaporación del combustible a la atmósfera.

El uso de la energía solar como tipo de energía alternativa es casi nula en el país por la falta de conocimiento, escepticismo, costo elevado, pero más económico con el paso del tiempo.

Los vehículos que utilizan energías alternativas como los eléctricos son aquellos que no implican tener que quemar un combustible, al menos durante su uso y no existe emisión de gases a la atmósfera.

A igualdad de potencia, un motor eléctrico producido en gran serie es más compacto, más barato y mucho más simple que un motor de combustión interna. No necesita circuito de refrigeración,

ni aceite, ni apenas mantenimientos. Prácticamente no hace ruido al funcionar, sus vibraciones son imperceptibles y casi no emite calor. (Gartés, 2011)

Funciona a pleno rendimiento sin necesidad de variar su temperatura (Se dispone de todas las prestaciones del motor, desde el primer instante “en frío”). Al no tener elementos oscilantes, ni empuje discontinuo, no necesita volantes de inercia ni sujeciones especiales que lo aíslen del resto del coche. Al generar muy poco calor y no tener vibraciones su duración puede ser muy elevada (el motor no “sufre” durante su funcionamiento). Todo esto redundando en un ahorro de espacio y masa desplazada que resulta formidable. (Gartés, 2011)

Un motor eléctrico tiene una eficiencia energética que se sitúa en el entorno del 90%, que es el porcentaje de energía consumida que se convierte en movimiento aprovechable. Por limitaciones termodinámicas (a las que un motor eléctrico no está sometido un motor diésel se sitúa por debajo de un 40% siendo éste superior, a su vez, a un motor gasolina. (Gartés, 2011)

Para poder continuar con el desarrollo del prototipo se identificó el problema de no contar con la fuente de acumulación de energía que cumpla con la reglamentación de las competencias solares.

Para ocupar la energía solar se necesita acumuladores de energía y para esto se necesita diseñar bancos de batería, los cuales proveen la tensión e intensidad requerida.

El desconocimiento que se tiene en el área es amplio conjuntamente a las normas de seguridad para poder manipular los acumuladores de energía o bancos de batería

Se pretende a través de la investigación y el desarrollo tecnológico dotar al prototipo de la fuente de acumulación de energía.

1.2 Justificación:

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en su afán de cumplir con el cambio de la matriz productiva teniendo en cuenta protocolos como el de Montreal de 1987 y el de Kioto de 1997 en los cuales se plantea reducir los gases contaminantes entre uno de ellos el dióxido de carbono (CO₂) encontrado principalmente en los gases de escape de los vehículos, para lo cual se ha optado nuevos tipos de movilidad sustentable retomando en este caso el uso de los motores eléctricos como fuente de propulsión alternativa y la energía solar fotovoltaica como una de las fuentes de energía solar más desarrollada en la actualidad.

La Carrera de Ingeniería Automotriz está desarrollando un prototipo solar de competencia, siendo la más cercana la competencia solar de Atacama en Chile para lo cual se desarrolló un trabajo de titulación proponiendo el diseño de un prototipo el cual sirve de base conjuntamente con las especificaciones de la competencia para la construcción e implementación de los diferentes

sistemas que impulsarán a este prototipo siendo uno de estos y el fundamental el sistema de alimentación eléctrica para el vehículo de competencia.

El desarrollo de este prototipo va a servir de fuente de conocimientos técnicos en el campo de energías renovables y vehículos eléctricos para los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

La energía solar se ha venido convirtiendo en una de las mejores alternativas para la fabricación de vehículos, por lo que a nivel mundial se realiza varias competencias entre las cuales se pueden mencionar las más importantes:

Atacama Solar Challenge, es una competencia de vehículos solares que se realiza en Chile; única en América Latina, en la cual se reúnen equipos provenientes de toda la región con sus respectivos vehículos solares para recorrer el Desierto de Atacama. (Berizzo, 2013)

La misma que empezará en la ciudad de Santiago de Chile hasta llegar a la ciudad de Arica, este recorrido tiene una distancia de 2500 Km.

Razón por la cual se debe asegurar una eficiencia energética de la misma distancia a recorrer en la carrera.

World Solar Challenge, la más importante a nivel mundial, que cada dos años reúne a equipos de universidades de todo el planeta para presentar lo último en vehículos solares. (Anónimo, 2015)

La Ingeniería Automotriz es una rama de la ingeniería, que incorpora elementos de mecánica, electricidad, electrónica, mantenimiento y seguridad que se aplican al diseño, fabricación y funcionamiento de motocicletas, automóviles, autobuses, camiones, maquinaria pesada y sus respectivos subsistemas. El programa de Ingeniero Automotriz en la ESPOCH está enfocado a la ingeniería de producto (diseño y validación), diagnóstico, repotenciación, mantenimiento, manufactura y electrónica automotriz. (2012)

Por lo cual es posible el desarrollo este tipo de prototipos dentro de la carrera.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo General*

- Dimensionar la fuente de acumulación de energía mediante el diseño de un banco de baterías para un vehículo solar de competencia.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar el reglamento de las competencias solares y características de los componentes del vehículo solar, recopilando información, para la implementación de esta tecnología en el vehículo solar.
- Dimensionar un banco de acumulación de energía adecuado mediante el estudio de eficiencia energética para el prototipo asegurando que se cumpla con las especificaciones requeridas por los organizadores de la carrera.
- Seleccionar los componentes apropiados mediante el análisis de las características técnicas y constructivas para la construcción del banco de acumulación de energía.
- Implementar el banco de acumulación de energía mediante el uso de métodos ingenieriles para asegurar la calidad del ensamblaje
- Realizar pruebas experimentales del banco de acumulación de energía en el prototipo de acuerdo a las condiciones de competencia para garantizar su eficiencia.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 REGLAMENTOS DE COMPETENCIAS SOLARES

2.1.1 *La Bridgestone World Solar Challenge*

Es la principal carrera solar que se realiza en el país australiano. (EFE, 2017)

Es una carrera solar mundial la cual se realiza en las principales autopistas entre la ciudad de DARWIN del norte del territorio hasta ADELAIDE del sur del territorio australiano, con una distancia de recorrido aproximada de 3000 Km. (EFE, 2017)

2.1.1.1 *Categorías*

- *Challenger*

Categoría diseñada para vehículos rápidos de un solo ocupante (PILOTO) (SOLAR, 2019)

- *Cruiser*

Categoría para verificar eficacia, vehículos para dos o más ocupantes (SOLAR, 2019)

- *Adventure*

Esta categoría es diseñada para la participación de autos solares en eventos previos, los cuáles no califican dentro de las otras dos categorías. Esta categoría no es competitiva. (SOLAR, 2019)

2.1.1.2 *Especificaciones vehículo*

El vehículo solar de competencia cuando esté en movimiento en línea recta debe caber dentro de un rectángulo prismático con base en el piso de 5000 mm de largo, 2200 mm de ancho y 1600 mm de alto. (SOLAR, 2019)

En cuanto a la visión que debe tener cada ocupante es mayor a los 700 mm sobre el suelo. (SOLAR, 2019)

En las categorías CHALLENGER y CRUISER cada vehículo se apoyará sobre cuatro ruedas obligatoriamente. (SOLAR, 2019)

2.1.1.3 Colector solar

La fuente de energía primaria para un vehículo solar es la irradiación solar recolectada por el vehículo solar. Un colector solar estándar usa celdas fotovoltaicas sin reflectores ni concentradores. (SOLAR, 2019)

Si el sistema de almacenamiento de energía comprende células electroquímicas recargables con la misma química, entonces la masa total permitida para los autos solares Challenger y Adventure es: (SOLAR, 2019)

Tabla 1-2: Alimentación de Energía BWSC

TIPO DE BATERÍA	MASA TOTAL PERMITIDA (Kg)
Li-S	15.00
Li-ion	20.00
Li-polymer	40.00
LiFePO ₄	40.00

Fuente: (SOLAR, 2019)

Realizado por: Geovanny Daquilema

2.1.2 La Atacama Solar Challenge

Carrera Solar Atacama (CSA) es la primera competencia de autos con energía solar en Latinoamérica, y se llevará a cabo en el desierto más seco del mundo, con los niveles más altos de radiación, a lo largo de una geografía impresionante. (ATACAMA, 2018)

El lanzamiento oficial de la primera carrera solar en América Latina, se realizó en octubre de 2009, en el "Salón del Automóvil", bajo el mando de Leandro Valencia, CEO de la ONG La Ruta Solar. (ATACAMA, 2018)

Este año la carrera tendrá un recorrido de 2500 Km que va desde la ciudad de Santiago de Chile hasta Arica (AFP, 2018).

2.1.2.1 Categorías

- Challenger

Vehículo de cuatro ruedas para un solo ocupante. (ATACAMA, 2018)

- Cruiser

Vehículo de cuatro ruedas para más de un ocupante. (ATACAMA, 2018)

- Adventure

Es para vehículos diseñados para participar en eventos previos de Carrera Solar Atacama que no cumplen las regulaciones actuales de las categorías Challenger y Cruiser. Esta categoría es no competitiva. (ATACAMA, 2018)

2.1.2.2 Especificaciones del vehículo

Las dimensiones del vehículo, en su configuración y sentido de movimiento, deben quedar inscritas en un volumen virtual de 5000 mm de longitud; 2200 mm de anchura máxima; 1600 mm altura, desde sus superficies de contacto con el suelo (neumáticos) hasta su parte más alta. (ATACAMA, 2018)

La altura de los ojos de cada ocupante debe estar a más de 700 mm por encima del suelo. (ATACAMA, 2018)

El vehículo solar con su capacidad máxima de ocupantes debe poder ser conducido en un camino con una caída vertical de 50 mm sin que ninguna parte del carenado toque el suelo. (ATACAMA, 2018)

2.1.2.3 Colector solar

La fuente de energía primaria para un vehículo solar es la irradiación solar recolectada por el vehículo solar. Un colector solar estándar usa celdas fotovoltaicas sin reflectores ni concentradores. Los equipos que deseen usar alguna otra forma de colector solar deben contactar a la Organización. (ATACAMA, 2018)

Se permitirá el uso de almacenamiento o acumulación de energía en el vehículo. Un sistema de almacenamiento de energía estándar utiliza baterías electroquímicas recargables. Equipos que deseen utilizar otra forma de almacenamiento de energía deben contactar a la Organización. (ATACAMA, 2018)

Tabla 2-2: Alimentación de Energía CSA

TIPO DE BATERÍA	MASA TOTAL PERMITIDA (Kg)
Li-S	15,00
Li-ion	20,00
Li-polymer	20,00
LiFePO ₄	40,00

Fuente: (ATACAMA, 2018)

Realizado por: Geovanny Daquilema

2.1.3 La American Solar Challenge

El American Solar Challenge se originó en 1990 con Sunrayce USA, el inicio del “raycing” del coche solar organizado en los Estados Unidos. Sunrayce nació como resultado de que el automóvil

solar Sunraycer de GM ganara el primer World Solar Challenge en 1987. En lugar de seguir compitiendo, GM convirtió su experiencia en Australia en un evento universitario en los Estados Unidos, alentando a los equipos de estudiantes a diseñar y construir un Vehículo de energía solar. Los eventos adicionales de Sunrayce se llevaron a cabo en 1993, 1995, 1997 y 1999. El formato de Sunrayce fue una serie de etapas de un día a lo largo de una ruta predeterminada, incluido un día de descanso en medio del evento. (AMERICAN , 2018)

En 2001, con un cambio en el patrocinio también vino un nuevo nombre, el American Solar Challenge (ASC). ASC también trajo un nuevo formato para el evento, introduciendo etapas de varios días, mayores márgenes y sin días de descanso. En 2001 y 2003, la ruta de la carrera siguió la Ruta 66 histórica desde Chicago hasta el área de Los Ángeles. En 2005 y 2008, se llevaron a cabo dos ediciones especiales de la carrera, llamadas North American Solar Challenge, ya que la ruta fue de Texas, EE. UU. A Alberta, Canadá. Con una duración de 10 a 11 días, más de 2500 millas y solo unos pocos puntos de escenario, los equipos se extendieron a lo largo de cientos de millas. (AMERICAN , 2018)

Continuando con el nombre de ASC, 2010 marcó otro cambio en el evento, pasando a las etapas de dos días. Todos los días, todos los equipos comenzaban juntos o terminaban juntos en el mismo lugar. Esto mantuvo a los autos solares más unidos para la cobertura del público y los medios interesados, al tiempo que permitía una mayor camaradería entre los equipos. (AMERICAN , 2018)

El American Solar Challenge (ASC) es un rally de resistencia de 1.500 a 2.000 millas la cual se realiza en varios días en América del Norte. El evento se realiza normalmente cada dos años durante el verano y está abierto a equipos universitarios de vehículos solares de países de todo el mundo. Las rutas han variado enormemente a lo largo de la historia del evento, pero siempre están diseñadas para brindar a los equipos la gran oportunidad de demostrar sus autos solares en condiciones de conducción reales y probar exhaustivamente la confiabilidad de todos los sistemas a bordo. (AMERICAN , 2018)

2.1.3.1 Categorías

- Monoplaza (un solo ocupante)

Esta clase de vehículo es fundamentalmente un vehículo de energía solar diseñado para un solo ocupante. (FORMULA SUN, 2019)

Este vehículo es similar a la clase de vehículo "Challenger" del 2017 Bridgestone World Solar Challenge. (FORMULA SUN, 2019)

- Multi-ocupante

Esta clase de vehículo es fundamentalmente un vehículo de energía solar diseñado para múltiples ocupantes. (FORMULA SUN, 2019)

Este vehículo es similar a la clase de vehículo “Crucero” del Bridgestone World Solar Challenge 2017. (FORMULA SUN, 2019)

- Grandfathered

Los vehículos ingresados bajo esta clase son aquellos que ingresaron y pasaron la verificación y la calificación dentro de un período de cuatro años antes de FSGP (FORMULA SUN GRAND PRIX) 2019. (FORMULA SUN, 2019)

Los vehículos en esta clase no son elegibles para las clases de un solo ocupante o de múltiples ocupantes como se describe anteriormente. (FORMULA SUN, 2019)

Los vehículos de esta clase se someterán a escrutinio de conformidad con el conjunto de normas para el que fueron diseñados y estarán sujetos a regulaciones adicionales relacionadas con la seguridad de los reglamentos técnicos de vehículos de clase de ocupante individual y de ocupantes múltiples. (FORMULA SUN, 2019)

2.1.3.2 Especificaciones del vehículo

El vehículo solar (incluido el colector solar) no debe exceder las siguientes dimensiones máximas cuando se mueva por su propia energía:

Longitud = 5.0 m

Altura = 1.6 m

Ancho = 2.2 m

Al girar esquinas, las ruedas pueden exceder estas dimensiones. (FORMULA SUN, 2019)

2.1.3.3 Colector solar

Todos los carros solares pueden almacenar energía generada por energía solar en un sistema de almacenamiento de energía compuesto por celdas individuales que tienen un peso determinado por la tecnología utilizada.

Los autos solares para un solo ocupante están limitados a los siguientes tipos de batería con su respectiva tecnología: (FORMULA SUN, 2018)

Tabla 3-2: Alimentación de Energía ASC

TIPO DE BATERÍA	MASA TOTAL PERMITIDA (Kg)
Li-S	15,00
Li-ion	20,00
Li-polymer	20,00

LiFePO_4	40,00
-------------------	-------

Fuente: (FORMULA SUN, 2018)

Realizado por: Geovanny Daquilema

2.2 Baterías

Las baterías son dispositivos electroquímicos que convierten la energía eléctrica en energía química durante la carga y viceversa durante la descarga. Una batería está compuesta por un pack de varias celdas. La celda consta de: electrodo positivo, electrodo negativo y electrolito. (López Martínez, 2015)

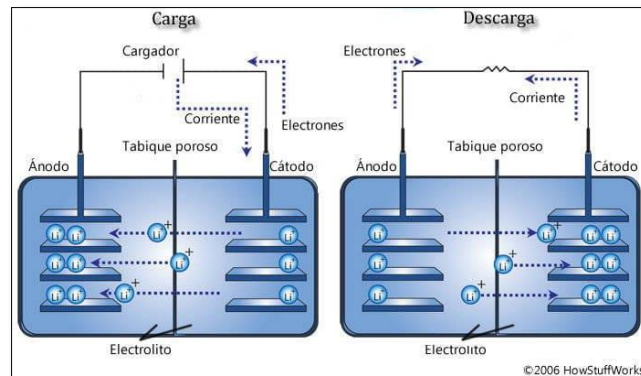


Figura 1-2: Baterías de coches eléctricos e híbridos

Realizado por: (Artés, 2012)

Durante el funcionamiento de la batería, las reacciones químicas en los electrodos generan electrones que fluyen de un electrodo a otro, sin embargo, el flujo es sostenible solamente si los electrones generados son capaces de moverse por un circuito externo que conecta ambos electrodos. Los puntos de conexión entre los electrodos y el circuito externo se denominan terminales. (López Martínez, 2015)

2.2.1 Tensión de celda y batería.

Todas las celdas eléctricas tienen una tensión nominal que da aproximadamente la tensión cuando la celda está entregando potencia. Las celdas se conectan en serie para dar la tensión requerida total. Las baterías de tracción para vehículos normalmente son de 6V o 12 V y estas unidades se conectan en serie para producir la tensión deseada. Esta tensión, en la práctica, cambiará. Cuando la batería se descarga, la tensión cae; mientras que cuando se carga, la tensión sube. (López Martínez, 2015)

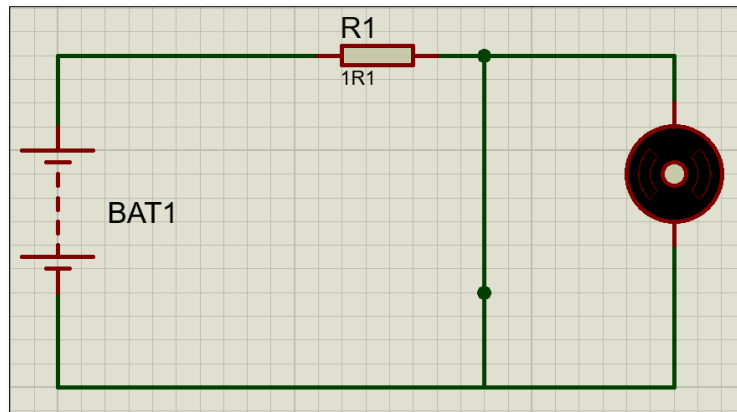


Figura 2-2: Circuito equivalente de una batería (6celdas).
Realizador por: Geovanny Daquilema

Esto se expresa mejor en términos de resistencia interna mediante el circuito equivalente de la Figura 3-2 en el que la batería se representa como una fuente de tensión en circuito abierto en serie con una resistencia interna. (López Martínez, 2015)

La batería está representada por una tensión fija E , pero la tensión en bornes es diferente, V , debido a la caída de tensión en R_i (resistencia interna). Si se supone que una intensidad I fluye fuera de la batería, aplicando la ley Kirchoff. (López Martínez, 2015)

$$V = V_o - IR_i$$

La tensión de circuito abierto V_o no es constante. LA tensión está afectada por el estado de carga de la batería y por la temperatura. (López Martínez, 2015)

2.2.2 Tensión de carga

Tensión en circuito abierto $+IR_i$ (Debe compensar la tensión nominal del elemento en sentido opuesto más la caída de tensión debida a la resistencia interna) (López Martínez, 2015)

2.2.3 Tensión de descarga

Tensión en circuito abierto $-IR_i$ (La tensión de un elemento durante la descarga es inferior a la tensión en circuito abierto debido a que se produce una caída ocasionada por la resistencia interna) (López Martínez, 2015)

En un ensayo típico de descarga a corriente constante, la batería se encuentra inicialmente cargada y su tensión de circuito abierto es V_o . Se le aplica una corriente de descarga I . Después de un cierto tiempo t_d (tiempo de descarga) la batería alcanza una tensión, denominada tensión de corte (aproximadamente el 80% de la tensión en circuito abierto) en la que la batería se considera descargada (López Martínez, 2015)

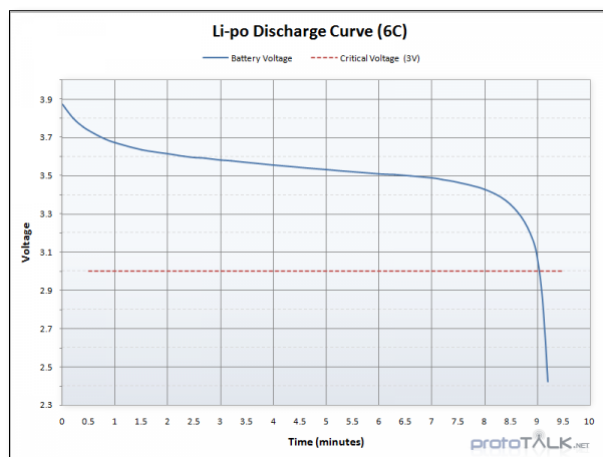


Figura 3-2: Curva de descarga de una batería LiPO
 Realizado por: (Reis, 2017)

2.3 Tipos de baterías

2.3.1 Baterías de níquel-hidruro metálico.

El hidruro metálico de níquel (NiMH) se introdujo comercialmente en la última década del siglo XX. Tiene un rendimiento similar al de la batería de NiCd, siendo la principal diferencia que en la batería de NiMH utiliza un ánodo de hidróxido de níquel y un cátodo de una aleación de hidruro metálico, que las hacen libre de cadmio, lo que conlleva una ventaja considerable. (Peña Ordóñez, 2011)

Estas ventajas se centran básicamente en un aumento de la capacidad, una disminución del peso y un menor efecto memoria. (Peña Ordóñez, 2011)



Figura 4-2: Celdas de Pack de batería de alta tensión de Níquel Metal Hidruro.
 Realizado por: (Espinosa Delgado, 2013)

2.3.1.1 Características funcionales de las baterías de níquel-hidruro metálico.

La tecnología de níquel-hidruro metálico tiene características eléctricas similares a la tecnología de níquel-cadmio. La tensión nominal por celda es 1,2V y las curvas de carga y descarga son bastante parecidas. (Peña Ordóñez, 2011)

2.3.1.2 Ventajas:

- Una mayor densidad energética y mayor energía específica, que el NiCd.
- Tecnología libre de cadmio (menos contaminante).
- Pueden ser cargadas con un cargador convencional.
- Seguras.
- Fácil manejo comparado con la tecnología del litio.

Aunque se han conseguido avances importantes con la tecnología de níquel-hidruro metálico estas baterías presentan ciertas desventajas que han limitado su uso: (Peña Ordóñez, 2011)

2.3.1.3 Desventajas:

- Alta razón de auto descarga, entre un 15 a un 20% por mes.
- Menor fiabilidad que las baterías Ni-Cd,
- No soportan fuertes descargas.
- Voltaje bajo de 1,2V por celda.
- Vida media de aproximadamente 300-500 ciclos de carga (en función del fabricante)
- Tiempos de carga superiores al Ni-Cd. (Peña Ordóñez, 2011)

2.3.2 Baterías litio.

Durante muchos años la batería de níquel-cadmio fue la única opción para aplicaciones portátiles como teléfonos móviles, ordenadores, aeromodelos, etc. En 1990 aparecieron las baterías de níquel-metal-hidruro e ion-litio, ofreciendo mayores capacidades y menores pesos. Ambas tecnologías reclaman su superioridad sobre la otra, pero últimamente se ha hecho patente que las baterías de Ion-Litio han ganado la carrera. (Peña Ordóñez, 2011)

Los primeros trabajos para crear una batería de litio se desarrollaron en el año 1912 por G.N. Lewis, pero no fue hasta los años 70 cuando la primera batería de litio apareció comercialmente. (Peña Ordóñez, 2011)

Hay que recordar que el litio (LI) es el metal más ligero que existe, ya que al tener únicamente tres protones, su peso atómico es muy bajo. Permitiendo un gran potencial químico para crear baterías de gran capacidad con poco peso. (Peña Ordóñez, 2011)

Los primeros intentos de crear una batería de Litio metálico fallaron debido a problemas de seguridad, por la inherente inestabilidad química del Litio, especialmente durante su carga. Los investigadores decidieron utilizar una forma química del Litio que no fuera metálico para mejorar la seguridad en aquellas baterías. (Peña Ordóñez, 2011)

En 1991 la compañía Sony comercializó la primera batería de Ion-Litio y después otros fabricantes le siguieron. (Peña Ordóñez, 2011)



Figura 5-2: Prototipo de Batería de Litio desarrollada en el 2012

Realizado por: (Anónimo, 2014)

2.3.2.1 Características generales de las baterías de litio.

La densidad de energía de una batería de la familia del litio es aproximadamente más del doble que en una batería de níquel-Cadmio. Los investigadores aseguran que la batería de litio puede alcanzar un potencial muy superior al actual. (Peña Ordóñez, 2011)

El voltaje de una celda de la familia de litio oscila entre los 3.3 a 3.7 Voltios, lo que permite diseñar baterías de una única celda que se utilizan especialmente en teléfonos o aeromodelos de vuelo. Recordemos que para alcanzar un voltaje similar con una batería de níquel-Cadmio sería necesario utilizar tres células conectadas en serie. (Peña Ordóñez, 2011)

Las baterías de la familia del litio no requieren mantenimiento, cosa que no puede decirse de otras baterías. No tienen efecto memoria y no es necesario realizar un reciclado cada cierto número de cargas. Además, el ratio de auto descarga de una batería almacenada es menos de la mitad de otros tipos de batería. (Peña Ordóñez, 2011)

Pero también hay que tener en cuenta que su estructura es frágil y requieren de un circuito de seguridad. Se hace necesario un circuito que limita el voltaje máximo que puede alcanzar cada célula durante la carga, y también limitar el voltaje mínimo de cada célula durante la descarga. Aproximadamente el factor de carga de una batería es de 1C o 2C. (Peña Ordóñez, 2011)

El envejecimiento de las baterías de Litio es un tema que los fabricantes suelen ocultar, pues las capacidades químicas de una batería se degradan notablemente en un periodo de un año. Esta degradación química ocurre tanto si se utiliza la batería o no. (Peña Ordóñez, 2011)

Los fabricantes están constantemente mejorando las baterías de Litio, lo que abre un futuro prometedor ante este problema de la degradación química. (Peña Ordóñez, 2011)

A continuación se van a citar las ventajas e inconvenientes generales de las baterías que basan su química en el litio. (Peña Ordóñez, 2011)

2.3.2.2 *Ventajas:*

- Alta densidad de energía.
- Alta energía específica.
- Alta capacidad de descarga en algunos tipos de baterías de litio.
- No necesitan de mantenimiento.
- Sin efecto memoria.
- Bajo efecto de auto descarga. (Peña Ordoñez, 2011)

2.3.2.3 *Desventajas:*

- Requiere un circuito de seguridad para mantener los límites de voltaje máximo y mínimo por celda.
- Almacenar en lugar frío al 40% de su carga.
- Baja capacidad de descarga en las baterías de iones de litio.
- Limitaciones en su transporte aéreo.
- Precio superior a otras baterías. (Peña Ordoñez, 2011)

2.3.3 *Baterías de polímero de litio*

2.3.3.1 *Características funcionales del polímero de litio (LIPO).*

La batería de polímero de litio también conocida como lipo, se diferencia del resto de las baterías por el electrolito usado. El diseño original data de los años 70 usando un polímero sólido como electrolito. Este electrolito se ensamblaba en un recipiente plástico que no conducía la electricidad, y que impedía el paso de electrones. (Peña Ordoñez, 2011)

El polímero sólido ofrece ventajas de fabricación, permitiendo alcanzar grosores de 1 milímetro, lo que permite crear baterías con el espesor de una tarjeta de crédito. (Peña Ordoñez, 2011)

Desafortunadamente el polímero sólido sufre de baja conductividad debido a la alta resistencia interna, por lo que no puede ofrecer la suficiente capacidad de descarga, además de aumentar su

temperatura hasta cerca de 60 grados, lo que la hace inviable para ciertas aplicaciones. Para solucionar este problema se añadió un gel al electrolito. (Peña Ordoñez, 2011)

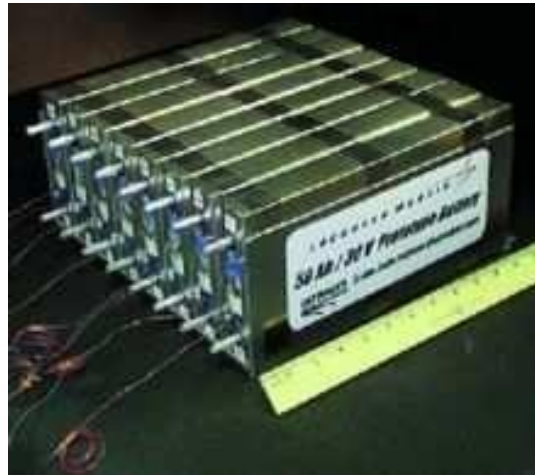


Figura 6-2: Prototipo de batería de litio-ion-polímero

Realizado por: (Anónimo, 2016)

Las celdas de polímero de litio, utilizan una bolsa flexible de aluminio en lugar de fundas rígidas, esto conlleva un ahorro considerable en el peso y el tamaño que demanda cada celda, un 20% más ligero que el equivalente en pilas cilíndricas. Estas baterías pueden también impulsar la próxima generación de vehículos eléctricos de baterías. El coste de un coche eléctrico de este tipo es prohibitivo, pero los defensores argumentan que con el aumento de la producción, el costo de las baterías de Li-Po bajará. (Peña Ordoñez, 2011)

2.3.3.2 *Ventajas:*

- Pueden reducirse hasta grosores de 1 milímetro.
- Pueden empaquetarse de múltiples formas.
- Alta densidad de energía.
- Poco peso.
- No necesitan mantenimiento.
- Sin efecto memoria.
- Bajo porcentaje de auto descarga. (Peña Ordoñez, 2011)

2.3.3.3 *Desventajas:*

- Requiere un circuito de seguridad para mantener los límites de voltaje.
- Almacenar en lugar frío al 40% de su carga.
- Limitaciones en su transporte (compañías aéreas).
- Tecnología en desarrollo.
- Pueden explotar si se perfora. (Peña Ordoñez, 2011)

2.3.4 Baterías de litio-ion con cátodo de LiCoO₂

2.3.4.1 Características funcionales del ion de litio (con cátodo de LiCoO₂).

Las baterías de litio-ion con cátodo de LiCoO₂, son comunes en la electrónica de consumo. Se trata de uno de los tipos más populares de baterías recargables para dispositivos electrónicos portátiles, con la mejor relación peso energía, sin efecto memoria y una lenta pérdida de la carga cuando no están en uso. (Peña Ordóñez, 2011)

Más allá de la electrónica de consumo, están creciendo en popularidad para usos militares, vehículos aeroespaciales y distintas aplicaciones debido a su alta densidad energética. (Peña Ordóñez, 2011)

Las investigaciones están introduciendo mejoras en la densidad energética, durabilidad, costo y seguridad de estas baterías. (Peña Ordóñez, 2011)

Esta tipo de baterías poseen la mayor “densidad energética” y “energía específica” del mercado, por el contrario poseen una de las capacidades de descarga más bajas, razón por la cual suelen encontrarse en la mayoría de los aparatos electrónicos que no exigen bruscas descargas de corriente, como es el caso de portátiles, móviles etc. (Peña Ordóñez, 2011)

2.3.4.2 Ventajas:

- Batería con la mayor densidad energética del mercado.
- Batería con la mayor energía específica del mercado.
- Alta tensión por celda 3.6-3.7v
- No posee efecto memoria.
- Tasas de auto descarga inferior al 10%.
- No está fabricada con productos tóxicos. (Peña Ordóñez, 2011)

2.3.4.3 Desventajas:

- Problemas de ecualización y necesidad de circuitos electrónicos adicionales.
- Las altas temperaturas son bastante perjudiciales para su ciclo de vida.
- Sufren el efecto de pasivación.
- Capacidad de descarga muy pequeña. (Peña Ordóñez, 2011)

2.3.5 Baterías de Litio Ferro-Fosfato LiFePO_4

2.3.5.1 Características funcionales del ion de litio con cátodo de LiFePO_4 .

Las baterías de ion de litio con cátodo de LiFePO_4 , son una variación de las baterías de ion de litio con cátodo de LiCoO_2 . Son normalmente conocidas por las siglas “LIFE”. (Peña Ordóñez, 2011)

El fosfato de hierro litio (LiFePO_4), posee un bajo costo, no es tóxico, tiene una alta abundancia de hierro, una excelente estabilidad térmica, buenas características de seguridad y un rendimiento electroquímico bueno. (Peña Ordóñez, 2011)

La mejora de su conductividad respecto al ion de litio con ánodo LiCoO_2 se debe a la presencia de nanotubos de carbono. (Peña Ordóñez, 2011)

Este tipo de baterías son utilizadas en productos industriales por grandes empresas como:

Black and Decker 's, DeWalt, General Motors, Chevrolet Volt, Daimler, Cessna and BAE Systems, etc. (Peña Ordóñez, 2011)

Una ventaja clave sobre las baterías de ion de litio es su mejor estabilidad química y térmica, la cual ofrece mejores características de seguridad que el resto de baterías de litio. (Peña Ordóñez, 2011)

Comparando el fosfato de hierro litio, con su antecesor de mayor capacidad el ion de litio, se aprecia que a partir del año la densidad energética en una batería de LiCoO_2 será aproximadamente la misma que una de LiFePO_4 . Después de dos años la densidad energética de batería LiCoO_2 será inferior a una de LiFePO_4 . Esto es debido, a una mayor vida útil por parte de LiFePO_4 . (Peña Ordóñez, 2011)

Una de las principales ventajas de LiFePO_4 en comparación con LiCoO_2 es mayor capacidad de descarga. (Peña Ordóñez, 2011)

La química del fosfato de hierro litio ofrece el ciclo de vida más largo de las baterías existentes en el mercado actual. (Peña Ordóñez, 2011)



Figura 7-2: BtrPower 60V 20Ah Rechargeable Ebike
Realizado por: (BtrPower, 2018)

2.3.5.2 *Ventajas:*

- Alta alta tensión en circuito abierto, 3,3v
- LiFePO4 es un cátodo de material intrínsecamente más seguro que LiCoO2.
- No posee efecto memoria.
- No está fabricada con productos tóxicos.
- Es la batería perteneciente a la familia del litio que mejor tolera las altas temperaturas.
- Supera los 2000 ciclos de vida.
- Vida superior a los 10 años.
- Tiempo de carga entre 15- 30 minutos.
- Buena capacidad para soporta sobrecarga
- Buena energía específica y densidad energética.
- Buena potencia específica. (Peña Ordóñez, 2011)

2.3.5.3 *Desventajas:*

- Problemas de eculización y necesidad de circuitos electrónicos adicionales (menor tendencia al desequilibrio que el polímero de litio).
- La densidad energética en una batería LiFePO4, es sensiblemente inferior su antecesora el ion de litio cátodo de LiCoO2, aproximadamente en un 14%.
- Sufren el efecto de pasivación. (Peña Ordóñez, 2011)

La pasivación es una fina película de cloruro de litio (LiCl) en la superficie del ánodo. Si la pasivación es excesiva, puede provocar caída voltaje por debajo del funcionamiento. (Anónimo, 2018)

Tabla 4-2: Datos Técnicos de la batería recargable Ebike LiFe04 BtrPower 60V 20Ah para 1200W bicicleta eléctrica Scooter + cargador BMS

DESCRIPCIÓN	
Número de Celdas	17 en serie; 1 en paralelo
Energía Nominal	1200 Wh
Voltaje	60 V
Capacidad	20 Amph
Tensión de Corte	42,5 V
Corriente máxima de descarga :	100Amp
Máximo amperaje de descarga continua	50 amperios
Amperaje de descarga nominal :	50Amps
Corriente de carga	<= 10 amperios
Voltaje de carga	71.4Volts
Ciclo de vida	85% de capacidad después de 500 ciclos
Ciclo de vida de una sola celda:	> 85% de capacidad después de 500 ciclos,> 70% de capacidad después de 800 ciclos.
Dimensión	225X165 X107 mm (8.9X 6.5X4.2 pulgadas)
Peso	alrededor de 7.6kg (16.8 libras)

Fuente: (BtrPower, 2018)

Realizado por: Geovanny Daquilema

Product Description	
Voltage	60v
Capacity	20ah
Cut-off voltage	42.5v
Max discharging current	100Amp
Max Continuous Discharging Amperage	50Amp
Rated Discharging Amperage	50Amp
Charging Current	<=10Amp
Charging Voltage	71.4v±0.5v
Lifecycle	> 85% capacity after 1000 cycles

Figura 8-2: Parámetros de la Batería LiFePO4 adquiridas.

Realizado por: (BtrPower, 2018)

2.4 Ciclo de vida de la batería

Cada ciclo de descarga completa y luego de recarga completa se denomina ciclo de vida de la batería. El ciclo de vida de una batería puede variar de 2000 a 8000. Eso significa un ciclo de vida de 18 meses a 3 años para una batería típica. Si la batería es más antigua que eso. La batería no muere repentinamente al alcanzar su ciclo de vida máximo. Comienza a deteriorarse más rápido y su capacidad de recarga disminuye por completo. (Anónimo, 2019)

La carga repetida debilita la batería aún más debido al calentamiento repetido. Puede minimizar los efectos adversos de la carga repetida utilizando los cargadores de batería correctos. La batería todavía podría recorrer otros 700-1000 ciclos hasta que llegue al final de su vida útil. (Anónimo, 2019)

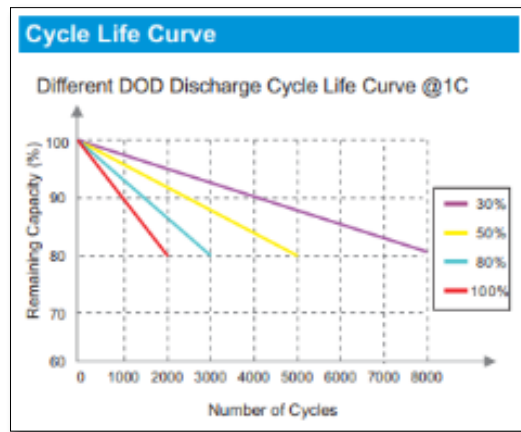


Figura 9-2: Curva ciclo de vida LiFePO₄.
Realizado por: (Anónimo, 2019)

2.5 Carga de la batería LiFePO₄

2.5.1 Carga convencional

Durante el proceso de carga de iones de litio convencional, una batería de iones de litio convencional que contiene fosfato de litio y hierro (LiFePO₄) necesita dos pasos para estar completamente cargada: (Anónimo, 2019)

Primer paso: usa corriente constante (CC) para alcanzar aproximadamente el 60% del estado de carga (SOC). (Anónimo, 2019)

Segundo paso: tiene lugar cuando la tensión de carga alcanza los 3,65 V por celda, que es el límite superior de la tensión de carga efectiva. Pasar de corriente constante (CC) a voltaje constante (CV) significa que la corriente de carga está limitada por lo que la batería aceptará a ese voltaje,

por lo que la corriente de carga se reduce asintóticamente, al igual que un condensador cargado a través de una resistencia alcanzará el final Tensión asintóticamente. (Anónimo, 2019)

Para poner un reloj en el proceso, el paso 1 (60% SOC) necesita aproximadamente una hora y el paso 2 (40% SOC) necesita otras dos horas. (Anónimo, 2019)

2.5.1.1 Carga rápida "forzada"

Debido a que se puede aplicar una sobretensión a la batería LiFePO₄ sin descomponer el electrolito, solo se puede cargar con un paso de CC para alcanzar el 95% de SOC o con CC + CV para obtener el 100% de SOC. Esto es similar a la forma en que las baterías de plomo ácido se cargan de manera segura. El tiempo mínimo de carga total será de aproximadamente dos horas. (Anónimo, 2019)

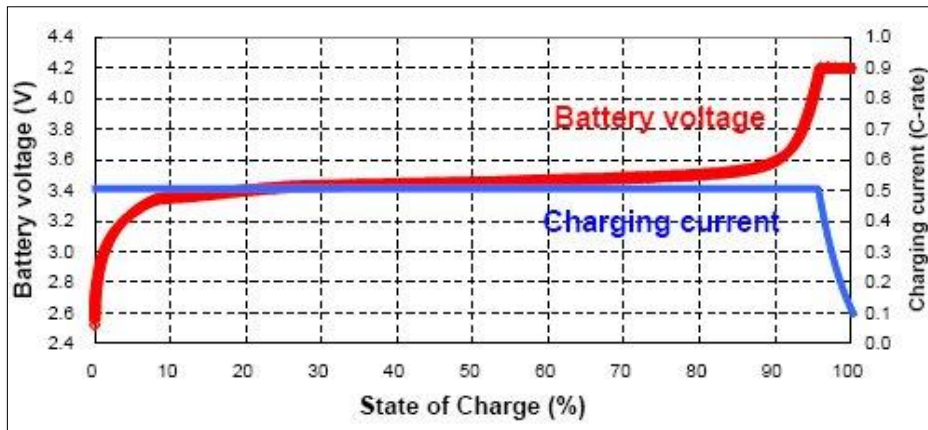


Figura 10-2: Estado de Carga.
Realizado por: (Anónimo, 2019)

2.5.1.2 AUTO EQUILIBRIO

A diferencia de la batería de plomo-ácido, varias celdas LiFePO₄ en un paquete de baterías en conexión en serie no pueden equilibrarse entre sí durante el proceso de carga. Esto se debe a que la corriente de carga deja de fluir cuando la celda está llena. Es por esto que los paquetes LiFePO₄ necesitan juntas de administración. (Anónimo, 2019)

2.6 REGULADOR DE VOLTAJE

Un regulador de voltaje es un dispositivo de regulación de electricidad diseñado para convertir automáticamente el voltaje en un voltaje constante, de corriente continua (CC) generalmente más bajo. (Anónimo)

El término puede referirse a un circuito integrado de regulador de voltaje (IC), que a menudo se encuentra en computadoras y otros dispositivos electrónicos que están enchufados directamente

a una toma de corriente de corriente alterna (CA) pero que solo requieren un pequeño voltaje de CC. (Anónimo)

El término también puede referirse a dispositivos de regulación de voltaje o módulos de potencia, como los cargadores de teléfonos celulares y portátiles. Algunos reguladores no aumentan ni disminuyen el voltaje de un dispositivo, sino que simplemente garantizan un valor de salida constante. (Anónimo)

Los reguladores de voltaje se usan generalmente para regular el voltaje a un valor más bajo y para proporcionar este valor constantemente a lo largo del tiempo. Tal dispositivo podría ser tan simple como un diseño de avance o podría ser más complejo e incluir bucles de retroalimentación negativa. (Anónimo)

Hay dos tipos de reguladores de voltaje:

- Electrónico: estos utilizan componentes electrónicos puros, como diodos, resistencias y condensadores, y generalmente vienen como circuitos integrados ya clasificados para voltajes específicos y salida de corriente. (Anónimo)
- Electromecánica: estas hacen uso de partes mecánicas móviles para regular el voltaje. La parte mecánica suele ser un solenoide que se mueve de acuerdo con el tamaño de la corriente y el voltaje de entrada, y se mueve en consecuencia para cortar la entrada cuando hay una sobretensión. A continuación, un condensador proporciona la salida regulada. (Anónimo)

2.7 Fusibles

El fusible es dispositivo utilizado para proteger dispositivos eléctricos y electrónicos. Este dispositivo permite el paso de la corriente mientras ésta no supere un valor establecido. (Mecafenix, 2018)

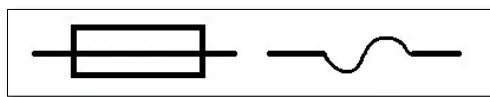


Figura 11-2: Fusible Símbolo Eléctrico.

Realizado por: (Mecafenix, 2018)

Un fusible está compuesto por un filamento o lamina de metal que se quema para cortar el paso de la corriente eléctrica. Si por cualquier razón esta corriente comienza a aumentar, y llegara a entrar al circuito con un valor demasiado alto, arruinaría el dispositivo eléctrico. (Mecafenix, 2018)

Para eso se coloca un fusible antes de que la corriente ingrese al circuito. Si la corriente es muy elevada, hará aumentar la temperatura del filamento, por lo que comenzara a derretirse. Esto hará que el circuito se abra, no dejando pasar más corriente, y haciendo que la corriente elevada no llegue al circuito. (Mecafenix, 2018)

Al ser un dispositivo muy común existe gran variedad, y se pueden clasificar de diferentes maneras, ya sea por su tipo de material, por su uso, por el amperaje, etc. En esta ocasión hablaremos de una forma más generalizada sobre qué tipos existen.

- Cilíndricos

Estos tipos de fusibles son elaborados con un tubo cerámico el cual es muy resistente a los choques y a la presión interna. En el interior de este tubo, el cual presenta una forma cilíndrica, se encuentra la lámina que es lo que hace el trabajo de fusible. (Mecafenix, 2018)



Figura 12-2: Fusible Cilíndrico.

Realizado por: (Mecafenix, 2018)

- De Cuchillas

También se le conoce como fusibles NH. Es el tipo de fusible que se suele utilizar contra los cortocircuitos y las sobrecargas en determinadas instalaciones de distribución. (Mecafenix, 2018)

Existen dos tipos de fusibles de cuchillas con percutor y sin percutor (Mecafenix, 2018)



Figura 13-2: Fusible de Cuchilla (Uña).

Realizado por: (Mecafenix, 2018)

- De Pastilla

Este fusible es muy parecido al fusible cilíndrico en cuanto a su funcionamiento. (Mecafenix, 2018)



Figura 14-2: Fusible de Pastilla.

Realizado por: (Mecafenix, 2018)

- Encapsulado de vidrio

Se trata de los fusibles que son construidos con hilo metálico o con una lámina, los cuales son cubiertos con un tubo de vidrio. Este se instala entre la fuente de alimentación y del circuito. Una vez detecta una corriente superior a sus valores admitidos se llega a derretir rompiendo el paso de corriente. (Mecafenix, 2018)



Figura 15-2: Fusible Encapsulado de Vidrio.

Realizado por: (Mecafenix, 2018)

- Chicote

Tipo de fusible que hace uso de hilo metálico o plomo, lo cual al detectar un sobrecalentamiento en el circuito se funde. (Mecafenix, 2018)



Figura 16-2: Fusible Tipo Chicote.

Realizado por: (Mecafenix, 2018)

- Tapón Enroscable

Se presenta como un tubo de porcelana cilíndrico, aunque también se construye con otros materiales parecidos, que a la vez hace uso de una camisa roscada que se utiliza para introducirse en el circuito. (Mecafenix, 2018)



Figura 17-2: Fusible de Tapón Enroscable.

Realizado por: (Mecafenix, 2018)

- De Cartucho

Formado por un tubo fabricado de material aislante, el cual utiliza soportes metálicos como medio de cierre y que además es lo que le hace introducir en el circuito a presión. (Mecafenix, 2018)



Figura 18-2: Fusible de Cartucho.

Realizado por: (Mecafenix, 2018)

- De Plomo

Se muestran como un trozo de alambre en base a plomo el cual se intercala en el circuito. Este una vez detecta la intensidad de corriente se funde. (Mecafenix, 2018)

Es el fusible más antiguo que se conoce en la actualidad, no son muy seguros y se oxidan y corroen con gran facilidad. Estos pasaron al desuso, ya que además se derraman por todo el circuito cuando se funden y se derriten. (Mecafenix, 2018)



Figura 19-2: Fusible de Plomo.

Realizado por: (Mecafenix, 2018)

- Diazed

Fusible construido en base a cartucho o balín, el cual es colocado en la coronilla roscada y a la vez se atornilla fijamente a la base porta fusible. (Mecafenix, 2018)



Figura 20-2: Fusible Diazed.

Realizado por: (Mecafenix, 2018)

CAPÍTULO III

3 MÉTODOS Y TÉCNICAS:

3.1 Metodología

En este trabajo de investigación son utilizados varios métodos de investigación.

Método Deductivo el mismo que trata de partir de una verdad Universal para lograr llegar a condiciones particulares.

Esta metodología es necesaria ya que se incursionará en el estudio y utilización de baterías permitidas por normativas para ser implementadas en un vehículo retro alimentado con energía solar.

Método Analítico: Trata del estudio de cada una de las partes que serán implementadas en el prototipo.

Es fundamental el estudio realizado de las normativas que rigen importantes competencias de vehículos con retroalimentación solar (WSC, ASC, CSA). Para lo cual es necesario la utilización de estudios realizados sobre fuentes de alimentación tanto de vehículos híbridos como eléctricos, así como de estudios de mercado de los componentes necesarios a ser colocados para el funcionamiento del sistema.

Método Comparativo: Es un procedimiento de búsqueda sistemática para encontrar similitudes y diferencias entre dos o más fenómenos objetos a pruebas.

Por la acción de dimensionar dos bancos de baterías la una con celdas LiPO y el otro con celdas LiFePO₄, cada una de ellas aportan beneficios por lo cual es necesario realizar un análisis comparativo entre ellos

Método Experimental: Su utilización es necesaria ya que se van a dimensionar dos fuentes de alimentación de energía que se adapte a los requerimientos del controlador proporcionado al prototipo y al final determinar cuál de ellas es la más óptima mediante pruebas teóricas de eficiencia energética y proyecciones lineales

Además que se puede determinar cuáles serán los componentes (cables, sockets, interruptores, terminales, fusibles) óptimos, necesarios y que provean de seguridad para las conexiones a realizarse.

3.1.1 Diagrama de procesos técnicos.

Se detalla los pasos a realizarse durante el periodo de la investigación en forma cronológica

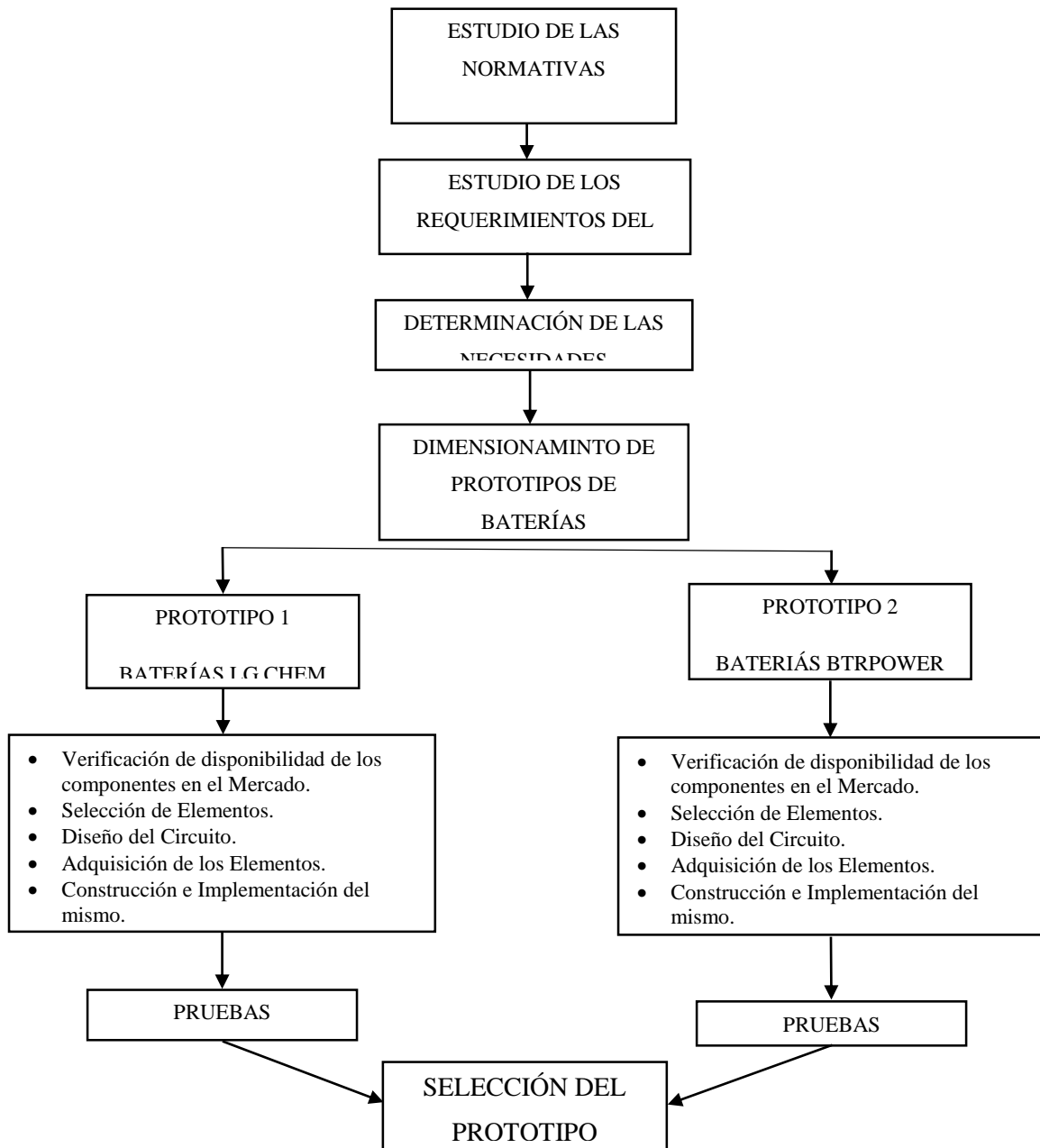


Figura 1-3: Diagrama de Procesos Técnicos
Realizado por: Geovanny Daquilema

3.2 Técnicas

3.2.1 Investigación aplicada

Se trata de aplicar los resultados obtenidos en estudios e investigaciones previas para ser ocupados en la investigación así logrando la utilización de los mismos, como son las necesidades y requerimientos de los motores utilizados en el vehículo solar de competencia.

3.2.2 Investigación Bibliográfica

El presente trabajo de investigación será bibliográfico documental debido a que permitirá revisar, sintetizar, ampliar, comparar y profundizar diferentes puntos de vista de varios autores, revisar teorías, criterios y temas referentes al uso de nuevas energías alternativas.

3.3 Dimensionamiento del banco de acumulación de energía.

3.3.1 Estudio de los requerimientos del prototipo.

3.3.1.1 Peso

El prototipo tiene una estructura con tubería de aluminio también posee un habitáculo (asiento, tablero y cubierta aerodinámica) y carrocería construidos en fibra de Carbono.

El vehículo consta con sistemas de dirección, suspensión y frenos que han sido construidos a través de otros trabajos de investigación; El peso total del prototipo con el sistema de alimentación de energía incorporado es de 370 Kg.

3.3.1.2 Potencia (Motores)

Los motores que proporcionan la potencia al prototipo son Voilamart Motores Brushless de 48V-1500W.

Tabla 1-3: Especificaciones Del Motor Brushless Voilamart 48v-1500w

ESPECIFICACIÓN	TIPO/UNIDAD
Motor	BLDC Brushless C.C.
Voltaje	48 V
Torque máximo	48 Nm.
Capacidad máxima de carga	551 lb / 250 kg
Eficiencia	85-90%
Peso	22 lb/ 10 kg

Refrigeración	Por aire
Diámetro	23 cm
rpm	800-1200

Fuente: (VOILAMART)

Realizado por: Geovanny Daquilema

3.3.1.3 Módulo

3.3.1.3.1 Controlador ROBOTEQ HBL2360 y HBL2396

El HBL2360 de Roboteq es un controlador de canal dual que soporta alta corriente para motores de Corriente continua sin escobillas equipados con sensor Hall. El controlador utiliza la información de posición de los sensores para secuenciar la potencia de los 3 devanados de los motores para generar una rotación continua suave. El controlador también utiliza el mismo sensor Hall y la información del codificador para calcular la velocidad y medir la distancia recorrida con un contador de 32 bits. Los motores pueden ser operados en modo de velocidad de bucle abierto o cerrado. El HBL2360 cuenta con varias de Entrada y Salida analógicas, de pulso y digitales que se pueden volver a asignar como entradas de comando o retroalimentación, interruptores de límite o muchas otras funciones. El controlador acepta comandos recibidos de una radio RC, joystick analógico, módem inalámbrico o microordenador. Para diferentes aplicaciones como para robots móviles, los dos canales de motor del controlador pueden operarse de forma independiente o mezclarse para mover y dirigir un vehículo. Mediante el bus CAN, se pueden conectar en red hasta 127 controladores a hasta 1Mbit por segundo en un solo par trenzado. (ROBOTEQ, 2018)

Se incorporan numerosas conexiones de seguridad en el controlador para garantizar un funcionamiento confiable y seguro. El funcionamiento del controlador se puede automatizar y personalizar ampliamente mediante scripts de Lenguaje Básico. El controlador se puede configurar, monitorear y sintonizar en tiempo real mediante la utilidad gratuita para PC de Roboteq. El controlador también se puede reprogramar en el campo con las últimas funciones descargando el nuevo software operativo de Roboteq. (ROBOTEQ, 2018)

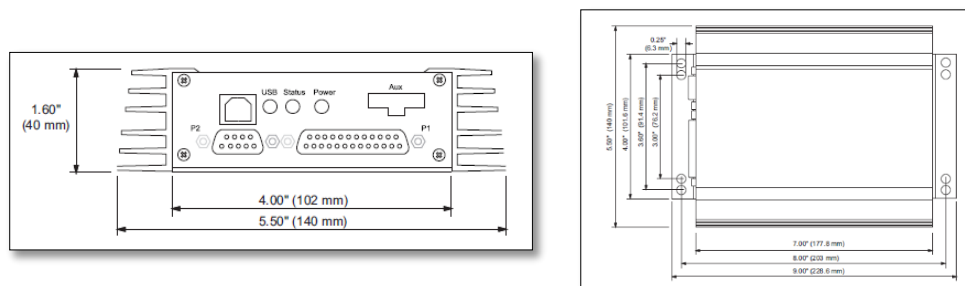


Figura 2-3: Esquema del controlador HBL23xx de Roboteq.
Realizado por: (ROBOTEQ, 2018)

Tabla 2-3: Características del Controlador HBL2396.

Tipo de motor	Sin escobillas DC
Voltaje máximo	96
Número de Canales	2
Dirección	Adelante y Atrás
Max amperios por canal	50
Amperios Continuos por canal	35
Resistencia ON (mOhm)	7
Conexiones de Potencia	Alambres
Control Trapezoidal sin sensores habilitado	No
Término Análogo	Si
RS232	Si
USB	Si
CANbus	Si
PC Pulse	Si
MicroBasic Scripting	Si
Control Loop (ms)	1
Frenado Regenerativo	Si
Entradas analógicas máximas	11
Entradas Digitales máximas	19
Salidas Digitales	8
Entradas de pulso Máx	4
Codificador	Si
Field Oriented Control (FOC)	No
Enfriamiento	Extrusión de disipador de calor
Dimensiones	228 mm x 140 mm x 40 mm
Peso	1500g

Fuente: (ROBOTEQ)

Realizado por: Geovanny Daquilema

3.3.1.4 Características según las reglamentaciones

Al analizar las principales carreras solares realizadas a nivel mundial y sus reglamentos se llega a la conclusión de que se pueden utilizar baterías de Sulfuro de Litio (Li-s), Iones de Litio (Li-ion), Polímero de Litio (Li-PO) y Litio Ferro Fosfato (LiFePO₄).

Dependiendo de cuál tipo de batería se va a utilizar también se tiene limitaciones de peso, por ejemplo:

- Sulfuro de Litio peso máximo de 15 Kg.
- Iones de Litio peso máximo de 20 Kg.
- Polímero de Litio peso máximo de 20 Kg en el caso de ser la BWSC peso permisible de 40 Kg.
- Litio Ferro Fosfato peso máximo de 40 Kg.

En el caso de este proyecto de investigación se dimensionó dos bancos de pruebas, el primero un banco con baterías de Polímero de Litio las mismas que son utilizados para vehículo híbridos como por ejemplo: Hyundai, Kia, entre otros.

El segundo banco está formado por baterías con celdas de Litio Ferro Fosfato (LiFePO_4) las mismas que son utilizadas por las más importantes empresas constructoras de vehículos eléctricos como por ejemplo: Aptera, Quicc, Tesla, Rimac, entre otras.

3.3.1.5 Espacio para la implementación

El prototipo solar tiene una dimensión 4600 mm de largo, 1200 mm ancho y de 1000mm altura está dispuesta en su parte longitudinal en tres partes, cada parte está dedicada para la implementación de diferentes sistemas

La primera parte esta provista por el habitáculo (pantallas, interruptores, volante, pedales) y el asiento del piloto.

La segunda parte está destinada para la implementación de controladores y paneles de fibra de carbono para la aerodinámica del prototipo.

En la tercer parte está ubicada el Sistema de Alimentación de Energía (Baterías) con una dimensión 160 cm de largo, 65 cm ancho y 100 cm de altura.

3.3.2 Selección de baterías

3.3.2.1 Baterías de polímero de litio (LIPO)

Las baterías de polímero de litio pueden formar módulos de diferentes valores tanto de voltaje (V) y amperaje (A) así como de potencia (W) dependiendo de la configuración de conexión también posee la ventaja de mantener y recuperar el voltaje por la misma razón nunca mostrará un voltaje menor al nominal.

Las celdas utilizadas en el dimensionamiento del primer banco son de procedencia de la empresa LG modelo Chem.



Figura 3-3: Módulo LG CHEM LiPO.
Realizado por: (LG)

Originalmente estas celdas son utilizadas por principales fabricantes de vehículos (KIA, Hyundai, GM, entre otros) por la misma razón que son distribuidas en módulos compactos.

Cada módulo posee ocho celdas; Que proveen de 30 V y 5,3 Amph y alrededor de 160 Watts por hora.

3.3.2.2 Baterías de Litio Ferro Fosfato (LiFePO₄)

Las baterías de Litio Ferro-Fosfatos brindan los mejores beneficios en comparación a los otros tipos de baterías permitidas en las carreras solares.

De la misma manera que cualquier batería existente las baterías LiFePO₄ están formadas por celdas que según su configuración y disposición de conexión pueden proveer valores de tensión, corriente y potencia.

El segundo banco dimensionado utiliza baterías de la empresa BtrPower.



Figura 4-3: Batería LiFePO₄ BtrPower.
Realizado por: (BtrPower, 2018)

Estas baterías son utilizadas principalmente para brindar alimentación eléctrica a Bicicletas, Triciclos, Motocicletas y Vehículos para Golf, son construidas para poder cargarse con energía fotovoltaica.

Este módulo posee celdas cargadas con 3,7 V de Tensión y una corriente de 10 Amph de consumo por sus características el módulo está construido de 18 celdas de LiFePO₄ con su respectiva configuración ya que brinda un voltaje nominal de 60 V, voltaje máximo de 67,3 V, 20 Amph de corriente de consumo y una potencia de 1200 Watts.

3.3.3 DISEÑO DE LAS CONEXIONES

A continuación se puede observar las figuras 5-3 y 6-3 en las cuales se muestra las conexiones a realizarse para cada uno de los bancos de baterías a ser implementados en el prototipo solar de competencia.

El Banco con Baterías de Polímero de Litio utilizará cuatro módulos, cada uno entrega valores eléctricos con las especificaciones antes mencionadas es necesario la utilización y fabricación de

un regulador de voltaje que pueda entregar y mantener la tensión constante y requerida por el controlador.

El componente U3 4000 es el esquema de un controlador mediante el cual se puede realizar movimientos de avance y reversa también sirve de conexión con el acelerador los componentes M1 y M2 son los esquemas de las unidades de potencia colocadas en el prototipo solar.

El Banco de Baterías de Litio Ferro Fosfato utiliza un solo módulo de batería el mismo que provee una tensión mayor a la admitida por el controlador por lo cual es necesaria la adquisición e utilización de un regulador reductor de tensión que entregue los valores necesarios para el correcto funcionamiento.

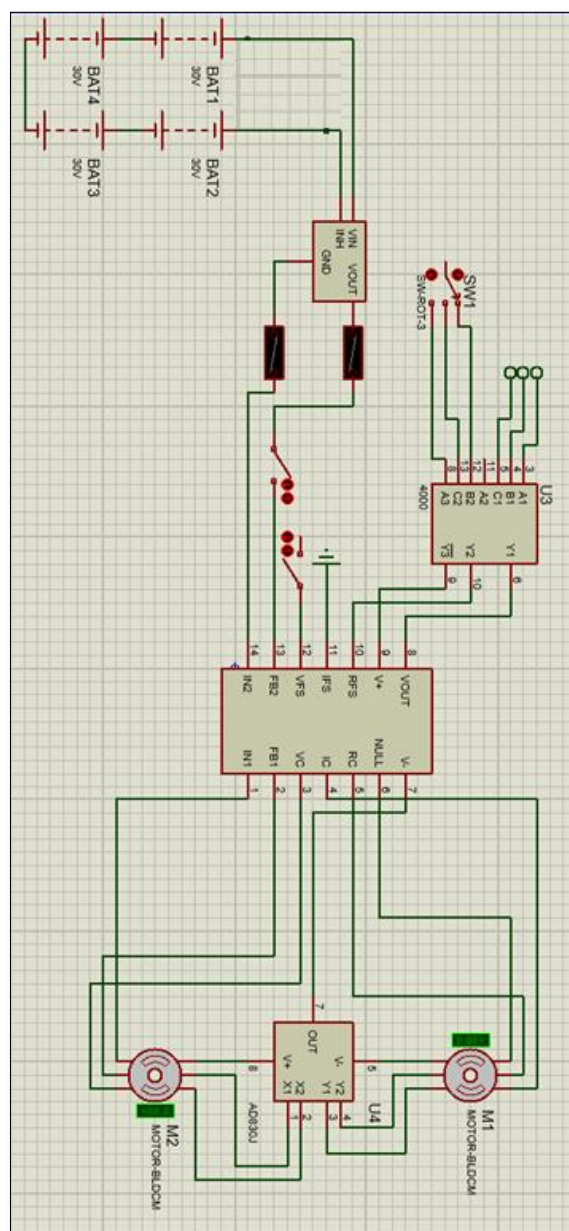


Figura 5-3: Conexión Baterías LiPO LG Chem.
Realizado por: Geovanny Daquilema

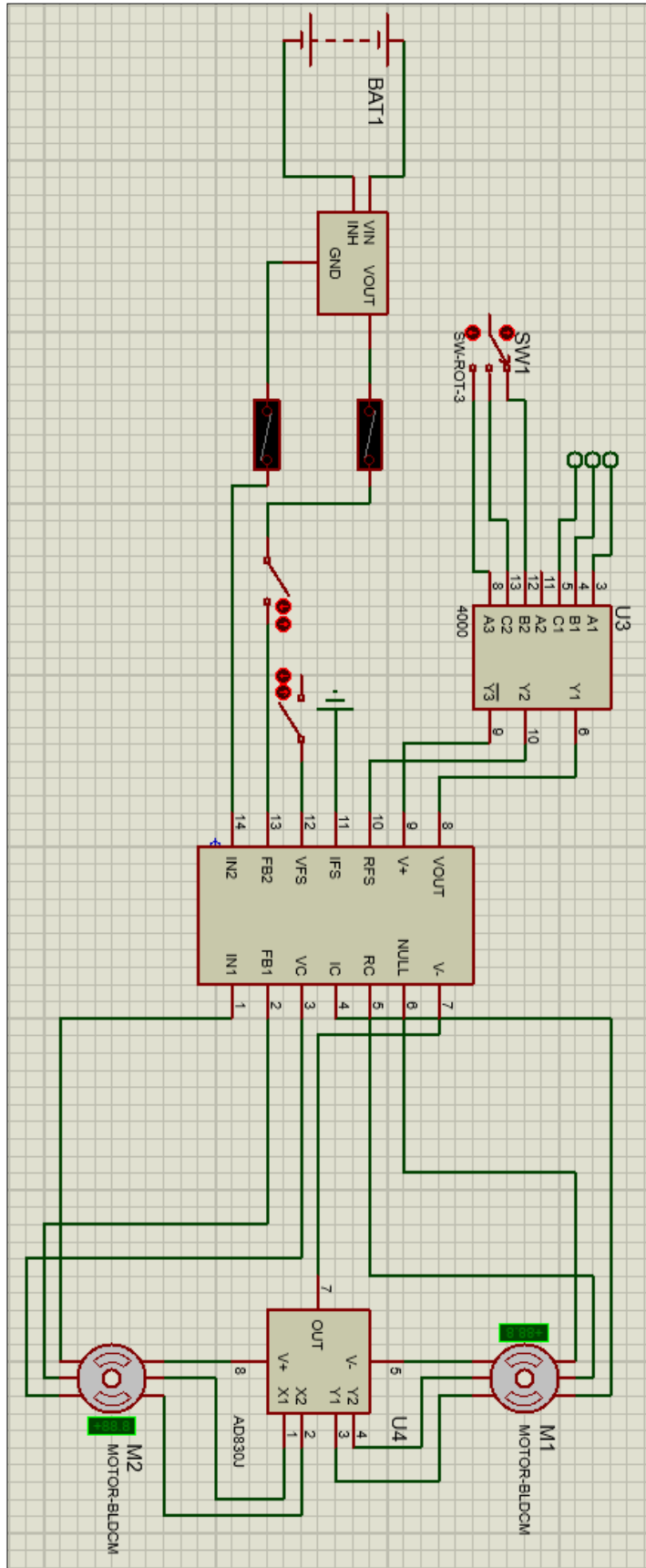


Figura 6-3: Conexión Batería LiFePO4 BtrPower.

Realizado por: Geovanny Daquilema

3.3.4 Selección de componentes

3.3.4.1 Prototipo con baterías de polímero de litio:

El banco a dimensionar debe proveer al módulo HBL2360 una tensión máxima de 60 V y una corriente máxima por canal de 75 Amp.

Por esta razón se obtuvo cuatro módulos de las especificaciones antes mencionadas y se realizaron dos conexiones diferentes.

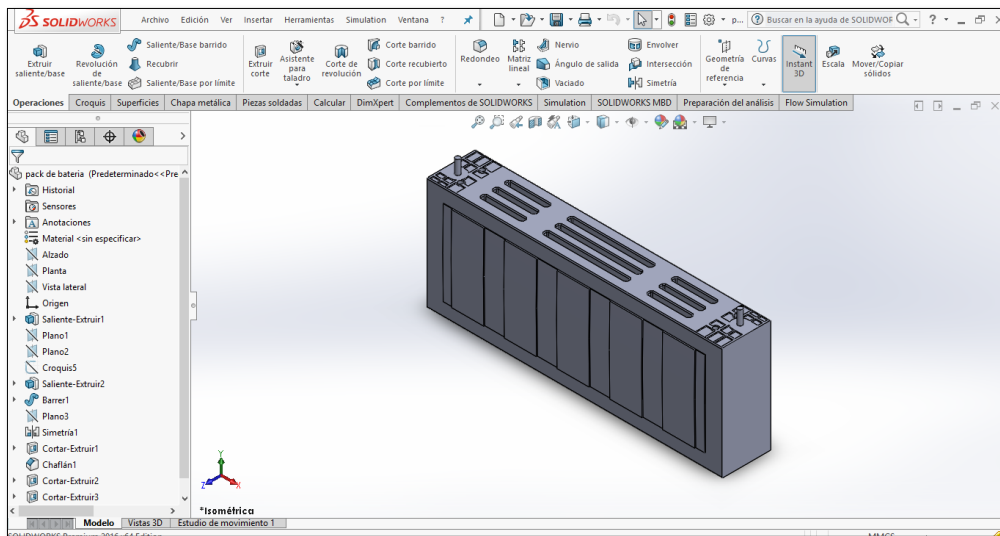


Figura 7-3: Módulo de Batería LiPO LG Chem en SolidWorks.

Realizado por: Geovanny Daquilema

Dos parejas de módulos se conectaron en serie para aumentar el voltaje y así poder conseguir 60 V con 5,3 Amph; Para poder aumentar el amperaje hora que brindan los dos nuevos bancos se realiza la conexión en paralelo y así se produce 10,6 Amph.



Figura 8-3: Conexión de Baterías LiPO.

Realizado por: Geovanny Daquilema

3.3.4.1.1 Regulador de Tensión de 40-70V

Al conectar los módulos en serie entrega un voltaje nominal de 60 V y un voltaje máximo de 67 V mismo que supera el valor máximo soportado por el controlador HBL2360 por razones de seguridad se construyó un regulador de voltaje capaz de soportar la variación de amperaje y de la misma manera entregar el valor de tensión requerido.

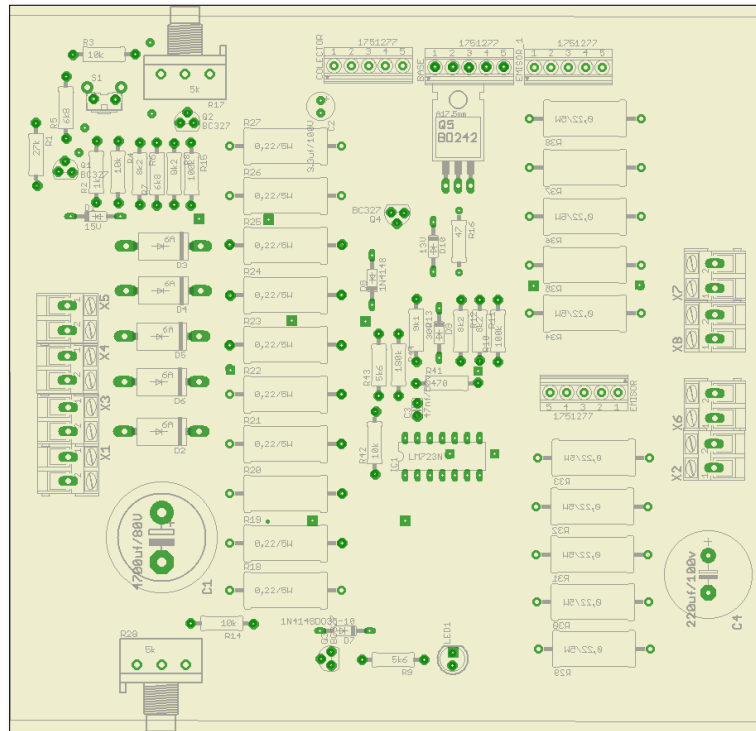


Figura 9-3: Regulador de Tensión de 40 - 70 V.

Realizado por: Geovanny Daquilema

El variador de Tensión requiere de una entrada mínima de 40 V y un máximo de 70 V con una corriente mínima de 5 Amp hasta un máximo de 50 Amp.

Su construcción soporta mayor amperaje por la variación de corriente que solicita el prototipo por motivos de arranque, curvas cerradas o cuestas pronunciadas y así evitar cortocircuitar el regulador.

El regulador está provisto con dos potenciómetros (R28, R17) cada uno con una función específica.

- Potenciómetro R28 se encarga de regular y variar la tensión entrante según los requerimientos del prototipo.
- Potenciómetro R17 es el encargado de mantener el amperaje entregado por la batería.
- Posee dos condensadores que almacenan la corriente para de alguna manera aportar en caso de baja corriente.

3.3.4.1.2 Diseño del Sistema de Refrigeración

Cada una de los módulos utilizados en el diseño alcanza una temperatura nominal de 50°C al realizar las conexiones en serie y paralelo los cuatro módulos se ubican uno a lado del otro.

Al ser ubicados de esa forma los módulos de batería producen y transfieren calor por conducción llegando alrededor de los 65°C, por esta razón se diseñó un sistema de refrigeración en el cual se construya unos separadores de aluminio.

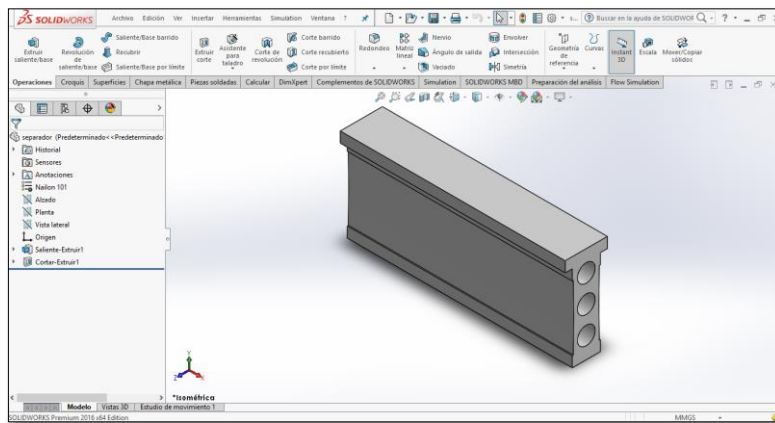


Figura 10-3: Esquema del Separador de Aluminio en SolidWorks.

Realizado por: Geovanny Daquilema

Por la disposición de conexión se utiliza cuatro módulos por esta razón se construyó tres separadores y dos placas para evitar que las baterías puedan hincharse ya que el alta temperatura produce reacciones químicas las cuales hacen que las baterías sufran inflamamiento hasta explotar.

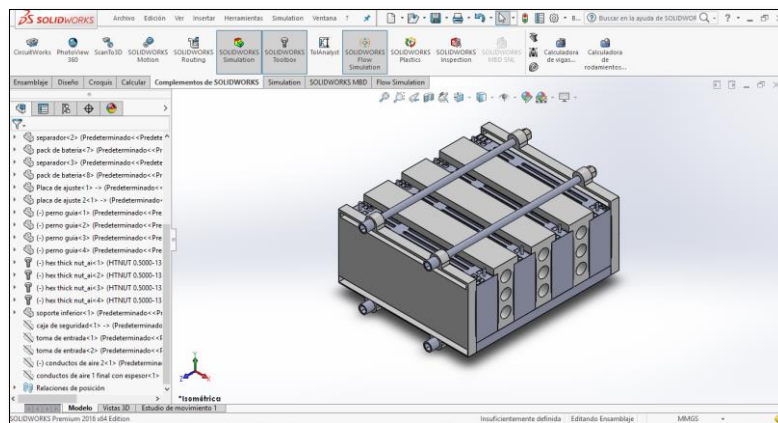


Figura 11-3: Sistema de Refrigeración Modelado en SolidWorks.

Realizado por: Geovanny Daquilema

Además se construyó una placa base que sirve como disipador de calor para evitar que el calor de las bases de la batería se concentre y aumente la temperatura.

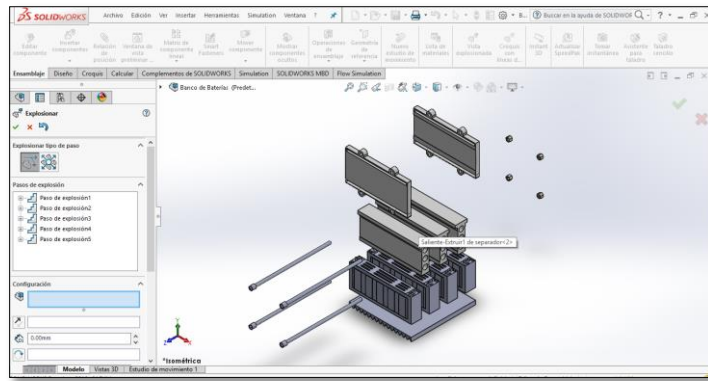


Figura 12-3: Vista Explosionada Sistema de Refrigeración.

Realizado por: Geovanny Daquilema

3.3.4.1.3 Selección de Conductores

Elementos necesarios que son utilizados para conducir electricidad de una fuente a un consumidor gracias a su composición estructural poseen una resistencia al paso de electrones muy baja, por lo general son fabricados de cobre, aluminio o cualquier metal.

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A	18 AWG	10 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A	16 AWG	13 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A	14 AWG	18 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A	12 AWG	25 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

Figura 13-3: Amperaje que soportan los cables de cobre.

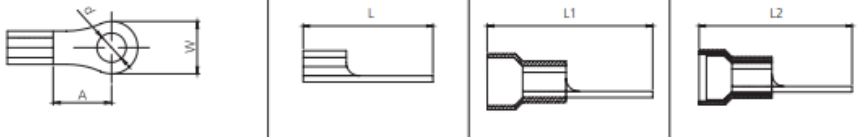
Realizado por: Geovanny Daquilema

Por las condiciones eléctricas que entregan las baterías se debe seleccionar un conductor que satisfaga el paso de corriente desde las baterías al regulador de voltaje.

Se selecciona y dimensiona diez metros del conductor TW 10 el mismo que soporta a una temperatura de 60 °C un paso de corriente de 30 Amp, cinco metros está designado para las conexiones de polo positivo y de la misma manera los cinco metros sobrantes son designados para las conexiones del polo negativo.

3.3.4.1.4 Selección de Terminales de Conexión

TERMINAL OJAL



Sección	d orificio	W	A	Sin Aislación	L	Con Aislación	L1	Reforzado	L2
0,25 - 1,50 mm ² 22 - 16 AWG	M3 - 1/8"	5,60	4,60	HR1104	12,50	HR2104	16,50	HR3102	16,80
	M3 - 1/8"	7,10	8,10	HR1106	17,00	HR2106	21,35	HR3103	22,60
	M4 - 5/32"	7,10	8,10	HR1108	17,00	HR2108	21,35	HR3104	21,50
	M5 - 3/16"	7,80	8,10	HR1110	17,30	HR2110	21,30	HR3105	21,60
	M6 - 1/4"	11,90	10,90	HR1112	22,70	HR2112	26,85	HR3106	26,70
	M8 - 5/16"	13,60	11,20	HR1114	22,50	HR2114	26,85	HR3107	28,50
1,50 - 2,50 mm ² 16 - 14 AWG	M3 - 1/8"	5,60	4,60	HR1304	12,80	HR2304	17,70	HR3302	17,10
	M3 - 1/8"	7,10	8,10	HR1306	16,80	HR2306	22,00	HR3303	20,80
	M4 - 5/32"	7,10	8,10	HR1308	17,15	HR2308	22,40	HR3304	21,90
	M5 - 3/16"	7,80	8,10	HR1310	17,50	HR2310	22,20	HR3305	21,20
	M6 - 1/4"	11,90	11,20	HR1312	22,40	HR2312	27,40	HR3306	26,40
	M8 - 5/16"	11,90	11,20	HR1314	22,65	HR2314	27,40	HR3307	26,40
4,00 - 6,00 mm ² 12 - 10AWG	M3 - 1/8"	9,50	7,50	HR5201	18,50	HR6201	25,75	HR7201	23,50
	M4 - 5/32"	9,50	7,50	HR5202	19,00	HR6202	25,75	HR7202	23,70
	M5 - 3/16"	9,50	7,50	HR5203	18,90	HR6203	25,75	HR7203	24,20
	M6 - 1/4"	13,40	11,80	HR5204	25,30	HR6204	32,00	HR7204	30,00
	M8 - 5/16"	13,40	11,80	HR5205	25,20	HR6205	32,00	HR7205	30,00
	M10 - 3/8"	15,00	12,60	HR5206	27,10	HR6206	33,60	HR7206	32,00
	M12 - 1/2"	18,00	12,60	HR5207	28,80	HR6207	35,30	HR7207	35,50

Figura 14-3: Terminales y conectores eléctricos.

Realizado por: (Anónimo)

Para las conexiones eléctricas se utilizan terminales de ojo para lo cual realizamos la selección utilizando la tabla del fabricante HellermannTyton.

Mediante la selección se determinó utilizar un terminal HR6202 para cable 12-10 AWG, de características de 4 a 6 mm² de sección, con un orificio M4 – 5/32 un diámetro exterior de 9,50 mm y una longitud desde su aislamiento hasta el centro del orificio de 7,50 mm su material conductor es latón.

3.3.4.2 Prototipo con baterías de Litio Ferro-Fosfato (LiFePO4)

Para dimensionar el banco de baterías se debe tomar en cuenta los requerimientos del módulo HBL2360 una tensión máxima de 60 V y una corriente máxima por canal de 75 Amp.

Se adquirió dos módulos de baterías recargables LiFe04 BtrPower 60V y 20Ah para 1200W, se instalará un módulo el cual provee una tensión nominal de 60V alcanzando un valor máximo de 67,3 V con una capacidad de 20 Amph.

El Pack de baterías consta de 17 celdas en serie y 1 celda en paralelo además de que está provisto de un circuito que brinda las siguientes funciones:

- Protección de sobre carga.
- Protección de sobre voltaje.
- Protección de sobre corriente.

- Protección de liberación para evitar que la batería baje del umbral de voltaje y corriente.
- Protección para evitar corto circuitos.
- Función de equilibrio para evitar que una celda absorba la corriente y voltaje de otra.

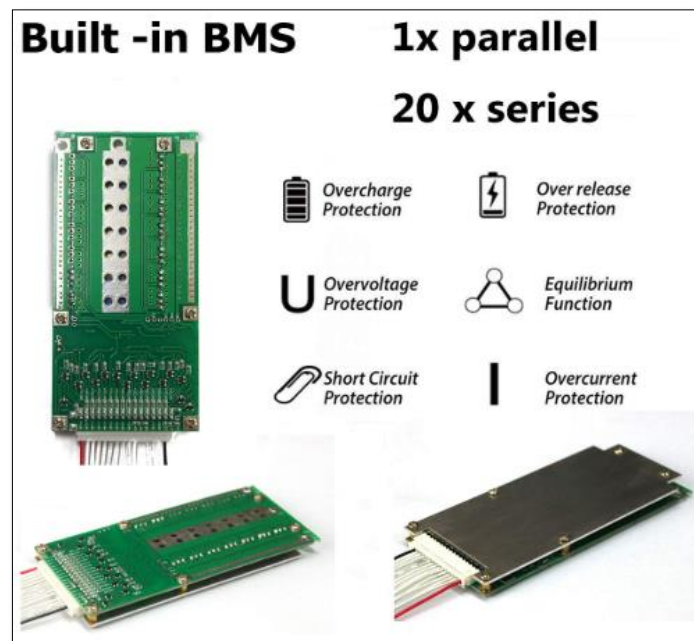


Figura 15-3: Circuito de Protección de la batería LiFePO4.

Realizado por: (BtrPower, 2018)

Ya que el banco va a proveer de energía al sistema de alimentación eléctrica al prototipo solar debe cumplir con las especificaciones de peso, por lo cual sus dimensiones son:

Largo: 107 mm

Ancho: 165 mm

Altura: 225 mm

Peso: 7,6 Kg

El banco de batería tiene una vida útil de 1000 ciclos, la batería BtrPower llega al 85 % de su capacidad después de haber cumplido 500 ciclos (se denomina ciclo de vida al momento en que una batería se descarga y de la misma manera se carga completamente) al cumplir los 800 ciclos la batería llega alrededor del 70 % de su capacidad. (BtrPower, 2018)

3.3.4.2.1 Módulo regulador reductor de tensión.

El prototipo con baterías de Litio Ferro-Fosfato entrega un voltaje máximo de 67,3V y un voltaje mínimo de 63,5V y el módulo HBL2360 acepta un voltaje máximo de 63,2V, por lo cual se adquirió el regulador reductor de corriente directa de entrada de entre 20 a 70V entregando una tensión de salida de entre 2,5 a 58 V que soporta una corriente máxima de 30 A de entrada la

misma que puede ser regulada según las necesidades además entrega una potencia nominal de 800W. (Saymlove, 2019)

El regulador de tensión DC Buck modelo AP-D5830A de alta tensión



Figura 16-3: Regulador Reductor de Tensión DC Buck modelo AP-D5830A.

Realizado por: (Saymlove, 2019)

Tabla 2-3: Especificaciones Técnicas del Regulador de Voltaje DC Buck Modelo AP-D5830A

Especificaciones del Regulador de Voltaje	
Nombre del producto:	Módulo de alimentación DC Buck de alta potencia.
Modelo:	AP-D5830A
Voltaje de entrada:	DC20V-70V.
Corriente de entrada:	20A máximo.
Voltaje de salida:	DC2.5V-58V.(ajustable)
Corriente de salida:	0.1A-30A.(ajustable)
Potencia de salida:	800W máximo.
Eficiencia de conversión:	93-97% (eficiencia y voltaje de salida y entrada de corriente relacionados).
Temperatura de funcionamiento:	-20 a 60 °C

Fuente: (Saymlove, 2019)

Realizado por: Geovanny Daquilema

El circuito tiene incorporados sistemas de protección principalmente posee un fusible que soporta una corriente máxima de 25 Amp.

También posee un foco Led que tiene dos colores de luces una de color azul cuando el circuito se encuentra conectado sus polos de manera correcta; y un color azul verdoso cuando los polos en el circuito están conectados erróneamente.

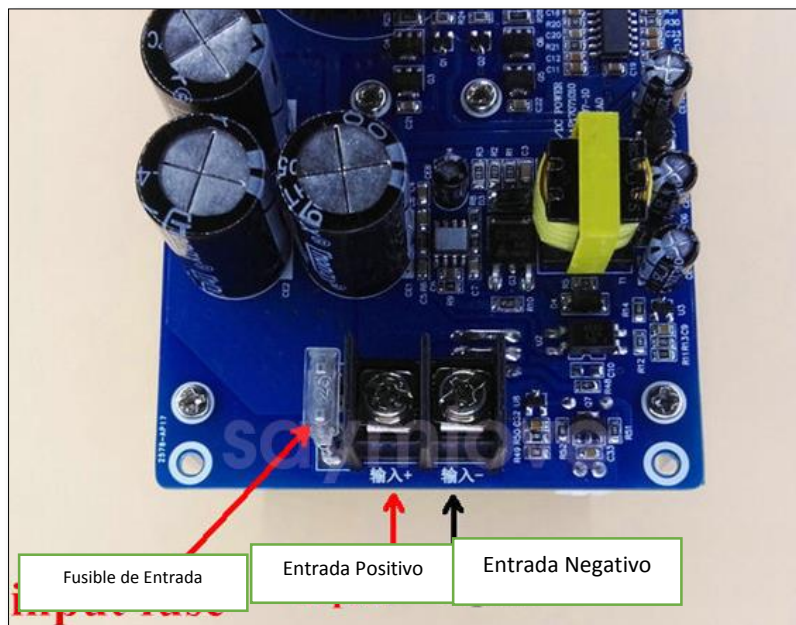


Figura 17-3: Polos de Conexión de Alimentación.

Realizado por: (Saymlove, 2019)

- Características principales:
 - ✓ Alta eficiencia de conversión.
 - ✓ Bobina Sendust (polvo metálico magnético típicamente 85% de hierro , 9% de silicio y 6% de aluminio) El polvo se sinteriza en núcleos para fabricar inductores con características de alta potencia y alta corriente.
 - ✓ Posee un transistor MOS de entrada anti-inverso.
 - ✓ Control electrónico de temperatura con ventilador inteligente de refrigeración.
 - ✓ Salida ajustable y constante tanto de voltaje y corriente directa.
 - ✓ Protección de sobre corriente de salida (con indicador LED).
 - ✓ Posee indicador LED de salida.
 - ✓ Ventilador de control de temperatura inteligente
 - ✓ Alta fiabilidad y funcionamiento estable.

En el circuito se encuentran dos reguladores, el regulador del lado izquierdo varia la corriente de salida en un rango de 0,1 a 30 Amp y el regulador del lado derecho varia la salida de voltaje en un rango de 2,5 a 58V según sea los requerimientos.

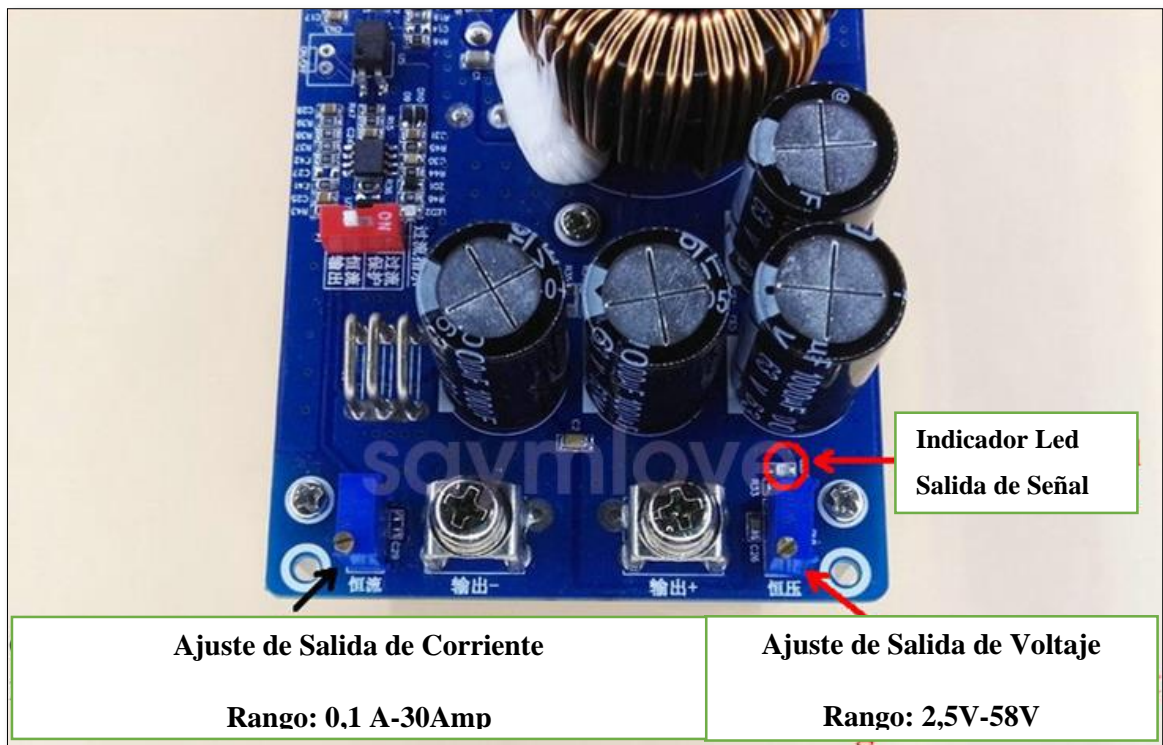


Figura 18-3: Salida Ajustable de Corriente y Voltaje
 Realizado por: (Saymlove, 2019)

Posee una bobina de Núcleo Sendust, además cuenta con un sistema de refrigeración el mismo que está formado por un disipador de calor de aluminio y un electro ventilador automático que se activa a la temperatura de 50°C para evitar que sobre pase los 60°C.

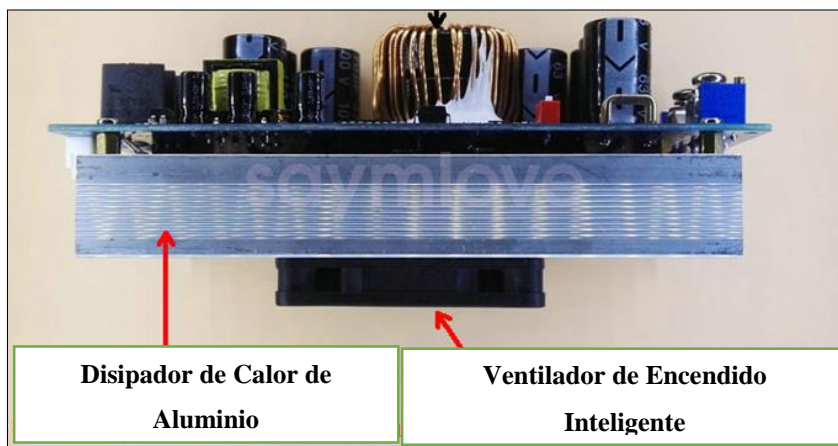


Figura 19-3: Sistema de Refrigeración del Regulador de Voltaje
 Realizado por: (Saymlove, 2019)

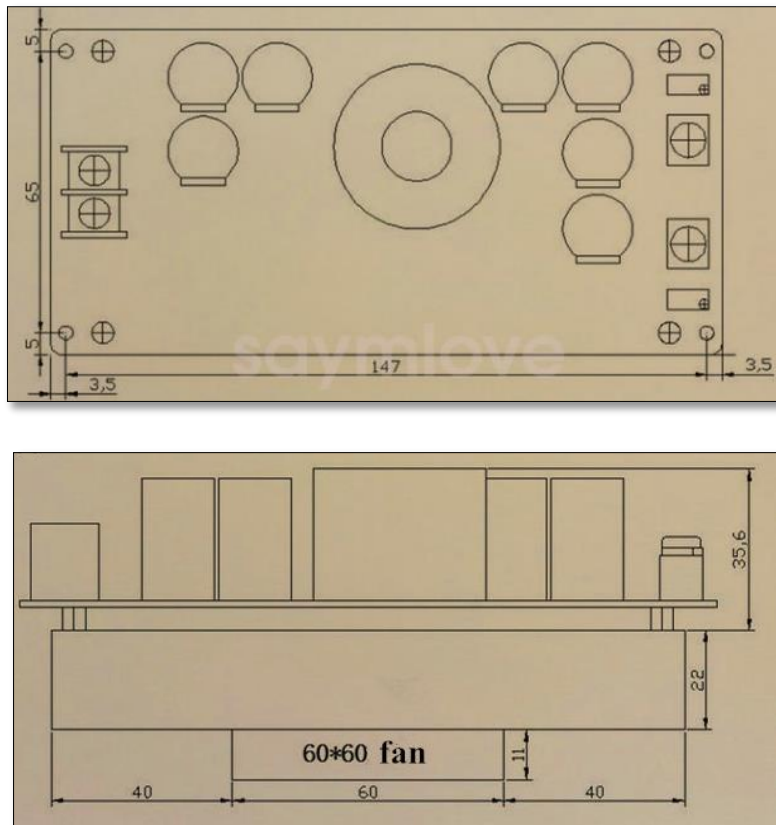


Figura 20-3: Plano para la Construcción del Regulador.
Realizado por: (Saymlove, 2019)

3.3.5 Implementación de los Bancos

En las figuras 21-3 y 22-3 muestran los diagramas de procesos de implementación a realizarse para poder dimensionar los Bancos de Alimentación de Energía.

En la implementación del Banco con Baterías de Polímero de Litio se necesita incorporar un sistema adecuado de refrigeración el mismo que ayude a mantener dentro de los márgenes de temperatura de trabajo ideal para evitar el incremento en el ancho de cada uno de los módulos.

Para la implementación del Banco con Baterías de Litio Ferro Fosfato (LiFePO_4) no es necesaria la utilización de un sistema de baterías si se realiza un procedimiento de carga externo. Sin embargo si se realiza el proceso de carga mientras se utiliza el módulo es indispensable la implementación de un sistema de refrigeración.

3.3.6.1 Diagrama de Implementación con Baterías LIPO y Módulo HBL2360

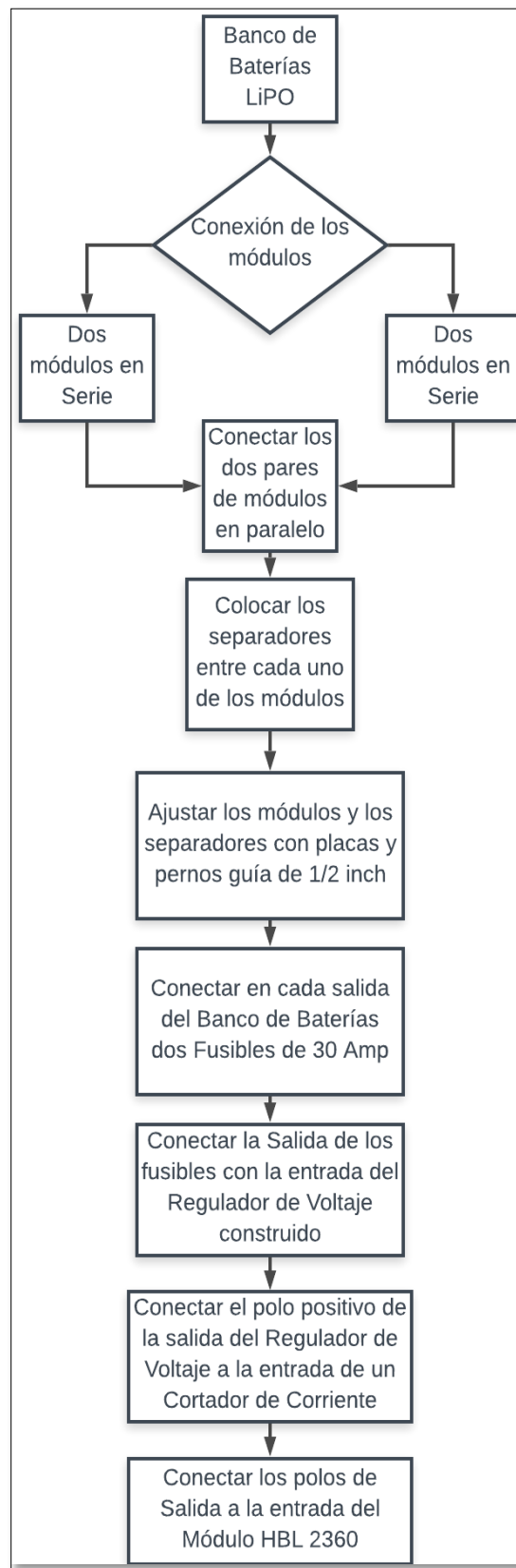


Figura 21-3: Diagrama de Implementación Baterías LiPO
Realizado por: Geovanny Daquilema

3.3.6.2 Diagrama de Implementación con Baterías LiFePO4 con Módulos HBL2360 y HBL2396.

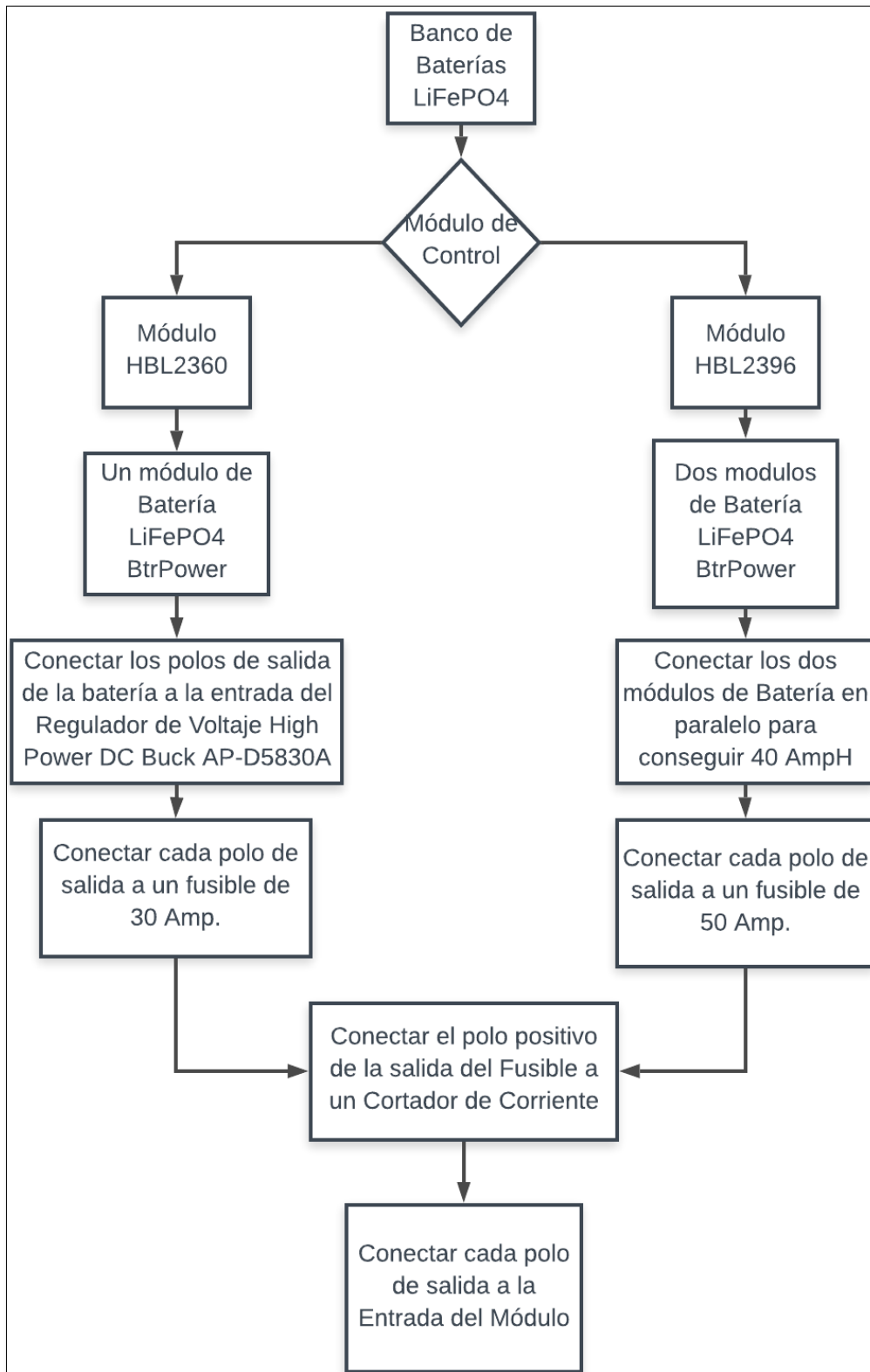


Figura 22-3: Diagrama de Implementación de Baterías LiFePO4
Realizado por: Geovanny Daquilema

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Pruebas

4.1.1 Simulación del Sistema de Refrigeración para el Banco de Baterías de Ion Litio

La simulación del Sistema de Refrigeración se lo realizó en SolidWorks el cuál es un Software CAD.

Los parámetros para la simulación se denotan en la tabla 1-4, se realiza un análisis externo ya que el flujo de aire pasará sobre los módulos y los separadores.

Tabla 1-4: Parámetros para la Simulación.

Unit System:	SI (m-kg-s)
Analysis Type:	External (not exclude internal spaces)

Fuente: (Solidworks, 2018)

Realizado por: Geovanny Daquilema

Para realizar la simulación del sistema de refrigeración es necesario crear un túnel de viento con las dimensiones denotadas en la tabla

Tabla 2-4: Dimensión del Túnel de Viento.

X min	-1.151 m
X max	0.881 m
Y min	-0.706 m
Y max	0.823 m
Z min	-0.973 m
Z max	1.744 m

Fuente: (Solidworks, 2018)

Realizado por: Geovanny Daquilema

El fluido utilizado para la simulación del sistema de refrigeración es el aire el mismo que será de tipo laminar y turbulento, las condiciones ambientales utilizadas son los parámetros termodinámicos y los parámetros de velocidad del aire.

Presión Estática de 0,1 MPa con una temperatura de 293,20°K, el parámetro de velocidad del aire es 20 m/s en un recorrido longitudinal.

Resultados:

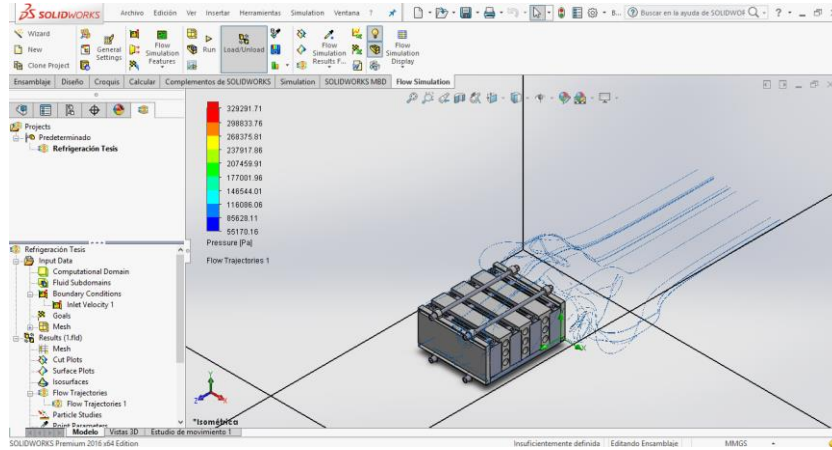


Figura 1-4: Simulación del Sistema de Refrigeración en SolidWorks
Realizado por: Geovanny Daquilema

Tabla 3-4: Resultados de la Simulación del Sistema de Refrigeración.

Name	Minimum	Maximum
Density (Fluid) [kg/m^3]	0.65	3.93
Pressure [Pa]	55170.16	330669.20
Temperature [K]	291.50	293.40
Temperature (Fluid) [K]	291.50	293.40
Velocity [m/s]	0	63.609
Velocity (X) [m/s]	-58.774	38.540
Velocity (Y) [m/s]	-46.996	62.205
Velocity (Z) [m/s]	-28.246	29.414
Mach Number []	0	0.19
Velocity RRF [m/s]	0	63.609
Velocity RRF (X) [m/s]	-58.774	38.540
Velocity RRF (Y) [m/s]	-46.996	62.205
Velocity RRF (Z) [m/s]	-28.246	29.414
Vorticity [1/s]	0	22064.29
Relative Pressure [Pa]	-46154.84	229344.20

Shear Stress [Pa]	0	200.56
Bottleneck Number []	0	1.0000000
Heat Transfer Coefficient [W/m^2/K]	0	0
ShortCut Number []	0	1.0000000
Surface Heat Flux [W/m^2]	0	0

Fuente: (Solidworks, 2018)

Realizado por: Geovanny Daquilema

Se puede observar que el sistema de refrigeración cumple con su función, al bajar la temperatura de 3°K durante el proceso con el paso de aire con una velocidad de 20 m/s con una densidad máxima de 3,93 Kg/m³.

4.1.2 Primera Prueba de Campo: Eficiencia del Banco de Baterías de Ion Litio con 53V de tensión y una corriente de 10 Amph.

Esta prueba se realizó con el fin de determinar la eficiencia energética mediante la distancia recorrida tanto en avance como en reversa, el tiempo de descarga del banco de baterías se midió el consumo de corriente y la autonomía del prototipo solar.

Procedimiento: Esta prueba se realizó con el controlador HBL2360 y un par de motores Voilamart Brushless de 48V-1500W, las baterías se encuentran en un estado de carga de 53V y 10A se conectó junto con un Regulador de Voltaje para mantener la tensión de salida.



Figura 2-4: Conexión Baterías LiPO, Regulador Reductor de Voltaje

Realizado por: Geovanny Daquilema

El prototipo solar de competencia se puso en movimiento realizando pruebas de avance y de reversa en las cuales se realizaron mediciones eléctricas tanto de tensión y de consumo de corriente además de una medición de velocidad máxima que alcanza el prototipo.



Figura 3-4: Medición de Amperaje
Realizado por: Geovanny Daquilema

Resultados: En la prueba de pista el vehículo solar realizó un recorrido de 1,5 Km la misma prueba duró 15 minutos en la cual se realizó tres pruebas en las cuales se realizaron ciclos de conducción en una cuesta con una pendiente de 1 metro tanto en subida como en bajada.

Después de 15 minutos de recorrido las baterías se agotaron en su totalidad debido al alto consumo de energía que utilizan los motores al momento del arranque, movimiento de subida en pendiente, debido al peso excesivo de la estructura y de los componentes de los sistemas de transmisión y suspensión.

Se realizaron varias mediciones como es el amperaje en el arranque, avance y reversa durante los ciclos de conducción.

El siguiente gráfico muestra los valores obtenidos por la interfaz del controlador durante una parte de la prueba:

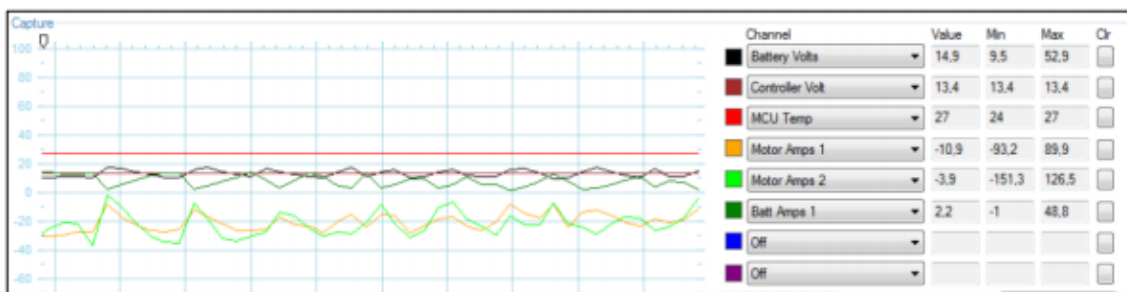


Figura 4-4: Gráfica de Parámetros obtenidos.
Realizado por: Geovanny Daquilema

La interfaz del controlador muestra una gráfica con varios parámetros, de color rojo se observa la temperatura del controlador en un rango de entre 24 a 27 grados centígrados, en un color rojo vino se muestra el voltaje de alimentación al controlador de 13,4 V.

El estado de la batería se observa en una gráfica de color negro al inicio de la prueba se observa un voltaje de 52,9V y después de la prueba de campo registra un voltaje de alimentación de 9,5V; por esta razón la unidad de potencia no pudo mover el prototipo solar. Las baterías de Polímero de Litio al dejar de ser consumidas recuperan voltaje hasta llegar al umbral.

El motor número uno muestra una gráfica en color naranja la misma que representa el consumo de corriente máxima la cuál es de 93,2 Amp.

El motor número dos muestra una gráfica en color verde que nos muestra el consumo de corriente máximo de 126,5 Amp, la diferencia de consumo de amperaje se debe a que en el lado izquierdo está montando el habitáculo.

Debido al alto consumo de corriente que demanda la unidad de potencia y el peso excesivo del prototipo el banco de baterías entregó un desempeño de 15 minutos en el cual la velocidad máxima registrada durante la prueba fue de 14 Km/h.

Por el alto consumo de corriente las baterías aumentaron su temperatura y por esta razón las baterías sufrieron un ensanchamiento en sus partes laterales haciendo que las celdas sufrieran un corto circuito.

Tres de los cuatro módulos sufrieron daño permanente por lo cual no pueden mantener la carga y el valor de tensión bajo del nivel del umbral permisible.

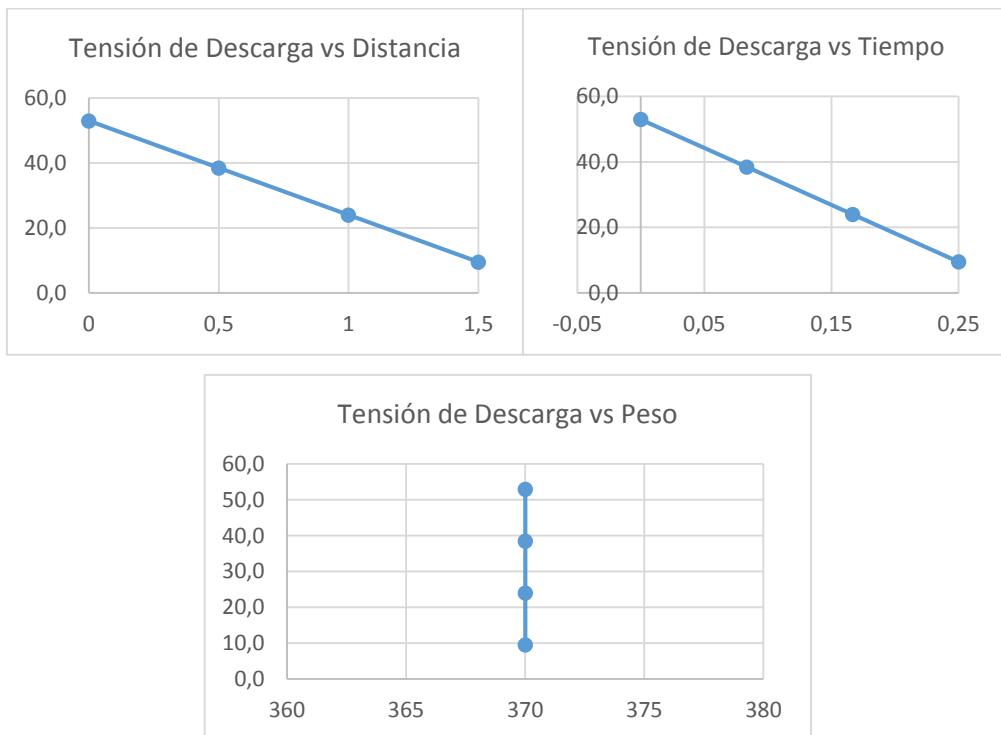


Gráfico 1-4: Curvas Tensión de Descarga en Baterías LiPO

Realizado por: Geovanny Daquilema

4.1.3 Segunda Prueba de Campo: Eficiencia Energética del Banco de Baterías de LiFePO4 con una carga de 66,9V de Tensión y una corriente de 20 Amph en un Vehículo Monoplaza de Competencia (Go-Kart)

Esta prueba se realizó con un módulo de batería de Litio Ferro Fosfato para determinar la eficiencia energética mediante un recorrido en una pista tanto en avance como en reversa además de verificar la autonomía de un vehículo monoplaza (Go Kart) y tiempo de carga y descarga del módulo de baterías.



Figura 5-4: Medición de tensión
Realizado por: Geovanny Daquilema

Procedimiento: Esta prueba se realizó en un Go Kart eléctrico que posee un controlador que soporta 48 V de tensión y 32 Amp de corriente continua y un motor eléctrico de 1800 Watts el módulo de Baterías se encuentra en un estado de carga de 66,9V de tensión y un corriente de 20 Amph por los requerimientos máximos de ingreso al controlador se utiliza un regulador de voltaje para reducir y estabilizar el voltaje y amperaje.

El vehículo monoplaza recorrerá una pista sin pendiente de 200 m de longitud la misma que consta en ciclos de conducción de ida y vuelta con una curva en U cerrada.

Se denomina ciclo de conducción a la acción realizada desde el arranque pasando por frenados y aceleraciones hasta llegar a la detención total del vehículo.



Figura 6-4: Pista de Pruebas.
Realizado por: Geovanny Daquilema

Para esta prueba se utilizó seis sujetos de prueba cada sujeto de prueba tiene un peso y estilos de conducción diferente, cada sujeto de prueba realizará cuatro vueltas en el circuito diseñado.



Figura 7-4: Sujeto en Pruebas de Carretera
Realizado por: Geovanny Daquilema

El prototipo monoplaza de competencia se puso en movimiento de avance en las cuales se tomaron mediciones de tensión y corriente al inicio y al fin de cada vuelta a cada uno de los sujetos de prueba.

Resultados: El Vehículo Eléctrico de competencia (Go-Kart) tiene un peso de 66,5 Kg, a continuación se detalla el peso de cada sujeto de prueba y el peso total.



Figura 8-4: Go-Kart en una Balanza Digital
Realizado por: Geovanny Daquilema

Tabla 4-4: Peso Corporal, Peso Go-Kart y Peso Total

Sujeto de Prueba	Peso Corporal (Kg)	Peso Karting (Kg)	Peso Total (Kg)
Sujeto 1	75,3	66,5	141,8
Sujeto 2	63,5	66,5	130
Sujeto 3	74,1	66,5	140,6
Sujeto 4	87,3	66,5	153,8
Sujeto 5	89,9	66,5	156,4
Sujeto 6	78,7	66,5	145,2

Fuente: Geovanny Daquilema

Realizado por: Geovanny Daquilema

A continuación la tabla muestra los datos de tensión tomados durante los ciclos de conducción de los seis sujetos de prueba.

Cada sujeto de prueba realizó cuatro vueltas al circuito y se tomó los datos de tensión al inicio y fin de cada manga.

La corriente entregada fue regulada a un consumo máximo de 25 Amp durante la prueba en el arranque, derrape curva en U cerrada y en Frenado a Raya consumió 23,7 Amp en la largada de la pista consumió 12 Amp con acelerador a fondo.

Como se puede observar en la tabla 4-3 el primer sujeto de prueba arrancó con un voltaje de 66,9V y al terminar las pruebas con el sexto sujeto de prueba se tiene un voltaje de 65,28V, las baterías de Litio Ferro-Fosfato tienen una gran ventaja de recuperar su voltaje además posee un módulo interno que no permite que las celdas no bajen del umbral permitido 64,2V.

Tabla 5-4: Voltaje de Consumo en Pruebas

Sujeto de Prueba	Arranque	Llegada	Arranque	Llegada	Arranque	Llegada	Arranque	Llegada
	Voltaje	Voltaje	Voltaje	Voltaje	Voltaje	Voltaje	Voltaje	Voltaje
Sujeto 1	66,9	65,65	66,1	65,56	66,5	66	66,85	66,48
Sujeto 2	66,3	65,8	66,2	65,77	66,5	65,8	66	65,1
Sujeto 3	66,3	65,78	65,98	65,67	65,9	65,2	65,7	65,3
Sujeto 4	65,88	65,5	65,76	65,4	65,7	65,44	65,72	65,22
Sujeto 5	65,87	65,34	66,2	65,25	65,75	64,3	65,57	65
Sujeto 6	65,57	65,2	65,42	65,23	65,54	65,31	65,54	65,28

Fuente: Geovanny Daquilema

Realizado por: Geovanny Daquilema

La tabla 5-3 muestra el tiempo y velocidad promedio de cada sujeto de prueba durante cada manga de prueba.

Tabla 6-4: Velocidad y Tiempo en Pruebas

	Distancia	Tiempo	Velocidad	Velocidad	Tiempo	Velocidad	Velocidad
Sujeto de Prueba	Circuito	Circuito	Circuito m/s	Circuito km/h	Circuito	Circuito m/s	Circuito km/h
Sujeto 1	400	52,12	7,67	27,63	51,30	7,80	28,07
Sujeto 2	400	51	7,84	28,24	49,70	8,05	28,97
Sujeto 3	400	48,05	8,32	29,97	50,17	7,97	28,70
Sujeto 4	400	50,53	7,92	28,50	49,63	8,06	29,01
Sujeto 5	400	55,13	7,26	26,12	51,76	7,73	27,82
Sujeto 6	400	51,68	7,74	27,86	66,00	6,06	21,82

Fuente: Geovanny Daquilema

Realizado por: Geovanny Daquilema

Hay una gran diferencia en el consumo de voltaje ya que depende del estilo de manejo de cada uno de los sujetos de prueba además del peso de cada uno de ellos por ejemplo el primer sujeto de prueba con un peso total de 141,8 Kg tiene un gasto de tensión en la segunda vuelta de 0,54V en un tiempo de 51,30s; el segundo sujeto de prueba con un peso total de 130 Kg tiene un consumo de 0,43V en un tiempo de 49,70s; el tercer sujeto de prueba con un peso total de 140,6Kg consume 0,37V en un tiempo de 50,17s; el cuarto sujeto con un peso de 153,8Kg consumió 0,36V en un tiempo de 49,63s el penúltimo sujeto de prueba tiene un peso de 156,4 Kg consume 0,95V en un tiempo de 51,76s; el último sujeto de prueba posee un peso total de 145,2Kg y consume una tensión de 0,19V en un tiempo de 66s.

El tiempo total de consumo de batería fueron tres horas desde la calibración hasta las pruebas de campo en carretera.

Esto sucede ya que el peso total (sujeto de prueba y Go-Kart) es bajo y no demanda un consumo excesivo de corriente además el consumo de corriente durante la largada fue de 12 Amph.

La mayor ventaja de las baterías de LiFePO4 es recuperar una pequeña parte de su tensión y corriente al detener el vehículo.

Las figura 26-3 muestra todas las gráficas obtenidas del voltaje obtenido durante las pruebas los picos superiores representan cada prueba en el arranque y los picos inferiores representa la detención del vehículo al final de cada prueba.

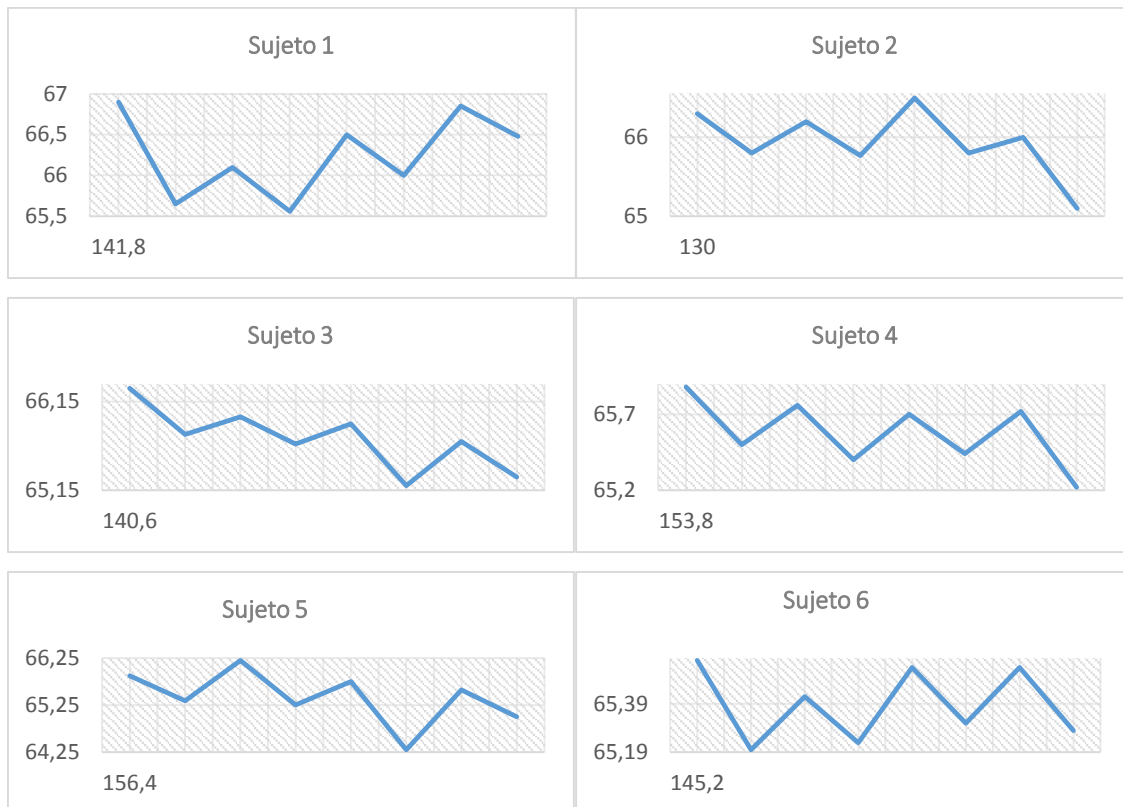


Gráfico 2-4: Gráficas de Consumo de Voltaje por sujeto de prueba

Realizado por: Geovanny Daquilema

En el transcurso de 5 Km a una velocidad máxima de 29 Km/h con un tiempo de tres horas se consumió el total de 1,62V y el consumo de corriente bajó a 18 Amph en el arranque.

Con los datos tomados durante las pruebas y las características del módulo de batería LiFePO4 se puede realizar una proyección en la cual muestre la distancia y tiempo máximo de desempeño

Tabla 7-4: Datos tomados durante la prueba de campo

GO-KART			
Distancia (Km)	V	Tiempo (s)	Peso (Kg)
0,0	66,9	0,0	144,63
5,0	65,28	3,0	144,63
8,3	64,2	5,0	144,63
12,0	63	7,2	144,63
15,1	62	9,1	144,63
21,3	60	12,8	144,63
36,7	55	22,0	144,63
52,2	50	31,3	144,63
58,3	48	35,0	144,63
67,6	45	40,6	144,63
75,3	42,5	45,2	144,63

Fuente: Geovanny Daquilema

Realizado por: Geovanny Daquilema

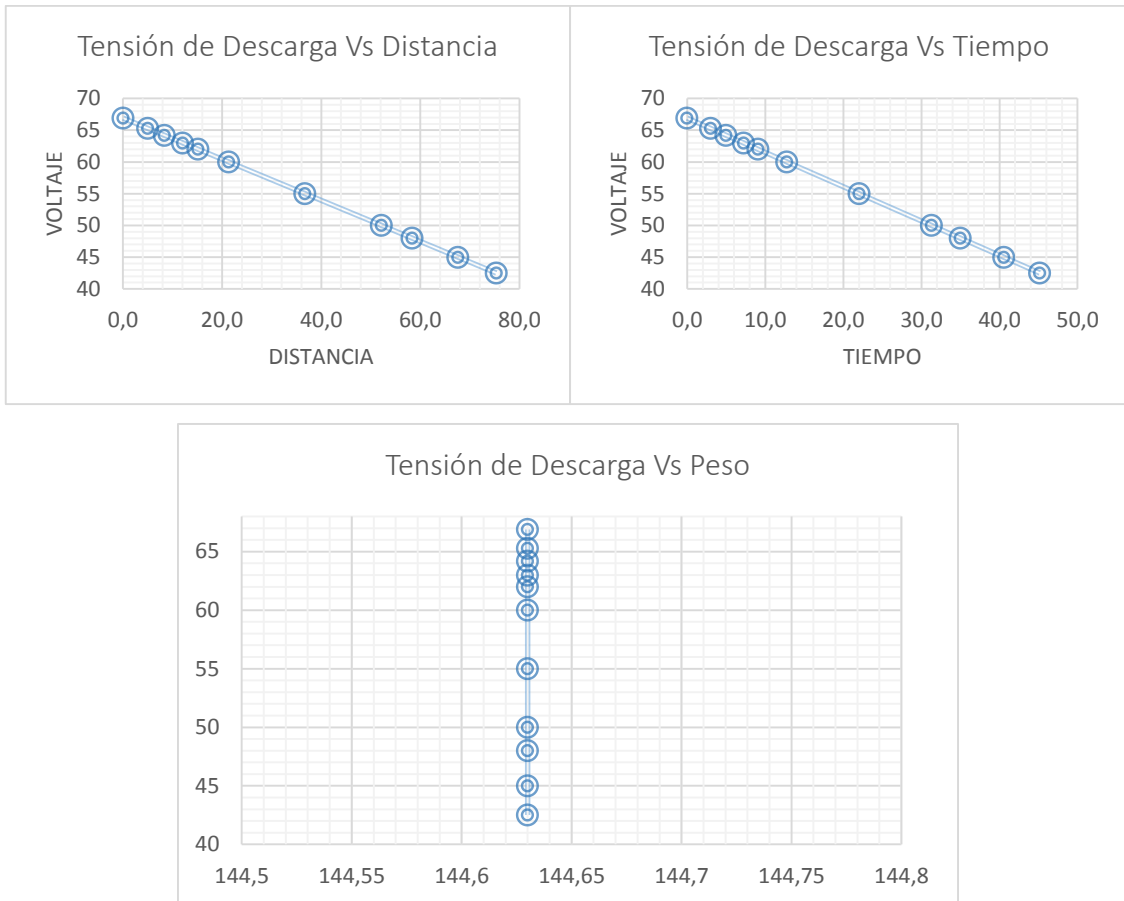


Gráfico 3-4: Proyección de Datos de Eficiencia Energética

Realizado por: Geovanny Daquilema

Al terminar la prueba se realizó la carga del módulo de batería y tuvo una demora de una hora con treinta minutos en estar cargada en su totalidad.

El cargador para este pack de baterías necesita una entrada de tensión de 110V de corriente alterna y una frecuencia de 50 Hz. Entrega una tensión constante de 71,4V y una corriente por polo de 5 Amp.



Figura 9-4: Cargador para Batería de LiFePO4

Realizado por: (BtrPower, 2018)

4.1.4 Tercera Prueba de Campo: Eficiencia Energética del Banco de Baterías de LiFePO4 con una carga de 71,8V de Tensión y una corriente de 20 Amph en una motoneta eléctrica.

La prueba de campo se realizó con un módulo de batería de Litio Ferro Fosfato para determinar la eficiencia energética mediante un recorrido en una pista en avance además de verificar la autonomía de un vehículo tiempo de carga y descarga del módulo de baterías.

El vehículo utiliza un controlador que soporta y un motor eléctrico de 1800 Watts de potencia el módulo de batería se encuentra en un estado de carga de 71,8 V y una corriente de entrega de 20 Amph, por los requerimientos del controlador es necesario la utilización del regulador tensión DC Buck modelo AP-D5830A de alta tensión.



Figura 10-4: Estado inicial de Carga Baterías LiFePO4
Realizado por: Geovanny Daquilema

El vehículo se puso en movimiento de avance y en el cual se realizó pruebas y se tomó mediciones eléctricas al iniciar y finalizar cada prueba.

Resultados: El vehículo de pruebas tiene un peso de 110 Kg las pruebas se realizaron con un sujeto de 84 Kg de peso

Tabla 8-4: Datos tomados en la prueba de campo

Distancia (Km)	V	Tiempo (s)	Peso (Kg)
0	71,8	0,00	194
16	66,8	0,38	194
32	61,8	0,75	194
48	56,8	1,13	194
64	51,8	1,50	194
80	46,8	1,88	194
93,76	42,5	2,20	194

Fuente: Geovanny Daquilema

Realizado por: Geovanny Daquilema

Mediante los datos tomados en las pruebas en un recorrido de 16 Km consumió tensión de 5 V en un tiempo de 22 minutos y 48 segundos, después de recorrer 32 Km la unidad de potencia consumió una tensión de 61,8 V en un tiempo de 45 minutos.

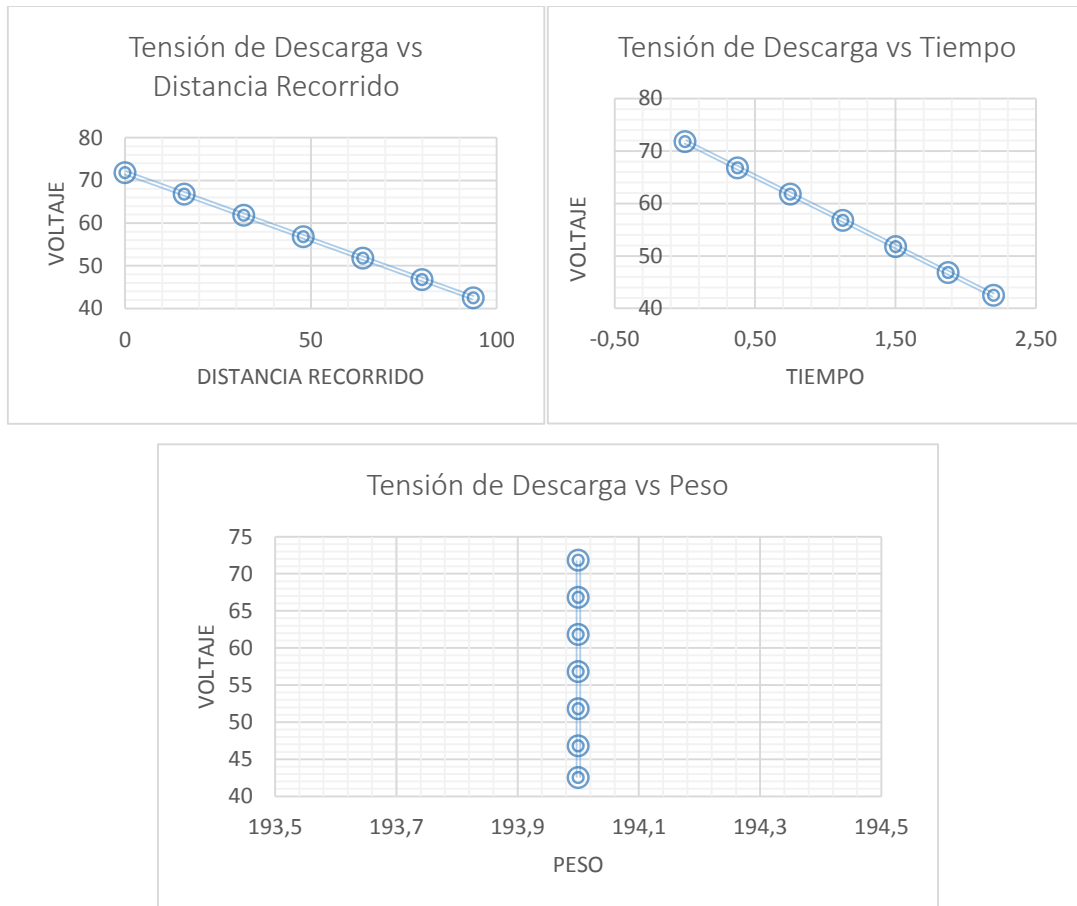


Gráfico 4-4: Proyección de Datos de Eficiencia Energética

Realizado por: Geovanny Daquilema

La proyección muestra una eficiencia energética de 2,2 horas con un consumo de tensión de 35,8 V con una distancia recorrida de 93,76 Km.

4.2 Comparación de Eficiencia Energética utilizando Proyecciones Lineales.

Mediante la utilización de métodos estadísticos se realiza la proyección lineal de Eficiencia Energética con los dos Bancos dimensionados e implementados en el Prototipo Solar de Competencia de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

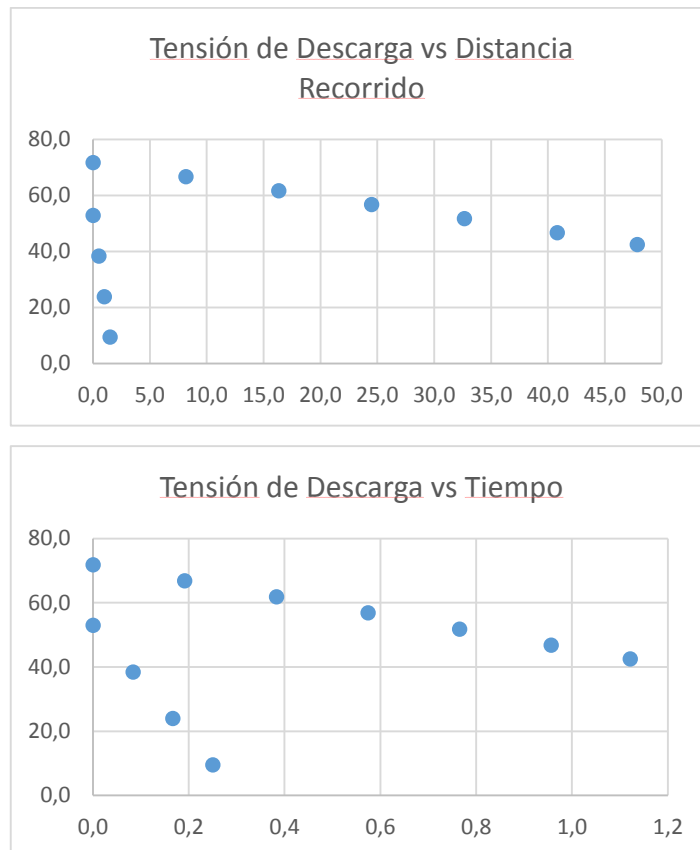


Gráfico 5-4: Comparación de Eficiencia Energética.
Realizado por: Geovanny Daquilema

Se puede observar que el Banco de Batería con Celdas de Litio Ferro Fosfato entrega una eficiencia energética de 47,84 Km en un tiempo de 1,1 h con una velocidad promedio de 16 Km/h. Mientras que el Banco de Baterías con módulos de Polímero de Litio entrega una eficiencia energética de 1,5 Km en 0,25 h

4.3 Elección y Comparación de Resultados para la Selección del Banco de Baterías.

Al realizar las pruebas respectivas de cada uno de los Bancos dimensionados se consiguió varios resultados que se detallan a continuación.

El Banco de Baterías con módulos de Polímero de Litio (LiPO) entregó una eficiencia energética de un kilómetro y medio en 15 minutos en una pista sin pendientes.

Por otro lado el Banco de Baterías de Litio Ferro Fosfato (LiFePO₄) con un Go-Kart de peso total de 144,63 Kg entregó una eficiencia energética de 75,3 Km en 45,2 h de trabajo sabiendo que el consumo de energía depende de variantes tanto de peso, velocidad así como estilos de conducción.

El mismo Banco de Baterías de Litio Ferro Fosfato colocados en una motoneta con un peso total de 194 Kg entrega una eficiencia energética de 93,76 km en un tiempo total de 2 horas con 12 minutos.

Debido a la gran demanda de módulos de Baterías de Polímero de Litio se dificulta la adquisición de estos módulos ya que por lo general son distribuidos en Bancos de Baterías de alta tensión y corriente para vehículos comerciales, por esta razón su costo es muy elevado.

El módulo de Litio Ferro Fosfato es distribuido con mayor regularidad y es posible la adquisición ya que estos son utilizados para vehículos Eléctricos (Automóviles, e-bike, etc) su valor económico es menor y más accesible.

Por los resultados obtenidos y sus características de obtención el Banco formado con módulos de Polímero de Litio puede ser utilizado pero no es recomendado ya que no entrega la eficiencia energética necesaria.

Se selecciona el Banco de Baterías de Litio Ferro Fosfato es adecuado para la implementación en el prototipo solar de competencia por sus características y la eficiencia energética entregada.

CONCLUSIONES

Se analizó los reglamentos de todas competencias solares existentes hasta el momento y se logró determinar que la carrera solar de Atacama, la Bridgestone World Solar Challenge y la American Solar Challenge tienen los mismos requerimientos al ser homologadas.

Se dimensionó dos bancos de acumulación de energía de diferentes módulos uno con módulos de Polímero de Litio y otro banco con módulos de Litio Ferro Fosfato.

Los módulos utilizados para el dimensionamiento de los bancos de acumulación de energía fueron seleccionados mediante el estudio de las normativas y las necesidades de la unidad de control y de potencia por la misma razón se determinaron que los bancos deben entregar 48V de Tensión y entregar una corriente de 20 Amph.

El banco formado por módulos de Polímero de Litio entrega 53 V de tensión y 10 Amph de corriente continua por esta razón se construyó un regulador de tensión para entregar los requerimientos de la unidad de control y el banco formado por módulos de Litio Ferro Fosfato entrega una tensión nominal del 60 V, una tensión máxima de 71,8V y una corriente continua de 20 Amph para entregar los valores eléctricos requeridos por la unidad de potencia y de control es necesario la implementación de un regulador de tensión. Así como la selección de los componentes adecuados tanto para la conducción (cables y terminales) y de protección (fusibles e interruptores).

El resultado de la primera prueba con el banco de baterías de Polímero de Litio nos dio una autonomía de 1,5 Km en un tiempo de 15 min el prototipo solar de competencia alcanzó una velocidad promedio de 14 Km/h al sobre pasar los 15 minutos el banco de baterías alcanzo un Voltaje nominal de 9,5V sufriendo un daño permanente en el banco de baterías.

El resultado obtenido de la tercera prueba de campo con un módulo de batería de Litio Ferro-Fosfato en una motoneta eléctrica con un peso total de 194 Kg se determina la eficiencia energética y autonomía mediante proyecciones lineales de 93,75 Km en un tiempo de 2 horas con 20 minutos

RECOMENDACIONES

- Se recomienda reducir el peso del prototipo solar de competencia para aumentar la eficiencia del Banco de acumulación de energía.
- Se recomienda mejorar el sistema de refrigeración para el banco de baterías de Polímero de Litio agregando un túnel de viento y electro ventiladores.
- Se recomienda utilizar EPP para el manejo de los módulos de baterías por el alto valor de amperaje de corriente continua.
- Se recomienda seguir con el estudio del sistema de alimentación de energía para obtener una mayor eficiencia y autonomía eléctrica.
- Se recomienda la utilización de las Baterías con celdas de Litio Ferro Fosfato ya que entrega mejores prestaciones, características y una mejor eficiencia energética.

BIBLIOGRAFÍA

AFP, AGENCIA. *Carrera Solar de Latinoamérica.* [En línea]. 05 de Junio de 2018. [Consultado: 18 de Marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.milenio.com/ciencia-y-salud/chile-sera-testigo-de-la-mayor-carrera-solar-de-latinoamerica>.

AMERICAN , SOLAR CHALLENGE. *American Solar Challenge & Formula Sun Grand Prix.* [En línea]. 2018. [Consulta: 18 de Octubre de 2018]. Disponible en: <http://americansolarchallenge.org/about/american-solar-challenge/>.

Artés, David G. 2012. *Baterías de Coches Eléctricos e Híbridos.* [En línea]. 14 de Marzo de 2012. [Consulta: 11 de Abril de 2019]. Disponible en: <https://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/03/14/baterias-de-coches-electricos-e-hibridos-hoy-estado-de-la-tecnologia-del-automovil/>.

ATACAMA, CARRERA SOLAR. 2018. *Carrera Solar ATACAMA.* [En línea]. 2018. [Consulta: 15 de Octubre de 2018]. Disponible en: <http://www.carrerasolar.com/es/carrera/>.

BERIZZO, Ricardo. *Carrera Solar.* [En línea]. 24 de Agosto de 2013. [Consulta: 20 de Septiembre de 2018]. Disponible en: <http://transporteelectrico.blogspot.com/2013/08/carrera-solar.html>.

BtrPower. 2018. *Batería de Litio Ferro-Fosfato.* [En línea]. 12 de Septiembre de 2018. [Consulta: 12 de Abril de 2019]. Disponible en: https://www.amazon.com/dp/B076D7G4XS/ref=cm_sw_r_wa_apai_VwagCb37N3MK4?fbclid=IwAR0N4qqoItRR4PVIm9PXpYkkmk5fQMMR1kx zr2SrNIe2bx2MHsc0ftLrBgzQ.

CRUZ RODRÍGUEZ, Ing. Juan Carlos , y otros. *Impacto Ambiental.* [En línea]. [Consulta: 20 de Septiembre de 2018]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos14/impacto-ambiental/impacto-ambiental.shtml>.

ECYT-AR. *Baterías de Litio Argentinas.* [En línea]. 28 de Octubre de 2014. [Consulta: 12 de Abril de 2019]. Disponible en: [https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Bater%C3%ADas de litio argentinas](https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Bater%C3%ADas%20de%20litio%20argentinas).

EFE. 2017. *Vehículo Solar a Nivel Mundial*. [En línea]. 8 de Octubre de 2017. [Consulta: 10 de Octubre de 2018]. Disponible en: <https://www.efe.com/efe/america/gente/vehiculos-solares-del-todo-el-mundo-disputan-la-carrera-world-solar-challenge/20000014-3402253>.

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2012. *INFORME CURRICULAR INGENIERIA AUTOMOTRIZ*. RIOBAMBA : s.n., 2012.

ESPINOSA DELGADO, Luis Felipe. 2013. *DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO, DIAGNÓSTICO Y REPARACIÓN DEL SISTEMA DE BATERÍAS DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS*. Latacunga : s.n., 2013.

Formula Sun, Grand Prix. 2019. REGULATIONS. 2019, pág. 28.

Formula Sun, Grand Prix. 2019. REGULATIONS. 2019, pág. 20.

Formula Sun, Grand Prix. 2018. REGULATIONS. 2018, pág. 23.

GARTÉS, David. 2011. *Vehículo Eléctrico Ventajas e Inconvenientes y Perspectivas de Futuro*. [En línea]. 14 de Julio de 2011. [Consulta: 12 de Septiembre de 2018]. Disponible en: <https://www.diariomotor.com/tecmovia/2011/07/14/vehiculo-electrico-ventajas-inconvenientes-y-perspectivas-de-futuro/>.

HellermannTyton. Terminales y Conectores Eléctricos. [En línea]. [Consulta: 13 de Abril de 2019]. Disponible en: <http://www.hellermanntyton.com.ar/wp-content/uploads/2013/04/08-Terminales-y-Conectores.pdf>.

Lg, Co. LG CHEM. [En línea] [Consulta: 13 de Abril de 2019]. Disponible en: <http://www.lgchem.com/global/vehicle-battery/car-batteries/product-detail-PDEB0001#guidesnCautionsWrap>.

LÓPEZ MARTÍNEZ, José María. 2015. *Vehículos Híbridos y Eléctricos*. Madrid : Dextra S.I., 2015. págs. 14-45.

MECAFENIX, Frank. 2018. *Fusibles Definiciones y Características*. [En línea]. 30 de Enero de 2018. [Consulta: 27 de Abril de 2019]. Disponible en: <https://www.ingmecafenix.com/electronica/el-fusible/>.

PEÑA Ordóñez, Carlos. Estudio de Baterías para Vehículos Eléctricos. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad Carlos III De Madrid, Electrónica

Industrial, Madrid, España. 2011. pág. 29. [Consulta: 15 de Febrero de 2019]. Disponible en: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordonez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

PEÑA Ordóñez, Carlos. Estudio de Baterías para Vehículos Eléctricos. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad Carlos III De Madrid, Electrónica Industrial, Madrid, España. 2011. pág. 26. [Consulta: 15 de Febrero de 2019]. Disponible en: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordonez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

PEÑA Ordóñez, Carlos. Estudio de Baterías para Vehículos Eléctricos. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad Carlos III De Madrid, Electrónica Industrial, Madrid, España. 2011. pág. 27. [Consulta: 15 de Febrero de 2019]. Disponible en: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordonez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

PEÑA Ordóñez, Carlos. Estudio de Baterías para Vehículos Eléctricos. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad Carlos III De Madrid, Electrónica Industrial, Madrid, España. 2011. pág. 28. [Consulta: 16 de Febrero de 2019]. Disponible en: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordonez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

PEÑA Ordóñez, Carlos. Estudio de Baterías para Vehículos Eléctricos. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad Carlos III De Madrid, Electrónica Industrial, Madrid, España. 2011. pág. 31. [Consulta: 16 de Febrero de 2019]. Disponible en: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordonez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

PEÑA Ordóñez, Carlos. Estudio de Baterías para Vehículos Eléctricos. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad Carlos III De Madrid, Electrónica Industrial, Madrid, España. 2011. pág. 32. [Consulta: 16 de Febrero de 2019]. Disponible en: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordonez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordonez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

PEÑA Ordóñez, Carlos. Estudio de Baterías para Vehículos Eléctricos. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad Carlos III De Madrid, Electrónica Industrial, Madrid, España. 2011. pág. 33. [Consulta: 17 de Febrero de 2019]. Disponible en: https://archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordonez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

PEÑA Ordóñez, Carlos. Estudio de Baterías para Vehículos Eléctricos. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad Carlos III De Madrid, Electrónica Industrial, Madrid, España. 2011. pág. 34. [Consulta: 18 de Febrero de 2019]. Disponible en: https://archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordonez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

PEÑA Ordoñez, Carlos. Estudio de Baterías para Vehículos Eléctricos. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad Carlos III De Madrid, Electrónica Industrial, Madrid, España. 2011. pág. 30. [Consulta: 18 de Febrero de 2019]. Disponible en: https://archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordonez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

PowerStream. 2019. *Batería de Litio Ferro-Fosfato.* [En línea]. 27 de Marzo de 2019. [Consulta: 13 de Abril de 2019]. Disponible en: <https://www.powerstream.com/LLLF.htm>.

PROYECTO FSE. 2015. *Prototipo Solar.* [En línea]. 14 de Diciembre de 2015. [Consulta: 3 de Septiembre de 2018]. Disponible en: <http://proyectofse.mx/2015/12/14/carreras-autos-solares/>.

Reis, Fabio. *Tipos de Tecnologías en Baterías.* [En línea]. 18 de Agosto de 2017. [Consultado: 18 de Marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.bosontreinamentos.com.br/eletronica/curso-de-eletronica/tipos-e-tecnologias-de-baterias/>.

Roboteq. 2018. *2x75A or 1x150A High Performance Brushless DC Motor Controller with USB, and CAN Interface.* 2018. pág. 1. [En línea] [Consulta: 27 de Abril de 2019]. Disponible en: <https://www.roboteq.com/index.php/roboteq-products-and-services/brushless-dc-motor-controllers/389/hbl2396-258-detail?fbclid=IwAR2z8klibs8cX-CXBsrIpBBoDS4zCg-dgdeA-MyRUwxjJs4KsaDqURsRWRw>.

Salomon, Elena Verger. *Contaminación Ambiental Principal Fuente.* [En línea] 03 de Diciembre de 2015. [Consulta: 10 de Septiembre de 2018]. Disponible en: <https://cienciatoday.com/contaminacion-ambiental-principal-fuente/>.

SAYMLOVE. 2019. *Convertidor de Voltaje.* [En línea] 26 de Marzo de 2019. [Consulta: 28 de Abril de 2019]. Disponible en: https://www.ebay.com/itm/DC-Buck-Converter-30A-800W-Step-down-Power-Supply-Module-IN-20-70V-OUT-2-5-58V-/382267565495?_ul=EC&fbclid=IwAR1egNM_Wx6i08ZzoL1oNwieouXEaksastE9rtq_mzpACI3A6fxMo_-Fz21E.

SOLAR, Challenge World. 2019. *World Solar Challenge.* [En línea]. 2019. [Consulta: 15 de Octubre de 2018]. Disponible en: https://www.worldsolarchallenge.org/event-information/2019_regulations.

SOLIDWORKS. 2018. *Flow Simulation Report.* Riobamba. 2018.

TECHOPEDIA. *Regulador de Voltaje.* [En línea]. [Consulta: 27 de Abril de 2019]. Disponible en: <https://www.techopedia.com/definicion/1762/voltage-regulator>.

UNIVERSITAS MIGUEL HERNANDEZ. *Vehículo Eléctrico y de Energía Renovable.* [En línea]. 11 de Febrero de 2016. [Consulta: 12 de Abril de 2019]. Disponible en: <http://mesyr.edu.umh.es/2016/02/11/vehiculo-electrico-y-energias-renovables/>.

VOILAMART. *Baterías de Litio Ferro-Fosfato.* [En línea]. [Consulta: 12 de Abril de 2019]. Disponible en: <https://www.amazon.com/Voilamart-Conversion-Intelligent-Controller-Restricted/dp/B06XPTMYD>.

