



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**TEMA: SISTEMA ELÉCTRICO ALIMENTADO POR ENERGÍA
SOLAR PARA LA MOVILIZACIÓN DE UNA TRICICLETA
SOLAR QUE REPRESENTARÁ A LA UNIVERSIDAD DE LAS
FUERZAS ARMADAS ESPE - EXTENSIÓN LATACUNGA EN
LA CARRERA “ATACAMA SOLAR CHALLENGE-CHILE”**

**AUTORES: ESPÍN ALVEAR ANA GABRIELA
 CHILQUINGA MENDOZA CÉSAR IVÁN**

**DIRECTOR: Ing. Franklin Silva.
CODIRECTOR: Ing. David Rivas**

LATACUNGA

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN****CERTIFICADO**

ING. FRANKLIN SILVA. (DIRECTOR)

ING. DAVID RIVAS. (CODIRECTOR)

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “SISTEMA ELÉCTRICO ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR PARA LA MOVILIZACIÓN DE UNA TRICICLETA SOLAR QUE REPRESENTARÁ A LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE - EXTENSIÓN LATACUNGA EN LA CARRERA “ATACAMA SOLAR CHALLENGE-CHILE” realizado por Espín Alvear, Ana Gabriela y, Chiliquinga Mendoza, César Iván, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el reglamento de estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de alto contenido de investigación y que ayuda a la formación profesional y aplicación de conocimientos, SI se recomienda su aplicación.

El mencionado trabajo consta de 2 documentos empastados y 2 discos compactos el cual contiene los archivos en formato Acrobat (PDF).

Latacunga, Abril 2015

Ing. Franklin Silva.
DIRECTOR

Ing. David Rivas.
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDADCHILQUINGA MENDOZA, CÉSAR IVÁN
ESPÍN ALVEAR, ANA GABRIELA**DECLARAMOS QUE:**

El proyecto de grado titulado “SISTEMA ELÉCTRICO ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR PARA LA MOVILIZACIÓN DE UNA TRICICLETA SOLAR QUE REPRESENTARÁ A LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE - EXTENSIÓN LATACUNGA EN LA CARRERA “ATACAMA SOLAR CHALLENGE-CHILE”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las paginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Abril 2015

Chiliquinga Mendoza, César Iván
C.C.: 050349939-4

Espín Alvear, Ana Gabriela
C.C.: 050348830-6

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

AUTORIZACIÓN

Nosotros, CHILQUINGA MENDOZA, CÉSAR IVÁN

ESPÍN ALVEAR, ANA GABRIELA

Autorizamos a la Universidad de las fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “SISTEMA ELÉCTRICO ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR PARA LA MOVILIZACIÓN DE UNA TRICICLETA SOLAR QUE REPRESENTARÁ A LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE - EXTENSIÓN LATACUNGA EN LA CARRERA “ATACAMA SOLAR CHALLENGE-CHILE”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Abril 2015

Chiliquinga Mendoza, César Iván
C.C.: 050349939-4

Espín Alvear, Ana Gabriela
C.C.: 050348830-6

DEDICATORIA

El presente trabajo, que constituye el fruto de mis mejores años de juventud se lo dedico a Dios por protegerme e iluminarme en los momentos más difíciles, también se lo dedico con mucho cariño y respeto a mis abuelitos quienes fueron mi apoyo incondicional mientras Dios me permitió tener su compañía y ahora son mis ángeles en el cielo, a mi querida madre que con mucho esfuerzo se ha sacrificado por verme triunfar y cumplir todas mis metas, brindándome siempre su amor y comprensión.

Ana Gabriela

Esta tesis se la dedico a Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas y no desmayar en los problemas que se presentaban. A mi hermosa hija, Ángeles Maythe, quien es el motor principal para siempre seguir adelante. A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, quienes me enseñaron mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

César Iván

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios quien me ha dado la fortaleza de seguir siempre hacia adelante, a mi adorada madre Susana, quien es mi inspiración y gran ejemplo de superación siendo mi luz y mi guía durante toda mi vida, a mi familia por siempre brindarme consejos y palabras de aliento.

A mí querida Institución “Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE”, por abrirme sus puertas en donde pude adquirir todos mis conocimientos, a mis queridos Tutores Ing. Franklin Silva e Ing. David Rivas quienes además de ser nuestros docentes son nuestros amigos quienes con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación han logrado ayudarnos a terminar con éxito este proyecto de tesis.

Ana Gabriela

Los resultados de este proyecto, están dedicados a todas aquellas personas que, de alguna forma, son parte de su culminación. Mis más sinceros agradecimientos están dirigidos hacia los Ingenieros Franklin Silva y David Rivas, quienes con su ayuda desinteresada, nos brindaron sus conocimientos para la culminación de este proyecto de tesis. A todos mis familiares por siempre brindarnos su apoyo, tanto sentimental, como económico. Pero, principalmente agradezco a mi querida institución en la cual forme mis conocimientos. Gracias Dios, gracias padres y hermanos.

César Iván

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
CAPÍTULO I.....	1
CONSIDERACIONES GENERALES.....	1
1.1. Carrera Atacama Solar Challenge.....	1
1.1.1 Introducción.....	1
1.1.2 Qué es un vehículo solar.....	2
a. ENERGÍA solar sin baterías.....	3
b. Con paneles que acumulan energía:.....	3
c. Vehículos eléctricos:.....	4
1.1.3 Reseña histórica.....	5
1.1.4 Categorías.....	5
a. Desafío Solar Atacama (dsa).....	5
b. La Ruta Solar (Irs).....	6
1.1.5 Ediciones de la competencia.....	6
a. Edición 2011.....	7
b. Edición 2012.....	7
c. Edición 2014.....	8

1.2.	Atacama solar team	10
CAPÍTULO II		12
ESTUDIO DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA LA TRICICLETA		12
2.1.	La energía solar fotovoltaica	12
2.1.1.	Electrificación de sistemas aislados.....	13
2.2.	Regulador de carga solar	14
2.2.1.	Mppt (maximum power point tracking).....	15
2.2.2.	Ventaja del mppt.....	18
2.3.	Convertidores DC-DC	18
2.3.1.	Conversores buck (reductor).....	19
2.3.1.1.	Funcionamiento básico del conversor buck.....	20
2.3.2.	Conversor boost (elevador).....	20
2.3.2.1.	Funcionamiento básico del convertidor boost	21
a)	Modo de conducción continua (mcc)	22
b)	Modo de conducción discontinua (mcd).....	24
2.3.3.	Conversor buck-boost (reductor-elevador)	26
2.3.3.1.	Funcionamiento del convertidor buck-boost.....	26
2.4.	Baterías.....	27
2.4.1.	Capacidad de una batería	28
2.4.2.	Fuente de potencia principal (main power source)	30
2.4.2.1.	Voltaje constante	30
2.4.2.2.	Corriente y voltaje constantes.....	30
2.4.3.	Baterías de ion de litio. O también batería li-ion.	32
2.4.3.1.	Ventajas	33
2.4.3.2	Desventajas.....	35
2.4.4.	Carga de las baterías.....	35
2.4.5.	Descarga de una batería	36

2.4.6. Correcto uso de una batería.....	37
2.5. Motor	37
2.5.1. Motor eléctrico.....	38
2.5.1.1. Clasificación de los motores eléctricos.....	38
2.5.1.2. Clasificación de los motores de corriente directa.....	39
2.5.1.3. Motor sin escobillas (brushless):.....	40
2.5.1.4. Principio de operación	41
2.5.1.5. Partes fundamentales.....	42
CAPÍTULO III.....	44
CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	44
3.1. Cálculos y dimensionamiento del motor.....	44
3.1.1. Parámetros de selección de un motor eléctrico.	47
3.1.1.1. Resistencia a altas temperaturas	47
3.1.1.2. Potencia y torque.....	47
3.1.1.3. Peso	48
3.1.1.4. Velocidad	48
3.1.1.5. Eficiencia.....	48
3.1.1.6. Costo	48
3.1.1.7. Información.....	49
3.1.2. Selección del motor eléctrico	49
3.1.2.1. Matriz de selección del motor.	50
3.2. Selección del sistema de control.....	51
3.2.1. Tipo de corriente y tensión de alimentación.	51
3.2.2. Compatibilidad con el motor.....	52
3.2.3. Potencia nominal de la carga.....	53
3.2.4. Peso	53
3.2.5. Condiciones de servicio.....	53

3.2.6. Tipo de circuito.....	54
3.2.7. Dimensiones.....	54
3.2.8. Selección del controlador	55
3.2.8.1. Matriz de selección del controlador.....	56
3.2.8.2. Simulación de conversor	57
3.3. Cálculo y dimensionamiento de baterías	58
3.3.1. Parámetros de selección de baterías	58
3.3.1.1. Tensión y corriente eléctrica	58
3.3.1.2. Autonomía	59
3.3.1.3. Peso	60
3.3.1.4. Tecnología.....	60
3.3.1.5. Efecto memoria en las baterías	61
3.3.1.6. Geometría.....	62
3.3.1.7. Vida útil	62
3.3.2. Selección de baterías.....	62
3.3.2.1. Matriz de selección de baterías	64
3.3.2.2. Régimen de carga con el cargador	65
3.3.2.3. Régimen de carga con paneles solares	66
3.3.2.4. Modelo utilizado	66
a) Resistor serie RS:.....	67
b) Redes RC:	67
3.3.2.5. Resultados de la simulación	68
3.4. Cálculos y selección de un mppt.....	69
3.4.1. Parámetros de selección de un mppt	70
3.4.1.1. Dimensiones.....	70
3.4.1.2. Peso	70
3.4.1.3. Rendimiento	71
3.4.2. Selección del controlador	71

3.4.2.1. Matriz de selección del mppt.	72
CAPÍTULO IV.....	74
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA LA TRICICLETA	74
4.1. Panel fotovoltaico	74
4.2. Sistema eléctrico	75
4.2.1. Diagrama eléctrico.....	76
4.3. Instalación mppt.....	77
4.3.1. Información general de seguridad.....	77
4.3.1.1. Control de carga	78
4.3.1.2. Carga solar de batería	78
4.3.2. Uso del controlador mppt	78
4.3.3. Instalación del controlador mppt.....	79
4.3.3.1. Interruptor dip 1 – modo: carga de batería.....	80
4.3.3.2. Interruptores dip 2,3 – voltaje del sistema	81
4.3.3.3. Algoritmo de carga de batería.	82
4.3.3.4. Interruptor dip 7 – ecualización de batería.....	83
4.3.3.5. Interruptor dip 8 – reducción de ruido:.....	84
4.3.4. Instalación motor brushless.....	88
4.3.4.1. Montaje de la rueda.....	88
4.3.5. Controles del panel	90
4.3.6. Montaje de las baterías	91
4.3.7. Configuración del cableado.....	93
CAPÍTULO V.....	95
PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	95
5.1. Pruebas en ruta	95
5.2. Consideraciones en las pruebas	98

5.2.1. Carga de baterías.....	98
5.2.2. Autonomía del motor.....	101
5.3. Análisis de resultados.....	101
CAPÍTULO VI.....	102
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	102
6.1. CONCLUSIONES.....	102
6.2. RECOMENDACIONES.....	104
BIBLIOGRAFÍA.....	105
ANEXOS.....	106
ANEXO A: PLANO ELÉCTRICO DE LA TRICICLETA ¡Error! Marcador no definido.	
ANEXO A: SISTEMA DE LUCES..... ¡Error! Marcador no definido.	
ANEXO B: BASTIDOR MPPT..... ¡Error! Marcador no definido.	
ANEXO C: SOPORTE PARA BATERÍAS..... ¡Error! Marcador no definido.	
ANEXO D: INDICACIONES DE LOS LED..... ¡Error! Marcador no definido.	
ANEXO E: RENDIMIENTO DEL MOTOR ELÉCTRICO..... ¡Error! Marcador no definido.	
ANEXO F: CURVAS DE RENDIMIENTO DEL MOTOR..... ¡Error! Marcador no definido.	
CERTIFICACIÓN..... ¡Error! Marcador no definido.	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.0.1: Cargas muertas	44
Tabla 3.0.2: Cargas vivas	45
Tabla 3.0.3: Información técnica de los motores eléctricos	49
Tabla 3.0.4: Matriz de Selección del motor	51
Tabla 3.0.5: Información técnica del controlador	55
Tabla 3.0.6: Matriz de selección del controlador	56
Tabla 3.0.7: Ejemplos de Autonomía del motor	60
Tabla 3.0.8: Información técnica de las baterías	63
Tabla 3.0.9: Matriz de Selección de las baterías.....	64
Tabla 3.0.10: Valores de elementos para calcular voltajes.	68
Tabla 3.0.11: Potencia nominal de entrada.....	70
Tabla 3.0.12: Información técnica de los MPPT	71
Tabla 3.0.13: Matriz de selección del MPPT.....	72
Tabla 4.0.1: Interruptor tipo DIP número 1	80
Tabla 4.0.2: Interruptores DIP 2,3.....	81
Tabla 4.0.3: Algoritmo de carga de batería.	82
Tabla 4.0.4: Ecuilización de batería	83
Tabla 4.0.5: Reducción de ruido	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.0.1: Vehículo Solar	2
Figura 1.0.2: Vehículo alimentado por energía solar sin baterías.....	3
Figura 1.0.3: Vehículo con paneles que acumula energía.	4
Figura 1.0.4: vehículo eléctrico.	4
Figura 1.0.5: Vehículo solar VES ONE, Ganador Edición 2011	7
Figura 1.0.6: Plano General Del Recorrido Edición 2014.....	9
Figura 1.0.7: Prototipo Atacama Solar Team.	11
Figura 2.0.1: Diagrama de bloques del sistema eléctrico de la tricicleta	13
Figura 2.0.2: MPPT (Seguidor del punto de máxima potencia)	15
Figura 2.0.3: Curva I-V (Voltaje Vs. Corriente) de Panel Solar.....	16
Figura 2.0.4: Esquema de un convertidor DC-DC tipo Buck (reductor)	19
Figura 2.0.5: Esquema de un convertidor DC-DC tipo Boost	21
Figura 2.0.6: Convertidor Boost durante intervalo $0 < t < T_{ON}$	22
Figura 2.0.7: Convertidor Boost durante, intervalo $T_{OFF} < t < T$	23
Figura 2.0.8: Convertidor Boost durante, intervalo $T_{OFF} < t < T$	24
Figura 2.0.9: Esquema de un convertidor DC-DC tipo Buck-Boost	26
Figura 2.0.10: Batería secas.....	28
Figura 2.0.11: Motor Eléctrico	38
Figura 2.0.12: Modelo del motor Brushless.....	40
Figura 2.0.13: Principio de funcionamiento de un motor eléctrico	41
Figura 2.0.14: Partes de un motor eléctrico	42
Figura 2.0.15: a) Estator de polos salientes, b) Estator ranurado.....	42
Figura 2.0.16: a) Rotor Polos Salientes, b) Rotor ranurado, c) Jaula de ardilla	43
Figura 3.0.1: Motor Magic Pie III Multivoltaje 24V a 48V. 1000W.....	52

Figura 3.0.2: Circuito de simulación conversor DC/DC	57
Figura 3.0.3: Voltaje de salida	57
Figura 3.0.4: Conexión de baterías en serie.	59
Figura 3.0.5: Modelo usado para la simulación de baterías	66
Figura 3.0.6: Modelo de descarga de una batería de Ion- Litio.	68
Figura 4.0.1: chasis de la tricicleta solar	74
Figura 4.0.2: Panel fotovoltaico instalado	75
Figura 4.0.3: Diagrama del sistema eléctrico	76
Figura 4.0.4: Controlador tristar 60 mppt	78
Figura 4.0.5: cableado para carga solar y control de la carga.....	79
Figura 4.0.6: Controlador MPPT.	80
Figura 4.0.7: Interruptor #1	81
Figura 4.0.8: Interruptores # 2,3.....	81
Figura 4.0.9: Interruptor # 4,5,6	83
Figura 4.0.10: Interruptor # 7	84
Figura 4.0.11: Interruptor # 8	84
Figura 4.0.12: Interruptor DIP configurado	85
Figura 4.0.13: Conexión de sensado de batería	85
Figura 4.0.14: conexión de baterías y paneles.....	86
Figura 4.0.15: Conexión a PC.....	87
Figura 4.0.16: MPPT montado en la tricicleta	87
Figura 4.0.17: Motor Magic Pie 3 en una rueda	88
Figura 4.0.18: Accesorios para la cabina	89
Figura 4.0.19: Configuración de rueda.....	89
Figura 4.0.20: Motor montado en la tricicleta.	90
Figura 4.0.21: Controles instalados en la Tricicleta.....	91

Figura 4.0.22: Soporte para baterías	91
Figura 4.0.23: Baterías montadas en la tricicleta	92
Figura 4.0.24: Conexión aislada de baterías.....	92
Figura 4.0.25: Cableado del Motor.....	93
Figura 4.0.26: Luces delanteras de la tricicleta	93
Figura 4.0.27: Luces posteriores de la tricicleta	94
Figura 5.0.1: Mapa topográfico de la ruta del recorrido.....	96
Figura 5.0.2: Ruta del recorrido de la tricicleta solar.	96
Figura 5.0.3: Pruebas de carga de baterías.....	97
Figura 5.0.4: Pruebas de velocidad.	97
Figura 5.0.5: Autonomía del vehículo solar.....	97
Figura 5.0.6: Curva de voltaje en el arreglo de celdas fotovoltaicas.....	99
Figura 5.0.7: Curva de voltaje en la carga de baterías.....	99
Figura 5.0.8: Curva de corriente al momento de carga de baterías.....	100
Figura 5.0.9: Voltajes mínimo y máximo en las baterías durante el proceso de carga.....	101

ÍNDICE DE ECUACIONES

$dV_c dt = -V_c R + R_c \cdot C$ Ecuación (2.0.1)	23
$di_L dt = -R_{SL} \cdot i_L + V_{inL}$ Ecuación (2.0.2)	23
$dV_c dt = -1R + R_c \cdot C \cdot V_c + RR + R_c \cdot C \cdot i_L$ Ecuación (2.0.3).....	24
$di_L dt = -RR + R_c \cdot L \cdot V_c - RSL + R \cdot R_c R + R_c \cdot i_{LL} + V_{inL}$ Ecuación (2.0.4)	24
$dV_c dt = -VCR + RC \cdot C$ Ecuación (2.0.5)	25
$di_L dt = 0$ Ecuación (2.0.6)	25
$C_t = xnF$ Ecuación (2.0.7).....	29
$Pesototal\ cargass = C.muertas + C.vivas$ Ecuación (3.0.1)	45
$a = (vf - vin)t$ Ecuación (3.0.2)	45
$T = 0,5 \times masa \times r^2 \times ar$ Ecuación (3.0.3)	45
$Potencia = Torque \times velocidad\ angular(rpm)$ Ecuación (3.0.4)	46
$w\theta = VelocidadRadio$ Ecuación (3.0.5).....	46
$n = Pot\ salidaPot\ entrada \times 100\%$ Ecuación (3.0.6).....	46
$P = V \times I$ Ecuación (3.0.7)	47
$Autonomia, Km = voltios \cdot Amperios \cdot Velocidad_MaxPotencia\ Motor$ Ecuación (3.0.8)	60
$Capacidad\ de\ energia\ de\ bateria = V \times Ah$ Ecuación (3. 0.9)	64
$Tiempo\ carga = Capacidad\ bateriaCapacidad\ cargador$ Ecuación (3.0.10).....	65
$R_s = V_{BAT}t + -V_{BAT}t - idesc$ Ecuación (3. 0.11)	67
$V_{BAT}t = VocSOC - V_{ts,0} \cdot e - tRTSCTS - V_{TL,0} \cdot e - tRTICTI$ Ecuación (3.0.12).....	67
$IRE = I_{sc} \times 1,25$ Ecuación (3.0.13)	69
$IRS = 1,25 \times (PDC + PAC/ninv)V_{BAT}$ Ecuación (3.0.14).....	70

RESUMEN

El desarrollo de este proyecto consiste en la selección e implementación del sistema eléctrico para la movilización de un vehículo solar, que posee dos maneras de movilización; tracción humana y energía solar. El principal objetivo de este proyecto es aprovechar al máximo la radiación solar para así minimizar el esfuerzo humano, además priorizar la seguridad y comodidad del ocupante. El presente documento inicia con una introducción a lo que es la competencia “Atacama Solar Challenge”, reseña histórica, categorías, ediciones, además consta de una redacción como preámbulo de lo que es “Ataca Solar Team”. En el segundo capítulo se realiza el estudio de los componentes que formaran parte del sistema eléctrico como son: el MPPT, Baterías de Ion-Litio, Controlador y un Motor Brushless. En el tercer capítulo se describe detalladamente los cálculos y selección de los componentes del sistema eléctrico usando cálculos y parámetros de selección usando cuadros comparativos. Seguidamente en el cuarto capítulo se describe la implementación de cada uno de sus componentes siguiendo minuciosamente cada recomendación e instrucción proporcionado por los manuales adjuntos a los equipos. Una vez terminada la implementación del vehículo solar se procede a realizar las pruebas de funcionamiento de autonomía del motor, carga de baterías y máxima velocidad alcanzada en la ruta, llegando a concluir que lo calculado y los elementos seleccionados han sido los adecuados para la construcción de la “Tricicleta Solar” la cual tiene como destino competir en la carrera “Atacama Solar Challenge” representando a la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe Latacunga.

PALABRAS CLAVE:

- **Vehículo Solar**
- **Motor Brushless**
- **Baterías Ion- Litio**
- **Seguidor Punto de Máxima Potencia**

ABSTRACT

The development of this project involves the selection and implementation of the electrical system for the mobilization of a solar vehicle, which has two ways of mobilization; human-powered and solar energy. The main objective of this project is to maximize the solar radiation to minimize the human effort also prioritize safety and occupant comfort. This paper begins with an introduction to what the competition "Atacama Solar Challenge" historical review, categories, editions, further comprising a composition as a prelude to what is "Attacks Solar Team". MPPT, lithium-ion batteries, controller and Brushless Motor: In the second chapter the study of the components that form part of the electrical system such as is done. In the third chapter describes in detail the calculations and selection of electrical system components using calculations and selection parameters using comparative tables. Then in the fourth chapter the implementation of each of its components is described thoroughly following each recommendation and instruction provided by the manuals supplied with the equipment. After the implementation of solar vehicle proceeds to perform functional tests of autonomy engine, battery charging and maximum speed achieved on the road, coming to the conclusion that the calculated and selected items were appropriate for building the "Solar tricycle" which is destined to compete in the race "Atacama Solar Challenge" representing the University of the Armed Forces Espe Latacunga.

KEYWORDS:

- **Solar Vehicle**
- **Brushless Motor**
- **Batteries ion battery**
- **Maximum Power Point Tracker**

CAPÍTULO I

CONSIDERACIONES GENERALES

1.1. CARRERA ATACAMA SOLAR CHALLENGE

1.1.1 INTRODUCCIÓN

El desierto de Atacama, cuenta con uno de los más altos niveles de radiación solar a nivel mundial este escenario ha dado paso al desarrollo de una serie de centrales solares, algunas piloto y otras de carácter industrial, que solidifican los primeros avances del país en esta dirección, apuntando a la generación de energía limpia y renovable superando a líderes en la materia como Alemania, España o Estados Unidos que llevan años realizando pruebas y desarrollos tecnológicos con este tipo de tecnología.

Si bien, todas son iniciativas interesantes, existe una que apunta 100% a la innovación y a darle un giro al uso de esta fuente no sólo en Chile, sino que en todo el continente. Atacama solar challenge es la primera competencia latinoamericana de vehículos impulsados por energía solar, con el objetivo de fomentar el conocimiento y el uso de esta fuente a nivel mundial, y darles a todos los competidores la oportunidad de poner a prueba su imaginación y talento para desarrollar un vehículo impulsado por energía solar.

La idea nace de la Global Green Challenge (antes llamada World Solar Challenge) que es una competencia de vehículos solares que se realiza a través de 3.021 km en el desierto de Australia, desde Darwin hasta Adelaida. La carrera atrae a equipos de todo el mundo, muchos de los cuales están fundados con el apoyo de universidades o empresas, esta competencia lleva desarrollándose desde hace más de 25 años a lo largo de 10 ediciones, habiéndose celebrado la primera en 1987. La idea de la competición surgió del aventurero danés Hans Tholstrup. Fue el primero en circunnavegar el

continente australiano en un barco de 16 m de eslora. Posteriormente, se involucró en varias competiciones con vehículos diseñados para lograr el ahorro de combustible. Ya en la década de 1980, se dio cuenta de la necesidad de explorar fuentes de energía renovable para sustituir a los combustibles fósiles. Apoyado por la empresa petrolera BP, diseñó el primer vehículo solar, llamado The Quiet Achiever, viajando los 4.052 km entre Sydney y Perth en 20 días. Fue el precursor del World Solar Challenge. [1]
[2]

1.1.2 QUÉ ES UN VEHÍCULO SOLAR

Es aquel que es impulsado por un motor eléctrico alimentado por energía solar fotovoltaica obtenida de paneles solares en la superficie del automóvil, lo que los diferencia de los vehículos de carga solar, en los que se emplea electricidad renovable que es obtenida fuera del vehículo. Las celdas fotovoltaicas convierten la energía del sol directamente a electricidad, que puede ser almacenada en un banco de baterías electroquímicas, o utilizada directamente por el motor eléctrico, un ejemplo de vehículo solar se puede observar en la Figura 1.0.1. [2]



Figura 1.0.1: Vehículo Solar

Fuente: <http://www.portafolio.co/>

A diferencia de los vehículos de carga solar, los automóviles solares no son actualmente una forma de transporte práctica. Aunque pueden operar

por distancias limitadas sin el sol. Además, los equipos de desarrollo han enfocado sus esfuerzos hacia la optimización de la funcionalidad del vehículo, preocupándose poco por la comodidad del pasajero. Existen 3 tipos de vehículos solares: [4]

a. Energía solar sin baterías

Los que funcionan con la energía del sol, sin necesidad de baterías. Este tipo de vehículo tiene como inconveniente que en el caso de pasar por lugares de sombra, o si se nublara, su marcha se reduciría en gran medida o directamente se detendría. Estos vehículos se construyen de manera exclusiva para los Desafíos Solares, ya que son poco útiles en la vida cotidiana, en la Figura 1.0.2 se puede visualizar un ejemplo de este tipo de vehículo. [4]



Figura 1.0.2: Vehículo alimentado por energía solar sin baterías.

Fuente: <http://www.ujaen.es/>

b. Con paneles que acumulan energía

Los que utilizan los paneles para acumular energía en una o varias baterías, aportando una gran parte de la energía que se requiere para el funcionamiento del motor. Este tipo de vehículo es más común y se observa en la Figura 1.0.3.



Figura 1.0.3: Vehículo con paneles que acumula energía.

Fuente: <http://www.ujaen.es/>

c. Vehículos eléctricos



Figura 1.0.4: vehículo eléctrico.

Fuente: <http://www.ujaen.es/>

Los vehículos eléctricos que llevan algún pequeño panel para mantener la batería o efectuar pequeñas cargas, básicamente cargándose de la red eléctrica. Para que este tipo de vehículos se considere solar es imprescindible que en el lugar de la carga exista una instalación de energía solar que proporcione la energía necesaria, un ejemplo de este vehículo se puede visualizar en la Figura 1.0.4. [5]

1.1.3 RESEÑA HISTÓRICA

El inicio de esta gran iniciativa se ha dado por el esfuerzo de casas de estudio, empresas, gobierno y de manera muy destacada, de los jóvenes emprendedores provenientes de distintos rincones de la región.

El 3 de junio de 2011 la Carrera Solar Atacama organizó la I Feria de Autos Solares realizada en el campus San Joaquín de la Universidad Técnica Federico Santa María, una iniciativa que contó con la participación de 20 equipos nacionales, los cuales expusieron sus proyectos a través de maquetas y modelos de los autos que participarían en la primera carrera realizada en septiembre del mismo año. [6]

Ya en el año 2012 la Carrera Solar Atacama volvió a organizar la II Feria de Autos Solares. En esta ocasión se realizó en Espacio Riesco y convocó a equipos provenientes de todo Chile a mostrar sus prototipos y proyectos solares con los que participarán en la Carrera Solar Atacama 2012. También se contó con la participación de 60 empresas expositoras y cientos de visitantes, tanto Chilenos como extranjeros.

La Carrera Solar Atacama cuenta con dos categorías. La primera es Desafío Solar Atacama, donde compiten vehículos impulsados exclusivamente con energía solar fotovoltaica, y la Ruta Solar que está compuesta por autos híbridos que funcionan en base a energía solar fotovoltaica y humana. [7]

1.1.4 CATEGORÍAS

a. Desafío Solar Atacama (DSA)

En esta categoría participan vehículos impulsados exclusivamente por energía solar, se caracterizan por presentar un diseño completamente aerodinámico e innovador empleando componentes de última generación

para el desarrollo tecnológico solar. Los equipos que integran esta categoría buscan aumentar al máximo los niveles de eficiencia energética y aerodinámica de los vehículos eléctricos donde serán capaces de alcanzar velocidades de hasta 80 km/h. Los diseños se dividen en dos subcategorías: [8]

- **Clásico:**

Los vehículos que participan en esta categoría cuentan con tres ruedas para un ocupante, cuyo diseño apunta a reducir al mínimo las pérdidas de eficiencia mecánicas.

- **Evolución:**

Vehículo de cuatro ruedas para un ocupante cuyo diseño apunta a la eficiencia, incluyendo algunas prestaciones que lo acercan a un vehículo convencional, provee mayor ergonomía para el ocupante.

b. La Ruta Solar (LRS)

Esta categoría, única en el mundo, integra vehículos híbridos que ocupan tanto energía solar como tracción humana para propulsarse. Apunta a desarrollar vehículos amigables con el medio ambiente a bajo costo. Los vehículos que participarán en La Ruta Solar alcanzan velocidades máximas de 50 km/h. [9]

1.1.5 EDICIONES DE LA COMPETENCIA

La carrera solar intenta promover el desarrollo de tecnología para vehículos impulsados por energía solar. La Ruta Solar Atacama ofrece a los equipos participantes la geografía única del desierto de atacama, con clima desértico, pendientes, cielos despejados y los mayores niveles de radiación solar del mundo.

a. Edición 2011

La primera carrera solar de Latinoamérica, en esta categoría participaron 7 equipos que llevaron al límite sus habilidades para desarrollar un vehículo capaz de recorrer 933 kilómetros, en tres días de competencia, impulsados sólo por energía solar. El equipo ganador de esta edición fue “LOS ANDES SOLAR TEAM” con su vehículo VES ONE, en la Figura 1.0.5 podemos visualizar al campeón. [10]



Figura 1.0.5: Vehículo solar VES ONE, Ganador Edición 2011

Fuente: <http://www.que.es/>

Al final del recorrido el equipo Antakari, de la Universidad de La Serena y Minera, obtuvo el triunfo en el Desafío Solar Atacama con su vehículo IntiKallpa, superando al equipo Eolian de la Universidad de Chile.

b. Edición 2012

En el año 2012 se organizó la segunda versión de la Carrera Solar Atacama apostando a recibir más equipos y ofreciendo una ruta más extensa y desafiante, al agregar una etapa que pasara por San Pedro de Atacama.

La competencia recorrió más de mil kilómetros en cuatro días, pasando por las localidades de Humberstone, Calama, San Pedro de Atacama y Baquedano, que embellecieron la ruta con majestuosos paisajes del Desierto de Atacama. [11]

La cantidad de equipos también creció, recibiendo a 15 vehículos provenientes de Chile, Argentina y Venezuela. Siete de ellos en el Desafío Solar Atacama y ocho en la categoría La Ruta Solar. Tras cuatro arduos días de competencia, el equipo Antakari se consagraría como campeón del Desafío Solar Atacama por segundo año consecutivo, venciendo a su ya clásico rival Eolian en una reñida carrera.

c. Edición 2014

El recorrido de la edición 2014 se vuelve a concentrar entre las ciudades de Iquique, Calama y Antofagasta, abarcando el corazón del Desierto de Atacama y cubriendo todos sus escenarios. Consta de 4 días de competencia y una jornada libre.

El primer día llevará a los equipos desde la Oficina Salitrera de Santiago Humberstone, hasta las cercanías de la ciudad de Calama. El día 2 conduce a los vehículos solares hacia el oriente de Calama por el desierto cordillerano, finalizando en San Pedro de Atacama. Para el tercer día no habrá actividad competitiva, permaneciendo en la ciudad de Calama. En la cuarta jornada nos dirigiremos hacia la ciudad de Antofagasta, atravesando la pampa y bajando al pueblo de Tocopilla, desde donde los vehículos seguirán el camino costero hasta el Monumento Natural La Portada. Finalmente, el día 5 reúne a los equipos en la Oficina Salitrera Chacabuco, para volver a Humberstone, donde se ubica la meta final de la competencia. [12]

La Organización dispondrá en el sitio web de la competencia un archivo de ruta donde se detalla el recorrido con sus hitos más relevantes. En la

Figura 1.0.6 se muestra un plano general del recorrido de Carrera Solar Atacama 2014.



Figura 1.0.6: Plano General Del Recorrido Edición 2014

Fuente: <http://www.carrerasolar.com/>

La ruta de la carrera consta de paradas denominadas Puntos de Control, y 3 tipos de tramos, los que son descritos a continuación:

- **Tramo cronometrado:** Tramo de la competencia que debe ser recorrido obligatoriamente por el vehículo solar y se cronometrará.
- **Tramo especial o no-cronometrado:** Tramo de la competencia que debe ser recorrido obligatoriamente por el vehículo solar pero no se cronometrará. La Organización indicará desde y hasta donde los tramos cronometrados pasan a ser especiales o no-cronometrados.

- **Tramo remolcado:** Tramo de la competencia que debe ser recorrido remolcando el vehículo solar desde y hasta donde lo indique la Organización. Estos tramos no se cronometran. [13]

1.2. ATACAMA SOLAR TEAM

Nace de la iniciativa de 8 estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga y el apoyo de varios docentes de la misma, quienes con visión emprendedora apuestan por este proyecto de investigación que a su término tendrá la oportunidad de viajar a la ciudad de Santiago de Chile para poder formar parte de la competencia Atacama Solar Challenge. Convirtiendo a la Universidad de las fuerzas Armadas como una de las primeras universidades en el Ecuador que le apuestan a este tipo de competencias, están enfocadas principalmente en el estudio y uso de Energías Renovables.

La categoría en la que el equipo participará será La Ruta Solar (LRS) que son vehículos impulsados por energía solar y humana con una velocidad máxima de 50 km/h. Este proyecto está dividido en 4 partes: el diseño de la estructura, sistema de frenos tracción mecánica, telemetría y el sistema de tracción eléctrica.

La tracción eléctrica que es la parte en la que estaremos enfocados en esta tesis es la encargada de proporcionar pedaleo asistido al conductor en momentos en el que él decida que es necesario, este sistema está compuesto por un MPPT que se encarga de buscar el máximo punto de potencia mediante un algoritmo que realiza un barrido constante en la curva característica de corriente y voltaje, optimizando la carga constante de las baterías que serán las encargadas de suministrar el voltaje suficiente para que el motor funciones a su máxima potencia ayudándonos también del controlador integrado dentro del mismo, asegurando una carga constante y una asistencia al conductor por más tiempo en la Figura 1.0.7 se muestra el

prototipo en el cual nos basamos para realizar el diseño mecánico de la tricicleta.



Figura 1.0.7: Prototipo Atacama Solar Team.

CAPÍTULO II

ESTUDIO DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA LA TRICICLETA

2.1. LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica es el efecto fotoeléctrico, que consiste en la conversión de la luz en electricidad. Este proceso se consigue con materiales que tienen la propiedad de absorber fotones y emitir electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad, en 1839, el físico francés Edmundo Becquerel fue el primero en constatar el efecto fotoeléctrico. En 1921 Albert Einstein gana el Premio Nobel de Física gracias a un trabajo en el que se describe la naturaleza de la luz y el efecto fotoeléctrico y en el cual está basada la tecnología fotovoltaica. Sin embargo, fue en 1954 cuando se construye el primer módulo fotovoltaico en los Laboratorios Bell y es tratado como un experimento científico ya que su coste era demasiado elevado para su utilización a gran escala. [14]

Las células fotovoltaicas reciben un tratamiento químico especial para formar un campo eléctrico, positivo en un lado y negativo en el otro. Cuando la luz solar incide en la célula, los electrones son desplazados del material semiconductor, si ponemos conductores eléctricos tanto del lado positivo como del negativo de la célula fotovoltaica, formando un circuito eléctrico, los electrones pueden ser capturados en forma de electricidad.

Varios módulos fotovoltaicos pueden ser conectados unos con otros para formar un campo solar. Los módulos producen electricidad en corriente continua, pudiendo ser conectados en serie o en paralelo para conseguir el voltaje que se requiera.

Existen fundamentalmente dos tipos de aplicaciones de la energía solar fotovoltaica: instalaciones aisladas de la red eléctrica y centrales de generación conectadas a la red.

Sistemas aislados de energía solar fotovoltaica: gracias a esta tecnología podemos disponer de electricidad en lugares alejados de la red de distribución eléctrica. De esta manera, podemos suministrar electricidad a casas de campo, refugios de montaña, bombes de agua, instalaciones ganaderas, sistemas de iluminación, sistemas de comunicaciones, e incluso para medios de transporte impulsados por energía solar. Los sistemas aislados se componen principalmente de captación de energía solar mediante paneles solares fotovoltaicos y almacenamiento de la energía eléctrica generada por los paneles en baterías. [15]

2.1.1. ELECTRIFICACIÓN DE SISTEMAS AISLADOS

En el caso de electrificación de lugares aislados de la red eléctrica de distribución la energía producida por los módulos pasa por un regulador de carga y se almacena en baterías, también llamadas acumuladores o banco de baterías. El convertidor, en caso de ser necesario, se encarga de transformar la corriente continua de las baterías en corriente alterna para abastecer los consumos.

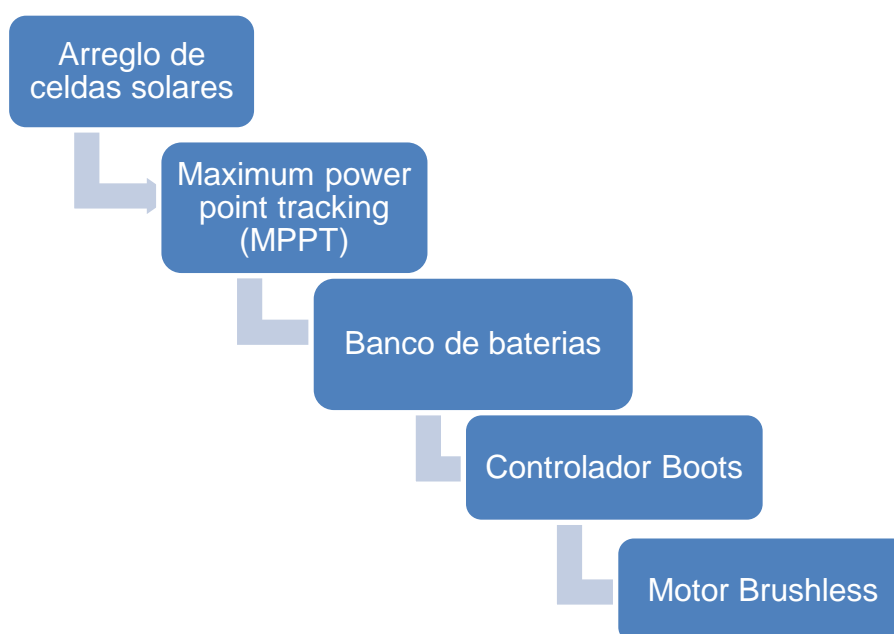


Figura 2.0.1: Diagrama de bloques del sistema eléctrico de la tricicleta

La capacidad de almacenamiento de energía de las baterías se denomina en amperios-hora (Ah) y la capacidad de regulación de carga en amperios (A). El consumo de energía se determina vatios-hora (Wh) y la potencia necesaria en convertidor en vatios (W). Según la energía consumida se determinan los elementos que deben componer una instalación.

2.2. REGULADOR DE CARGA SOLAR

Dispositivo encargado de proteger a la batería frente a sobrecargas y descargas profundas. El regulador de tensión controla constantemente el estado de carga de las baterías y regula la intensidad de carga de las mismas para alargar su vida útil. También genera alarmas en función del estado de dicha carga. Los reguladores usan microcontroladores para la gestión de un sistema fotovoltaico. Su programa interno permite un control capaz de adaptarse a las distintas situaciones de forma automática, permitiendo la modificación manual de sus parámetros de funcionamiento para instalaciones especiales.

En un nivel más específico, existen reguladores que memorizan datos y nos dan a conocer cuál ha sido la evolución de la instalación durante un tiempo determinado. Para obtener estos datos se consideran muchos factores diferentes, como los valores de tensión, temperatura, intensidad de carga, y descarga y capacidad del acumulador. Dentro de los reguladores de carga también marcamos la división entre los lineales y los conmutados. [16]

Una de las funciones más importantes del regulador de carga es la carga de baterías la cual se logra a través de tres operaciones: igualación, carga profunda y flotación. La igualación permite realizar de manera automática las cargas de igualación de los acumuladores tras un período de tiempo en el que el estado de carga ha sido bajo. Tras la regulación la igualación el sistema de regulación permite la entrada de corriente de carga a los acumuladores sin interrupción hasta alcanzar el punto de tensión final de la

carga. Alcanzando este punto, el sistema de regulación interrumpe la carga y el sistema de control pasa a la segunda fase que es la de flotación. Al alcanzarse la tensión final de carga, la batería estará alcanzando un nivel próximo al 90% de su capacidad y en la siguiente fase se completará la carga.

Con el fin de realizar la carga final del acumulador, el regulador de carga fotovoltaica establece una zona de actuación del sistema de regulación dentro de lo que se denomina “buena flotación dinámica”. La buena flotación dinámica es un rango de tensión cuyos valores mínimos y máximos se fijan entre la tensión final de carga y la tensión nominal. Cuando se alcanza el valor de voltaje de plena carga de la batería, el regulador de carga fotovoltaica inyecta una corriente pequeña con el fin de mantenerla a plena carga: esto quiere decir que inyecta la corriente de flotación. Esta corriente se encargará entonces de mantener la batería a plena carga y cuando la energía no se consume se empleará en compensar la auto descarga de las baterías. Como vemos el proceso mediante el cual actúa un regulador de carga fotovoltaica no es para nada sencillo.

2.2.1. MPPT (Maximum power point tracking)



Figura 2.0.2: MPPT (Seguidor del punto de máxima potencia)

Fuente: <http://www.mpptsolar.com/>

Seguimiento del punto de máxima potencia. Es el punto en el que un panel fotovoltaico se encuentra en su máxima potencia. Algunos reguladores de carga solares tienen la capacidad electrónica para localizar este punto, es por eso que se llaman controladores MPPT un ejemplo se ilustra en la Figura 2.0.2. [17]

Los MPPT siempre buscan el balance entre voltaje y corriente en el que los paneles solares operan a su máxima potencia. Si utilizamos una curva que grafica el voltaje y la corriente de un panel solar, el punto de máxima potencia se encuentra en el centro de la curva como se ilustra en la Figura 2.0.3. Un controlador de carga con MPPT se va a asegurar que los paneles solares operen lo más cerca posible de este punto, incrementando por consiguiente la producción del arreglo solar.

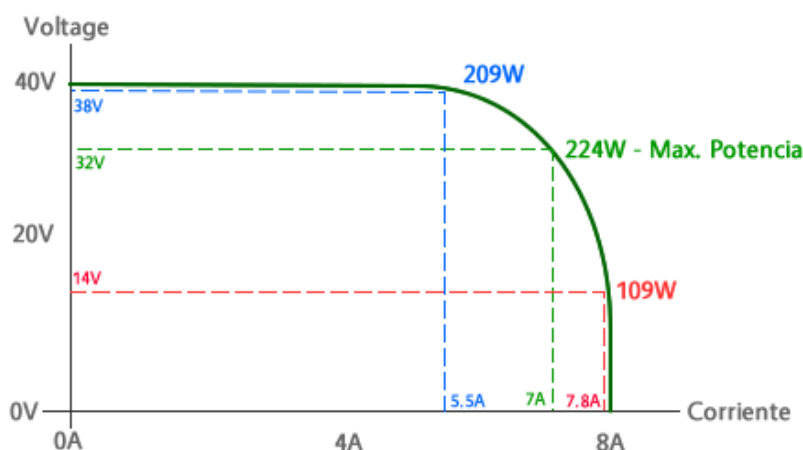


Figura 2.0.3: Curva I-V (Voltaje Vs. Corriente) de Panel Solar

Fuente: <http://www.webosolar.com/>

La única manera de conseguir la máxima potencia de los paneles es usar un controlador MPPT. Como la mayoría de los controles de MPPT puede tomar hasta 150 voltios DC en el lado de entrada del panel solar.

La función de un MPPT es análoga a la transmisión en un coche. Cuando la transmisión está en la marcha equivocada, las ruedas no reciben potencia máxima. Eso es porque el motor está funcionando más lento o más rápido

que su rango de velocidad ideal. El propósito de la transmisión es hacer que el motor haga girar las ruedas, de una manera que permite que el motor funcione en un rango de velocidad favorable a pesar de la variación de la aceleración y del terreno.

El voltaje es proporcional a la velocidad del motor. Su voltaje ideal es aquel en el que se puede sacar la máxima potencia. Esto se conoce como el punto de máxima potencia. (También se le llama tensión de pico de potencia, abreviado V_{pp}). V_{pp} varía con la intensidad de la luz del sol y con una temperatura de célula solar.

El voltaje de la batería es suministrado por el arreglo fotovoltaico el cual proporciona la corriente y tensión necesaria hacia el motor y así obtener mayor velocidad en las ruedas de la tricicleta.

Esto varía con el estado de carga de la batería, y con las cargas en el sistema. Para un sistema de 12 V, que varía de aproximadamente 11V a 14,5V el módulo fotovoltaico debe aplicar un voltaje superior que el de la batería. Si el voltaje pico pico (V_{pp}) del módulo fotovoltaico es sólo ligeramente inferior a la tensión de la batería la corriente disminuye casi a cero.

Por lo tanto, los módulos fotovoltaicos se hacen con un voltaje pico pico (V_{pp}) de alrededor de 17V, medido a una temperatura de célula de 25 °C, ya que este voltaje se reducirá a unos 15V en un día muy caluroso. Sin embargo, en un día muy frío, puede elevarse a 18V.

El MPPT varía la relación entre el voltaje y la corriente suministrada a la batería, con el fin de proporcionar la máxima potencia. A medida que el voltaje pico pico (V_{pp}) del generador fotovoltaico varía con la temperatura y otras condiciones, este rastrea esta variación y ajustara la relación de consecuencia. Así se llama un seguidor del punto de máxima.

Algunos controles de carga tienen un PWM o (Modulación de Ancho de Pulso). Este se utiliza a menudo como un método de carga de flotación que en lugar de una salida continua desde el controlador, envía una serie de pulsos cortos de carga a la batería, pulsos muy rápidos "on-off". El controlador comprueba constantemente el estado de la batería para determinar la velocidad para enviar impulsos, y por cuánto tiempo.

2.2.2. VENTAJA DEL MPPT

Eso depende de su matriz, su clima y su patrón de carga estacional. Te da un impulso de corriente eficaz sólo cuando el voltaje pico a pico (V_{pp}) es mayor a 1V más alto que el voltaje de la batería. En clima caliente, esto puede no ser el caso, a menos que las baterías estén bajas en su carga. En clima frío sin embargo, el Voltaje pico a pico (V_{pp}) puede elevarse a 18V. [18]

2.3. CONVERTIDORES DC-DC

Los conversores conmutados en alta frecuencia son circuitos de potencia donde los semiconductores, conmutan a una frecuencia mucho mayor que la de variación de las formas de onda de entrada y salida del convertidor. Esto permite emplear filtros pasa-bajos para eliminar los componentes armónicos no deseados. Es decir los conversores DC-DC específicamente controlan la carga y descarga de energía en sus elementos pasivos almacenadores de energía (capacitores y bobinas), consiguiendo un cambio en el nivel de una tensión continua; quedando el flujo de energía determinado por el uso y control de elementos conmutadores.

Los conversores DC-DC forman parte de este grupo de conversores, controlan el flujo de energía entre dos sistemas de continua. Ejemplos de aplicación son: fuentes de alimentación CC (Switch Mode Power Supplies, SMPS) para equipamiento electrónico, control de máquinas eléctricas de

corriente continua, etc. Dentro de los convertidores DC-DC se encuentran los siguientes tipos. [19]

- Buck (reductor)
- Boost (elevador)
- Buck-Boost (reductor-elevador)

El principio de funcionamiento será el mismo para todos los convertidores, es el principio de almacenamiento y transferencia de energía en ciclos de conmutación. Durante el primer intervalo del ciclo de trabajo, el convertidor almacena la energía en la bobina, transfiriendo en el segundo intervalo de trabajo esta energía al condensador. El control gobierna los estados de conducción y de bloqueo de los conmutadores.

Aplicaciones

- Control de motores de corriente continua.
- Fuentes de poder DC.
- Tracción de vehículos eléctricos.
- Frenado eléctrico.

2.3.1. CONVERTORES BUCK (REDUCTOR)

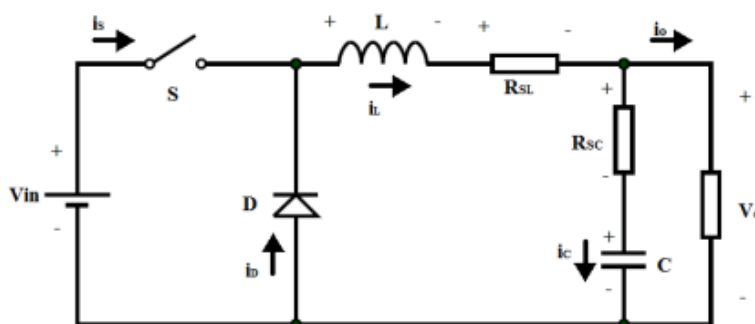


Figura 2.0.4: Esquema de un convertidor DC-DC tipo Buck (reductor)

Fuente: <http://www.scielo.org.co/>

El conversor Buck, es un tipo de conversor conmutado DC-DC también conocido por el nombre de conversor reductor (Step-Down). La función de este conversor es mantener una tensión de salida inferior a la de entrada regulada frente a variaciones de la tensión de entrada o de la carga.

En la Figura 2.0.4, se muestra el esquema del conversor Buck. Este convertidor forma parte de la familia de los convertidores de segundo orden, ya que en él se encuentran dos elementos almacenadores de energía. Se muestra el circuito del convertidor en lazo abierto para realizar un estudio detallado de su funcionamiento y definición de las variables de estados. [20]

2.3.1.1. FUNCIONAMIENTO BÁSICO DEL CONVERTOR BUCK

En un regulador reductor, el voltaje promedio de salida V_o , es menor que el voltaje de entrada V_{in} , de ahí la palabra “reductor”, el interruptor S conmuta a una frecuencia de conmutación $f = \frac{1}{T}$. Se distingue dos modos de operación según si la corriente por el inductor L se anula durante el periodo de operación T o si por el contrario se mantiene a un valor de corriente $I_{L(MIN)}$. [21]

Seguidamente se describen los modos de conducción, y en cada uno de ellos se observarán sus topologías y se obtendrán las ecuaciones características del sistema.

2.3.2. CONVERTOR BOOST (ELEVADOR)

El conversor Boost, es un tipo de convertidor conmutado DC-DC también conocido por el nombre de conversor elevador (Step-Up) o chopper paralelo. La función de este convertidor es mantener una tensión de salida regulada frente a variaciones de la tensión de entrada o de la carga. Su principal aplicación se halla en la fuente de alimentación conmutada (F.A.C.S) y en el frenado regenerativo de los motores DC.

En la Figura 2.0.5, se muestra el esquema del convertidor Boost. En el modelo del convertidor que analizaremos en este proyecto se han incluido tanto la resistencia serie de la bobina, como la resistencia serie del condensador.

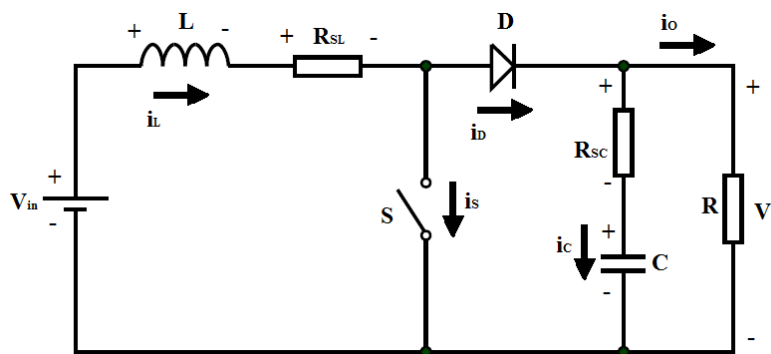


Figura 2.0.5: Esquema de un convertidor DC-DC tipo Boost

Fuente: <http://www.scielo.org.co/>

Este tipo de convertidor también es de segundo orden, ya que en él se pueden apreciar dos elementos almacenadores de energía. Se muestra el circuito del convertidor en lazo abierto para realizar un estudio detallado de su funcionamiento y definición de las variables de estados. [22]

2.3.2.1. FUNCIONAMIENTO BÁSICO DEL CONVERTIDOR BOOST

En un regulador elevador, el voltaje promedio de salida V_o , es mayor que el voltaje de entrada V_{in} , de ahí la palabra “elevador”. Se distingue al igual que en el Buck, dos modos de operación, según la corriente por el inductor L se anule durante el periodo de operación T : MCC y MCD.

En este convertidor, la energía que procede de la entrada V_{in} es conducida por el elemento de conmutación para ser almacenada en la bobina. Este almacenamiento de energía se efectúa durante el periodo de conducción del interruptor, no existiendo durante este intervalo ningún tipo de transferencia de energía a la carga.

Cuando el conmutador se abre, la tensión que se produce en bornes de la bobina se suma a la tensión de la fuente obteniéndose una tensión de salida superior a esta última y con idéntica polaridad. Al mismo tiempo, la energía almacenada previamente por la bobina es transferida a la carga.

Seguidamente se describen los modos de conducción, y en cada uno de ellos se observarán sus topologías, de las cuales se obtendrán las ecuaciones características del sistema.

a) Modo de conducción continua (MCC)

El transistor conmuta periódicamente con una frecuencia de conmutación ($f = 1/T$); por tanto, el circuito presentará dos topologías según el estado en que se encuentre el interruptor. En $t = 0$ comienza a conducir el interruptor S (“topología ON”), el circuito equivalente de esta topología está representado en la Figura 2.0.6.

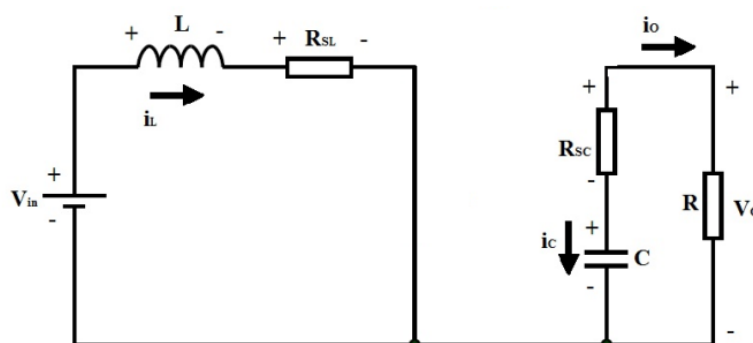


Figura 2.0.6: Convertidor Boost durante intervalo $0 < t < T_{ON}$

FUENTE: <http://www.electronicosonline.com/>

Durante el “intervalo T_{ON} ”, es decir $0 < t < T_{ON}$, en que el interruptor se halla en conducción (“ON”), por lo que solamente se establecerá flujo de corriente a través de la bobina, ya que el diodo se encuentra polarizado inversamente, por lo tanto la corriente que pasará por él será prácticamente nula ($i_D \cong 0$). A lo largo de este intervalo se producirá el almacenamiento de la energía en L . [23]

Por consiguiente, en bornes de la bobina resulta una diferencia de potencial constante de valor igual a la tensión de entrada V_{in} . Durante la “topología ON” se verifican las siguientes expresiones:

$$\frac{dV_C}{dt} = -\frac{V_C}{(R+R_C)\cdot C} \quad \text{Ecuación (2.0.1)}$$

$$\frac{di_L}{dt} = -\left(\frac{R_{SL}}{L}\right) \cdot i_L + \frac{V_{in}}{L} \quad \text{Ecuación (2.0.2)}$$

Un tiempo δT después el interruptor pasa a bloqueo (“topología OFF”). Se producirá una inversión de polaridad en la bobina, debido a la imposibilidad de variar bruscamente la intensidad que pasa por ella por lo que hace conducir al diodo D (diodo de marcha libre) manteniendo así la continuidad de la corriente por L . El nuevo circuito está representado en la Figura 2.0.7.

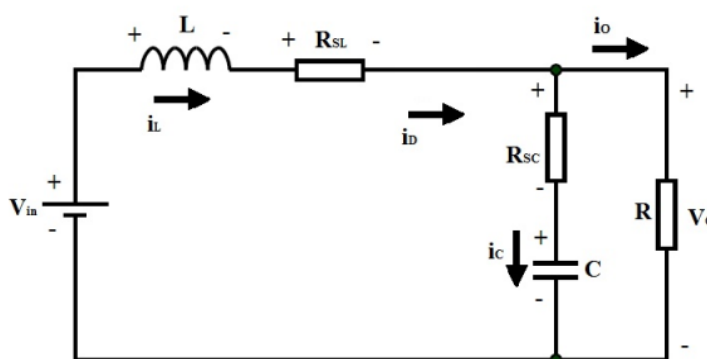


Figura 2.0.7: Convertidor Boost durante, intervalo $T_{OFF} < t < T$

FUENTE: <http://www.electronicosonline.com/>

Ahora la bobina actúa como generador, sumándose su tensión a la tensión existente a la entrada del convertidor. El condensador se carga a través del diodo con una tensión de valor V_{in} menos la tensión inducida en la bobina. Por ello la corriente en la bobina es decreciente mientras el interruptor no entra nuevamente en estado de conducción. Gracias a dicha inversión de polaridad, la bobina actúa como receptor en el primer estado y como generador en el segundo. [24]

El filtro utilizado, C , tiene como misión recibir la energía que previamente ha almacenado la bobina, manteniendo la tensión y corriente de salida durante todo el tiempo que la bobina no entrega energía a la salida.

$$\frac{dV_c}{dt} = - \left(\frac{1}{(R+R_c) \cdot C} \right) \cdot V_c + \left(\frac{R}{(R+R_c) \cdot C} \right) \cdot i_L \quad \text{Ecuación (2.0.3)}$$

$$\frac{di_L}{dt} = - \left(\frac{R}{(R+R_c) \cdot L} \right) \cdot V_c - \left(R_{SL} + \frac{R \cdot R_c}{(R+R_c)} \right) \cdot \frac{i_L}{L} + \frac{V_{in}}{L} \quad \text{Ecuación (2.0.4)}$$

Durante el intervalo de tiempo $T_{ON} < t < T$ en que el convertidor presenta esta “topología OFF” se verifican las siguientes expresiones:

b) Modo de conducción discontinua (MCD)

El modo de conducción discontinua presenta tres topologías. Las dos primeras son iguales a las topologías presentadas para el modo de conducción continua, y la tercera se define cuando los dos elementos conmutadores diodo de marcha libre e interruptor, están bloqueados (OFF) a la vez.

La tercera topología se debe a que la bobina tiene tiempo suficiente para descargar la energía almacenada.

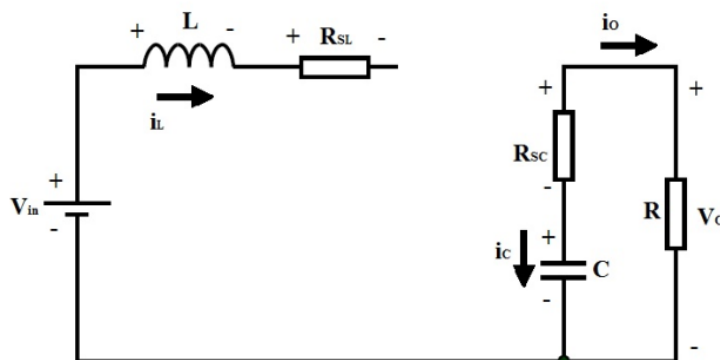


Figura 2.0.8: Convertidor Boost durante, intervalo $T_{OFF} < t < T$

FUENTE: <http://www.geekfactory.mx/>

Si la corriente se anula a partir de algún instante del intervalo $T_{ON} < t < T$, hasta $t = T$. [25] En comienza a conducir el interruptor $t = 0$, el circuito resultante es el mismo que el representado en la Figura 2.0.6. Un tiempo después se desconecta el interruptor y conduce el diodo de marcha libre. El nuevo circuito es el representado en la Figura 2.0.7.

En el instante $t = t_{OFF}$ la corriente i_L se anula, el circuito resultante de esta nueva topología está representado en la Figura 2.0.8.

Por lo que las expresiones para el modo de conducción discontinuo son:

Durante la “topología ON” (S-“ON”, D-“OFF”):

$$\frac{dV_c}{dt} = -\frac{V_c}{(R + R_c) \cdot C}$$

$$\frac{di_L}{dt} = -\left(\frac{R_{SL}}{L}\right) \cdot i_L + \frac{V_{in}}{L}$$

Durante la “topología OFF” (S-“OFF”, D-“ON”):

$$\frac{dV_c}{dt} = -\left(\frac{1}{(R + R_c) \cdot C}\right) \cdot V_c + \left(\frac{R}{(R + R_c) \cdot C}\right) \cdot i_L$$

$$\frac{di_L}{dt} = -\left(\frac{R}{(R + R_c) \cdot L}\right) \cdot V_c - \left(R_{SL} + \frac{R \cdot R_c}{(R + R_c)}\right) \cdot \frac{i_L}{L} + \frac{V_{in}}{L}$$

Durante la “topología OFF’ ” (S-“OFF”, D-“OFF”):

$$\frac{dV_c}{dt} = -\frac{V_c}{(R+R_c) \cdot C} \quad \text{Ecuación (2.0.5)}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \mathbf{0} \quad \text{Ecuación (2.0.6)}$$

2.3.3. CONVERTOR BUCK-BOOST (REDUCTOR-ELEVADOR)

El convertor Buck-Boost, es un tipo de convertidor conmutado DC-DC también conocido por el nombre de convertor “reductor-elevador”. La principal aplicación de este convertidor, que como su nombre indica puede trabajar tanto de convertidor elevador como de reductor, se encuentra en aquellas fuentes conmutadas en las que se desea que la polaridad de la tensión de salida sea contraria a la existente a la entrada del convertor.

En la Figura 2.0.9 aparece la disposición del circuito para un convertor Buck-Boost. Este tipo de convertor se puede obtener a partir de la conexión en cascada de los dos convertidores básicos mencionados anteriormente, Buck y Boost, de tal forma que la razón de conversión del mismo vendrá configurada por el producto de las razones correspondientes a estos dos convertidores.

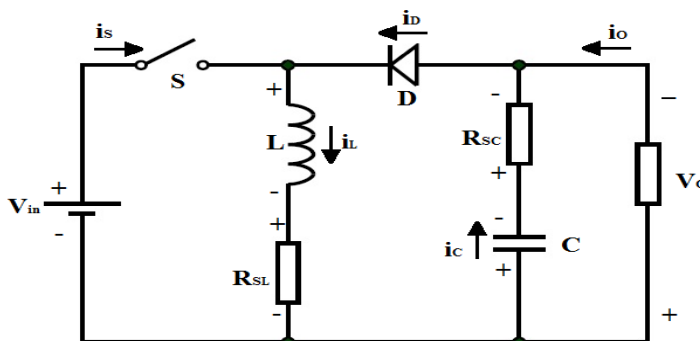


Figura 2.0.9: Esquema de un convertidor DC-DC tipo Buck-Boost

FUENTE: <http://www.geekfactory.mx/>

2.3.3.1. FUNCIONAMIENTO DEL CONVERTIDOR BUCK-BOOST

Un Convertor Buck-Boost suministra un voltaje de salida que puede ser menor o mayor que el voltaje de entrada, de ahí el nombre “reductor-elevador”; la polaridad del voltaje de salida es opuesta a la del voltaje de entrada. Este regulador también se conoce como regulador inversor.

Cuando el interruptor S se cierra, la fuente de entrada V_{in} se conecta a la bobina, al mismo tiempo que el diodo D queda polarizado inversamente. Como consecuencia de esto, la intensidad que circula por la inductancia crece linealmente, almacenando energía. [26]

Transcurrido el T_{ON} , el interruptor se abre, con lo que la energía almacenada previamente en la bobina se transfiere a través del diodo, al resto del circuito. Durante este intervalo, T_{OFF} del convertidor, la fuente no suministra ningún tipo de energía. Se distingue al igual que en los convertidores anteriores, dos modos de operación, según la corriente por el inductor L se anule durante el periodo de operación T : MCC y MCD.

De la misma forma que se realizó los anteriores convertidores, seguidamente se describen los posibles modos de conducción. Para cada uno de ellos se observarán sus topologías, de las cuales se obtendrán las ecuaciones características del sistema.

2.4. BATERÍAS

Existen dos maneras de producir electricidad para aplicarla a usos prácticos: bien mediante maquinas llamadas dinamos de corriente eléctrica, cuando se trata de un consumo apreciable para instalaciones fijas; o mediante el empleo de baterías de pilas secas o de acumuladores, una batería es el dispositivo que proporciona energía eléctrica a los elementos como el motor o el conversor. Ejemplos de baterías se observa en la Figura 2.0.10.

Existen dos clases de almacenadores: el primario (pila), cuya carga no puede renovarse cuando se agota, excepto reponiendo las sustancias químicas de las que está compuesta, y el secundario (baterías), que sí es susceptible de reactivarse sometiéndola al paso más o menos prolongado de una corriente eléctrica continua.



Figura 2.0.10: Batería secas.

FUENTE: <http://www.durapower.com.ec/>

Para proporcionar una rápida aceleración, las baterías de vehículos eléctricos han de tener una gran potencia y energía específicas, respectivamente. Además, deben ser de bajo precio, fáciles de mantener, seguras bajo condiciones de funcionamiento y tolerantes a los abusos que la tricicleta está expuesta en el funcionamiento normal. [27]

2.4.1. CAPACIDAD DE UNA BATERÍA

La capacidad de una batería se define como la cantidad total de electricidad producida en la reacción electroquímica y se define en unidades de coulomb (C) o amperios-hora (Ah), que es la más usada como especificación de las baterías.

La capacidad es determinada por la masa activa de los electrodos y está determinada por la ley de Faraday: Un equivalente-gramo de material produce 96500 C o 26,8 Ah.

Se define capacidad teórica al valor:

$$Ct = xnF \quad \text{Ecuación (2.0.7)}$$

Donde,

x = Número de moles que intervienen en la reacción completa de descarga.

n = Número de electrones que intervienen en la reacción.

F = Número de Fadaray (96500 C).

La capacidad real (C_r), valor obtenido en la práctica, es inferior a la capacidad teórica debido a que la utilización de los materiales activos nunca es del 100%. La capacidad se mide en la práctica descargando la celda a una intensidad hasta alcanzar un valor especificado de la tensión en bornes (tensión de corte). También es ampliamente usado en la comparación de los diferentes sistemas, el término capacidad específica, que es el valor de la capacidad dividida por el peso de la celda y se mide en Ah/kg. [28]

La capacidad de una batería influye según la temperatura ambiente. Si hace mucho frío o calor, la capacidad de la batería disminuye un poco.

Durante el estado de flotación la capacidad máxima de la batería siempre varía. Nunca está fija la capacidad ya que, constantemente se está descargando y cargando. Además es posible que, aun habiendo finalizado la carga, es posible que no esté en su carga máxima y esté un poco por debajo o por encima. Estos fenómenos son totalmente normales.

Esta teoría nos dice cómo interpretar y para qué vale ese dato misterioso de "Ah", y también que el rendimiento de una batería fluctúa con la temperatura ambiente, generalmente extrema, y además, porque en el estado de flotación la capacidad máxima varía.

2.4.2. FUENTE DE POTENCIA PRINCIPAL (MAIN POWER SOURCE)

2.4.2.1. VOLTAJE CONSTANTE

Si no se tiene un control de voltaje constante, las baterías pueden entrar en sobrecarga. En este caso el agua del electrolito se descompone por electrolisis generando más oxígeno del que puede ser absorbido por el electrodo negativo. Este electrolito convierte el oxígeno en hidrógeno, el cual se pierde en el sistema de la batería. De esta manera las reacciones químicas de carga y descarga se vuelven ineficientes y causan un deterioro considerable en la vida útil de la batería. Debido a esto, el control de voltaje se hace indispensable en la carga y descarga de las baterías. [29]

2.4.2.2. CORRIENTE Y VOLTAJE CONSTANTES

Este método de carga de las baterías exige un control para mantener el voltaje y corriente constantes y se logra una carga en un tiempo aproximado de 6 horas. Existen varios tipos de baterías, a continuación destacamos los más utilizados:

- a) **Baterías de Plomo:** Este tipo de baterías son muy económicas y fiables, pero bastante pesadas. Por este motivo, prácticamente ya no se usan en bicicletas eléctricas. Su duración es de unos dos años o 500 ciclos de carga.
- b) **Baterías de Ni-Mh (níquel-metal hidruro):** Son más ligeras que las de plomo, pero son muy delicadas. Requieren una carga y descarga completa y controlada cada cierto tiempo porque tienen efecto memoria. Han quedado eclipsadas por las nuevas tecnologías como las baterías de Litio.
- c) **Baterías de Litio:** Son las baterías más utilizadas actualmente ya que son más pequeñas y ligeras que las anteriores. No tienen efecto memoria y son mucho más ecológicas que las que contienen plomo o

níquel. Como inconveniente tienen un precio elevado. Dentro del litio, hay algunas variedades:

- **Litio-ion:** Fueron las primeras en aparecer. Tienen una cantidad de energía considerable para su peso y una vida de unos 1000 ciclos. Por el contrario, son algo delicadas ante golpes y descargas muy rápidas. En cualquiera de los dos casos existe cierto riesgo de explosión.
- **Litio-Polímero (LiPo):** Es la segunda generación de baterías de Litio. Su principal ventaja frente al litio-ion es que soportan golpes y aceptan tasas de descargas muy altas sin peligro de pérdida de líquido o explosión.
- **Litio Ferroso (LiFe):** Son de última generación. Tienen una vida útil de unos 2000 a 3000 ciclos y no tienen ningún peligro de fuga o explosión. Son capaces de suministrar hasta el doble de su capacidad nominal por breves espacios de tiempo. Además, son más seguras medioambientalmente.
- **Litio-ferrofosfato (LiFePO₄):** Es un tipo de batería que utiliza litiofosfato de hierro como material del cátodo. Presenta ventajas sobre las otras de ion litio como pueden ser una mayor estabilidad térmica y química, un ciclo de vida más largo, respecto a las otras de iones de litio. Como inconvenientes las células LiFePO₄ tienen menor voltaje y densidad de energía
- **Litio-titanato (LiTiO):** La batería de litio-titanato tiene la ventaja de ser más rápida para cargar que otras baterías de ion-litio. Toshiba lanzó una batería de litio-titanato, llamada Super Charge Ion Battery (SCiB) La batería está diseñada para ofrecer un 90% la capacidad de carga en sólo 10 minutos. [30]

Respecto al voltaje de las baterías para la tricicleta eléctricas, tenemos que utilizar un voltaje mayor a 36v. Las baterías con voltaje menor a 24v son más propias de las bicicletas eléctricas plegables y para terrenos llanos; mientras que las baterías con voltajes mayores a 36v se montan en las bicicletas más sofisticadas y para terrenos con elevaciones o para lograr grandes velocidades.

Respecto al tipo de baterías utilizadas en el montaje de la tricicleta varía bastante, principalmente por zonas. Por ejemplo: los americanos utilizan mucho las baterías de metal-hidruro; mientras que en Europa y Japón se acostumbra a montar las baterías de Litio y, en alguna ocasión, nos podemos encontrar con alguna batería de Plomo.

Hoy en día se ha puesto de moda el uso de las baterías de Litio-Ion, en pérdidas de las baterías de NI-MH (níquel e hidruro metálico). las baterías de Litio-Ion, se han convertido en una tecnología de almacenamiento de electricidad muy interesante.

2.4.3. BATERÍAS DE ION DE LITIO. O TAMBIÉN BATERÍA LI-ION.

Actualmente son las más utilizadas por los fabricantes de bicicletas eléctricas, sobretodo, en Europa y Japón. De hecho, las baterías de Panasonic son de Ion de Litio, estas baterías de Panasonic han tenido una gran aceptación por parte de los fabricantes de bicicletas eléctricas. Prácticamente las baterías de Ion de Litio son la última tecnología, aún se sigue desarrollando en diversas investigaciones con la intención de hacerlas funcionar en otros tipos de vehículos. Hoy por hoy, son muy utilizadas en la electrónica de consumo, en las bicicletas eléctricas y en herramientas portátiles.

Las baterías de Ion de Litio son más pequeñas y pesan bastante menos que cualquier otro tipo de batería, con igual carga eléctrica. No tienen efecto memoria. La descarga es lineal, lo que hace más fácil conocer el voltaje real

de la batería y no necesita circuitos reguladores. Tienen una larga vida en los vehículos. La tasa de autodescarga es muy baja, es decir, si no la utilizamos la autodescarga es de menos del 5% de la carga total, este factor depende de la calidad del fabricante. Mientras que en una batería de plomo, la tasa de autodescarga puede llegar a ser del 30% y, en una batería de NI-MH del 20%.

Como inconvenientes diremos que todavía son demasiado caras con respecto a las demás tecnologías en baterías, aunque su precio cada vez se reduce más debido al gran uso que se está llevando a cabo. Las baterías de Ion de Litio, en condiciones de trabajo a temperaturas extremadamente bajas, tienen un menor rendimiento que las baterías de níquel cadmio (Ni-Cad) y las baterías de níquel e metal hidruro (Ni-MH).

Además, las baterías de Ion de Litio tienen un problema de explosión. Debido al uso con temperaturas altas y sumándole el sobrecalentamiento, necesitan circuitos electrónicos para controlar la batería en todo momento. Esta es una desventaja, pero no debe preocuparnos porque gracias a los circuitos de seguridad el posible riesgo de explosión queda totalmente anulado.

2.4.3.1. VENTAJAS

- Una elevada densidad de energía: acumulan mucha mayor carga por unidad de peso y volumen.
- Poco peso: a igualdad de carga almacenada, son menos pesadas y ocupan menos volumen que las de tipo Ni-MH y mucho menos que las de Ni-Cd y Plomo.
- Gran capacidad de descarga. Algunas baterías de Li-Ion las llamadas "Lipo" Litio-ion Polímero que hay en el mercado, se pueden descargar totalmente en menos de dos minutos.

- Poco espesor: se presentan en placas rectangulares. Esto las hace especialmente interesantes para integrarlas en dispositivos portátiles que deben tener poco espesor.
- Mínimo efecto memoria, por lo tanto, los cuidados son otros, completamente diferentes de aquellos que había que tener con las baterías de níquel, por ejemplo, debían ser cargadas cuando su nivel de voltaje está al mínimo.
- Descarga lineal: durante toda la descarga, la tensión varía mucho: si la tensión nominal de una celda de Litio es de 3,6V, la tensión máxima se hallará en torno a 4,2V, mientras que la tensión mínima recomendada es 2,5V para evitar la descarga profunda de la batería y la reducción de su vida útil. Esto significa que la variación de la tensión de celda con respecto al estado de carga es constante. Es decir, la pendiente de la recta dv/dc es constante (si se representa gráficamente, la tensión en función de la descarga es una línea recta). Eso hace muy fácil conocer el estado de carga de la batería con buena precisión.
- Larga vida en las baterías profesionales para vehículos eléctricos. Algunos fabricantes muestran datos de más de 3.000 ciclos de carga/descarga para una pérdida de capacidad del 20% a C/3.
- Facilidad para saber la carga que almacenan. Basta con medir, en reposo, el voltaje de la batería. La energía almacenada es una función del voltaje medido.
- Muy baja tasa de autodescarga: cuando guardamos una batería, ésta se descarga progresivamente aunque no la usemos. En el caso de las baterías de Ni-MH, esta "autodescarga" puede suponer más de un 20% mensual. En el caso de Li-Ion es de menos un 6% en el mismo periodo. Muchas de ellas, tras seis meses en reposo, pueden retener un 80% de su carga.

2.4.3.2 DESVENTAJAS

- Duración media: depende de la cantidad de carga que almacenen, independientemente de su uso. Tienen una vida útil de unos 3 años o más si se almacenan con un 40% de su carga máxima.
- Son costosas: su fabricación es más costosa que las de Ni-Cd e igual que las de Ni-MH, si bien actualmente el precio baja rápidamente debido a su gran penetración en el mercado, con el consiguiente abaratamiento. Podemos decir que se utilizan en todos los teléfonos móviles y ordenadores portátiles del mundo y continúa extendiéndose su uso a todo tipo de herramientas portátiles de baja potencia.
- Pueden sobrecalentarse hasta el punto de explotar: están fabricadas con materiales inflamables que las hace propensas a detonaciones o incendios, por lo que es necesario dotarlas de circuitos electrónicos que controlen en todo momento su temperatura.
- Voltaje muy variable: debido a que la variación de la tensión de celda es muy grande se hace imprescindible utilizar un pequeño convertidor CC/CC en función de la aplicación de la que se trate si se quiere tener una tensión de salida constante. [31]

2.4.4. CARGA DE LAS BATERÍAS.

La carga de las baterías es un punto muy importante que se debe tener en cuenta. La curva de carga es irregular. Y todo ello depende de la carga de la batería. Cuando la batería está totalmente descargada ofrece una resistividad muy baja, mientras que si está bastante cargada, la resistividad de la batería sube. Todo ello deriva de la ley de ohm, cuya fórmula es:

$$I \text{ (intensidad en amperios)} = v \text{ (tensión en voltios)} / r \text{ (resistencia en ohmios)}$$

Una vez cortada la carga, la batería se queda en estado “vegetativo”, es decir, ni cede ni recibe carga. Debido al auto descarga, el cargador está atento para que, si la carga de la batería ha bajado, el cargador vuelva a ceder corriente a la batería. Una vez que vuelva a detectar una pequeña descarga, vuelve a cargar. Este ciclo repetitivo se denomina “estado de flotación”.

Durante la primera media hora, más o menos notaremos que la batería se calienta: es normal. En este caso la batería está funcionando como receptor eléctrico, y no como fuente de energía, y por este motivo, se experimentan pérdidas en forma de calor. Cuando esté mucho más cargada estas pérdidas serán mínimas, tanto que, posiblemente ni se caliente.

Para mantener una batería siempre en buen estado hay que procurar no hacer cargas fuertes. Una carga lenta, de 10, 20 o 30 horas es mucho más recomendable que una carga en media hora. Si cargamos la batería en media hora, el desgaste y deterioro de la batería acortarán su vida útil de forma considerable. Como ejemplo, no sería nada recomendable cargar una batería de 1Ah con una corriente de 10A. El deterioro es considerable. En este caso, la batería cargaría en 10 minutos.

2.4.5. DESCARGA DE UNA BATERÍA

Hay dos formas con las que puede descargarse una batería: “sola” o por el uso. La descarga por el uso es evidente. Nosotros le pedimos una demanda y la batería nos ofrecerá esa demanda siempre y cuando “tenga energía en stock”. Una vez agotada esa energía, la batería se ha descargado.

Otra forma de descargarse es por “auto descarga”. Aunque tengamos la batería encima de una mesa, sin ningún cable conectado, por propia naturaleza de la electricidad y de los componentes de la batería, va perdiendo carga paulatinamente, pero no de forma alarmante si la usamos a

menudo, pero sí es un problema si usamos la batería de forma escasa, ya que el día que la necesitemos, podemos encontrarla descargada.

2.4.6. CORRECTO USO DE UNA BATERÍA.

Para baterías de plomo, nunca hay que dejar que se descarguen totalmente. Pueden quedar inutilizables. Para baterías de níquel o de litio, es mejor cargar la batería cuando esté totalmente agotada, y no interrumpir la carga hasta que no se complete. En baterías de plomo, no hay que girar la batería. Puede salirse el electrolito e impregnar todo de ácido sulfúrico. Es un ácido corrosivo.

Durante la carga de las baterías de plomo, es conveniente abrir los vasos y dejar que respire, y preferiblemente en espacios abiertos. Durante la carga generan hidrógeno y puede ser peligroso. Para todas, se debe vigilar que no se caliente en exceso la batería. Puede provocar diversos daños. Para todas las baterías, intentar en la medida de lo posible, efectuar cargas lentas, si el tiempo lo permite y si el cargador también lo permite.

2.5. MOTOR

Un motor es la parte sistemática de una máquina capaz de hacer funcionar el sistema transformando algún tipo de energía, en energía mecánica capaz de realizar un trabajo. En los automóviles este efecto es una fuerza que produce el movimiento.

Existen diversos tipos, siendo de los más comunes los siguientes:

- Motores térmicos
- Motores de combustión interna
- Motores de combustión externa
- Motores eléctricos

2.5.1. MOTOR ELÉCTRICO

Dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas como se muestra en la Figura 2.0.11.

Son máquinas eléctricas rotatorias compuestas por un estator y un rotor. Algunos de los motores eléctricos pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores o dinamo. Los motores eléctricos de tracción usados en locomotoras o en automóviles híbridos realizan a menudo ambas tareas, si se los equipa adecuadamente o con frenos regenerativos.



Figura 2.0.11: Motor Eléctrico

Fuente: <http://www.portalplanetasedna.com.ar/>

Los motores eléctricos pueden ser impulsados por fuentes de corriente continua (DC), tal como baterías de automóviles o rectificadores de corriente, y por fuentes de corriente alterna (AC) bien sea directamente de la red eléctrica bifásica o trifásica.

2.5.1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS.

Según el tipo de corriente utilizada para su alimentación, se clasifican en:

- a) Corriente Alterna [C.A.]
- b) Corriente Directa [C.D.]

CORRIENTE ALTERNA [C.A.]

Son los tipos de motores más usados en la industria, ya que estos equipos se alimentan con los sistemas de distribución de energías "normales". En la actualidad, el motor de corriente alterna es el que más se utiliza para la mayor parte de las aplicaciones, debido fundamentalmente a que consiguen un buen rendimiento, bajo mantenimiento y sencillez, en su construcción, sobre todo en los motores asíncronos.

CORRIENTE DIRECTA [C.D.] O CORRIENTE CONTINUA [C.C.]:

Se utilizan en casos en los que es importante el poder regular continuamente la velocidad del motor, además, se utilizan en aquellos casos en los que es imprescindible utilizar corriente directa, como es el caso de motores accionados por pilas o baterías. Este tipo de motores debe de tener en el rotor y el estator el mismo número de polos y el mismo número de carbones. Algunas aplicaciones especiales de estos motores son los motores lineales, cuando ejercen tracción sobre un riel, o bien los motores de imanes permanentes. Los motores de corriente continua (CC) también se utilizan en la construcción de servomotores y motores paso a paso. Además existen motores de CD sin escobillas. [32]

2.5.1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA

Un motor funciona con carga cuando está arrastrando cualquier objeto o soportando cualquier resistencia externa (carga) que lo obliga a absorber energía mecánica. Por ejemplo: una batidora encuentra resistencia cuando bate mayonesa; el motor de una grúa soporta las cargas que eleva, el propio cable, los elementos mecánicos de la grúa, el motor de un coche eléctrico

soporta numerosas cargas: el peso de los pasajeros, el peso del propio vehículo, la resistencia que ofrece la superficie del terreno.

Un motor funciona en vacío, cuando el motor no está arrastrando ningún objeto, ni soportando ninguna resistencia externa, el eje está girando libremente y no está conectado a nada. En este caso, el par resistente se debe únicamente a factores internos. Los motores de corriente continua se clasifican según la forma de conexión de las bobinas inductoras e inducidas entre sí. [33]

- Motor de excitación independiente.
- Motor serie.
- Motor de derivación o motor shunt.
- Motor compoud.
- Motor sin escobillas.

2.5.1.3. MOTOR SIN ESCOBILLAS (BRUSHLESS):

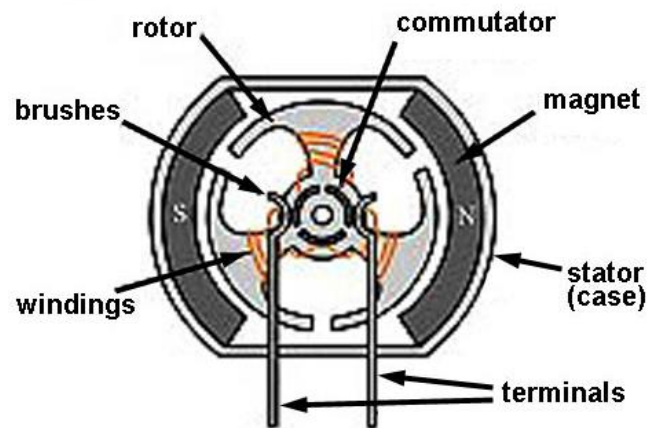


Figura 2.0.12: Modelo del motor Brushless.

Fuente: <http://www.portalplanetasedna.com.ar/>

Son motores síncronos que funcionan con una fuente eléctrica de la CC a través de un enfoque integrado la fuente de alimentación conmutada, lo que produce una señal eléctrica de CA al accionar el motor.

En este contexto, AC, corriente alterna, no implica una forma de onda sinusoidal, sino más bien una corriente bidireccional sin restricciones en forma de onda. Sensores y la electrónica adicionales de control de la amplitud y forma de onda de salida del inversor y la frecuencia.

La parte de rotor de un motor sin escobillas es a menudo un motor síncrono de imán permanente, pero también puede ser un motor de reluctancia conmutada, o un motor de inducción como se puede observar en la Figura 2.0.12.

2.5.1.4. PRINCIPIO DE OPERACIÓN



Figura 2.0.13: Principio de funcionamiento de un motor eléctrico

Fuente: <http://www.areatecnologia.com/>

Se conoce la existencia de dos polos: polo norte (N) y polo sur (S), que son las regiones donde se concentran las líneas de fuerza de un imán. Un motor para funcionar se vale de las fuerzas de atracción y repulsión que existen entre los polos. De acuerdo con esto, todo motor tiene que estar formado con polos alternados entre el estator y el rotor, ya que los polos magnéticos iguales se repelen, y polos magnéticos diferentes se atraen, produciendo así el movimiento de rotación. En la Figura 2.0.13 se muestra como se produce el movimiento de rotación en un motor eléctrico. [34]

2.5.1.5. PARTES FUNDAMENTALES.

Dentro de las características fundamentales de los motores eléctricos, éstos se hallan formados por varios elementos, sin embargo, las partes principales son: el estator, la carcasa, la base, el rotor, la caja de conexiones, las tapas y los cojinetes como se muestra en la Figura 2.0.14. No obstante, un motor puede funcionar solo con el estator y el rotor.

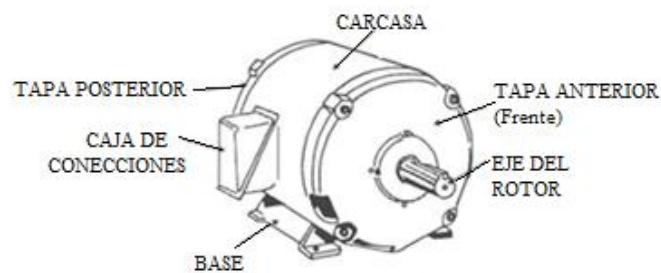


Figura 2.0.14: Partes de un motor eléctrico

Fuente: <http://www.ecured.cu/>

ESTATOR

El estator es el elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. Existen dos tipos de estatores como se muestra en la Figura 2.0.15.

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

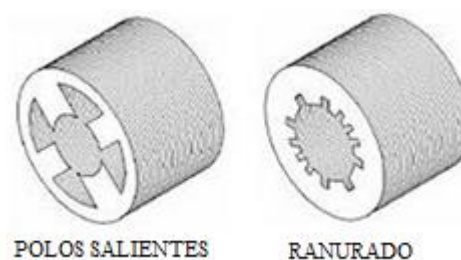


Figura 2.0.15: a) Estator de polos salientes, b) Estator ranurado

Fuente: <http://www.vidasilvestre.org.ar/>

ROTOR

El rotor es el elemento de transferencia mecánica, ya que de él depende la conversión de energía eléctrica a mecánica. Pueden ser básicamente de tres tipos según se muestra en la Figura 2.0.16:

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

El estator está constituido principalmente de un conjunto de láminas de acero al silicio, que tienen la habilidad de permitir que pase a través de ellas el flujo magnético con facilidad; la parte metálica del estator y los devanados proveen los polos magnéticos. Los polos de un motor siempre son pares (pueden ser 2, 4, 6, 8, 10), por ello el mínimo de polos que puede tener un motor para funcionar es dos (un norte y un sur). [35]

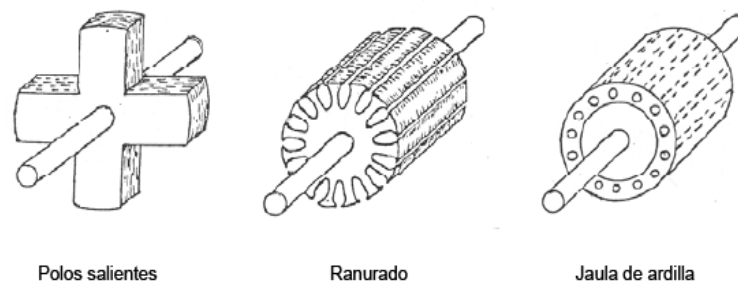


Figura 2.0.16: a) Rotor Polos Salientes, b) Rotor ranurado, c) Jaula de ardilla

Fuente: <http://www.reypastor.org/>

CAPÍTULO III

CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

3.1. CÁLCULOS Y DIMENSIONAMIENTO DEL MOTOR

Los motores de corriente continua para vehículos eléctricos como es el caso de la tricicleta son los más adecuados debido a que los motores de corriente alterna trabajan con altas potencias.

Tabla 3.0.1: Cargas muertas

Carga muerta	Masa (Kg)
Estructura tubular o bastidor	45
Sistema de transmisión y pedales	8
Carrocería	18
Sistema de frenos	5
Suspensión	4
Sistema de dirección	4
Llantas de bicicleta	13
Sistema de cambios de velocidades	2
Sistema eléctrico	4
Celdas fotovoltaicas	3
Baterías	9
Convertidores, controladores	5
Total	120

Para los cálculos que nos ayudarán a la determinación de los parámetros de selección tenemos los siguientes datos proporcionados en las siguientes tablas Tabla 3.0.1 y Tabla 3.0.2

Tabla 3.0.2: Cargas vivas

CARGAS VIVAS	Masa (Kg)
Persona Promedio	80
Motor Eléctrico de 1 KWh	8
Total	88

$$Peso_{total\ cargas} = C. muertas + C. vivas \quad \text{Ecuación (3.0.1)}$$

$$Peso_{total\ cargas} = 120 + 88$$

$$Peso_{total\ cargas} = 208 \text{ kg}$$

Cumpliendo con las bases técnicas de la competencia Atacama Solar Challenge, la tricicleta solar deberá alcanzar una velocidad mínima de 30km/h . Para poder obtener mejores resultados se realizan los cálculos asumiendo una velocidad de 40Km/h .

$$a = \frac{(vf - vin)}{t} \quad \text{Ecuación (3.0.2)}$$

$$a = \frac{(40\text{ Km/h})}{20\text{s}} = 0,5 \text{ m/s}^2$$

$$T = 0,5 \times masa \times r^2 \times \frac{a}{r} \quad \text{Ecuación (3.0.3)}$$

$$T = 0,5 \times masa \times r \times a$$

$$T = 0,5 \times 208kg \times 0,33m \times 0,5 m/s^2 = 17,16 N.m$$

Con un torque de 17,16 Nm se puede movilizar un peso de 208Kg a una velocidad de 40km/h.

Potencia = Torque × velocidad angular(rpm) Ecuación (3.0.4)

$$w_{\theta} = \frac{\text{Velocidad}}{\text{Radio}} \text{ Ecuación (3.0.5)}$$

$$w_{\theta} = \frac{40 \frac{km}{h}}{0,33m}$$

$$w_{\theta} = \frac{11,11 \frac{m}{s}}{0,33m} = 33,67 \text{ rpm}$$

Con una velocidad angular de 33,67 rpm y un torque de 17,16Nm podemos calcular la potencia de salida que necesita el motor.

$$P = 17,16Nm \times 33,67 \text{ rpm}$$

$$P = 577,77 W$$

Teniendo una potencia de salida de 577,77 W y con una eficiencia del 72% se puede calcular la potencia de entrada para el motor.

$$n = \frac{\text{Pot salida}}{\text{Pot entrada}} \times 100\% \text{ Ecuación (3.0.6)}$$

$$\text{Pot entrada} = \frac{577,77 W}{72 \%} \times 100\%$$

$$\text{Pot entrada} = 802,45 W$$

Para un volate de 48 V

$$P = V \times I \text{ Ecuación (3.0.7)}$$

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{802,45 \text{ W}}{48 \text{ V}} = 16,7177A$$

3.1.1. PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO.

Para seleccionar un motor se deben considerar varios parámetros que se detallan a continuación.

3.1.1.1. RESISTENCIA A ALTAS TEMPERATURAS

El motor deberá ser resistente para trabajar en altas temperaturas y expuesto a agentes externos como: polvo, tierra, asfalto, agentes detergentes, ya que este será destinado para la competencia “Atacama Solar Challenge ” en el desierto de Atacama-Chile.

3.1.1.2. POTENCIA Y TORQUE

El motor a usar deberá tener una potencia mínima de 802,45V y una corriente de 16,7177A para así poder movilizar el peso total de la tricicleta.

Para poder cumplir con las reglas de la competencia y pueda desplazarse a una velocidad mínima de hasta 40 Km/h deberá tener un torque de 17,16 Nm teniendo en cuenta que con el motor a seleccionar deberá obtener un 30% más de torque para trayectorias de hasta 20° de inclinación.

Con 20° de inclinación.

$$T = 22,30 \text{ N.m}$$

3.1.1.3. PESO

El motor deberá ser ligero, ya que, al tratarse de un vehículo para una competencia de pedaleo asistido, el peso es un factor determinante en la autonomía y desempeño en la carrera bajo condiciones climáticas extremas.

Como se menciona en la Tabla 3.0.2, los pesos máximos de cargas vivas dimensionadas para la estructura, el motor no debe ser mayor a 8Kg.

3.1.1.4. VELOCIDAD

La velocidad se puede limitar por varios factores, principalmente por el peso de cargas vivas y muertas de la tricicleta.

3.1.1.5. EFICIENCIA

La eficiencia es un factor muy importante ya de este dependerá el aprovechamiento de energía que proviene de las baterías para mantener una velocidad constante por mayor tiempo en el motor.

El motor con una eficiencia del 72% convierte energía eléctrica en mecánica y pierde el 28% en el proceso de conversión.

3.1.1.6. COSTO

Es un limitante al adquirir el motor, de este dependerán los anteriores factores, como son: voltaje, potencia, torque, resistencia alta temperaturas, peso, eficiencia.

3.1.1.7. INFORMACIÓN

La información que nos proporciona el fabricante del motor, es muy útil para la selección, adquisición del mismo, una mínima información nos dará como resultado una incorrecta selección.

3.1.2. SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO

De acuerdo a los requerimientos

Tabla 3.0.3: Información técnica de los motores eléctricos

MARCA	GOLDEN MOTOR	BIONX	EGO MOTORS
PROCEDENCIA	China	Canadá	Alemania
MODELO	Magic Pie III	BionX Hub Motor Kit	1200W/2400W EGO Kits
TIPO	brushless	brushless	Brushless
UBICACIÓN	EMPOTRADO EN LLANTA	EMPOTRADO EN LLANTA	EXPUESTO JUNTO A LA CATALINA
VOLTAJE	24, 36, 48[V]	36, 48 [v]	52 [v]
POTENCIA MÍNIMA	500 [w]	250 [w]	1200 [w]
POTENCIA MÁXIMA	1000 [w]	350 [w]	2400 [w]
MANTENIMIENTO	Libre	Libre	Libre
AUTONOMÍA	30 Km	37,7 Km	40Km
TORQUE	27,66 Nm	Nd	30 Nm
EFICIENCIA EN PENDIENTES	30%	Nd	80%

CONTINÚA 

MARCA	GOLDEN MOTOR	BIONX	EGO MOTORS
DISPONIBILIDAD	Inmediata	Inmediata	Tiempo de espera 2 meses
PESO	7,5 [kg]	8,8 [Kg]	10,1[kg]
INCLUYE BATERÍAS	SI	NO	NO
FRENADO REGENERATIVO	SI	SI	NO
CONTROLADOR INTEGRADO	SI	SI	NO
DIÁMETRO	320 [mm]	Nd	Nd
LONGITUD	135[mm]	Nd	Nd
PRECIO SIN IMPORTACIÓN	3,250.50	2,000.00	3,958.00
IMAGEN			

La Tabla 3.0.3 facilita la información de los motores que más se ajustan a los requerimientos de torque velocidad máxima y potencia necesaria para la tricicleta.

3.1.2.1. MATRIZ DE SELECCIÓN DEL MOTOR.

El motor seleccionado es el Golden Motor Magic Pie III con una puntuación de 76/100 (Tabla 3.0.4) el motor seleccionado se observa en la Figura 3.0.1.

Tabla 3.0.4: Matriz de Selección del motor

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	GOLDEN MOTOR	BIONX	EGO MOTORS
RES. A ALTAS TEMPERATURAS	10	8	7	5
POTENCIA	20	14	10	18
TORQUE	10	7	6	8
PESO	20	18	12	10
COSTO	20	16	18	12
EFICIENCIA EN PENDIENTES	10	5	3	7
VULNERABLE A LAS PERDIDAS	10	8	7	4
TOTAL	100	76	63	64

3.2. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

El controlador es un componente muy importante en la realización de la tricicleta, es el que determina la velocidad del motor, este debe ser lo más compacto y eficiente, ya que, el espacio en la tricicleta debido que es para competencia es limitado. El dispositivo de control para su correcta selección debe cumplir los siguientes criterios que a continuación se detallan:

3.2.1. TIPO DE CORRIENTE Y TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN.

Los controladores vienen fabricados para corriente alterna como continua dependiendo del tipo de la labor que van a realizar, esta observación se debe tener en cuenta principalmente al momento de la instalación, para el caso de la tricicleta nos concentraremos en un controlador de corriente continua (DC).

El nivel de tensión al cual va a ser conectado el dispositivo en vista que en el mercado tanto nacional como internacional los podemos encontrar en diferentes niveles de voltaje. Ciertos dispositivos necesitarán otros datos como el nivel de corriente de rotor bloqueado o estudios de cortocircuito del sistema e incluso el tiempo que tardará el motor en arrancar, para poder obtener el valor cercano al cual deberán ser calibrados los dispositivos de protección y control.

3.2.2. COMPATIBILIDAD CON EL MOTOR

El controlador debe ser compatible con el motor seleccionado, Golden Motor Magic Pie III Multivoltaje 24V a 48V. 1000W de corriente continua.



Figura 3.0.1: Motor Magic Pie III Multivoltaje 24V a 48V. 1000W.

Fuente: <http://www.goldenmotor.com/>

El motor tiene tres cables de energización y un conector correspondiente al sensor Hall. Por tal motivo lo más conveniente es seleccionar un controlador de la misma marca, siempre y cuando cumpla con todos los criterios de selección.

3.2.3. POTENCIA NOMINAL DE LA CARGA

La potencia nominal viene determinada por la potencia del motor para nuestro caso es 1000 W, recordemos que esto debe ir de acuerdo a la carga que el motor va a mover. Por lo tanto este valor de la potencia dependerá directamente de la potencia del motor, y su correcto dimensionamiento tomando en cuenta los factores que pueden afectar el desempeño del mismo.

En el caso de elegir de manera errónea la potencia de carga del dispositivo de control, se deteriorará a mediano o corto plazo, especialmente en las partes que soportan las corrientes del mismo. Provocando que deba ser cambiado de manera casi inmediata. Por ejemplo en el caso del motor, los bobinados se destruirán debido a que la corriente para el que fueron diseñados es muy pequeña para la que están soportando.

3.2.4. PESO

En general los sistemas de control son ligeros, por lo tanto estos no inciden mayormente en la autonomía y desempeño de la tricicleta, pero cuanto de menor peso sea será mucho mejor ya que al momento de la competencia, esta característica puede influir mucho.

3.2.5. CONDICIONES DE SERVICIO

En nuestro caso el motor entrará en funcionamiento varias veces durante la competencia, ocasionando que los dispositivos de control trabajen con corrientes elevadas tanto de corte como de arranque. Por lo que las condiciones de servicio se refieren al tipo de servicio que presta el dispositivo y que va a experimentar, por lo que puede ser de servicio ligero, normal, duro y extremo.

Si la elección de la condición de servicio es errónea de una de uso extremo por uno de duro, normal o ligero uso, ocasionará que el dispositivo se deteriore en poco tiempo cosa que no ocurre en el caso que la elección sea de manera adecuada, pero en ese caso tendremos problemas con los costos del mismo, debido a que un dispositivo de uso extremo tiene un mayor costo porque sus componentes están diseñados para este tipo de servicio, relación con uno de ligero uso, en la implementación de la tricicleta se tendrá que seleccionar una de condición extrema ya que la competencia se realizara en el desierto de atacama el cual presenta condiciones intensas para el funcionamiento de la tricicleta.

3.2.6. TIPO DE CIRCUITO

El circuito que va a alimentar puede ser el de potencia o para el de control, a partir de este segundo se tiene también en cuenta si el número de contactos auxiliares que se necesitan en el mismo dispositivo. Tomando mucho en cuenta que se poseen dispositivos con contactos normalmente cerrados y abiertos, en esos casos deberemos indicar el tipo de contactos que se requieran.

Un dispositivo de control no puede ser utilizado por un dispositivo de potencia, en primer lugar las corrientes para el cual es diseñado el de control son menores a los de potencia por lo tanto sus componentes son de inferior calidad. Por lo tanto bajo ningún criterio se recomienda el uso de uno por otro, teniendo en cuenta que la tricicleta trabaja con niveles de corriente y voltajes bajos en DC el circuito el tipo de circuito que se usara es de control.

3.2.7. DIMENSIONES




Es un factor muy importante ya que en la tricicleta solar no se posee gran espacio, se debe elegir el controlador de menores dimensiones posibles.

3.2.8. SELECCIÓN DEL CONTROLADOR

De acuerdo al motor seleccionado, se puede elegir entre los siguientes tipos de controladores como se ve en la Tabla 3.0.5.

Tabla 3.0.5: Información técnica del controlador

MARCAS	GOLDEN MOTOR	GOLDEN MOTOR2	GOLDEN MOTOR3
PROCEDENCIA	china	china	china
MODELO	HPC300	HPC700	Magic pie III
TIPO	Brussless Motor Controller	Brussless Motor Controller	Brussless Motor Controller
VOLTAJE	48 [v]	48 [v]	48 [v]
CORRIENTE DE FASE	180 [A]	420 [A]	22 [A]
CORRIENTE MÁXIMA POR MINUTO	360 [A]	840[A]	45[A]
EFICIENCIA	98%	98%	98%
PESO	2,2 kg	5,7 kg	0.8kg
REFRIGERACIÓN	Aire	Aire	Aire
ANCHO	191,5[mm]	200[mm]	80[mm]
			CONTINÚA 

MARCAS	GOLDEN MOTOR	GOLDEN MOTOR2	GOLDEN MOTOR3
LONGITUD	146,5[mm]	276[mm]	150[mm]
ALTURA	76,45[mm]	101,25[mm]	10[mm]
PRECIO SIN IMPORTACIÓN	395	830	incluye con el motor
IMAGEN			

3.2.8.1. MATRIZ DE SELECCIÓN DEL CONTROLADOR

Tabla 3.0.6: Matriz de selección del controlador

CRITERIO DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	GOLDEN MOTOR	GOLDEN MOTOR	GOLDEN MOTOR
MODELO		HPC300	HPC700	Magic pie III
GEOMETRÍA	0.1	8	7	9
VOLTAJE	0.3	9	9	9
AMPERAJE NOMINAL	0.2	6	3	9
AMPERAJE PICO	0.05	6	3	9
PESO	0.1	10	4	9
PRECIO	0.15	8	4	9
EFICIENCIA	0.1	9.8	9.8	9.8
RESULTADO	1	8.18	6.13	9.08

El controlador seleccionado son magic pie III 48V de GOLDEN MOTOR con una puntuación de 9.08/10 como se verifica en la Tabla 3.0.6.

3.2.8.2. SIMULACIÓN DE CONVERTOR

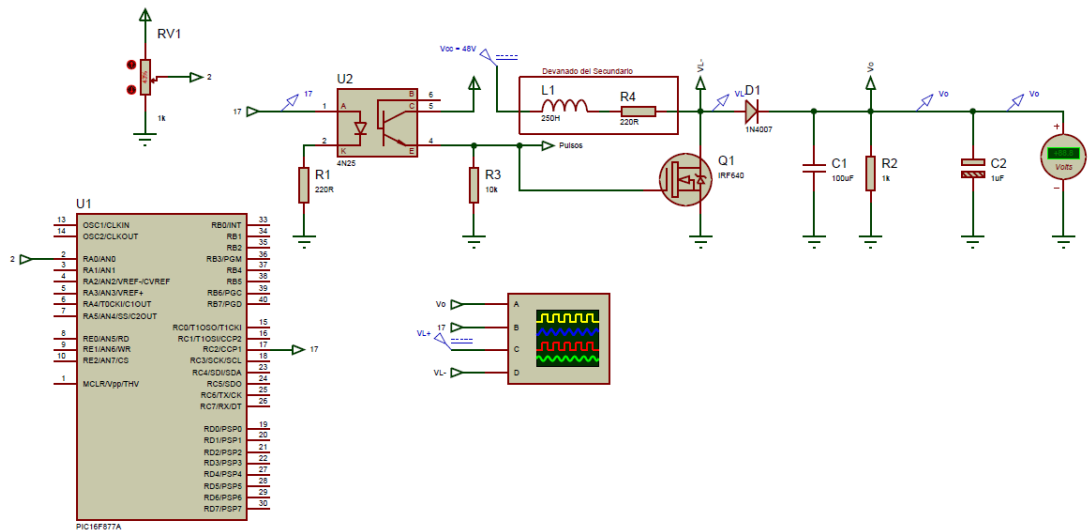


Figura 3.0.2: Circuito de simulación convertor DC/DC



Figura 3.0.3: Voltaje de salida

El controlador posee internamente un conversor boost según se muestra en la Figura 3.0.2 que es la simulación del circuito del conversor.

Además en la Figura 3.0.3 se observa el voltaje de salida de este circuito.

3.3. CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE BATERÍAS

De acuerdo a los datos del motor seleccionado, el voltaje y la potencia que se utilizara para la movilización de la tricicleta son:

$$\text{Potencia: } 1000W \qquad \text{Voltaje: } 48V$$

Teniendo como dato también que la cantidad de energía que requerirá el motor en una hora es $1000Wh$.

La cantidad de amperios hora requeridos para su funcionamiento es:

$$\frac{1000Wh}{48V} = 20.83Ah$$

3.3.1. PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE BATERÍAS

La selección de baterías determinara el rendimiento y autonomía de la tricicleta en el momento de la carrera.

3.3.1.1. TENSIÓN Y CORRIENTE ELÉCTRICA

Partiendo de los parámetros que necesita que el motor y el controlador para su pleno funcionamiento las baterías deberán proporcionar un voltaje de 48 Voltios, y 12 Ah, debido a que el motor consume un aproximado de 1000W. En el mercado nacional las baterías que más se ajustan al requerimiento de la tricicleta son las baterías de auto, las cuales tienen 12 voltios, es decir se deberá hacer una conexión de 4 baterías en serie como

se muestra. Las baterías son como los depósitos de gasolina de las motos. Cuanto más grandes son y más "electricidad" puedan contener, más autonomía tendrá la tricicleta.

Determinar el tamaño de una batería es muy sencillo solo hay que multiplicar los voltios por los amperios de dicha batería. Por ejemplo, una batería de $24V$ y $8Ah$ tiene un tamaño de $192 Wh$ mientras que una batería de $36V$ y $10Ah$ tiene un tamaño de $360Wh$.

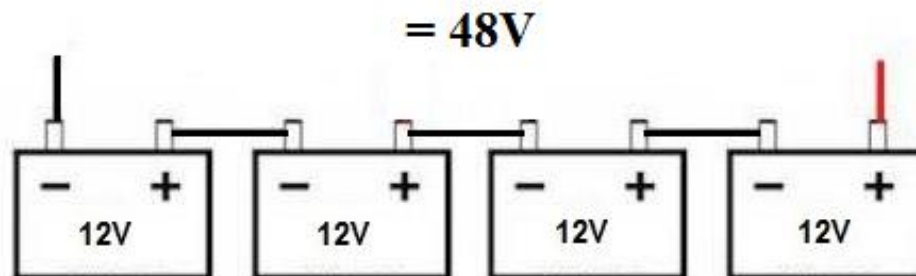


Figura 3.0.4: Conexión de baterías en serie.

La conexión serie entre baterías nos permite obtener una salida cuádruple de la tensión nominal de las baterías individuales manteniendo la corriente de las baterías.

3.3.1.2. AUTONOMÍA

A la hora de declarar la autonomía de la tricicleta, está determinada con el uso de las baterías principalmente, pero también depende de muchos factores como la eficiencia de las ruedas, diámetro de las mismas, terreno, peso del ciclista y funcionamiento del sistema en general.

Con más precisión la autonomía mínima de una batería eléctrica se calcula multiplicando los voltios por los amperios (volts x ah). El resultado nos proporciona los vatios/horas (Wh) que tiene una batería. Ahora sabemos cuanta "electricidad" puede almacenar la batería. Para calcular la autonomía

hay que considerar el gasto de electricidad de la bicicleta. Una bicicleta con motor un 250w que puede desarrollar una velocidad Max. de 25km/h, gastará 250W en una hora, y hará 25km. Por lo tanto la formula general es:

$$Autonomia, (Km) = \frac{voltios \cdot Amperios \cdot Velocidad_Max}{Potencia\ Motor} \text{ Ecuación (3.0.8)}$$

En la Tabla 3.0.7 se muestra algunos ejemplos de autonomía del motor

Tabla 3.0.7: Ejemplos de Autonomía del motor

BATERÍA	POTENCIA MOTOR	VELOCIDAD MAX	AUTONOMÍA
36V-10Ah	250 W	25km/h	$36 \times 10 \times 25 / 250 = 36 \text{ Km}$
24V-8Ah	250 W	25km/h	$24 \times 8 \times 25 / 250 = 19 \text{ Km}$
48v-20Ah	1000 W	50Km/h	$48 \times 20 \times 50 / 1000 = 48\text{Km}$
48v-15Ah	1000 W	50Km/h	$48 \times 15 \times 50 / 1000 = 36\text{Km}$
48v-10Ah	1000 W	50Km/h	$48 \times 10 \times 50 / 1000 = 24\text{Km}$

3.3.1.3. PESO

Se deberá tomar en cuenta que el peso de las baterías debe estar entre el 10% y 15% del peso total de la tricicleta, ya que, las baterías podrían rebasar la capacidad de peso de la tricicleta.

3.3.1.4. TECNOLOGÍA

Las baterías deben ser libres de mantenimiento. Las baterías no deberán tener efecto memoria, por lo que no hay que dejarlas descargar completamente. De hecho, es mejor cargarlas después de cada uso y almacenarlas siempre a carga completa. Si se van a dejar sin usar durante

un tiempo largo, es recomendable cargarlas una vez cada dos meses. Las baterías deberán ser compactas para permitir manejar más carga, lo que hay que tener en cuenta para lograr que la tricicleta sea más práctica.

3.3.1.5. EFECTO MEMORIA EN LAS BATERÍAS

El "Efecto memoria" es un fenómeno que reduce la capacidad de las baterías con cargas incompletas. Se produce cuando se carga una batería sin haber sido descargada del todo: se crean unos cristales en el interior de estas baterías, a causa de una reacción química al calentarse la batería, bien por uso o por las malas cargas. Para prevenirlo no hace falta esperar a descargar totalmente la batería antes de realizar una carga; basta con que una de cada pocas cargas sea completa.

Las baterías que tienen efecto memoria son:

- Batería de Ni-Cd

Las baterías que no tienen efecto memoria:

- Batería de plomo y ácido SLA
- Batería Níquel Mh
- Batería de iones de litio y polímero de litio

También en las baterías sin efecto memoria se recomienda una descarga completa y carga completa de vez en cuando. En las de litio se recomienda una vez al mes si se usan habitualmente.

Otras baterías no químicas tampoco tienen ningún efecto memoria, como las baterías inerciales o los condensadores de alta capacidad.

Otro fenómeno similar que afecta a las baterías de li-ion es la pasivación que se produce cuando se deja la batería mucho tiempo sin usar o se hacen pequeñas cargas.

3.3.1.6. GEOMETRÍA

En la actualidad, los modelos de baterías tienen diferentes formas y tamaños. Desde la batería que puede ir montada en un transportín especial a aquellas con forma de botella, ideales para alojar en el hueco del portabidones o las baterías más rectangulares y ligeras de menos de 5 kg de peso y que se pueden colocar en cualquier parte del cuadro de la tricicleta. La geometría de la batería es un factor muy importante ya que en la tricicleta no permite la adaptación de baterías grandes, por tal motivo se debe elegir las baterías de menor dimensión.

3.3.1.7. VIDA ÚTIL

Las baterías están sujetas a desgastarse con el paso del tiempo las baterías almacenan menos electricidad y por lo tanto tendrán menos autonomía.

Este proceso químico de desgaste, que empieza desde el momento de su fabricación, aumenta con el uso. Es por esta razón que la batería seleccionada deberá ser de larga duración es decir mayor a 500 ciclos de vida.

3.3.2. SELECCIÓN DE BATERÍAS

Las baterías pueden ser seleccionadas del mercado nacional o internacional entre las cuales podemos mencionar.

Tabla 3.0.8: Información técnica de las baterías

MARCA	GOLDEN MOTOR	BIONX	GOLDEN MOTOR
PROCEDENCIA	China	Alemania	China
MODELO	Battery 36V10Ah	Bionx limn	Battery 48V10Ah
VOLTAJE	36V	48V	48V
AMPERAJE NOMINAL	10Ah	6,3 Ah	10Ah
CORRIENTE DE CARGA	2.5A	3A	3 ^a
MATERIAL QUÍMICO	lones de litio (li-ion)	Litio-óxido de manganeso (liMn)	lones de litio (li-ion)
RESERVA	40A	55A	60 A
PESO	3.5Kg	5Kg	4.5Kg
ANCHO	95mm	162mm	153mm
LONGITUD	320mm	350mm	370mm
ALTURA	95mm	100mm	85mm
POTENCIA	120W	100W	150W
CICLO DE VIDA	600 ciclos	800 ciclos	1000 ciclos
IMAGEN			

3.3.2.1. MATRIZ DE SELECCIÓN DE BATERÍAS

Tabla 3.0.9: Matriz de Selección de las baterías.

CRITERIO DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	GOLDEN MOTOR	BIONX	GOLDEN MOTOR
MODELO		BATTERY 36V10AH	BIONX LIMN	BATTERY 48V10AH
GEOMETRÍA	0.05	7	5	9
VOLTAJE	0.1	7	10	10
AMPERAJE NOMINAL	0.1	7	6	7
AUTONOMÍA	0.15	6	5	9
TECNOLOGÍA	0.25	8	7	8
DENSIDAD ENERGÉTICA	0.3	7	6	8
VIDA ÚTIL	0.05	6	8	9
RESULTADO	1	7.05	6.55	8.35

Las Baterías seleccionadas son BATTERY 48V 10Ah de GOLDEN MOTOR con una puntuación de de 8,35/10 como se visualiza en la Tabla 3.0.9.

Al tener una batería de 48V y 10 Ah podemos calcular que su capacidad de energía en la batería es:

$$\text{Capacidad de energía de batería} = V \times Ah \text{ Ecuación (3. 0.9)}$$

$$\text{Capacidad de energía de batería} = 48V \times 10Ah = \mathbf{480Wh}$$

Debido a que tenemos un motor que proporciona una potencia máxima de 1122,09 W y con el voltaje de almacenamiento en las baterías de 48V, podemos calcular su tiempo de descarga aproximado.

$$\frac{1122,09 \text{ w}}{48 \text{ V}} = 23,37A$$

$$\frac{10Ah}{23,37A} = 0,42 \text{ h} \times 60 \text{ min} = 25,67min \cong \mathbf{25 \text{ min}}$$

Con este resultado se puede concluir que el tiempo de descarga sería de aproximadamente de 25 min por batería.

Se utilizará dos baterías, teniendo una capacidad de 20Ah.

$$Tiempo = \frac{20Ah}{20.83A} = 0.96\text{Hora} \approx \mathbf{57min}$$

El tiempo de descarga del arreglo de las dos baterías será de 57 min .

Para establecer el régimen de carga con el cargador y con los paneles se establece las siguientes relaciones.

3.3.2.2. RÉGIMEN DE CARGA CON EL CARGADOR

Consideramos, que el tiempo de carga de una batería es de 3 $Horas$ con el cargador cuyos datos de placa son 3A y 48V .

$$Tiempo \text{ carga} = \frac{\text{Capacidad bateria}}{\text{Capacidad cargador}} \text{ Ecuación (3.0.10)}$$

$$Tiempo \text{ carga} = \frac{10Ah}{3A} \approx 3horas$$

3.3.2.3. RÉGIMEN DE CARGA CON PANELES SOLARES

Aplicando el mismo criterio con la cantidad de corriente que puede suministrar el arreglo fotovoltaico en un día promedio, se ha medido un valor promedio de 5.5A.

$$Tiempo\ carga = \frac{Capacidad\ bateria}{Capacidad\ cargador}$$

$$Tiempo\ carga = \frac{10Ah}{5.5A} \approx 1.8horas \approx 1hora\ 50min$$

3.3.2.4. MODELO UTILIZADO

Se utiliza el modelo propuesto en la Figura 3.0.5, cuyo esquema eléctrico se muestra en la siguiente figura, y que se utilizó con éxito para modelar el comportamiento de una batería similar en otra investigación que se nombrara posteriormente, modificando el procedimiento para calcular los parámetros del modelo.

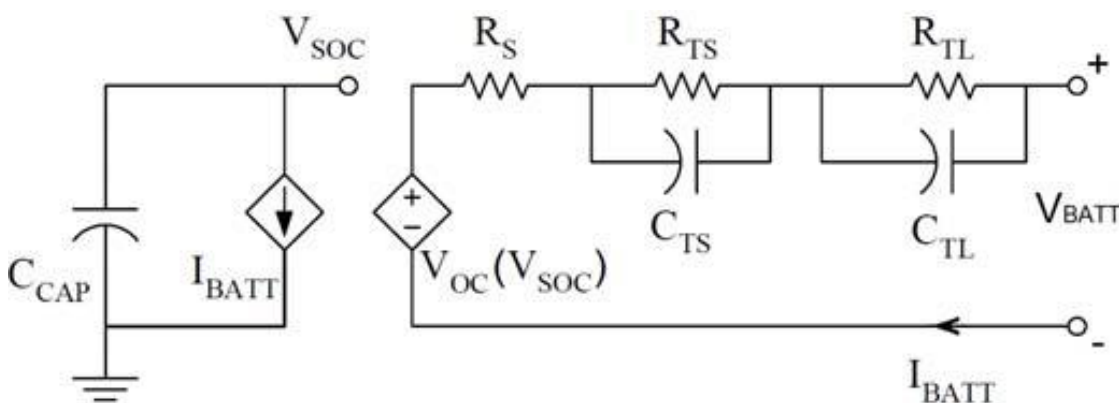


Figura 3.0.5: Modelo usado para la simulación de baterías

Fuente: <http://www.scielo.org.co/>

La principal ventaja de este modelo es que está dado en términos de un diagrama eléctrico, por lo que sus parámetros son magnitudes eléctricas y puede simularse fácilmente en Spice, Simulink o programas similares.

El modelo consiste en dos circuitos separados, relacionados entre si por una fuente de tensión controlada por tensión y una fuente de corriente controlada por corriente. Uno de los circuitos modela la capacidad de almacenamiento de energía de la batería y la carga almacenada durante los procesos de carga o descarga. El otro describe la resistencia interna de la batería y el comportamiento transitorio ante distintas cargas.

a) Resistor serie R_S :

El resistor serie modela la resistencia interna, que es la responsable de la caída de tensión instantánea que se produce ante un escalón en la intensidad demandada a la batería. Teniendo en cuenta la tensión en terminales de la batería y considerando que en el instante final de cada periodo de descarga la intensidad pasa de un valor constante a cero amperios, se tiene que:

$$R_S = \frac{V_{BAT}(t^+) - V_{BAT}(t^-)}{i_{desc}} \quad \text{Ecuación (3. 0.11)}$$

b) Redes RC:

Suponiendo que el periodo de descarga previo al periodo de reposo es lo suficientemente largo como para que los términos exponenciales de la red RC sean despreciables, y dado que durante el periodo de reposo la intensidad proporcionada por la batería es nula, la tensión en bornes de la batería viene descrita por:

$$V_{BAT}(t) = V_{oc}(SOC) - V_{ts,0} \cdot e^{-\frac{t}{R_{TS}C_{TS}}} - V_{TL,0} \cdot e^{-\frac{t}{R_{TL}C_{TL}}} \quad \text{Ecuación (3.0.12)}$$

En la siguiente Tabla 3.0.10 se resumen los valores de los elementos, para calcular el voltaje de la batería:

Tabla 3.0.10: Valores de elementos para calcular voltajes.

R_s	0.0234	Ω
R_{TS}	0.0245	Ω
C_{TS}	3384	F
R_{TL}	0.0216	Ω
C_{TL}	20249	F

3.3.2.5. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

En la Figura 3.0.6 se representan el proceso de descarga de la batería desde el estado de máxima carga. Dado que los parámetros del modelo se obtuvieron a partir de varios procesos de descarga, siendo más numerosos los realizados a mayor intensidad, la respuesta de la simulación a intensidades altas es más precisa.

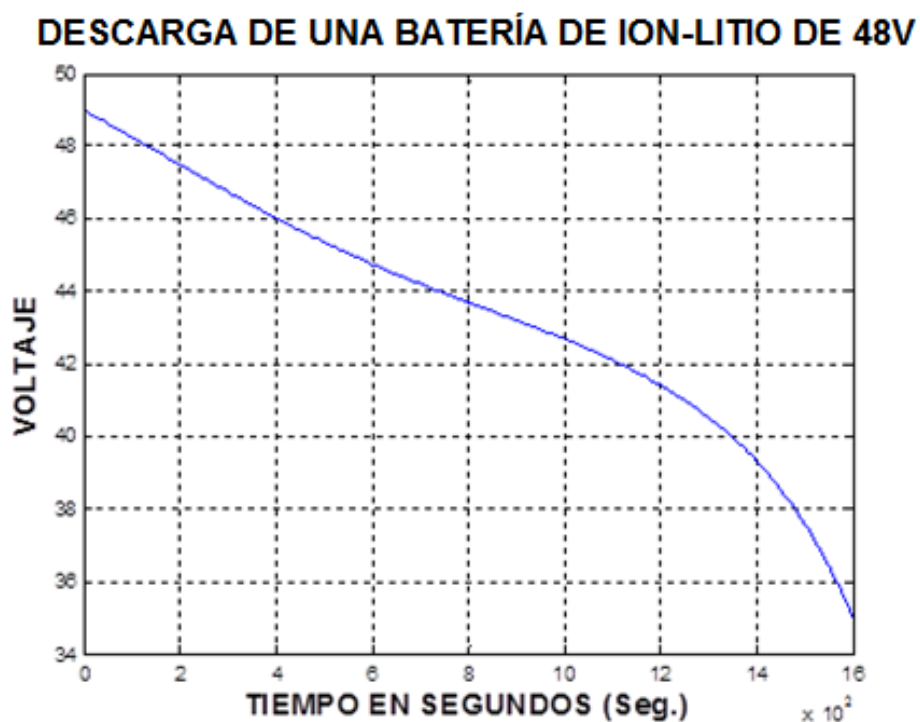


Figura 3.0.6: Modelo de descarga de una batería de Ion- Litio.

3.4. CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE UN MPPT

Un MPPT en un seguidor del punto de máxima potencia ya que la carga de las baterías depende de la radiación y la temperatura a la que este expuesta cada celda solar.

De estas condiciones nace la necesidad de determinar constantemente, ese punto particular sobre la curva característica (corriente voltaje) del generador fotovoltaico en el que resulte el máximo desplazamiento de potencia hacia la red.

Para la selección de un MPPT adecuado debemos conocer la potencia nominal máxima de entrada que vendría a ser el dato más relevante para su selección, también se puede determinar la corriente máxima de entrada que es la misma corriente de salida de los paneles solares multiplicada por un factor de seguridad.

$$I_{RE} = I_{SC} \times 1,25 \quad \text{Ecuación (3.0.13)}$$

$$I_{RE} = 8,4 \text{ A} \times 1,25$$

$$I_{RE} = 10,5 \text{ A}$$

$$P = I \times V$$

$$P = 10,5 \text{ A} \times 58 \text{ V}$$

$$P = 609 \text{ W}$$

Los 609 W será la potencia de entrada al MPPT.

En la Tabla 3.0.11 se puede observar los máximos valores de entrada de potencia nominal.

Tabla 3.0.11: Potencia nominal de entrada

ENTRADA NOMINAL MÁXIMA DEL PANEL	VOLTAJE	TS-MPPT-45	TS-MPPT-60
		45 Amp.	60 Amp.
	12 Voltios	600 W	800 W
	24 Voltios	1200 W	1600 W
	48 Voltios	2400 W	3200 W

Mientras que la corriente máxima de salida se define por la siguiente ecuación:

$$I_{RS} = \frac{1,25 \times (P_{DC} + P_{AC} / \eta_{inv})}{V_{BAT}} \quad \text{Ecuación (3.0.14)}$$

$$I_{RS} = \frac{1,25 \times (808.16 / 0,99)}{48 V} = 21,25 A$$

3.4.1. PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE UN MPPT

Para seleccionar un MPPT se deben considerar varios parámetros que se detallan a continuación.

3.4.1.1. DIMENSIONES

En este caso es un factor muy importante ya que en la tricicleta no se posee gran espacio, por eso se debe elegir el MPPT de menores dimensiones posibles.

3.4.1.2. PESO

Seleccionar un MPPT lo más ligero posible ayudará a un mejor desempeño de la tricicleta en la carrera bajo condiciones climáticas extremas.

3.4.1.3. RENDIMIENTO

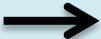
Es un factor muy importante que nos ayuda a la extracción máxima de energía de los paneles, teniendo un barrido más eficiente al momento de detectar el punto de máxima potencia.

3.4.2. SELECCIÓN DEL CONTROLADOR

De acuerdo a los requerimientos

Tabla 3.0.12: Información técnica de los MPPT

MARCA	MORNINGSTAR CORPORATION	TECNOLOSAR	VICTRON ENERGY
PROCEDENCIA	EE.UU.	EE.UU.	EE.UU.
MODELO	TriStar MPPT	FLEX máx.	Blue Solar charge controller MPPT
TIPO	Controlador de paneles solares	Controlador de paneles solares	Controlador de paneles solares
VOLTAJE CIRCUITO ABIERTO	150[V]	150[V]	75[V]
RENDIMIENTO PICO	99%	97,50%	98%
CORRIENTE MÁXIMA DE BATERÍA	60[A]	80[A]	70 [A]
TEMPERATURA AMBIENTE	45°C	40° C	40° C
HUMEDAD	100%	nd	95%

CONTINÚA 

MARCA	MORNINGSTAR CORPORATION	TECNOLOSAR	VICTRON ENERGY
DISPONIBILIDAD	Inmediata	Inmediata	Inmediata
PESO	4,2 [kg]	5,56 [Kg]	4,2 [kg]
ANCHO	13,0[cm]	16,0[cm]	14[cm]
LONGITUD	14,2[cm]	13,5 [cm]	10 [cm]
ALTURA	21,9[cm]	35,0[cm]	41,3 [cm]
PRECIO SIN IMPORTACIÓN	528.00	920.609	850.456
IMAGEN			

La Tabla 3.0.12 facilita la información de los MPPT que más se ajustan a los requerimientos de rendimiento, temperatura y voltaje de circuito abierto para una eficiente carga de las baterías.

3.4.2.1. MATRIZ DE SELECCIÓN DEL MPPT.

Tabla 3.0.13: Matriz de selección del MPPT.

CRITERIO DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	MORNING STAR	TECNOLOSAR	VICTRON ENERGY
VOLTAJE EN CIRCUITO ABIERTO	20	16	16	8

CONTINÚA →

CRITERIO DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN	MORNING STAR	TECNOLOGÍA	VICTRON ENERGY
CORRIENTE MÁXIMA DE BATERÍA	15	7	8	9
PESO	15	9	6	9
PRECIO	15	10	9	6
RENDIMIENTO PICO	20	19	17	18
TEMPERATURA AMBIENTE	15	9	7,5	7,5
TOTAL	100	70	63,5	57,5

El MPPT seleccionado es el TriStar MPPT de Morningstar Corporation con una puntuación de 70/100 (Tabla 3.0.13).

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA LA TRICICLETA

En este capítulo se explicará la implementación del sistema eléctrico para la tricicleta solar que representará a la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA en la carrera “Atacama Solar Challenge Chile”, en la Figura 4.0.1 podemos observar el chasis del vehículo donde se llevará a cabo el montaje de la matriz de celdas fotovoltaicas que se encarga de generar la potencia de entrada al MPPT el cual buscará el punto máximo de relación entre voltaje y corriente para la alimentación de las baterías, de esta manera optimizar el tiempo de autonomía del motor brushless.



Figura 4.0.1: chasis de la tricicleta solar

Fuente: Vivas M., Ríos E. Diseño y construcción de la estructura de una tricicleta impulsada por energía solar. ESPE, 2014

4.1. PANEL FOTOVOLTAICO

El panel fotovoltaico fue instalado en una estructura de madera apoyada en varios puntos de la carrocería en la tricicleta. La plataforma del panel

fotovoltaico se encuentra empernada con el fin de inclinar el panel para obtener mayor incidencia del sol en ruta. La posición del panel será fija como se muestra en la Figura 4.0.2.



Figura 4.0.2: Panel fotovoltaico instalado

Fuente: Ramírez Luis.

4.2. SISTEMA ELÉCTRICO

La configuración del circuito de potencia, incorpora dos elementos en el sistema de energía. El principal es el panel fotovoltaico que es la fuente primaria y convierte la energía solar en energía eléctrica, y la fuente secundaria es el banco de baterías, que proporciona la energía adicional al motor cuando la energía suministrada por tracción humana no sea suficiente. Ver Figura 4.0.3.

Para el control de la energía fueron seleccionados dos componentes que conforman la electrónica de potencia. El primer componente es un MPPT (Maximum power point tracking) que permite controlar la tensión en corriente continua, el segundo sistema, es un regulador que permite controlar la tensión y corriente del motor de corriente continua y a su vez el torque

suministrado al sistema mecánico de tracción. En el Anexo A se muestra la conexión de los elementos antes mencionados.

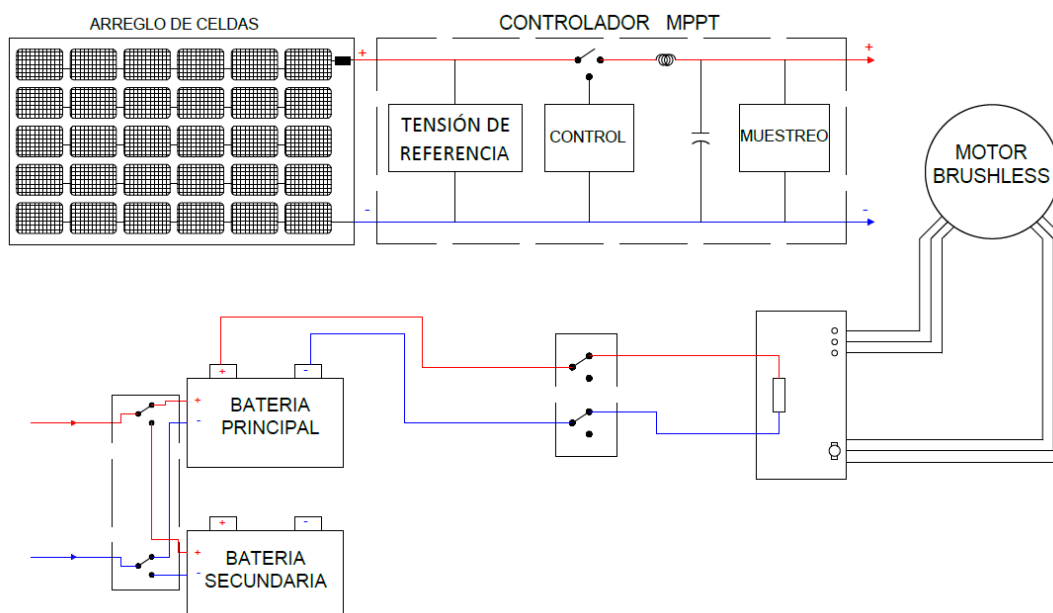


Figura 4.0.3: Diagrama del sistema eléctrico

4.2.1. DIAGRAMA ELÉCTRICO

El Diagrama utilizado, para la conexión de los distintos componentes eléctricos y electrónicos, se puede observar en la Figura 4.0.3.

En la parte superior del esquema tenemos la instalación de celdas fotovoltaicas, las mismas que forman un circuito eléctrico mixto siendo la fuente de corriente continua que llega al controlador MPPT y a su vez el controlador permite encontrar el punto máximo entre voltaje y corriente generado, transmitiendo a los acumuladores de energía que en este caso son las baterías de ION-LITIO.

Por medio del switch podemos controlar la carga y el funcionamiento del motor ya que están destinados en cada posición a cumplir diferentes funciones tales como:

- La posición uno del switch permite arrancar el motor.
- La posición dos inicia la carga de la batería.
- La posición cero permite abrir el circuito para así detener el paso de corriente al motor.

4.3. INSTALACIÓN MPPT

4.3.1. INFORMACIÓN GENERAL DE SEGURIDAD

- No hay partes reparables por el usuario en el MPPT. No desarmar ni reparar el controlador.
- Desconectar todas las fuentes de energía del controlador antes de instalar o ajustar el MPPT. Asegurar que tanto la batería como la energía solar hayan sido desconectadas antes de abrir la tapa de acceso.
- No hay fusibles ni elementos de desconexión en el MPPT. La energía deberá ser quitada externamente.
- No permitir que ingrese agua en el controlador.
- Confirme que los cables de alimentación estén ajustados con el torque correcto para evitar un calentamiento excesivo por causa de una conexión floja.

El MPPT es un controlador de sistema de carga por energía solar técnicamente avanzado. Hay dos modos distintos e independientes de operación programados en cada controlador: carga solar de batería, control de carga. En un MPPT individual, puede ser seleccionado un solo modo de operación. Si un sistema requiere de un controlador del proceso de carga y de un control de la carga propiamente dicha, deberán usarse dos controladores. En la Figura 4.0.4 se muestra el MPPT que utiliza la tricicleta solar.



Figura 4.0.4: Controlador tristar 60 mppt

Fuente: <http://www.shopespv.com/>

4.3.1.1. CONTROL DE CARGA

Al seleccionar el control de carga, el MPPT entrega energía a las cargas a partir de la batería y protege la batería para evitar un exceso de descarga con una corriente LVD (desconexión de carga por bajo voltaje) compensada.

4.3.1.2. CARGA SOLAR DE BATERÍA

La salida de energía de un conjunto solar es usada para la carga del sistema de baterías. El MPPT administra el proceso de carga para que sea eficiente y maximice la vida útil de la batería. La carga incluye una etapa de carga masiva, absorción PWM (Pulse-width modulation o Modulación por ancho de pulsos), flotante y ecualización.

4.3.2. USO DEL CONTROLADOR MPPT

El MPPT está protegido electrónicamente contra falla con recuperación automática. No hay fusibles ni partes mecánicas en el interior del MPPT para

reestablecer ni cambiar, por esta razón es necesario poner fusibles en la parte externa del MPPT.

Las sobrecargas solares de hasta un 130% de la corriente especificada, serán reguladas por reducción, en vez de desconectar del sistema de energía solar. Las condiciones de exceso de temperatura también regularán la entrada desde el panel solar a niveles más bajos, para evitar una desconexión. Los controladores MPPT pueden ser conectados en paralelo únicamente en el modo de carga de batería.

4.3.3. INSTALACIÓN DEL CONTROLADOR MPPT

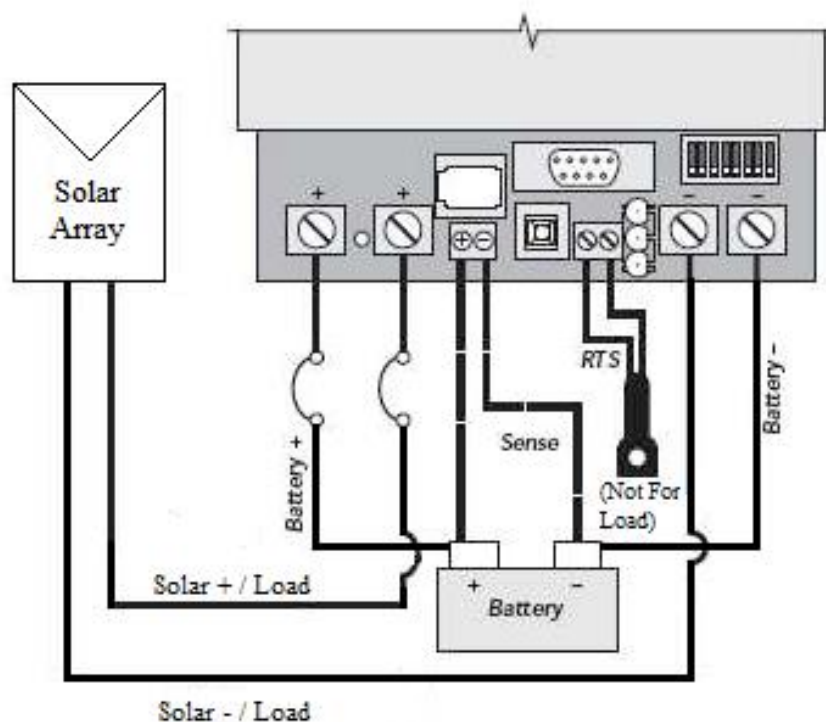


Figura 4.0.5: cableado para carga solar y control de la carga

Fuente: <http://www.morningstarcorp.com/>

1. Para realizar el diagrama de la Figura 4.0.5 en primer lugar retire la tapa de acceso sacando los 4 tornillos hasta obtener el MPPT como se puede ver en la Figura 4.0.6.



Figura 4.0.6: Controlador MPPT.

2. Ajuste los 8 interruptores en el DIP switch. Cada interruptor debe estar en la posición correcta.

Para seleccionar el proceso de carga de la batería se debe ajustar el interruptor tipo DIP como se describe a continuación. Cambiar el interruptor de la posición apagado (OFF) a la posición encendido (ON), deslizando este interruptor en dirección a la parte superior del controlador. Asegúrese de que cada interruptor esté completamente ubicado en la posición ON u OFF.

4.3.3.1. INTERRUPTOR DIP 1 – MODO: CARGA DE BATERÍA

Tabla 4.0.1: Interruptor tipo DIP número 1

Control	Interruptor 1
Proceso de carga	Off
Carga	On

Fuente: Manual de operación MPPT tristar.

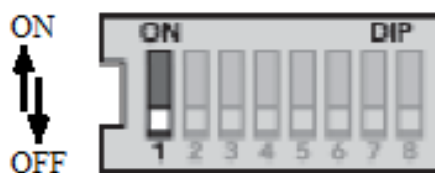


Figura 4.0.7: Interrupor #1

Fuente: <http://www.morningstarcorp.com/>

Para configurar el Interrupor tipo DIP usar la Tabla 4.0.1 en modo de carga solar de la batería, dejar el interruptor tipo DIP en la posición ENCENDIDO (ON). (Ver Figura 4.0.7)

4.3.3.2. INTERRUPTORES DIP 2,3 – VOLTAJE DEL SISTEMA

Tabla 4.0.2: Interruptores DIP 2,3

Voltaje	Interrupor 2	Interrupor 3
Auto	Apagado (off)	Apagado (off)
12	Apagado (off)	On
24	On	Apagado (off)
48	On	On

Fuente: Manual de operación MPPT tristar.

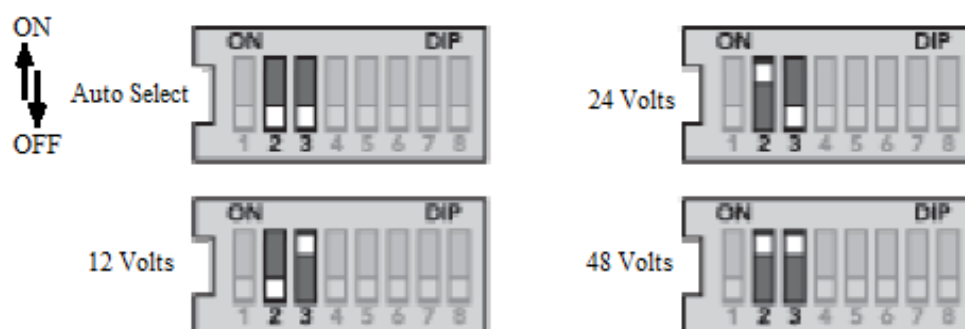


Figura 4.0.8: Interruptores # 2,3

Fuente: <http://www.morningstarcorp.com/>

La selección de autovoltaje acontece cuando la batería es conectada y se enciende el MPPT. Los voltajes seleccionables por el interruptor tipo DIP pueden ser para baterías de 12V, 24V y 48V como se ve en la Figura 4.0.8, con la ayuda de la Tabla 4.0.2 seleccionar la opción de 48V. Aunque la selección de “autovoltaje” es muy confiable, se recomienda usar los interruptores tipo DIP para asegurar el voltaje correcto del sistema.

4.3.3.3. ALGORITMO DE CARGA DE BATERÍA.

El MPPT tiene 7 algoritmos (ver Tabla 4.0.3) estándar de carga para baterías que son seleccionados con los interruptores DIP (ver Figura 4.0.9).

Tabla 4.0.3: Algoritmo de carga de batería.

Tipo de batería	PWM	Interruptor 4	Interruptor 5	Interruptor 6
1	14	Apagado (off)	Apagado (off)	Apagado (off)
2	14.15	Apagado (off)	Apagado (off)	Encendido (on)
3	14.35	Apagado (off)	Encendido (on)	Apagado (off)
4	14.4	Apagado (off)	Encendido(on)	Encendido(on)
5	14.6	Encendido (on)	Apagado (off)	Apagado (off)
6	14.8	Encendido (on)	Apagado (off)	Encendido (on)
7	15	Encendido (on)	Encendido (on)	Apagado (off)
8	Usuario	Encendido (on)	Encendido (on)	Encendido (on)

Fuente: Manual de operación MPPT tristar.

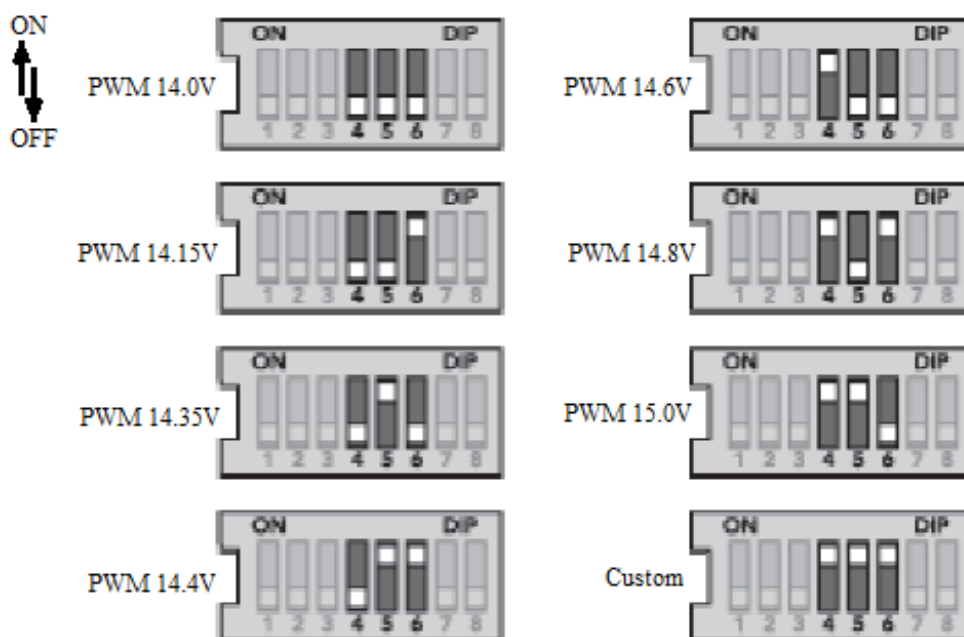


Figura 4.0.9: Interruptor # 4,5,6

Fuente: <http://www.morningstarcorp.com/>

Seleccione uno de los 7 algoritmos estándar de carga de la batería o seleccione la posición 8 de la Tabla 4.0.3 para programar valores personalizados por el usuario. Estos algoritmos estándar son indicados según el tipo de batería a usar, van desde baterías de plomo-ácido (gel, AGM, libres de mantenimiento) a las inundadas y a las celdas L-16.

4.3.3.4. INTERRUPTOR DIP 7 – ECUALIZACIÓN DE BATERÍA.

Tabla 4.0.4: Ecuación de batería

Ecuación	Interruptor 7
Manual	Apagado (off)
Auto	On

Fuente: Manual de operación MPPT tristar.

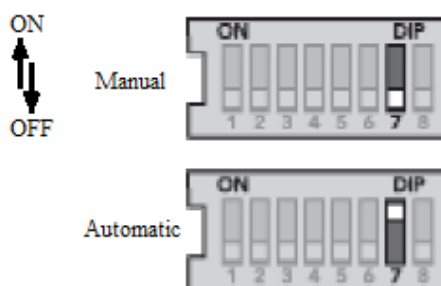


Figura 4.0.10: Interruptor # 7

Fuente: <http://www.morningstarcorp.com/>

En el modo de autoecualización (ver Tabla 4.0.4), la ecualización de la batería arrancará y se detendrá automáticamente de acuerdo con la configuración de batería seleccionado por los interruptores tipo DIP 4,5,6 (ver Figura 4.0.9). En el modo de ecualización manual, la ecualización ocurrirá solamente cuando sea puesta en marcha con el botón pulsador, por esta razón se usará modo automático para el uso de la tricicleta.

4.3.3.5. INTERRUPTOR DIP 8 – REDUCCIÓN DE RUIDO:

Tabla 4.0.5: Reducción de ruido

Carga	Interruptor 8
PWM	Apagado (off)
On-Off	Encendido (on)

Fuente: Manual de operación MPPT tristar.

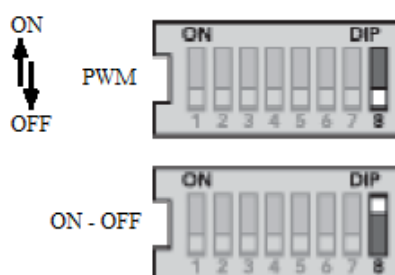


Figura 4.0.11: Interruptor # 8

Fuente: <http://www.morningstarcorp.com/>

El algoritmo de carga de batería PWM es estándar para todos los controladores de carga. Sin embargo, hay casos en que la regulación PWM causa interferencia por ruido en las cargas, en esos casos el MPPT puede ser cambiado a un método de regulación de carga solar On-Off (encendido – apagado), para la carga de las baterías de ION-LITIO se usará PWM, debido a que en las pruebas no suscitó ningún tipo de problemas en este modo, para realizar la configuración de switch tipo DIP ver Tabla 4.0.5 y Figura 4.0.11.

Al terminar la configuración del interruptor tipo DIP el MPPT está listo para su correcto funcionamiento tal como se visualiza en la Figura 4.0.12.



Figura 4.0.12: Interruptor DIP configurado

3. Conecte los cables de sensado de batería al controlador como se muestra en la el diagrama de la Figura 4.0.13.

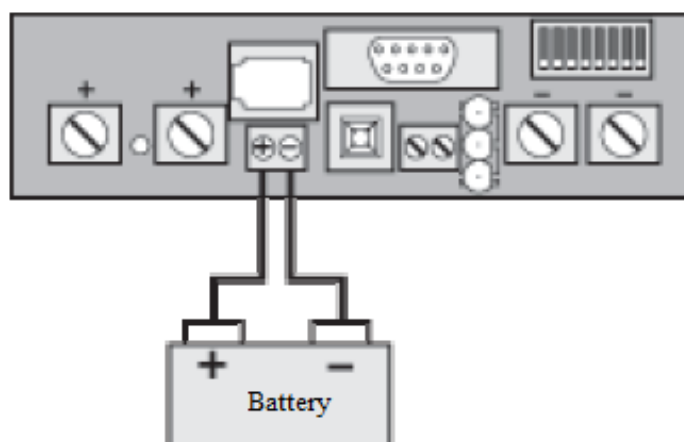


Figura 4.0.13: Conexión de sensado de batería

Fuente: <http://www.morningstarcorp.com/>

No es necesaria una conexión del sensor de voltaje de una batería para operar el controlador, pero es recomendable para un mejor rendimiento en todos los modos de carga. Los cables de sensado de voltaje de batería casi no transportan corriente, por lo tanto, la entrada del sensor de batería evita las grandes caídas de voltaje que pueden ocurrir en los conductores de alimentación. La conexión de sensado de voltaje permite que el controlador mida el voltaje de batería real bajo cualquier condición.

4. Conexión del cableado de la batería como se muestra en el diagrama de la Figura 4.0.14.

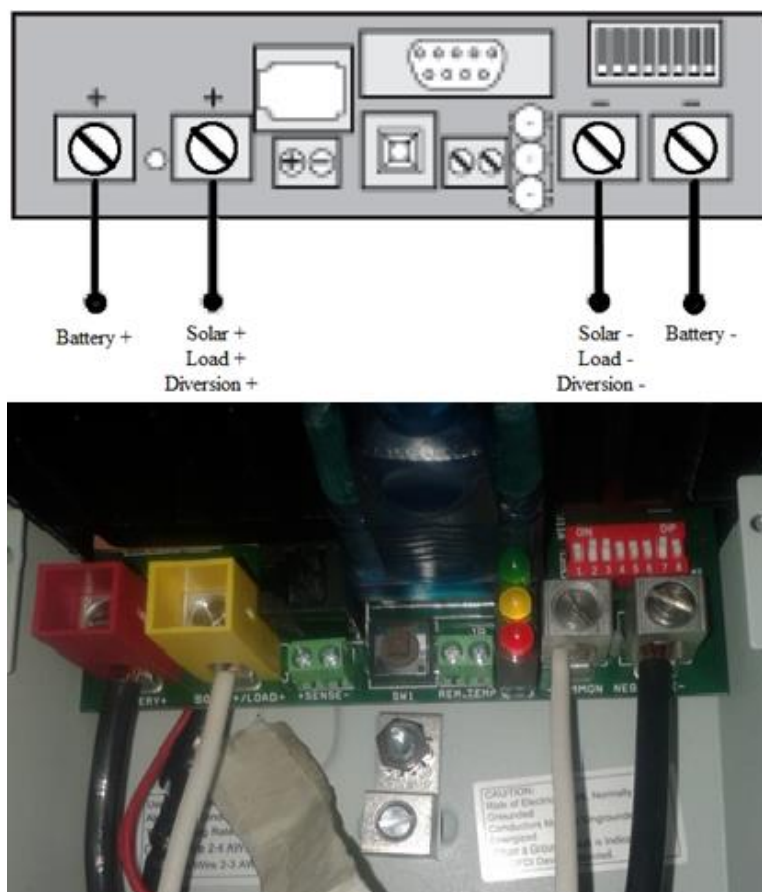


Figura 4.0.14: conexión de baterías y paneles

5. Conecte una computadora al MPPT usando el puerto RS-232 para realizar ajustes con el software MSView (software del MPPT Tristar) y visualizar el proceso de carga.



Figura 4.0.15: Conexión a PC

6. Montaje de MPPT.



Figura 4.0.16: MPPT montado en la tricicleta

Los planos de montaje del MPPT en la estructura de la tricicleta se puede encontrar en el Anexo B. Para visualizar el correcto funcionamiento del MPPT se tomará en cuenta el encendido de los LED rojo, verde y amarillo, la explicación de la lectura de los LED se observa en el Anexo D.

4.3.4. INSTALACIÓN MOTOR BRUSHLESS

El motor brushless de Golden Motor ha sido revisado minuciosamente para comprobar su correcto funcionamiento. Es importante comprobar que todos los accesorios estén bien fijos a la tricicleta, además que las conexiones eléctricas estén protegidas de la lluvia y otros agentes externos como el polvo. Tener en cuenta que la rueda en la que esta empotrada el motor esté bien atornillada al tenedor de la tricicleta.

4.3.4.1. MONTAJE DE LA RUEDA

Para montar el motor brushless de Golden Motor, es necesario tener herramientas como: llaves Allen de diámetro 2,5mm, 3 mm y 6 mm, llave de 21 mm de boca mixta, Lima metálica entre otras, estas herramientas se pueden conseguir en cualquier tienda de bicicletas.

El montaje del motor brushless de Golden Motor no resulta de mayor complejidad teniendo los conocimientos necesarios para la manipulación de las herramientas mencionadas anteriormente, además se debe considerar que la sustitución de la llanta en la cual se encuentra empotrado el motor es difícil para personas sin experiencia.



Figura 4.0.17: Motor Magic Pie 3 en una rueda

Fuente: <http://www.qbbikes.com/>

Después de abrir el paquete, se encontrará el motor Magic Pie 3 en una rueda como se muestra en la Figura 4.0.17, y los accesorios necesarios para el control del motor como el acelerador de pulgar, frenos eléctricos control crucero se pueden visualizar en la Figura 4.0.18.



Figura 4.0.18: Accesorios para la cabina

Fuente: <http://www.goldenmotor.com/>

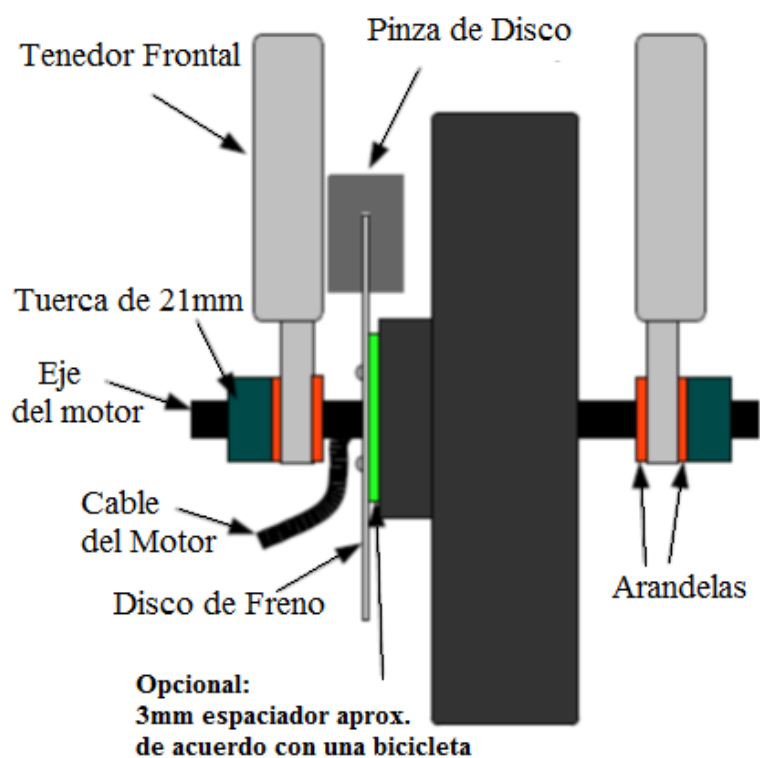


Figura 4.0.19: Configuración de rueda

Poner el eje de la rueda en los extremos de la horquilla. El espacio que existió en el cuadro de la tricicleta para montar el motor tiene un grado de libertad de 2 o 3 mm para adaptarse con más facilidad. Si el eje del motor no encaja en el tenedor, puede ajustar el eje ligeramente con la ayuda de la lima hasta que el eje embone en los tenedores del chasis.

Antes de atornillar la rueda se debe asegurarla en el centro donde termina el tenedor, luego colocar las arandelas y sus seguros que se encuentran en los extremos de la horquilla (ver Figura 4.0.19).



Figura 4.0.20: Motor montado en la tricicleta.

Atornillar la rueda con la llave de 21mm de boca mixta, apretar poco a poco en las dos caras del eje del motor para evitar que se mueva, una rueda mal atornillada puede romper el tenedor y desgarrar el cable de alimentación. La llanta ya montada se puede visualizar en la Figura 4.0.20.

4.3.5. CONTROLES DEL PANEL

La perrilla del acelerador está configurada en sentido anti horario para mayor comodidad de usuario, también se debe tomar en cuenta que la manija de cambios debe estar ubicada de manera que no interrumpa el funcionamiento del acelerador, tal como se muestra en la Figura 4.0.21.

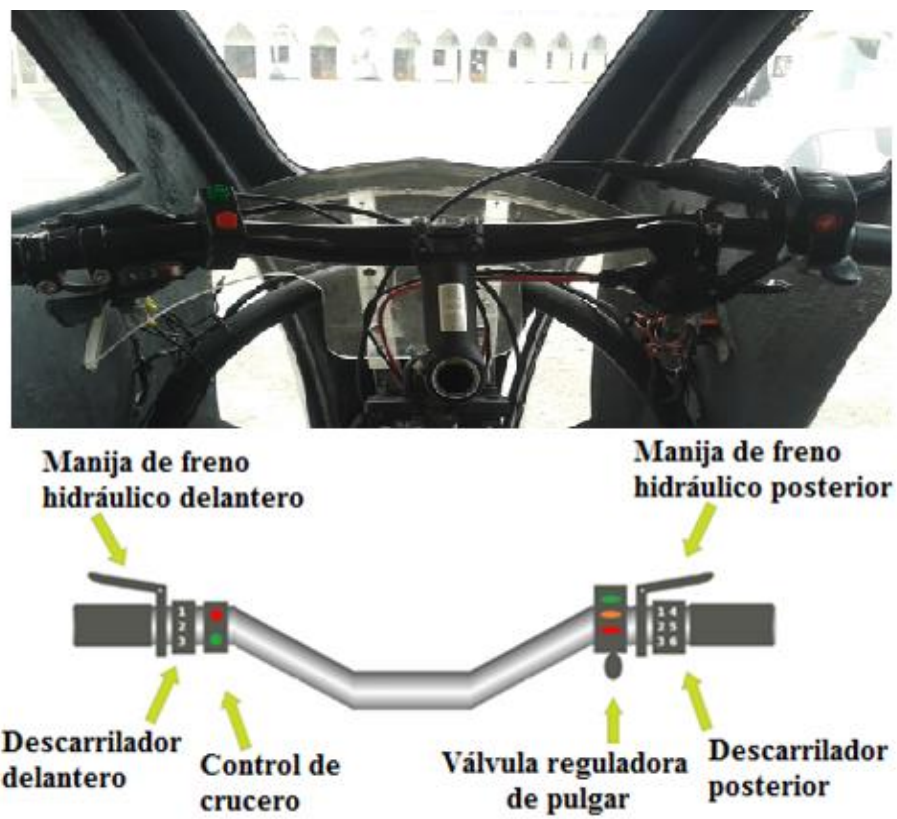


Figura 4.0.21: Controles instalados en la Tricicleta.

4.3.6. MONTAJE DE LAS BATERÍAS



Figura 4.0.22: Soporte para baterías



Figura 4.0.23: Baterías montadas en la tricicleta

Las baterías se fijaron en soportes adaptados en el bastidor de la tricicleta como se muestra en la Figura 4.0.22, para ver los planos de los soportes de las baterías ver Anexo C. Las baterías deben estar protegidas de golpes y fijadas firmemente a la tricicleta.

Las dos baterías deben estar fijas a la tricicleta, en la Figura 4.0.23 se observa su ubicación final. A continuación se describe como realizar el cableado de alimentación y la conexión de la batería al controlador.

Asegurar que el cable de alimentación entre el controlador y la batería sea suficientemente largo para ser capaz de extraer la batería con mayor facilidad como se observa en la Figura 4.0.24.



Figura 4.0.24: Conexión aislada de baterías

4.3.7. CONFIGURACIÓN DEL CABLEADO

Para el cableado del sistema eléctrico de la tricicleta se usó cable 12AWG. Coloque los cables a lo largo del bastidor y asegúrese de que haya suficiente de modo que se pueda girar el manubrio de la tricicleta sin tirar de los conectores, los cables deben estar asegurados con correas plásticas. Para evitar un cortocircuito, no conecte el cable de alimentación de la batería hasta terminar la instalación del cableado. Ver Figura 4.0.25



Figura 4.0.25: Cableado del Motor.



Figura 4.0.26: Luces delanteras de la tricicleta

El sistema de luces de la tricicleta se instaló con faros tipo LED compatibles con la tensión de la batería secundaria, en la Figura 4.0.26 y en la Figura 4.0.27 podemos observar las luces LED delanteras y posteriores respectivamente.

En la Figura 4.0.26 se visualiza las luces altas y bajas que se encuentran en el recuadro rojo mientras que las luces del recuadro azul se usan como direccionales de la tricicleta.



Figura 4.0.27: Luces posteriores de la tricicleta

En la Figura 4.0.27 se observan las luces direccionales que se encuentran en el recuadro azul, mientras que las luces de parqueo se observan en el recuadro amarillo. El control de luces está ubicado en el panel del conductor.

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez finalizada la etapa de implementación de la tricicleta solar, se aplicaron varias pruebas que tienen como misión garantizar que el vehículo solar tenga la autonomía eléctrica calculada de 30 minutos por batería y cumpla con las especificaciones técnicas requeridas para la competencia Atacama Solar Challenge.

Se tiene como objetivos los siguientes puntos detallados a continuación:

- Observar que la tricicleta solar cumpla con las especificaciones técnicas requeridas por la competencia.
- Verificar y corregir la tecnología aplicada en la instalación del sistema eléctrico de la tricicleta solar.

Al término de las pruebas se puede garantizar que el vehículo solar tenga un buen desempeño cumpliendo con los objetivos relacionados al sistema eléctrico.

5.1. PRUEBAS EN RUTA

Las pruebas del vehículo solar se las realizó en la Panamericana Norte de Latacunga, desde el desvió a Quito de la entrada a Saquisilí hasta los hornos en un tramo de 9.4 Km tal como se ve en la Figura 5.0.1, en su mayoría es plana y posee un total de 4 pendientes de inclinación superiores a 25 grados y 7 curvas no muy cerradas. Teniendo así una vía adecuada para poner a prueba el vehículo solar y observar el funcionamiento del sistema eléctrico. El mapa de ruta en el cual se realizó las pruebas necesarias se observa en la Figura 5.0.2.

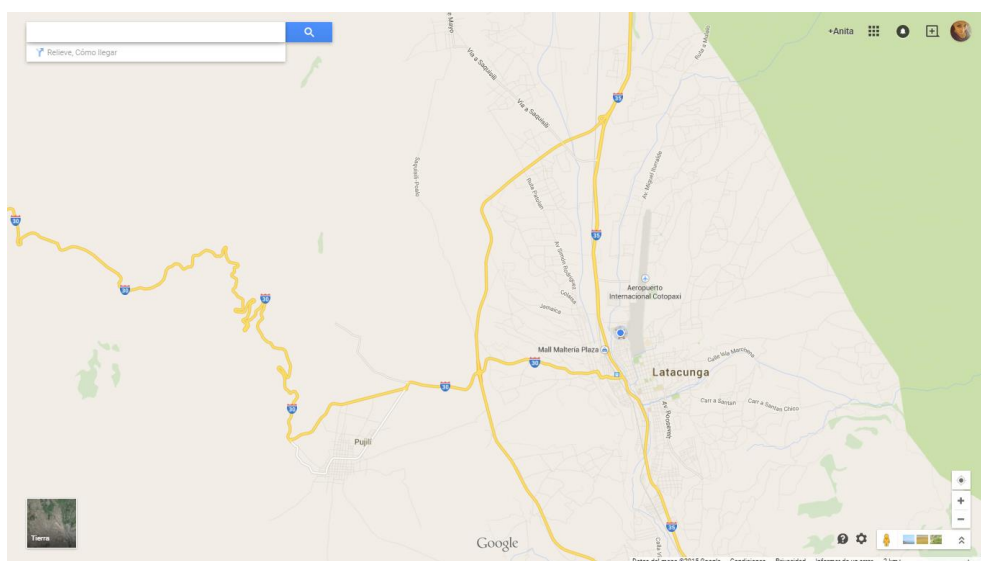


Figura 5.0.1: Mapa topográfico de la ruta del recorrido.

Fuente: www.google.com.ec/maps/@-0.9093759,-78.6541738,13z

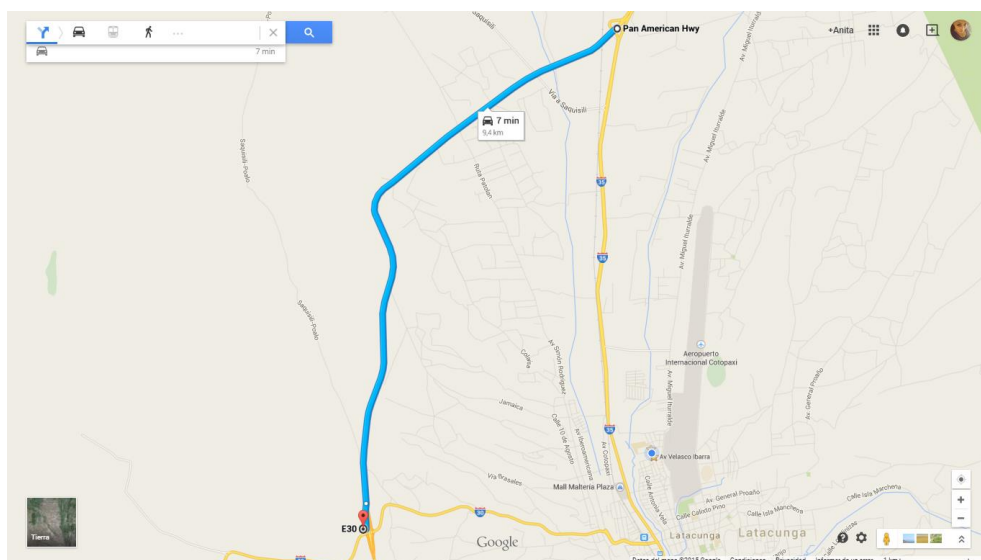


Figura 5.0.2: Ruta del recorrido de la tricicleta solar.

Fuente: www.google.com.ec/maps/@-0.9093759,-78.6541738,13z

En las Figura 5.0.3, Figura 5.0.4 y Figura 5.0.5 se puede observar el vehículo solar expuesto a pruebas de carga de baterías, velocidad y autonomía respectivamente de la tricicleta solar en la ruta antes mencionada.



Figura 5.0.3: Pruebas de carga de baterías.



Figura 5.0.4: Pruebas de velocidad.



Figura 5.0.5: Autonomía del vehículo solar.

5.2. CONSIDERACIONES EN LAS PRUEBAS

La competencia tiene lugar en el desierto más árido del mundo “Atacama” situado al norte de Chile y con niveles de irradiación solar más altos del mundo, un escenario ideal para alcanzar el máximo rendimiento de las celdas fotovoltaicas que energizan a los vehículos solares en competencia, con un total del recorrido de 900 km en una vía plana, además posee elevaciones de un máximo de 25 grados. Las pruebas en Ecuador se realizaron en un escenario similar contando con una carretera que en su gran mayoría es plana, la diferencia se marca en la radiación solar ya que nos encontramos en la Región Sierra y la incidencia solar no tiene la misma intensidad que en el desierto de Atacama, provocando que tanto la carga de baterías requiera de más tiempo y la autonomía del motor sea menor.

Para realizar las pruebas hay que tomar en cuenta que exista la suficiente intensidad de radiación solar, debido a que es el principal factor para alimentar con energía las dos baterías en el vehículo solar y así aumentar su autonomía eléctrica.

Además el tipo de calzada debe ser de asfalto y en su mayoría poseer una geografía plana. Como medida de seguridad realizar las pruebas en una vía no transitada para así evitar contratiempos.

5.2.1. CARGA DE BATERÍAS

Con ayuda del software MSView de Morningtar Company instalado en una computadora portátil se tomaron datos de la salida de voltaje y corriente del MPPT que van hacia las baterías durante dos horas consecutivas realizadas en las pruebas.

Teniendo así las siguientes curvas como se muestran la Figura 5.0.6, Figura 5.0.7, Figura 5.0.8 y Figura 5.0.9.

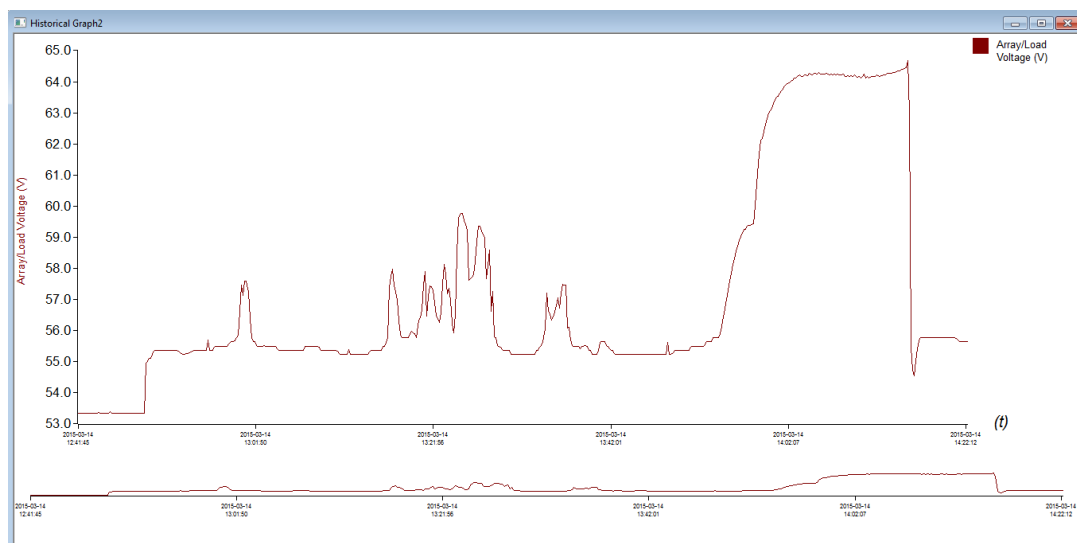


Figura 5.0.6: Curva de voltaje en el arreglo de celdas fotovoltaicas

En la Figura 5.0.6 se puede observar el comportamiento de la curva de voltaje en el arreglo de celdas fotovoltaicas.

Los picos en esta curva significan los voltajes máximos durante periodos de tiempo, estos cambios de voltaje se debe a que el sol no irradiaba con suficiente intensidad debido a la presencia de nubes en ciertos tramos de la carretera.

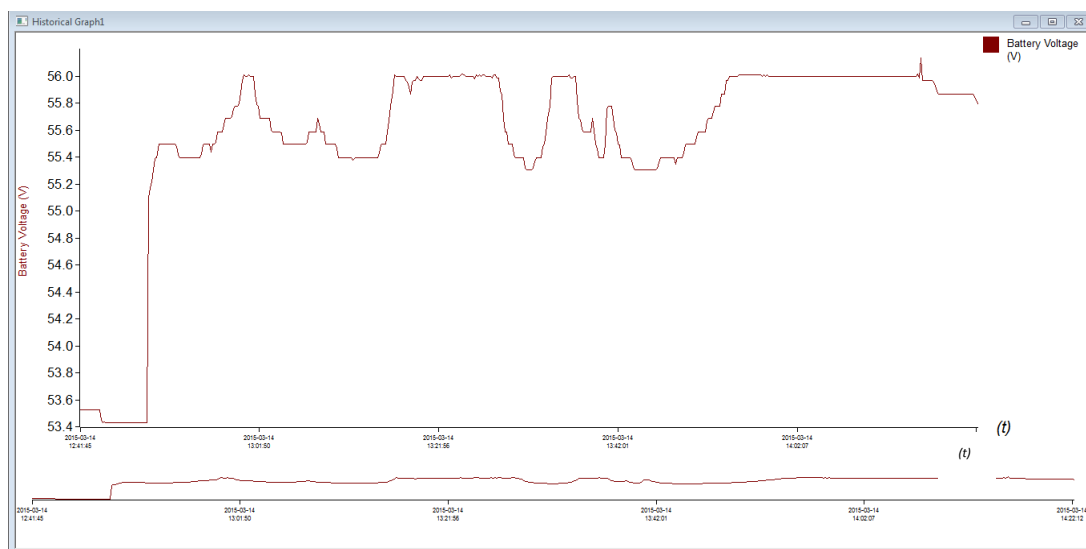


Figura 5.0.7: Curva de voltaje en la carga de baterías.

En la Figura 5.0.7, se puede observar el comportamiento de la curva de voltaje en la carga de baterías.

Las altas y bajas de voltaje registradas en esta figura son producidas por el consumo del motor debido a que se acelera y desacelera en ciertos periodos de tiempo dependiendo de las curvas y elevaciones que existan ruta en la que se esté manejando.

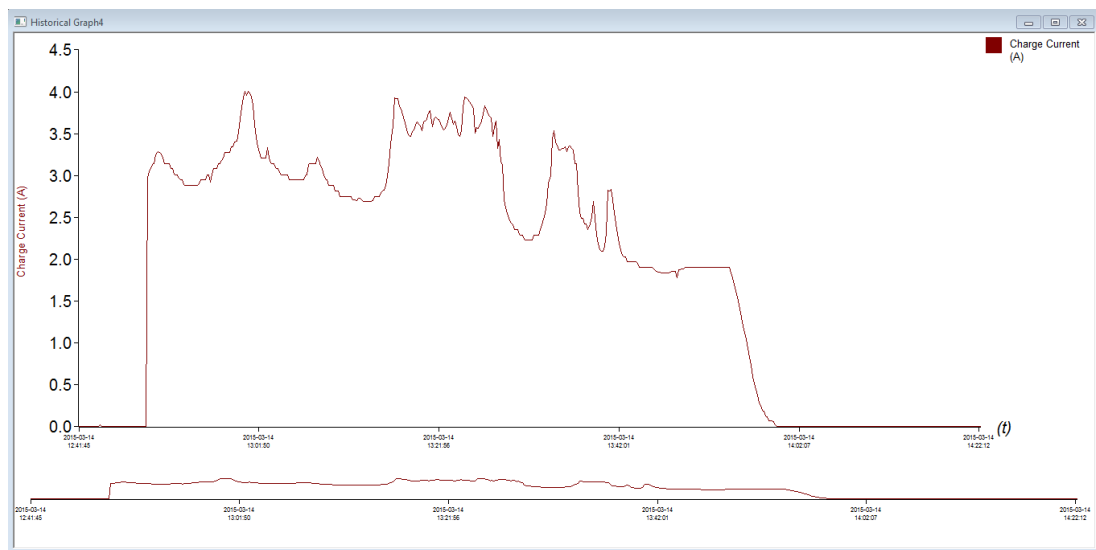


Figura 5.0.8: Curva de corriente al momento de carga de baterías.

En la Figura 5.0.8, se puede observar el comportamiento de la curva de corriente en la carga de baterías.

Los picos de corriente que se observa en la figura son comportamientos de la variación de intensidad de radiación solar, debido a que no era la misma en todo el transcurso de tiempo medido. El MPPT toma como cero el valor de la corriente cuando esta es menor a 0,5A.

En la Figura 5.0.9, se puede observar el comportamiento de la curva de mínimo y máximo voltaje en las baterías durante el proceso de carga.

Teniendo así un mínimo de 44,7 V y un máximo de 56,4 V en un lapso de tiempo de 2 horas consecutivas.

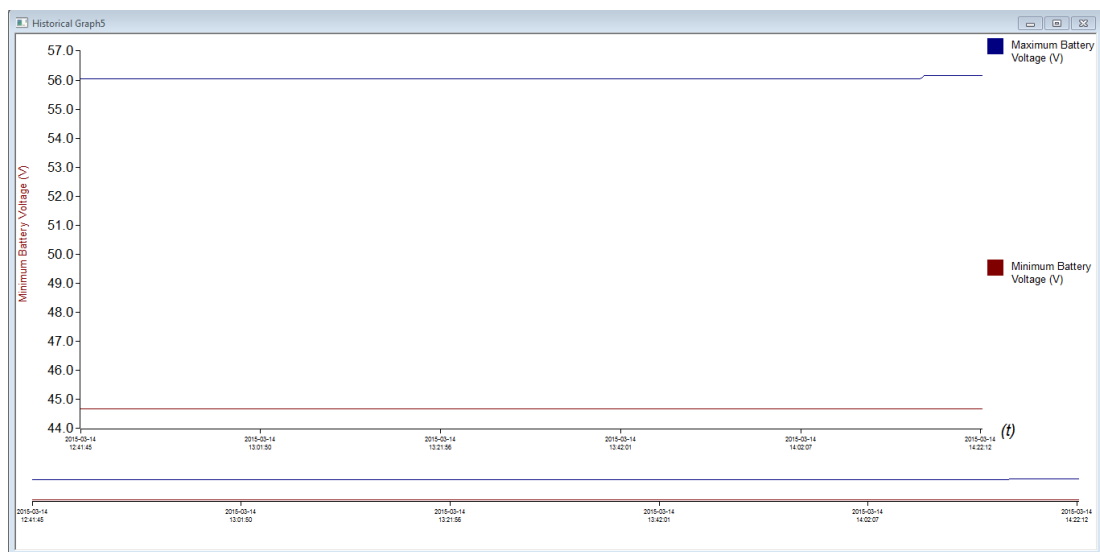


Figura 5.0.9: Voltajes mínimo y máximo en las baterías durante el proceso de carga.

5.2.2. AUTONOMÍA DEL MOTOR

La autonomía del motor depende de la energía almacenada en las baterías y de la cantidad de radiación solar que exista. Teniendo así dos baterías cargadas a su máxima capacidad, el motor proporcionó una autonomía aproximada de 1 hora y 30 minutos, tardándose en cargar cada batería un tiempo cercano a 2 horas a una máxima radiación solar.

5.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las variables puestas a prueba ayudan a recopilar datos medidos para poder comparar los cálculos realizados anteriormente.

Se concluye que la carga de baterías, la autonomía del motor depende de la radiación solar, ya que si no existe suficiente radiación no hay suficiente corriente para poder cargar las baterías, lo que causa que el tiempo de autonomía del motor sea menor y se exija usar tracción humana, de esta manera se reduce la velocidad del vehículo solar.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- El sistema eléctrico de la tricicleta fue instalado cumpliendo con las normas y especificaciones de la competencia Atacama Solar Challenge consiguiendo una eficiencia eléctrica esperada debido a que las baterías con el arreglo de celdas fotovoltaicas se cargan en *1 hora 50 minutos* en comparación con *3 horas* que toma cargarse con el cargador.
- Los principales inconvenientes que se presentaron en la implementación del sistema eléctrico de la tricicleta fueron los elevados costos de importación del motor, controlador MPPT y baterías que tenían ciertas restricciones de ingreso al país por su composición interna.
- Para poder obtener una mayor autonomía eléctrica de la tricicleta podríamos colocar un mayor número de baterías, lo cual aumentaría el peso y su funcionamiento no sería el adecuado.
- La energía suministrada por los arreglos de celdas solares con máxima radiación solar cumplen con el valor necesario para alimentar en aproximadamente *2 horas* las baterías de Ion litio de *48Voltios*.
- El motor elegido Magic Pie III de *48Voltios* y *1000Wattios* posee un torque suficiente para poder movilizar la tricicleta Solar con un peso de *208kg* a una velocidad de *40km/h*.

- El sistema eléctrico de la tricicleta solar posee las protecciones necesarias para evitar cortocircuitos y sobrecargas a la salida del panel, a la salida del MPPT, y en el juego de banco de baterías.
- Este vehículo muy aparte de estar diseñado para una competencia de vehículos solares aporta como una iniciativa para aprovechar las energías renovables como es el caso de la energía solar.
- Se realizaron pruebas de funcionamiento en un tramo total de *94 km* ayudando a confirmar la efectividad de los parámetros calculados como son la carga las baterías y la autonomía del motor.

6.2. RECOMENDACIONES

- Promover el uso de vehículos alimentados por fuentes de energía limpias ya que son de uso universal y ayudarán considerablemente a la preservación del medio ambiente.
- Es necesario tener un presupuesto definido para la adquisición de los equipos y materiales necesarios y así evitar inconvenientes al momento de la implementación.
- Tomar muy en cuenta todas las protecciones eléctricas necesarias para evitar sobrecargas y el mal funcionamiento del sistema eléctrico en general.
- Documentar y buscar la mayor información posible sobre los equipos adquiridos y así evitar inconvenientes al momento de su instalación y acoplamiento con el resto de equipos del sistema eléctrico.
- Disminuir en lo posible el peso de materiales y equipos de construcción de la tricicleta solar para obtener una mayor velocidad y autonomía.
- Dimensionar correctamente los equipos a utilizar para evitar inconvenientes en la instalación eléctrica y obtener las pérdidas mínimas posibles.
- Usar el software MSView para tomar los datos de voltaje y corriente de salida del arreglo de celdas fotovoltaicas y poder simular su comportamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] X. ecointeligencia, "ecointeligencia," ecointeligencia, 25 07 2013. [Online]. Available: <http://www.ecointeligencia.com/2013/10/equipo-holandese-gana-world-solar-challenge-2013/>. [Accessed 12 08 2014].
- [2] i. Chile, "innovacion.gob.cl," innovacion, 20 07 2014. [Online]. Available: <http://www.innovacion.gob.cl/2014/11/20-equipos-clasifican-a-carrera-solar-atacama/>. [Accessed 12 2014].
- [3] CNN, "CNN Mexico," CNN, 01 05 2010. [Online]. Available: <http://mexico.cnn.com/tecnologi>. [Accessed 15 01 2015].
- [4] bittium-energy, "www.bittium-energy.com," bittium-energy, 25 06 2012. [Online]. Available: <http://www.bittium-energy.com/ec/endesadauna-segunda-vida-a-las-baterias-de-los-vehiculos-electricos/>. [Accessed 08 2014].
- [5] M. Solar, "Mundo Solar," Mundo Solar, 03 2013. [Online]. Available: <http://www.dforcesolar.com/energia-solar/historia-de-los-autos-solares/>. [Accessed 11 2014].
- [6] bolido, "www.bolido.com," bolido, 01 2014. [Online]. Available: <https://www.bolido.com/2014/01/carrera-solar-atacama-abre-sus-inscripciones-para-2014/>. [Accessed 08 2014].
- [7] O. L. R. Solar, "http://www.carrerasolar.com/," Carrera Solar, 06 2014. [Online]. Available: <http://www.carrerasolar.com/carrera-2014/reglamento-de-la-competencia/>. [Accessed 08 2014].
- [8] i. Chile, "www.innovacion.cl," 12 2011. [Online]. Available: <http://www.innovacion.cl/2011/12/subsole-la-primera-firma-fruticola-en-utilizar-paneles-fotovoltaicos-en-chile/>. [Accessed 07 2014].
- [9] eventoseniquiqu, "www.eventoseniquique.cl," 05 2013. [Online]. Available: <http://www.eventoseniquique.cl/organizador/la-ruta-solar-carrera-solar-atacama/>. [Accessed 10 2014].
- [10] atacamasolarchalleng, "www.atacamasolarchallenge.com," atacamasolarchalleng, 11 2011. [Online]. Available: atacamasolarchalleng. [Accessed 07 2014].

- [11] ecointeligencia, "www.ecointeligencia.com," ecointeligencia, 11 2012. [Online]. Available: <http://www.ecointeligencia.com/2012/11/carrera-solar-atacama-2012/>. [Accessed 08 2014].
- [12] veoverde, "www.emol.com," veoverde, 11 2014. [Online]. Available: <http://www.emol.com/noticias/tecnologia/2014/11/13/689713/los-20-equipos-participantes-en-la-carrera-solar-atacama-inician-su-travesia-por-el-desierto.html>. [Accessed 12 2014].
- [13] atacamasolarchallenge, "www.atacamasolarchallenge.com," atacamasolarchallenge, 02 2014. [Online]. Available: <http://www.atacamasolarchallenge.com/prensa>. [Accessed 06 2014].
- [14] Miliarium, "www.miliarium.com," Miliarium, 10 2010. [Online]. Available: <http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/Energia/EnergiasRenovables/EnergiaSolarFotovoltaica.asp>. [Accessed 07 2014].
- [15] krannich, "www.es.krannich-solar.com," es.krannich-solar, 12 2013. [Online]. Available: <http://www.es.krannich-solar.com/es/autoconsumo/fotovoltaica-aislada.html>. [Accessed 08 2014].
- [16] mpptsolar, "www.mpptsolar.com," mpptsolar, 01 2012. [Online]. Available: <http://www.mpptsolar.com/es/regulador-de-carga-paneles-solares-fotovoltaicos.html>. [Accessed 11 2014].
- [17] solar-electric, "www.solar-electric.com," solar-electric, 06 2013. [Online]. Available: <http://www.solar-electric.com/mppt-solar-charge-controllers.html>. [Accessed 08 2014].
- [18] wholesalesolar, "www.wholesalesolar.com," wholesalesolar, 10 2012. [Online]. Available: <http://www.wholesalesolar.com/solar-information/mppt-article>. [Accessed 09 2014].
- [19] M. Boxwell, "Energia Solar," in *Electricidad Solar Handbook*, Estados Unidos, Greenstream, 2011, p. 184.
- [20] www.cacharrytos.com, "www.cacharrytos.com," cacharrytos, 18 10 2013. [Online]. Available: <http://www.cacharrytos.com/2014/03/24/convertidores-cc-cc-conmutados-reductor-o-buck-converter/>. [Accessed 10 2014].

- [21] E. F. A. A. G. Gabriel Garcerá Sanfeliú, "Conversor Buck," in *Convertidores conmutados: circuitos de potencia y control*, España, Universidad Politécnica de Valencia, Servicio de Publicaciones, 2008, p. 263.
- [22] M. H. R. V. G. y. P. A. S. F. Muhammad H. Rashid, "Conversor Boost," in *Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones*, Pearson Educación, 2004, p. 878.
- [23] A. P. Ruz, "Convertidores Boost," in *Convertidores Conmutados de Potencia. Test de Autoevaluación*, Marcombo, 2011, p. 422.
- [24] T. Wildi, "Conversor Boost," in *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia*, Pearson Educación, 2007, p. 934.
- [25] J. P. López, "Conversor Boost," in *Análisis y diseño de un convertidor elevador con control por deslizamiento. Condiciones de comportamiento caótico*, Escola Universitària Politècnica de Vilanova, 2005, p. 432.
- [26] V. M. M. S. Alberto Pigazo López, "Conversor Reductor Elevador," in *Sistemas electrónicos de potencia en el buque*, Ed. Universidad de Cantabria, 2006, p. 257.
- [27] K.-H. Dietsche, "Baterías," in *Manual de la técnica del automóvil*, Reverte, 2005, p. 1233.
- [28] A. K. R. John O'M. Bockris, "Baterías Electroquímicas," in *Electroquímica moderna, Volumen 2*, Reverte, 2009, p. 884.
- [29] J. M. d. J. Sardón, "Voltaje de Baterías," in *Energías renovables para el desarrollo*, Editorial Paraninfo, 2003, p. 311.
- [30] H. W. B. J. M. C. Donald G. Fink, "Baterías," in *Manual práctico de electricidad para ingenieros*, Reverte, 2008, p. 571.
- [31] M. F. Barrera, "Baterías De ION-Litio," in *Energía Solar: Electricidad Fotovoltaica*, Editorial Liber Factory, 2010, p. 289.
- [32] J. R. Vitoria, "Motores de Corriente continua," in *Motores eléctricos: automatismos de control*, Thomson Paraninfo, 2005, p. 240.
- [33] G. E. Harper, "Motores electricos," in *Control de motores eléctricos*,

Editorial Limusa, 2000, p. 314.

- [34] G. E. Harper, "Motores de corriente continua," in *El ABC del control electrónico de las máquinas eléctricas*, Limusa, 2003, p. 401.
- [35] A. B. Á. J. G.-A. F. Guzmán Díaz González, "Rotor y Estator de Motores electricos," in *Variación de la velocidad de los motores eléctricos*, Universidad de Oviedo, 2002, p. 307.

ANEXOS