



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## **FACULTAD DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**TEMA:**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA A UN VEHÍCULO MONOPLAZA PROPULSADO POR UN MOTOR ELÉCTRICO Y ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR, DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE PARA MEJORAR SU AUTONOMÍA ”**

Trabajo de grado previa la obtención del título de Ingeniero en  
Mantenimiento Eléctrico.

**AUTOR: ROJAS MUÑOZ DIEGO ANTONIO**

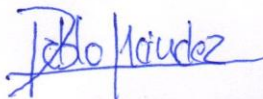
**DIRECTOR: ING. MÉNDEZ PABLO DANILO**

Ibarra 2015

## ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Luego de haber sido designado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Educación, Ciencia y Tecnología de la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra, he aceptado con satisfacción participar como director del Trabajo de Grado titulado **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA A UN VEHÍCULO MONOPLAZA PROPULSADO POR UN MOTOR ELÉCTRICO Y ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR, DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE PARA MEJORAR SU AUTONOMÍA ”** De autoría del señor Rojas Muñoz Diego Antonio, previo a la obtención del Título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico. A ser testigo presencial, y corresponsable directo del desarrollo del presente trabajo de investigación, afirmo que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sustentado públicamente ante el tribunal que sea designado oportunamente.

Esto es lo que puedo certificar por ser justo y legal.



ING. MÉNDEZ PABLO DANILO  
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

## **DEDICATORIA**

Este trabajo lo dedico a Dios por permitir contar con mis padres y hermanos quienes han sido el soporte incondicional durante el transcurso de mi vida, a ellos, que con esfuerzo han luchado para sacarme adelante dedico todo mi sacrificio y esfuerzo invertidos en desarrollar este trabajo.

## **AGRADECIMIENTO**

Se hace extenso mi agradecimiento a todas aquellas personas que con su sabiduría, experiencia, amor y humildad dieron algo de ellos para la realización de esta tesis.

En especial a Araceli quien fue un pilar fundamental durante mi etapa estudiantil y ahora como parte de mi vida.

## ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINAS
ACEPTACIÓN DEL TUTOR	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE GENERAL	V
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
CAPÍTULO I	1
1. El problema de investigación	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Formulación del problema	3
1.4 Delimitación	3
1.4.1 Delimitación Temporal	3
1.4.2 Delimitación Espacial	3
1.5 Objetivos	3
1.5.1 Objetivo General	3
1.5.2 Objetivo Especifico	4
1.6 Justificación	4
1.7 Factibilidad	5
CAPÍTULO II	6
2. Marco teórico	6
2.1 Vehículo Eléctrico	6
2.2 Funcionamiento del vehículo eléctrico	6

2.2.1	Motor eléctrico	6
2.2.2	Suministro de energía para el vehículo	7
2.2.3	Batería	7
2.2.4	Sistema de control del vehículo	7
2.3	Motor para vehículo eléctrico	7
2.3.1	Cálculo de motor para un vehículo eléctrico	8
2.4	Suministro de energía para vehículo eléctrico	11
2.4.1	Energía fotovoltaica para vehículos eléctricos	12
2.4.1.1	Eficiencia de un panel solar	12
2.4.1.2	Conexión y cálculo de sistemas solares	14
2.4.1.3	Determinación de la carga de consumo diaria.	16
2.4.1.4	Determinación del número de módulos.	18
2.5	Batería para vehículo eléctrico	20
2.5.1	Tamaño del acumulador	22
2.6	Sistema de control	24
2.6.1	Control de velocidad del motor	24
2.6.2	Control de carga solar	28
2.7	Glosario de términos	30
	CAPÍTULO III	33
3	Metodología de la investigación	33
3.1	Tipo de investigación	33
3.1.1	Investigación tecnológica	33
3.1.2	Investigación bibliográfica	33
3.2	Métodos	34
3.2.1	Diseño eléctrico / mecánico	34
3.2.2	Pruebas de funcionamiento	34
3.2.3	Optimización	34
3.2.4	Adaptaciones	35
3.2.5	Modelación	35
3.3	Técnicas e instrumentos	36

3.3.1	Diseño de circuitos	36
3.3.2	Mediciones	36
CAPÍTULO IV		37
4	Propuesta alternativa	37
4.1	Título de la propuesta	37
4.2	Justificación	37
4.3	Fundamentación	38
4.4	Desarrollo de la propuesta	39
4.4.1	Diagnostico	39
4.4.2	Proceso	43
4.4.3	Motor	43
4.4.3.1	Especificaciones Técnicas	44
4.4.3.2	Curva característica de torque	44
4.4.3.3	Dimensiones	46
4.4.4	Fuente de tensión – baterías	47
4.4.4.1	Calculo de baterías	48
4.4.5	Módulo controlador de velocidad	51
4.4.5.1	Parámetros que debe cumplir el controlador	51
4.4.5.2	Módulo controlador seleccionado para la aplicación – Sigma Drive	52
4.4.5.3	Módulo de aceleración (Sigma Drive PMT445M) y contactor de línea	53
4.4.5.4	Contactor de línea SW180B	54
4.4.6	Diagrama de conexión módulo de aceleración (Sigma Drive PMT445M)	55
4.4.6.1	Descripción de los conectores y sus pines	56
4.4.7	Diseño de circuito para el controlador	58
4.4.7.1	Nomenclatura de instalación	58
4.4.8	Instalación del módulo controlador	59
4.4.9	Prueba de funcionamiento del módulo de aceleración (Sigma	60

Drive PMT445M)	
4.4.10 Adaptación de módulo controlador (Sigma Drive PMT445M)	61
4.4.11 Adaptación de baterías	64
4.4.12 Adaptación del potenciómetro como pedal de acelerador	65
4.4.13 Pruebas de funcionamiento del prototipo eléctrico solar suspendido y sobre la calzada con fuente de tensión de 36V y 48V	68
4.4.14 Implementación de sistema fotovoltaico para recarga de baterías	74
4.4.15 Construcción y adaptación de palanca selectora de carga	77
4.4.16 Adaptación de un nuevo sistema de tracción eliminando la caja de velocidades	79
4.4.17 Adaptación de alternador	84
4.4.18 Instrucciones de operación para del prototipo eléctrico solar	92
CAPÍTULO V	94
5 Conclusiones y recomendaciones	94
5.1 Conclusiones	94
5.2 Recomendaciones	95
BIBLIOGRAFÍA	96
LINCOGRAFÍA	97
ANEXOS	98



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características normales especificadas por los fabricantes de coches para pequeños vehículos eléctricos no híbridos	8
Tabla 2 Incidencia solar en la provincia de Imbabura durante un año	13
Tabla 3 Comparación de tres tipos de baterías	21
Tabla 4 Diagnóstico inicial	39
Tabla 5 Oferta de baterías en el mercado local	47
Tabla 6 Autonomía del prototipo de vehículo eléctrico solar	51
Tabla 7 Características técnicas del módulo sigma drive PMT445M	52
Tabla 8 Datos técnicos contactor SW180B	54
Tabla 9 Descripción de pines para el conector A	56
Tabla 10 Descripción de pines para el conector C	57
Tabla 11 Prueba de funcionamiento del módulo controlador	61
Tabla 12 Adaptación de módulo y complementos para el control del motor	63
Tabla 13 Proceso de adaptación de baterías	65
Tabla 14 Proceso de adaptación del pedal acelerador	67
Tabla 15 Prueba de funcionamiento con el vehículo suspendido	68
Tabla 16 Pruebas de funcionamiento a 48V	71
Tabla 17 Análisis comparativo de funcionamiento	72
Tabla 18 Prueba de funcionamiento a 36V	73
Tabla 19 Comparación de resultados para los dos tipos de conexión de la fuente	73
Tabla 20 Paneles existentes en el prototipo	75
Tabla 21 Proceso de adaptación del panel fotovoltaico Tynsolar	76
Tabla 22 Proceso de construcción de la palanca selectora de carga	78
Tabla 23 Construcción y adaptación del nuevo sistema de transmisión	82
Tabla 24 Prueba de funcionamiento del sistema de transmisión directo	83
Tabla 25 Comparación de resultados de la relación de transmisión con y sin caja de velocidades	83

Tabla 26 Proceso de adaptación de un alternador en el P.E.S para carga adicional	88
Tabla 27 Prueba de funcionamiento con transmisión directa y adaptación de un alternador para generación adicional de energía	89
Tabla 28 Comparación de resultados generales del prototipo	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Característica par velocidad de un vehículo eléctrico según las especificaciones de la tabla	9
Figura 2 Formas de onda del ciclo de trabajo de un circuito PWM	25
Figura 3 Diagrama esquemático de un circuito PWM con integrado 555	26
Figura 4 Prototipo en el diagnostico antes de ser intervenido	41
Figura 5 Motor manta con el que cuenta el prototipo	41
Figura 6 Tablero de control de carga	41
Figura 7 Suelda en baquelitas	42
Figura 8 Potenciómetro tipo lineal para acelerador en el volante	42
Figura 9 Sistema de control para el acelerador	42
Figura 10 Voltaje de cada batería	43
Figura 11 Voltaje total de la fuente	43
Figura 12 Curva característica de torque a 36V	45
Figura 13 Curva característica de torque a 48V	45
Figura 14 Dimensiones del motor Manta	46
Figura 15 Configuración de baterías para 48V 65Ah	50
Figura 16 Configuración de baterías para 36V 130AH	50
Figura 17 Diagrama de Instalación para Sigma Drive PMT445M recomendado por el fabricante.	55
Figura 18 Nomenclatura de instalación	58
Figura 19 Diagrama de conexión a 36V del P.V.E	59
Figura 20 Conexión correcta de los terminales de potencia	60
Figura 21 Contactor de línea	52
Figura 22 Elementos de control montados en el tablero de control	63
Figura 23 Base lista para instalar sobre el P.E.S	64
Figura 24 Baterías en la base modificada	64
Figura 25 Conexión serie paralelo para fuente de 36V – 130Ah	65
Figura 26 Diseño de cuerpo de aceleración	66

Figura 27 Cuerpo de aceleración	67
Figura 28 Prototipo suspendido	69
Figura 29 Temperatura del motor luego de 11'32"	69
Figura 30 Temperatura de conductores luego de 11'32" de funcionamiento con el prototipo suspendido	70
Figura 31 Temperatura del disipador del módulo luego de 11'32" de funcionamiento	70
Figura 32 Paneles fotovoltaicos antiguos del prototipo	75
Figura 33 Placa de datos del panel	76
Figura 34 Panel Tynsolar instalado en el prototipo	77
Figura 35 Diseño de palanca selectora	77
Figura 36 Imagen real de la palanca selectora adaptada	78
Figura 37 Conexión Interna de la palanca selectora	79
Figura 38 Caja de velocidades desmontada	80
Figura 39 Diseño del eje de transmisión	80
Figura 40 Nuevo sistema de transmisión	82
Figura 41 Diagrama esquemático del sistema de carga	85
Figura 42 Circuito de carga	85
Figura 43 Montaje de alternador	86
Figura 44 Alternador montado en el prototipo	86
Figura 45 Diseño de adaptación de la polea de arrastre en eje de tracción	87
Figura 46 Sistema de carga con alternador montado	87
Figura 47 Interruptor de llave	89
Figura 48 Amperímetro indicando sistema de carga con alternador, en reposo	91
Figura 49 Amperímetro indicando sistema de carga con alternador, trabajando	91
Figura 50 Interruptor de encendido activo	92

## RESUMEN

La intención de desarrollar un vehículo eléctrico solar surge desde necesidades de la sociedad para movilizarse sin afectar al medio ambiente y reduciendo costos de movilización, en la Universidad Técnica del Norte estudiantes de Mantenimiento Automotriz ya han visualizado esta problemática con anterioridad dando el primer paso de solución, que fue la construcción del prototipo, como resultado de esta propuesta se tiene un prototipo con bajas prestaciones a lo que se da solución implementado sistemas de control más eficientes sobre sus partes. Este trabajo de grado se realiza en función de tecnologías existentes en otros países, para lo que se debió investigar a través de diferentes fuentes bibliográficas como libros, revistas, foros, blogs e internet donde se encontró la información necesaria para ser analizada, interpretada desarrollada y experimentada en esta propuesta. Para el desarrollo de este trabajo fue necesario construir sistemas eléctricos y mecánicos apoyándose en adaptaciones de sistemas ya elaborados, experimentando su desempeño para esta aplicación. Con el desarrollo de este trabajo se logró incrementar la autonomía del prototipo de vehículo eléctrico solar, obteniendo niveles de potencia y velocidad aceptables para las características básicas de un vehículo eléctrico. La intervención sobre el prototipo hizo que cuente con autonomía de aproximadamente una hora, dependiendo las condiciones geográficas del terreno donde se desplace, el prototipo puede alcanzar velocidades máximas de sesenta y cinco kilómetros por hora, está diseñado para la movilización de un ocupante, las baterías se pueden cargar una por una con energía fotovoltaica a través de una palanca selectora de carga y en condiciones geográficas con pendiente descendente se puede cargar con un sistema de generación por alternador, logrando una movilización eficiente con bajos costos de mantenimiento y con energía de impulso gratuita.

## ABSTRACT

The intention to develop a solar electric vehicle arises from needs of society to move without affecting the environment and reducing mobilization costs, students at the Universidad Tecnica del Norte of mantenimiento automotriz has displayed this problem before taking the first step of asolution which it was the construction of the prototype, as a result of this proposal has a prototype with low performance to what is implemented solves most efficient systems on parts control. This monography is done based on existing technologies in other countries, for which is investigated through different resources such as books, magazines, forums, blogs and Internet where information needed to be analyzed was found, interpreted developed and experienced in this proposal. For the development of this work it was necessary to build electrical and mechanical systems relying on adaptations of already developed systems experiencing performance for this application. With the development of this work was able to increase the autonomy of the prototype solar electric vehicle, obtaining power levels and acceptable to the basic characteristics of an electric vehicle speed. The intervention on the prototype made that has autonomy of about an hour, depending on the geographical conditions of the terrain where it moves, the prototype can reach top speeds of sixty-five kilometers per hour, it is designed to mobilize an occupant, batteries could be loaded one by one with photovoltaic through a selector lever load and geographical conditions with downward slope can be loaded with a system for generating alternator, achieving efficient mobilization with low costs and energy for free impulse

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo de grado, es una investigación tecnológica, con la finalidad de mejorar y optimizar tecnologías que fueron propuestas por estudiantes graduados en años anteriores, la investigación base del prototipo eléctrico impulsado por energía solar, fue desarrollada por los señores Walter Alfredo Salazar Cadena y José David Chandi Pozo, ex estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz de la Universidad Técnica del Norte, ubicada en la ciudad de Ibarra provincia de Imbabura, para la obtención del título de ingenieros en Mantenimiento Automotriz en el año 2012, el cual ha presentado varios inconvenientes al momento de tratar temas de eficiencia y autonomía, los cuales fueron resueltos parcialmente con varias modificaciones.

Los propósitos principales de elaborar esta investigación tecnológica, fueron con la finalidad de ir mejorando en lo posible la tecnología nacional en cuanto a vehículos eléctricos se trata, aportando a la no contaminación del planeta, utilizando energías renovables que en el futuro serán la única fuente de energía utilizada, dejando de lado a toda clase de combustibles fósiles.

En el presente trabajo de grado, se detalla la investigación necesaria para la aplicación de esta tecnología y el desarrollo del trabajo práctico.

En el primer capítulo se habla de los problemas de investigación; en el cual constan antecedentes, planteamiento del problema, formulación del problema, objetivos, y justificación.

En el segundo capítulo está el marco teórico, en donde se encuentra la fundamentación teórica, posicionamiento teórico personal y glosario de términos.

En el tercer capítulo se detalla la metodología de la investigación, con los tipos de investigación y métodos.

En el cuarto capítulo se trata el desarrollo de la propuesta tecnológica.

Las conclusiones y recomendaciones están en el quinto capítulo.



## **CAPÍTULO I**

### **1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 Antecedentes**

El coche eléctrico fue uno de los primeros automóviles que se desarrolló, hasta el punto que existieron pequeños vehículos eléctricos anteriores al motor de cuatro tiempos.

La mejora de la pila eléctrica, por parte de los franceses Gastón Planté en 1865 y Camille Faure en 1881, facilitó el camino para los vehículos eléctricos.

Justo antes de 1900, antes de la preeminencia de los motores de combustión interna, los automóviles eléctricos realizaron registros de velocidad y distancia notables, entre los que destacan la ruptura de la barrera de los 100 km/h, de Camille Jenatzy el 29 de abril de 1899, que alcanzó una velocidad máxima de 105,88 km/h.

Los automóviles eléctricos, producidos en los Estados Unidos por Anthony Electric y otros durante los principios del siglo XX tuvieron relativo éxito comercial. Debido a las limitaciones tecnológicas, la velocidad máxima de estos primeros vehículos eléctricos se limitaba a unos 32 km/h, por eso fueron vendidos como coche para la clase alta y con frecuencia se comercializaron como vehículos adecuados para las mujeres, debido al fácil manejo, conducción limpia y tranquila, especialmente al no requerir el arranque manual con manivela que si necesitaban los automóviles de gasolina de la época.

A finales de 1930, la industria del automóvil eléctrico desapareció por completo, quedando relegada a algunas aplicaciones industriales muy concretas, como montacargas (introducidos en 1923 por Yale), toros elevadores de batería eléctrica, o más recientemente carros de golf eléctricos, con los primeros modelos de Lektra en 1954.

En la actualidad se destacan vehículos eléctricos como el Nissan Leaf quien ha tenido una gran acogida en el mercado, a pesar de ser un vehículo eléctrico aún usa energía de fuentes no renovables para su funcionamiento, que al momento depende de una carga en un suministro de energía no renovable.

Por otra parte, está el prototipo eléctrico del estudiante Chino Zhuzhen Lin de la escuela técnica Zhejiang Xiangshan, es un prototipo netamente eléctrico impulsado por energía renovable reduciendo a cero el nivel de contaminación.

Para nuestra sociedad, está el prototipo eléctrico impulsado por energía solar, construido por el señor Walter Alfredo Salazar Cadena y José David Chandi Pozo, ex estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz de la Universidad Técnica del Norte, ubicada en la ciudad de Ibarra provincia de Imbabura, para la obtención del título de ingenieros en Mantenimiento Automotriz en el año 2012, este prototipo ha presentado varios inconvenientes al momento de tratar temas de eficiencia y autonomía, los cuales se plantean ser resueltos en esta propuesta.

## **1.2 Planteamiento del problema**

En la Universidad Técnica del Norte, se construyó un prototipo monoplaza impulsado por un motor eléctrico con alimentación de energía fotovoltaica, el que ha presentado problemática en cuanto a sus prestaciones. Los principales problemas que se han presentado son los temas relacionados con: Autonomía, potencia y velocidad.

## **1.3 Formulación del problema**

¿Cómo mejorar la autonomía, potencia y velocidad del prototipo monoplaza eléctrico solar de la Universidad Técnica del Norte?

## **1.4 Delimitación**

### **1.4.1 Delimitación temporal**

Este proyecto se llevó a cabo desde el mes de agosto del 2013 hasta el mes de mayo del 2015.

### **1.4.2 Delimitación espacial**

Este proyecto se llevó a cabo en el domicilio del autor.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Implementar un circuito de control electrónico y optimizar la eficiencia del vehículo eléctrico monoplaza, de la Universidad Técnica del Norte para

mejorar su sistema de carga, almacenamiento de energía y control sobre su funcionamiento.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Investigar el control adecuado para la optimización de los sistemas controladores del funcionamiento del vehículo eléctrico monopla.
- Modificar el control de carga de los paneles solares existentes en el vehículo.
- Modificar el sistema de control de aceleración.
- Diseñar e implementar la propuesta tecnológica.

### **1.6 Justificación**

Este proyecto fue presentado de conformidad con la ley y reglamento de educación superior vigente en el Ecuador, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico.

De conformidad con la propuesta tecnológica se construyó, adaptó, y optimizó el uso del vehículo solar con la finalidad de ir mejorando en lo posible la tecnología nacional.

Actualmente, el empleo de los autos eléctricos no es tan usual como el de los autos impulsados por un motor de combustión interna, sin embargo debido al agravante de la contaminación y a la reducción en las fuentes convencionales de energía, cada vez se ve con más interés el uso de autos que empleen fuentes de energía alternativa. El diseño y construcción de

autos eléctricos es de gran interés debido a que no emiten gases contaminantes y reducen considerablemente el nivel de ruido generado durante su funcionamiento, eficiencia y la disponibilidad comercial de sus componentes. Con la modificación al prototipo propuesto, se pretende incorporar en el medio, un vehículo con el fin de satisfacer las diversas necesidades de transporte que tiene la industria y la sociedad.

Para el sector educativo, los estudiantes tienen la oportunidad de plasmar su creatividad, así como de desarrollar habilidades científicas y tecnológicas.

Para el sector eléctrico e industrial, se ofrece un auto con tecnología de vanguardia, a un costo relativamente bajo que se podría diseñar en función de un requerimiento específico.

El presente proyecto permitirá mejorar la eficiencia y autonomía del prototipo para contribuir a las mejoras tecnológicas institucionales y medio ambientales.

Una de las limitación que tuvo este trabajo por ser un prototipo, son los bajos niveles de confort, eficiencia y eficacia, ya que fue construido de manera artesanal en nuestro medio.

## **1.7 Factibilidad**

El presente proyecto fue de vigencia plena con la factibilidad de realizarlo sin ningún obstáculo ya que la propuesta tecnológica se compone de sistemas que se encuentran en el mercado nacional e internacional, ahora al alcance de nuestros medios, además se utilizó varias fuentes para recolectar información necesaria como fueron: manuales, libros, blogs, revistas e internet.

## **CAPÍTULO II**

### **2 MARCO TEÓRICO.**

#### **2.1 Vehículo eléctrico**

Según Bryan Salvatierra 2012 dice:

Un vehículo eléctrico es un vehículo de combustible alternativo impulsado por uno o más motores eléctricos. La tracción puede ser proporcionada por ruedas o hélices impulsadas por motores rotativos, o en otros casos utilizar otro tipo de motores no rotativos, como los motores lineales, los motores inerciales, o aplicaciones del magnetismo como fuente de propulsión, como es el caso de los trenes de levitación magnética (p.10)

#### **2.2 Funcionamiento del vehículo eléctrico**

El vehículo eléctrico se compone de cuatro sistemas primordiales para su funcionamiento:

- Motor eléctrico
- Suministro de energía para el vehículo
- Batería
- Sistema de control

##### **2.2.1 Motor eléctrico**

El motor de un vehículo eléctrico puede ser un motor de corriente alterna o de corriente continua, la diferencia en sus sistemas es que el de corriente

continua, se alimenta directamente desde el banco de baterías y para el de corriente alterna se debe transformar la corriente continua en alterna, previa su alimentación a través de un conversor.

### **2.2.2 Suministro de energía para el vehículo.**

El suministro puede ser por corriente alterna directamente desde la red o corriente continua. Para los sistemas de corriente alterna necesariamente se debe transformar en corriente continua para cargar las baterías, por lo contrario para los sistemas de corriente continua se carga directamente y esta puede ser energía generada a bordo del vehículo o de una fuente externa.

### **2.2.3 Batería**

Es la encargada de almacenar la energía en forma química para entregar a los sistemas del vehículo en un momento determinado en forma de energía eléctrica.

### **2.2.4 Sistema de control**

Es el responsable de la interface de control, sobre el motor y los sistemas eléctricos por parte del conductor, haciendo que la conducción del vehículo sea similar a la de un vehículo convencional.

## **2.3 Motor para vehículo eléctrico**

En base a estudios realizados por la organización Auto Libre de Chile, recomiendan dentro de las opciones de motor para vehículo eléctrico: motor con escobillas de corriente continua y motores de inducción. Dentro de cada

una de estas opciones hay otras, por ejemplo, en motores de corriente continua con o sin escobillas, puede tener campo bobinado o con imanes permanentes. A pesar de una variedad de opciones los más recomendados por su eficiencia, cero costos de mantenimiento y confiabilidad de funcionamiento son los motores de corriente alterna.

### 2.3.1 Cálculo de motor para un vehículo eléctrico

Tomando en cuenta las características normales especificadas por los fabricantes de coches, para pequeños vehículos cien por ciento eléctricos.

Tabla 1

Características normales especificadas por los fabricantes de coches para pequeños vehículos eléctricos no híbridos

Parámetro	Variable
Velocidad punta de carretera plana	120 km/h
Aceleración de 0 – 50 km/h	9 segundos
Voltaje de la batería	180V
Peso en vacío	550 Kg
Carga máxima	250 Kg
Peso máximo	800 Kg
Área frontal	1.5 m <sup>2</sup>
Coefficiente de arrastre aerodinámico Cx	0.35
Radio de rodadura de las ruedas	30 cm
Factor de sobre velocidad	1.2

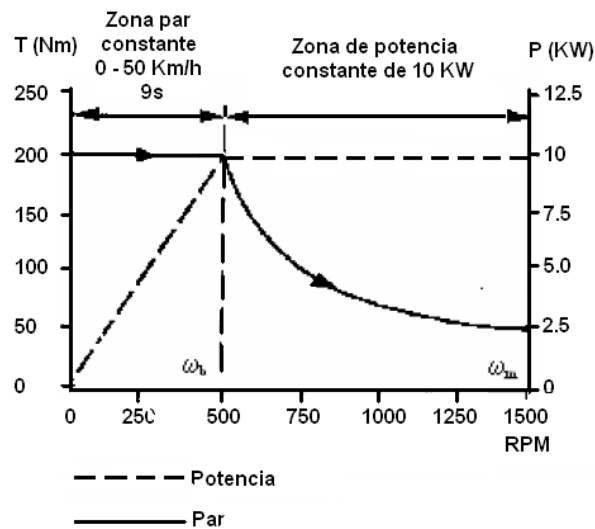
Fuente: Eduardo Frías Valero. (2004). Universidad politécnica de Cataluña.



De acuerdo a las características de la tabla 1, la velocidad de base  $\omega_b$  es de 500 RPM desarrollando un par 190 Nm, con una velocidad de punta  $\omega_m$  de 1500 RPM, la característica par velocidad a cumplir es la siguiente:

Figura 1

Característica par velocidad de un vehículo eléctrico según las especificaciones de la tabla 1.



Fuente: Eduardo Frías Valero.(2004). Universidad politécnica de Cataluña.

Durante la fase de aceleración se aumenta la potencia progresivamente hasta llegar a la potencia nominal. En esta fase se necesita vencer el peso y sus inercias para llevarlo a la velocidad de aceleración de 50 km/h por lo que se mantiene el par constante. Una vez alcanzada esta velocidad, donde ya se han compensado las inercias, ya no es necesario mantener el par nominal de la máquina, por lo que se sigue aumentando la velocidad a base de reducir el par, es decir manteniendo la potencia constante.

La potencia consumida en un vehículo que se desplaza a velocidad constante a través del aire se debe a dos conceptos:

- Pérdidas de rodadura: pérdida en la transmisión, fricción en cojinetes y pérdida por histéresis en la goma de la rueda, donde las dos últimas requieren una fuerza proporcional a la masa del vehículo para ser vencidas. Siendo estas pérdidas proporcionales a la velocidad.
- Pérdidas aerodinámicas: Pérdidas por fricción del cuerpo del vehículo con el aire y fricción del aire con las ruedas.

Gabriel Gonzales Barrios 2008 explica que “para definir la potencia empleada para mover al vehículo se deben tener en cuenta parámetros tales como peso del vehículo, fuerzas de fricción, fuerza de resistencia del viento”(p. 2).

Fuerza debido al peso sobre el piso  $F_{pp}$

$$F_{pp} = \text{PesoKg} \times 9.8 \frac{m}{s^2} = ?N \quad \text{Ecuación 1}$$

Fuerza de fricción cinética  $F_k$ :

$$F_k = P_a \times F_{pp} = ?N \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

Coeficiente asfalto  $P_a = 0,017$  (*constante*)

Fuerza por fricción con el aire  $F_a$ :

$$F_a = 0,032(\text{constante}) \times (V)^2 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$$V = (\text{Km/h})^2$$

Resistencia R:

$$R = Fk + Fa = Fk + [0.032 \times (V)^2] = ? N \quad \text{Ecuación 4}$$

Potencia primaria  $P_p$ :

$$P_p = \frac{R \times V}{3,6} = ? W \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

3,6 = constante

Se debe considerar perdidas mecánicas totales de un 50%.

Potencia total del motor  $P_t$ :

$$P_t = \frac{P_p}{0.5} = ? W \quad \text{Ecuación 6}$$

## **2.4 Suministro de energía para vehículo eléctrico.**

La energía necesaria para el funcionamiento de un vehículo eléctrico puede ser suministrada de varias formas:

- Energía proporcionada al vehículo en forma de un producto químico, que se almacena en el vehículo mediante una reacción química generada a bordo, produce energía para motores eléctricos como cualquier vehículo con pila de combustible.
- Energía suministrada al vehículo cuando está en reposo, es almacenada a bordo con sistemas recargables para ser consumida durante su desplazamiento.
- Energía generada a bordo usando una fuente fotovoltaica.

De estas alternativas de producción de energía, se optó por energía generada a bordo con paneles fotovoltaicos.

### **2.4.1 Energía fotovoltaica para vehículos eléctricos**

La producción de energía fotovoltaica para aplicaciones automotrices, se calcula a partir de las características propias del vehículo y de la autonomía de las baterías que se busque con ello, un factor importante en la producción fotovoltaica es la eficiencia en relación del tiempo de incidencia solar.

#### **2.4.1.1 Eficiencia de un panel solar**

Según Ronnie Nader en sus declaraciones publicadas por diario El Tiempo de la ciudad de Cuenca en 2008-10-26, dice: “La concentración de la

capa de ozono en la franja Ecuatorial, realizado por EXA durante un año -con mediciones de diez satélites, Ecuador tiene la radiación más alta del planeta” (p.17).

Con respecto al Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica publicado por el CONELEC en agosto del 2008, la incidencia del sol en Imbabura varía en el transcurso del año:

Tabla 2

Incidencia solar en la provincia de Imbabura durante un año

<b>MES</b>	<b>INCIDENCIA EN Wh/m<sup>2</sup></b>
Enero	3300
Febrero	3300
Marzo	3300
Abril	3600
Mayo	3600
Junio	4200
Julio	4200
Agosto	4200
Septiembre	4000
Octubre	4200
Noviembre	4200
Diciembre	4500

Fuente: Atlas Solar del Ecuador 2008 CONELEC.

Según la tabla 2 y las características de fabricación de un panel solar, indican que su diseño proporcionará la potencia indicada en la placa de

datos, a partir de que el panel fotovoltaico se exponga a una incidencia solar sobre 1000 vatios por metro cuadrado. Así, tenemos un panel solar con datos de placa de 100 vatios de potencia, expuesto al sol en la provincia de Imbabura, en cualquier época del año durante el tiempo de incidencia diario del sol comprendido de 08h30 a 16h30, dicho panel suministrará la energía diaria en función del tiempo de exposición:

$$E_d = P_p \times t$$

Ecuación 7

Donde:

$E_d$  = Energía diaria total suministrada por el panel en WH/día.

$P_p$  = Potencia pico del panel en vatios W.

$t$  = tiempo diario en horas de exposición al sol.

#### **2.4.1.2 Conexión y cálculo de sistemas solares.**

Ortega M. 2003 afirma que “No se conectarán nunca entre sí módulos de distintas características ni de diferentes fabricantes” (p. 135).

Además existen tres formas posibles de conexión entre paneles:

- Conexión en paralelo: Se conecta los paneles entre sí, todos los polos positivos y todos los polos negativos.
- Conexión en serie: Se conecta el polo positivo de cada panel con el negativo del siguiente.
- Conexión mixta serie/paralelo: Intervienen ambos conexiones teniendo en cuenta que los conjuntos interconectados en serie o en paralelo deben tener las mismas características, es decir, tener el mismo número de módulos y estar conectados de igual forma.

Para conseguir la potencia deseada por un sistema fotovoltaico, es necesario interconectar los paneles solares donde se hará referencia al libro de Ortega M. 2003 donde expresa: “La potencia pico del generador  $P_{pG}$  viene dada por el producto entre la potencia pico del módulo  $P_{pM}$  y el número de módulos  $N_T$ ” (p 136).

$$P_{pG} = P_{pM} \times N_T \quad \text{Ecuación 8}$$

Sin embargo, se puede definir la tensión de trabajo del sistema, para un número dado de paneles según el conexionado que se realice, sin afectar la potencia. Cuando se conecta los módulos en paralelo, la tensión del generador es la tensión original del módulo y la intensidad de salida es la multiplicación de la intensidad de un módulo por el número de módulos en paralelo  $N_p$ :

Intensidad de salida de un conjunto de paneles

$$I_G = i_M \times N_p \quad \text{Ecuación 9}$$

En el conexionado en serie, la tensión de salida es la tensión del módulo por el número de módulos en serie  $N_s$  y la intensidad de salida es igual a la nominal de cada módulo:

Tensión de salida para un conjunto de paneles conectados entre sí.

$$V_G = v_M \times N_s \quad \text{Ecuación 10}$$

Para el conexionado serie paralelo, la tensión de salida es el producto del número de módulos en serie por la tensión del módulo y la intensidad es el número de módulos en paralelo por la intensidad del módulo. El número total de módulos  $N_T$  será:

$$N_T = N_p \times N_s \quad \text{Ecuación 11}$$

Además, para el cálculo y diseño de instalaciones fotovoltaicas como norma general, se supondrá que el campo de paneles fotovoltaicos generara diariamente la misma capacidad  $C_G$  en amperio / hora, que se vaya a consumir en el día  $C_d$  carga de consumo diaria. De este modo debe cumplirse que:

Capacidad de generación

$$C_G = C_d(Ah) \quad \text{Ecuación 12}$$

#### 2.4.1.3 Determinación de la carga de consumo diaria $C_d$ .

El consumo diario en amperios hora puede obtenerse según:

$$C_d = \frac{E_d}{V_{tr}} (Ah) \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

$V_{tr}$  = Tensión de suministro de la batería a los consumos.

$E_d$  = Energía que se consume al día evaluada según:



Energía de consumo diario.

$$E_d = E_{CC} + \frac{E_{CA}}{\eta} (Ah) \quad \text{Ecuación 14}$$

En la que se tiene en cuenta el valor de la energía consumida por las cargas que funcionan con corriente alterna y las que funcionan en corriente continua, en la que  $\eta$  es la eficiencia del convertidor en tanto por uno y cuyo valor oscila por lo general, entre 0,8 y 0,9.

Para determinar cada uno de los sumandos de la anterior expresión, se necesita conocer la potencia de funcionamiento de cada aparato  $P_i$  y estimar el tiempo en horas de funcionamiento al día  $t_i$ , entonces, por la expresión siguiente se evalúa la energía  $E_i$ , en vatios hora que cada carga consume al día:

Energía consumida por un aparato eléctrico

$$E_i = P_i \times t_i (Wh) \quad \text{Ecuación 15}$$

Una vez determinado el consumo de cada aparato se calcula la energía que se consume al día por la siguiente sumatoria:

$$E_d = \Sigma E_{iCC} + \frac{\Sigma E_{iCA}}{\eta} (Wh) \quad \text{Ecuación 16}$$

Si el consumo se demanda solo unos días a la semana, como en el caso de las viviendas de uso de fin de semana, se puede asimilar el consumo diario  $E_d$  al consumo que tendría una instalación de demanda diaria menor, pero igual en cómputo semanal  $E_d'$ , así, se tendrá la expresión:

Energía de consumo para cargas con demanda diaria.

$$E'_d = E_d \times \frac{n^{\circ} \text{ días de uso}}{7} (Wh) \quad \text{Ecuación 17}$$

Del mismo modo para cargas que solo se usen unos días en semana se tendría:

Energía para cargas de uso ocasional.

$$E'_i = E_i \times \frac{n^{\circ} \text{ días de uso}}{7} (Wh) \quad \text{Ecuación 18}$$

Con las dos expresiones anteriores se tiene en cuenta que los módulos cargan las baterías todos los días de la semana mientras que la energía se consume solo unos días. Esto se puede estimar así, solo en cómputo semanal, pues las baterías no admitirían descargas grandes el día de consumo para ser recargadas por los paneles durante periodos superiores a la semana ya que permanecerían descargadas durante mucho tiempo limitando su vida útil.

#### 2.4.1.4 Determinación del número de módulos $N_T$

La energía que es capaz de captar el campo de paneles se define como la potencia del generador por el tiempo de captación solar:

Energía generada por el campo de módulos fotovoltaicos

$$E_G = P_{pG} \times H.S.P. (Wh) \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

$P_{pG}$ : Es la potencia pico de generador.

$H.S.P$ : Son las horas sol pico, concepto teórico que indica el número de horas de sol con una intensidad de radiación de  $1000 \text{ w/m}^2$  incidiendo perpendicularmente sobre la superficie del módulo, que tendría un día imaginario en que el módulo recibiría la misma energía que en un día real:

Simplificación de la ecuación 19.

$$E_G = V_{pM} \times i_{pM} \times N_s \times N_p \times H.S.P \quad (Wh) \quad \text{Ecuación 20}$$

Voltaje pico del módulo

$$V_{pM} \times N_s = V_{pG} \quad \text{Ecuación 21}$$

Capacidad Generada

$$\frac{E_G}{V_{pG}} = C_G (Ah) \quad \text{Ecuación 22}$$

Entonces, sustituyendo la ecuación 20 por la ecuación 21, cambiando de miembro a  $V_{pG}$  y por la igualdad de la ecuación 11 se deduce que:

Sustituyendo la ecuación 20 por la ecuación 21

$$C_d = i_{pM} \times N_p \times H.S.P \quad (Ah) \quad \text{Ecuación 23}$$

Y despejando de esta ecuación el número de módulos en paralelo se calculará según:

Número de módulos en paralelo

$$N_p = \frac{C_d}{i_{pM} \times H.S.P.} \quad \text{Ecuación 24}$$

Además, el número de módulos en serie  $N_s$  puede quedar definido previamente en función de la tensión de trabajo  $V_{tr}$  a la que se quiera que trabajen las baterías, tensión ya prevista a la hora de la determinación de  $C_d$ , según la ecuación 12 y la tensión nominal del módulo, 12V por lo general.

Número de módulos fotovoltaicos en serie

$$N_s = \frac{V_{tr}}{v_M} \quad \text{Ecuación 25}$$

El número total de módulos como ya se vio en la ecuación 7 será:

$$N_T = N_s \times N_p \quad \text{Ecuación 26}$$

Que deberán conectarse según lo previsto en las conexiones de módulos fotovoltaicos.

## 2.5 Batería para vehículo eléctrico

Bajo el concepto de 2.2.3, a través de estudios realizados y pruebas por varios investigadores, se ha determinado que hasta el momento el mejor tipo de batería para un vehículo eléctrico son las compuestas por células de

ion/litio, sin incluir las baterías de polímero de grafeno que aún están en desarrollo y tienen superioridad absoluta sobre las de ion/litio. También están presentes las baterías no recargables de aluminio/aire que tienen hasta 1.600 km de autonomía para un vehículo estándar de 800kg y se comercializan hasta el momento en Europa, como baterías desechables.

Además por reducción de costos de implementación en conversiones de vehículo convencional a vehículo eléctrico, también se ha considerado como una opción viable a las baterías de plomo/acido.

Una batería eléctrica, se caracteriza especialmente por los amperios hora capaz de suministrar sin importar el tipo que sea, de allí parten otros aspectos importantes según la aplicación, como son: peso, volumen, tipo de mantenimiento, voltaje de suministro, profundidad de descarga entre otros.

Tabla 3  
Comparación de tres tipos de baterías

<b>Tipo</b>	<b>Energía/peso</b>	<b>Tensión</b>	<b>Número de recargas</b>	<b>Tiempo de carga</b>	<b>Auto-descarga por mes (%DEL TOTAL)</b>
Plomo	30-40 Wh/kg	2V	1000	8-16h	5%
Li – ion	110 – 160 Wh/kg	3.16V	4000	2 - 4h	25%
Polímero de grafeno	600 Wh/kg	3.2V	8000	1 – 2h	20%

Fuente: Autor.

Nota: la tabla 3 se desarrolló a partir de datos característicos de cada fabricante.

### 2.5.1 Tamaño del acumulador

En teoría para determinar la capacidad del banco de baterías, se debe de considerar la potencia que va a suministrar, considerando la velocidad máxima de la siguiente manera.

$$I \text{ (Amperes)} = \frac{P \text{ (Watt)}}{\text{Volotaje del banco de baterías (voltios)}} \quad \text{Ecuación 27}$$

En la práctica el amperaje depende de la pendiente del terreno sobre la que se esté desplazando el auto.

De la curva asintótica típica de una batería en donde expresa que a mayor corriente menor capacidad se obtiene que:

Capacidad de la batería  $C_B$ :

$$C_B = \frac{I \times 100}{\% \text{ profundidad de descarga}} \times t = Ah \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

$C_B$ : Capacidad de la batería en Amperes – Hora.

I: Corriente del motor en Amperios.

100: Constante.

t: Tiempo de uso en horas.

Por ejemplo:

Suponiendo que se tiene un vehículo que funciona con un motor de 7.5 kilo vatios y una tensión de 48 voltios de corriente continua, para desplazarse durante una hora se tendrá:

$$I = \frac{7.500Watt}{48V} = 156,25A$$

Normalmente una batería está diseñada para un 50 % de descarga.

$$C_B = \frac{156,25 \times 100}{50\%} \times 1h = 312,5 \text{ Amperios hora}$$

Lo que quiere decir que el banco de baterías debe entregar una potencia de:

$$P = 312,5Ah \times 48V = 15.000 \text{ Watt}$$

Si se dispone de una batería con el 80 % de profundidad de descarga.

$$C_B = \frac{156,25 \times 100}{80\%} \times 1h = 195,31 \text{ Amperios hora}$$

Entonces se requerirá un banco de baterías de:

$$P = 195,3Ah \times 48V = 9.375 \text{ Watt}$$

Si se desea otra autonomía se deberá ver la curva de descarga de la batería a utilizar para determinar su profundidad.

## **2.6 Sistema de control**

En un vehículo eléctrico, el control sobre sus partes son los sistemas primordiales para su funcionamiento, sin él no se podría tener control sobre el manejo del vehículo. Dentro del vehículo eléctrico existen dos sistemas indispensables como son el control de velocidad del motor y el control de carga de la fuente de energía.

### **2.6.1 Control de velocidad del motor**

Para controlar la velocidad del motor, se debe conocer sus características eléctricas, los motores pueden ser de corriente continua o corriente alterna.

Para cada uno de estos motores existen diferentes tipos de control eléctrico y electrónico.

En esta aplicación se cuenta con un motor de corriente continua de imanes permanentes y flujo axial.

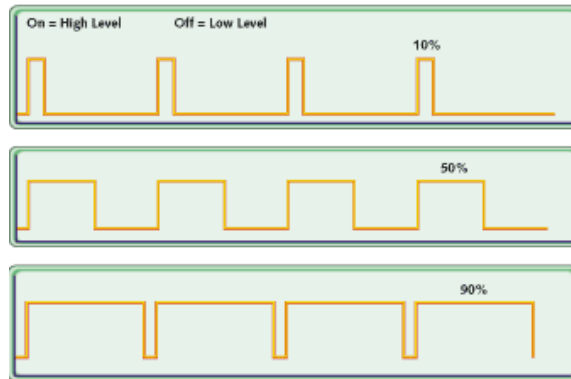
El control para motores de corriente continua se lo puede realizar básicamente por un circuito PWM (modulación por ancho de pulso) mismo que variara su etapa de potencia de acuerdo con el requerimiento del motor.

El ancho de modulación de pulso es el proceso de cambiar el estado de un dispositivo, de encendido y apagado a una frecuencia dada, estos encendido y apagado se conocen como "ciclo de trabajo". El siguiente diagrama muestra las formas de onda de 10%, 50%, y las señales de ciclo de trabajo del 90%.



Figura 2

Formas de onda del ciclo de trabajo de un circuito PWM



Fuente: [www.dprg.org/tutorials/2005](http://www.dprg.org/tutorials/2005)

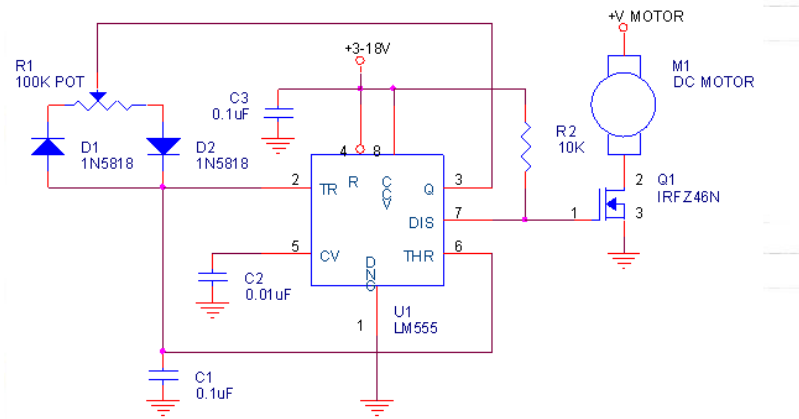
Como se puede ver en el diagrama, una señal de ciclo de trabajo del 10% está en el 10% de la longitud de onda y fuera del 90%, mientras que una señal de ciclo de trabajo del 90% está en el 90% y fuera de la longitud de onda del 10%. Estas señales se envían al motor a una frecuencia suficientemente alta para que la pulsación no tenga ningún efecto en el motor. El resultado final del proceso de PWM es que la potencia total enviado al motor se puede ajustar desde inicio (ciclo de trabajo 0%) a completa de (ciclo de trabajo del 100%) con buena eficiencia y estabilidad de control.

La construcción de este circuito se puede hacer con la modulación de un micro controlador o simplemente a partir de un integrado 555.

El temporizador 555 en el circuito PWM está configurado como un oscilador astable. Esto significa que una vez que se aplica potencia, el 555 oscilará sin ninguna activación externa. El diagrama para un circuito PWM con integrado 555 está dado por el siguiente circuito.

Figura 3

Diagrama esquemático de un circuito PWM con integrado 555



Fuente: [www.dprg.org/tutorials/2005](http://www.dprg.org/tutorials/2005)

Donde:

El pin de reset está conectado a V+, por lo que no tiene ningún efecto sobre el funcionamiento del circuito.

Cuando se enciende el circuito hasta el pasador de disparo es bajo como se descarga el condensador C1. Esto comienza el ciclo de oscilador, haciendo que la salida sea alta.

Cuando la salida es alta, el condensador C1 comienza a cargarse a través de la parte derecha de R1 y el diodo D2. Cuando el voltaje en C1 alcanza  $2/3$  de V+, el umbral pin 6 se activa, lo que a su vez hace que la salida pin 3, y la descarga pin 7 vayan hacia abajo.

Cuando la salida pin 3 pasa a bajo, el condensador C1 empieza a descargarse a través de la parte izquierda de R1 y D1. Cuando la tensión en

C1 cae por debajo de un tercio de V+, la salida pin 3 y la descarga pin 7 entran en alta, y el ciclo se repite.

Pin 5 no se utiliza para una entrada de tensión externa, por lo que se omite a tierra con un condensador 0.01uF.

Hay que tener en cuenta la configuración de R1, D1, y D2. Carga el condensador C1 a través de un lado de R1 y se descarga a través del otro lado. La suma de la resistencia de carga y descarga es siempre la misma, por lo tanto la longitud de onda de la señal de salida es constante. Sólo el ciclo de trabajo varía con R1.

La frecuencia global de la señal PWM en este circuito se determina por los valores de R1 y C1. En el esquema anterior, esto ha sido ajustado a 144 Hz.

Para calcular los valores de los componentes en otras frecuencias, Se utiliza la ecuación:

$$Frecuencia = \frac{144}{R1 \times C1} \quad \text{Ecuación 29}$$

En este circuito, el pasador de salida se utiliza para cargar y descargar C1, en lugar de la patilla de descarga. Esto se hace debido a que el pin de salida tiene una configuración "push - pull". Puede ser fuente y sumidero de corriente, mientras que la patilla de descarga sólo se hunde. Se debe tener en cuenta que los pines de salida y de descarga van de alta y baja al mismo tiempo en el ciclo del oscilador.

La patilla de descarga se utiliza para accionar la salida, en este caso la salida es un Mosfet IRFZ 46N. La puerta del Mosfet tiende a alta, como la patilla de descarga es sólo de colector abierto. El Mosfet debe ser de canal

N, el IRFZ 46N conducirá del drenaje a la fuente cuando el pasador de la puerta se levanta por encima de 4 voltios o menos. Se detendrá la ejecución cuando el voltaje de la puerta cae por debajo de este voltaje.

La configuración de la salida también sirve para invertir la señal desde el circuito 555.

Este tipo de control se comercializa en el mercado internacional como módulos compactos así tenemos los módulos de Sigma Drive, Milpak, 4QD y otros.

Las características para la selección del controlador adecuado en cada aplicación están dadas por parámetros básicos como: voltaje de la fuente, potencia del motor, corriente máxima del motor.

- Voltaje de la fuente: Es el voltaje necesario para el funcionamiento del motor. Estará determinado por el banco de baterías.
- Potencia del motor: La potencia es un dato de placa del motor y esta expresado en Vatios (W) o en caballos de fuerza(HP).
- Corriente máxima: Es mayor a la corriente de trabajo y siempre será proporcional a la potencia en función del voltaje, haciendo referencia a la ecuación 27.

### **2.6.2 Control de carga solar**

El control de carga para un sistema solar se realiza por medio de un controlador, debe cumplir ciertas características de tensión y corriente para lo

que se hará referencia al libro de energías renovables de (Ortega M. 2003), donde dice:

Conocido el número de módulos y el tamaño de la batería, se determinaran las características básicas del regulador de carga que se necesitara. La tensión de trabajo del regulador será la tensión de trabajo del generador fotovoltaico y del conjunto de baterías de acumulación (p.148).

Con respecto a lo mencionado por Ortega el dispositivo que interrumpe o permite el paso de corriente de los módulos a la batería debe soportar una intensidad definida por:

$$I_{R \text{ módulos}} = I_{pG} = N_p \times i_{pM} (A) \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde:

$I_{R \text{ módulos}}$  = Corriente que debe soportar el controlador.

$I_{pG}$  = Corriente pico del generador.

$N_p$  = Número de paneles en paralelo.

$i_{pM}$  = Corriente pico del módulo

De ser necesario, se puede dividir el generador fotovoltaico en dos conjuntos de la mitad de módulos en paralelo cada uno y colocar dos reguladores de intensidad inferior.

Intensidad de cada controlador.

$$I_{R \text{ consumos}} = \Sigma i_i \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde:

$\Sigma i_i$  = Sumatoria de las corrientes de consumo.

La intensidad de consumo de cada aparato resulta de dividir su potencia  $P_i$  entre la tensión de trabajo de la batería.

$$i_i = \frac{P_i}{V_{tr}}$$

Ecuación 32

Donde:

$i_i$  = Corriente de consumo.

$P_i$  = Potencia del equipo.

$V_{tr}$  = Voltaje de alimentación.

Si el consumo se hace a través de un inversor, el cálculo de  $i_i$  se hará de igual modo, dividiendo la potencia por el valor de la tensión de entrada al inversor, pero dividiendo el resultado por la eficiencia de la conversión  $\eta$ .

## 2.7 Glosario de términos

**Alimentado.**- Dar a una cosa, especialmente una máquina o aparato, la materia o energía necesarias para que funcione.

**Asintótico.**-(De *asíntota*). Dicho de una curva que se acerca de continuo a una recta o a otra curva sin llegar nunca a encontrarla.

**Autonomía.**- Capacidad máxima de una máquina, en especial un vehículo, para funcionar sin necesidad de reponer combustible o energía de impulso.

**Control.**- Dominio o autoridad sobre una cosa

**Energía.**-El término energía (del griego  $\nu\acute{\epsilon}\rho\gamma\epsilon\iota\alpha$ /energía, actividad, operación;  $\nu\epsilon\rho\gamma\acute{o}\varsigma$ /energos = fuerza de acción o fuerza trabajando) tiene diversas acepciones y definiciones, relacionadas con la idea de una capacidad para obrar, transformar o poner en movimiento.

**Fotovoltaica.**- La energía solar fotovoltaica es un tipo de electricidad renovable obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o una disposición de metales sobre un sustrato llamado célula solar de película fina.

**Generación de energía eléctrica.**- La generación de energía eléctrica consiste en transformar alguna clase de energía química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica. Para la generación industrial se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, que ejecutan alguna de las transformaciones citadas. Estas constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico.

**Histéresis.**- tendencia de un material a conservar sus propiedades de fabricación.

**Levitación magnética.**- La levitación magnética, también conocida por su acrónimo inglés Maglev, es un método por el cual un objeto es mantenido a flote por acción únicamente de un campo magnético. En otras palabras la presión magnética se contrapone a la gravedad. Cabe decir que cualquier objeto puede ser levitado siempre y cuando el campo magnético sea lo suficientemente fuerte.

**Magnetismo.**- El magnetismo es un fenómeno físico por el que los objetos ejercen fuerzas de atracción o repulsión sobre otros materiales. Hay algunos materiales conocidos que han presentado propiedades magnéticas detectables fácilmente como el níquel, hierro, cobalto y sus aleaciones que comúnmente se llaman imanes. Sin embargo todos los materiales son influidos, de mayor o menor forma, por la presencia de un campo magnético.

El magnetismo también tiene otras manifestaciones en física, particularmente como uno de los dos componentes de la radiación electromagnética, como por ejemplo, la luz.

**Optimizar.-**Mejorar un aparato, proceso o sistema.

**Propulsión.-** Es el movimiento generado a partir de una fuerza que da impulso. La propulsión puede ser creada en cualquier acto de empuje hacia el frente de una fuente en relación a un cuerpo.

**PWM.-** Siglas en ingles de *pulse-width-modulation*, *modulación por ancho de pulso*

**Salida push-pull.-**Una salida push-pull es un tipo de circuito electrónico que puede impulsar una corriente eléctrica positiva o negativa en una carga.

**Sistema.-** Del latín *systema*, proveniente del griego σύστημα es un objeto complejo cuyos componentes se relacionan con al menos algún otro componente; puede ser material o conceptual, todos los sistemas tienen composición, estructura y entorno, pero sólo los sistemas materiales tienen mecanismo, y sólo algunos sistemas materiales tienen forma. Según el sistemismo, todos los objetos son sistemas o componentes de otro sistema.

**Tracción.-** Es el esfuerzo interno a que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto.

**Tensión.-** O voltaje, en electricidad, es el salto de potencial eléctrico o la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos de un circuito.



## **CAPÍTULO III**

### **3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 Tipo de investigación**

##### **3.1.1 Investigación tecnológica**

Se ha utilizado la investigación tecnológica, en tal medida que se propone un prototipo de vehículo eléctrico con características diferentes e innovadoras a los comercializados en el mercado actualmente, con lo que se busca integrar al mercado un vehículo con una autonomía más prolongada, optimizando su sistema de almacenamiento y producción de energía a través de celdas fotovoltaicas, temas que son de vanguardia en el país y el mundo entero.

##### **3.1.2 Investigación bibliográfica.**

Se utilizó esta investigación ya que se apoyó en diversas fuentes bibliográficas para el desarrollo y aplicación de la propuesta, su investigación previa fue de ayuda para resolver varios inconvenientes de carácter tecnológico, en cuanto a producción de energías alternativas, renovables y eficientes se trata, existen diversos métodos desarrollados a lo largo de la historia, también la rápida evolución de la electrónica en los últimos años, ha sido de gran ayuda para la optimización y selección del control adecuado que actúa sobre el motor eléctrico del vehículo propuesto.

Además ha sido un pilar fundamental en la recopilación, ordenamiento y síntesis de la información adquirida de las diversas fuentes bibliográficas, para una mejor conceptualización de los temas tratados en la siguiente propuesta, donde fue necesario utilizar varios documentos como instructivos técnicos, folletos, libros, revistas, blogs, informativos, foros y más.

## **3.2 Métodos**

### **3.2.1 Diseño eléctrico/mecánico**

En cuanto a diseño, se trabajó sobre el control eléctrico para el motor, el sistema electromecánico del cuerpo de aceleración, el sistema de transmisión, el cableado estructural del vehículo, el sistema de carga de las baterías, la estructura necesaria para el montaje; del alternador, poleas, piñón y extensión del eje de arrastre del motor eléctrico.

### **3.2.2 Pruebas de funcionamiento**

Una vez diseñadas, construidas y montadas las partes y sistemas mencionados en 3.2.1, se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento con el vehículo montado sobre soportes fijos, donde se realizaron mediciones y pruebas de trabajo del motor, aceleración, eficiencia de potencia y velocidad sobre la transmisión, temperatura de cables y funcionalidad del sistema.

### **3.2.3 Optimización**

La optimización se vio reflejada en su autonomía, por cuanto se extendió su tiempo de funcionamiento nulo a un aproximado de una hora, dependiendo de la situación geográfica del terreno, se trabajó sobre el

sistema de carga, sistema de tracción y control del motor en los que se optimizo su funcionamiento.

### **3.2.4 Adaptaciones**

En la parte posterior del vehículo se adaptó un módulo compacto que en su interior aloja el sistema de control del motor.

En la estructura del vehículo se adaptó un alternador de 24 Voltios y sus complementos de trabajo para aportar en la optimización del sistema de carga.

Se eliminó la caja de velocidades con la adaptación de un eje de transmisión directa, a través de un sistema de piñones y cadena que duplicaron la velocidad del vehículo con respecto al sistema con caja de velocidades, también se realizó adaptaciones para transmitir la energía motriz al alternador.

### **3.2.5 Modelación**

Fue esencial la modelación de todos los sistemas, para demostrar el óptimo funcionamiento y mejoras obtenidas, se debió implementar dichos sistemas sobre el prototipo.

### **3.3 Técnicas e instrumentos**

#### **3.3.1 Diseño de circuitos**

Se realizó el diseño de circuitos eléctricos para los diferentes sistemas del vehículo como son el sistema de carga solar para baterías, sistema de carga de generación por alternador para baterías, sistema eléctrico de control.

#### **3.3.2 Mediciones**

En la etapa de pruebas de funcionamiento del motor, para determinar sus características y funcionamiento, fue necesaria la utilización de equipos de medición como multímetro, pinza amperimétrica osciloscopio y termómetro; estos equipos fueron utilizados durante toda la investigación.

Para las pruebas de autonomía de las baterías se utilizó un tester de carga, un acidómetro, multímetro, amperímetro.

## **CAPÍTULO IV**

### **4 PROPUESTA ALTERNATIVA**

#### **4.1 Título de la propuesta**

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA A UN VEHÍCULO MONOPLAZA PROPULSADO POR UN MOTOR ELÉCTRICO Y ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR”

#### **4.2 Justificación**

La elaboración de esta propuesta, fue para contribuir con el medio ambiente a partir del estudio e implementación, sobre un prototipo académico de vehículo eléctrico, con el cual se tiene por objetivo disminuir la emisión de gases provenientes de los medios de transporte convencionales actualmente, incentivando a la producción de más vehículos eléctricos a nivel nacional.

El aporte tecnológico que brinda a la Universidad Técnica del Norte específicamente a las carreras de Mantenimiento Eléctrico y Mantenimiento Automotriz, es como material didáctico para el desarrollo de prácticas enfocadas a mejorar e implementar esta tecnología, además permite a los estudiantes investigar nuevos métodos y aplicaciones para vehículos eléctricos a partir de esta propuesta, ya que es un tema de vanguardia y rentabilidad en el futuro.

Con el desarrollo de este proyecto y su respectiva difusión a través de diferentes medios de comunicación, se busca promocionar la calidad y altura académica, tecnológica, investigativa y sociocultural que brinda la Universidad Técnica del Norte a sus estudiantes, para formar profesionales exitosos con excelencia académica y calidez humana.

Es posible llevar a cabo esta propuesta ya que se cuenta con información suficiente, se posee los recursos logísticos, económicos, el conocimiento, la capacidad de análisis, síntesis y conclusión para emprender éste trabajo.

La limitación más grande de este proyecto es la escasa comercialización de productos aplicados al desarrollo de vehículos eléctricos en nuestro país y el alto costo de importación de elementos vitales para la construcción del diseño electrónico, se realizó la importación del equipo de control integro ya que la importación de los elementos para construir la etapa de potencia (IGBT's) resulta un 400% más costoso que la importación de un sistema de control, ensamblado con todos sus elementos.

### **4.3 Fundamentación**

En este trabajo se trata de aprovechar las condiciones climáticas de la región, para generar energía eléctrica renovable aplicada al transporte, fomentar en los estudiantes afines la idea de imponer nuevas tecnologías y cultivar concientización, además de formar parte del cambio que el mundo tiene como reto, con esta iniciativa de carácter tecnológico quedara plasmada una de muchas formas de generación y de fácil aplicación en el medio.

#### 4.4 Desarrollo de la propuesta

Previo a la implementación e instalación de nuevos sistemas en el prototipo eléctrico solar de la Universidad Técnica del Norte, se realizó un diagnóstico de estado para determinar lo que se hará sobre el prototipo.

Como resultado de la evaluación se obtuvo la siguiente tabla de diagnósticos en la que se ha abreviado “Prototipo eléctrico solar” por sus siglas P.E.S.

##### 4.4.1 Diagnóstico.

Tabla 4

Diagnóstico inicial

<b>EQUPO/ MAQUINA</b>	<b>PARTE / SISTEMA</b>	<b>ESTADO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
P.E.S	Asiento	Bueno	No reclina
P.E.S	Cableado	Regular	Mal dimensionamiento de cable
P.E.S	Caja de velocidades	Buena	Funcionando
P.E.S	Cardan de acople motor/caja	Regular	Des balanceado
P.E.S	Dirección	Bueno	Funcionando
P.E.S	Estructura metálica	Regular	Piso de aluminio mal ensamblado, no está aislado con un material suave de la estructura.
P.E.S	Guardafangos	Regular	Guardafangos delantero izquierdo trisado.
P.E.S	Motor Manta 10 HP	Bueno	Funcionando
P.E.S	Paneles solares	Regular	12 celdas rotas, sin funcionamiento.
P.E.S	Ruedas posteriores	Regular	Sin seguros en la puntas
P.E.S	Sistema de almacenamiento de energía (baterías)	Malo	8 baterías secas libres de mantenimiento 12v – 10Ah con ausencia de voltaje y no reciben

			carga.
P.E.S	Sistema de carga de baterías	Malo	No funciona
P.E.S	Sistema de aceleración	Malo	Presencia física de manchas negras en la baquelita por posible cortocircuito o explosión de elementos electrónicos.
P.E.S	Sistema de embrague	Regular	Mal regulado
P.E.S	Sistema de freno	Malo	No funciona
P.E.S	Volante	Bueno	No tiene un buen soporte

Fuente: Autor

#### Análisis de resultados de la tabla 4

Realizado el diagnostico, se constató el deterioro de sus partes y la falta de funcionamiento, se determinó que el prototipo no enciende por el deterioro de su fuente de voltaje.

Con una fuente de voltaje externa y soportes para inmovilizar el vehículo, se realizó pruebas de funcionamiento del motor en directo, ya que a través de su circuito de control, no se obtiene respuesta de funcionamiento y el cable utilizado es inadecuado, ya que se está utilizando conductores número 22 y 24 que tienen una capacidad de conducción de corriente menores a 4 amperios, de acuerdo con la tabla de conductores AWG. Se verifico el buen estado del motor con lo que se evidencio vibración excesiva del vehículo debido a un desbalance en el acople caja de velocidades/motor. Además, con la inspección física se pudo observar el deterioro en las baquelitas que soportan los circuitos de control y en general el no funcionamiento del sistema.



Figura 4

Prototipo en el diagnostico antes de ser intervenido



Fuente: Autor

Figura 5

Motor manta con el que cuenta el prototipo



Fuente: Autor

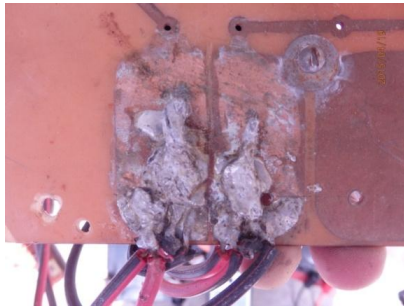
Figura 6

Tablero de control de carga



Fuente: Autor

Figura 7  
Suelda en baquelitas



Fuente: Autor

Figura 8  
Potenciómetro tipo lineal para acelerador en el volante



Fuente: Autor

Figura 9  
Sistema de control para el acelerador



Fuente: Autor

Figura 10

Voltaje de cada batería



Fuente: Autor

Figura 11

Voltaje total de la fuente



Fuente: Autor

#### 4.4.2 Proceso

Luego de realizar el diagnostico, se procede a investigar el motor del prototipo ya que no cuenta con placa de datos para modificar su sistema de control y optimizar su eficiencia de funcionamiento en el vehículo.

#### 4.4.3 Motor

El prototipo cuenta con un motor marca Manta, de corriente continua con imanes permanentes y flujo axial de 10 HP máximos a 48V, cuyas

características de diseño y especificaciones técnicas dadas por el fabricante se detallan a continuación:

#### 4.4.3.1 Especificaciones técnicas

- Voltaje nominal (motor): 36V a 48V
- Potencia: 36V - 6HP continuos (no requiere refrigeración) 48V – 10HP máx.
- Rpm máx: 4550rpm. (motor).
- Eficacia: 94 %
- Temperatura de trabajo: 125°F= 51.66°C máx.
- Constante de par: 1.14 in-lb / Amp (0,13 Nm / Amp)
- Potencia generada requiere diodo 100 Amp. Bloqueo. (Generador).
- Motor libre de mantenimiento.

#### 4.4.3.2 Curva Característica de torque.

Calculada bajo la siguiente ecuación.

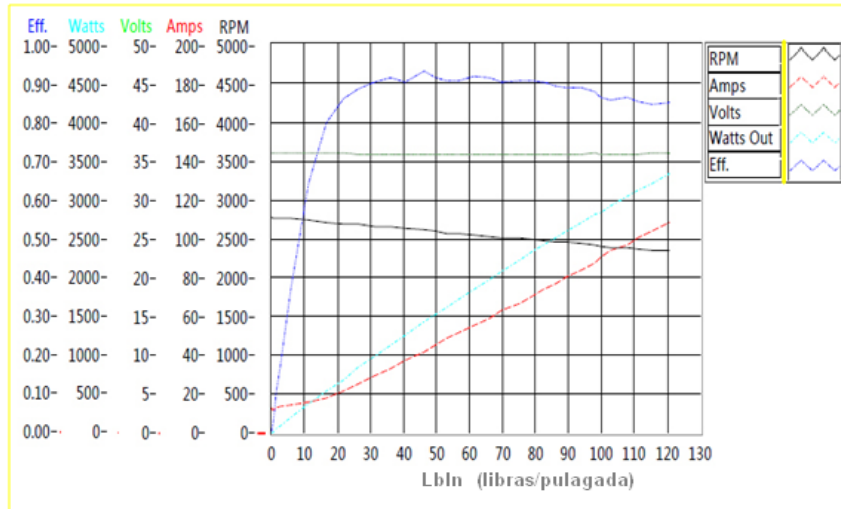
Torque del motor con relación al voltaje aplicado.

$$\text{Torque (N.m)} = \frac{\text{Potencia en Vatios}}{2 \pi \times \text{Velocidad de rotación}}$$

Ecuación 33

Figura 12

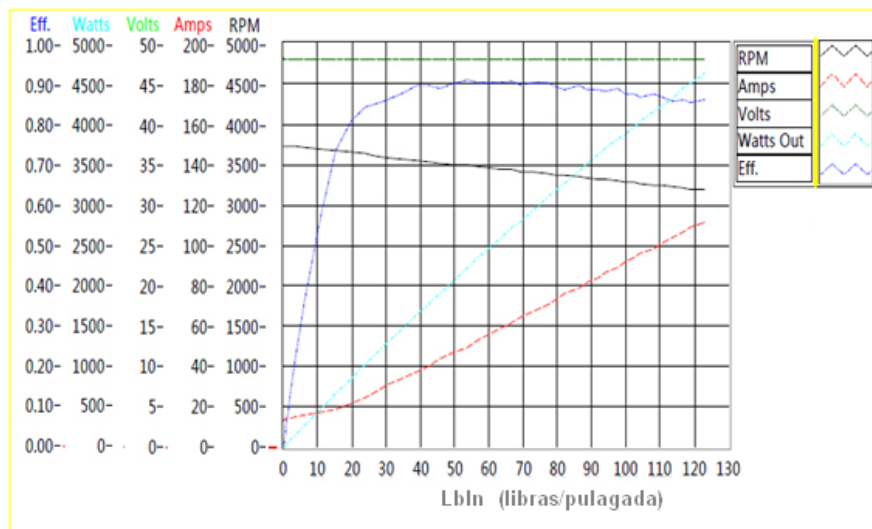
Curva característica de torque a 36V



Fuente: [www.hydrogenappliances.com](http://www.hydrogenappliances.com)

Figura 13

Curva Característica de torque a 48V

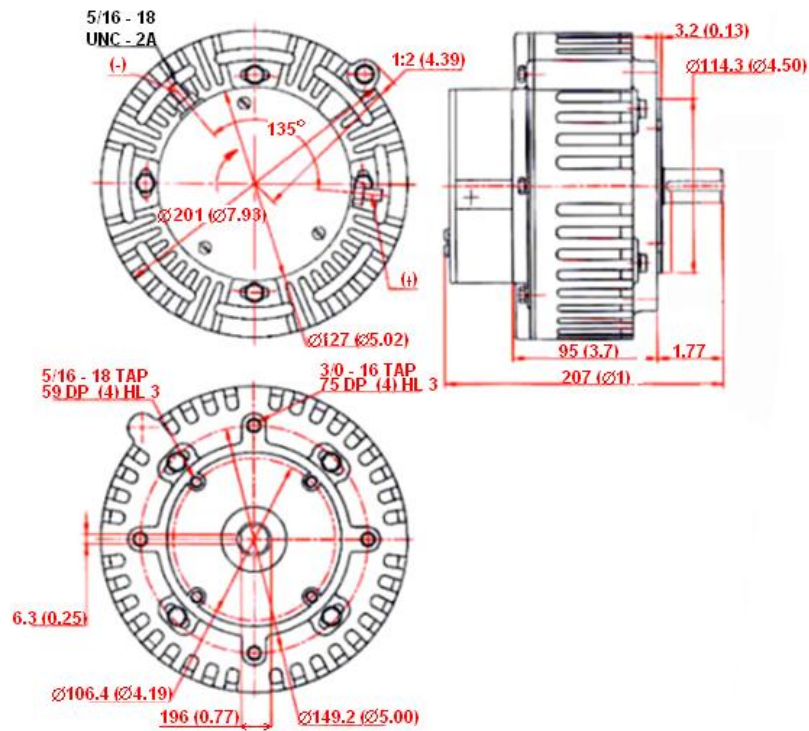


Fuente: [www.hydrogenappliances.com](http://www.hydrogenappliances.com)

### 4.4.3.3 Dimensiones

Figura 14

Dimensiones del motor Manta



Fuente: [www.hydrogenappliances.com](http://www.hydrogenappliances.com)

- Eje 3/4" con chaveta 3/16" x 1" de largo.
- Pesa 22 libras.

Conocidos los datos del motor, se optó por un control entre 36V y 48V, rango en el que el motor entregará una potencia de 6 HP y 10 HP respectivamente, según las figuras 12 y 13, por tal razón se procede con la adquisición de la fuente de voltaje para estos valores.

#### 4.4.4 Fuente de tensión - baterías

En base al diagnóstico es necesario la adquisición de una nueva fuente de tensión, se tomó en cuenta varios aspectos importantes donde el principal objetivo fue mejorar la autonomía del prototipo de vehículo eléctrico solar sin afectar en gran medida su peso, por tal razón se buscó en el medio nacional los diferentes tipos de baterías existentes, en donde se determinó que las baterías a utilizarse serían del tipo plomo ácido. Se analizó las marcas de baterías existentes en el mercado nacional.

Corresponde buscar dentro de las marcas en el mercado una batería que brinde prestaciones acorde con la necesidad, se escogió de tres de los fabricantes presentes en el medio, como son: Bosch, Elektra, y Baterías Ecuador, analizando la variedad de ofertas se determinó el tamaño de la batería, la misma que debía ser lo más reducido posible teniendo como la opción más apegada a las necesidades:

Tabla 5

Oferta de baterías en el mercado local

Marca	Modelo	Nº de placas	Capacidad (Ah)	Polaridad	Tamaño			Costo USD
					Largo	Ancho	Alto	
Bat. Ecuador	N50Z	11	65	Normal	255	170	224	115
Bat. Ecuador	N50ZL	11	65	Invertida	255	170	224	115
Bosch S3	24 FE	11	65	Normal	255	170	224	125
Bosch S3	24FEI	11	65	Invertida	255	170	224	125

Elektra	42750	13	65	Normal	238	174	175	98
Elektra	42750I	13	65	Invertida	238	174	175	98

Fuente: Autor

El fabricante más apegado a la necesidad es Elektra con su batería tipo 42750 y 42750I debido a su menor tamaño, igual capacidad y menor costo, como se indica en la tabla 5. Con esta información se procede al cálculo del número de baterías necesarias, bajo el análisis de la potencia requerida por el motor en base al tiempo de autonomía, donde se realiza los siguientes cálculos:

#### 4.4.4.1 Cálculo de baterías en función de la ecuación 28 del marco teórico.

Si:  $1HP = 735.499 W$

Caso 1º: Cuando el motor funciona con 48V, su potencia máxima será 10HP

Caso 2º: Cuando el motor funciona con 36V tendrá una potencia constante de 6HP, entonces:

Caso 1º:  $10HP \equiv 7.355W$

Caso 2º:  $6HP \equiv 4.413W$

Se tomara como tiempo de autonomía 1 hora, esto se realizará solo para cálculos.



$$\text{Caso 1}^\circ: 7.355 \text{ W} \times 1 \text{ H} = 7.355 \text{ Wh}$$

$$\text{Caso 2}^\circ: 4.413 \text{ W} \times 1 \text{ H} = 4.413 \text{ Wh}$$

A esto se divide por un coeficiente de pérdida por conexiones, corriente, y temperatura con un máximo admisible para (Ortega. M. 2003) del 3%.

$$\text{Caso 1}^\circ: 7.355 \text{ Wh} \div 0,97 = 7.582,47 \text{ Wh}$$

$$\text{Caso 2}^\circ: 4.413 \text{ Wh} \div 0,97 = 4.549,48 \text{ Wh}$$

Por motivo de conservación de las baterías se calculó una profundidad de descarga del 75% y no el 100%, como indica el fabricante de la batería.

$$\text{Caso 1}^\circ: 7.582,47 \text{ Wh} \div 0,75 = 10.069,96 \text{ Wh}$$

$$\text{Caso 2}^\circ: 4.549,48 \text{ Wh} \div 0,75 = 6.065,97 \text{ Wh}$$

Se calcula la capacidad de las baterías necesarias para una hora de autonomía en cada caso.

$$\text{Caso 1}^\circ: 10069,96 \text{ VAh} \div 48\text{V} = 209,79\text{Ah}$$

$$\text{Caso 2}^\circ: 6065,97 \text{ VAh} \div 36\text{V} = 168,49\text{Ah}$$

Al determinar la capacidad de las baterías necesarias para que el prototipo funcione durante una hora sin aportes adicionales de energía, se determina el número de baterías necesaria. Para los dos tipos de configuración posible: 36V y 48V con las baterías Elektra tipo 42750 y 42750I.

Se adquiere seis baterías de sesenta y cinco amperios con las que se podrá realizar las dos opciones de conexión, para el funcionamiento a 48V

del primer caso, se utilizarán cuatro baterías en serie formando una fuente de voltaje de 48V y 65Ah.

Figura 15

Configuración de baterías para 48V 65Ah

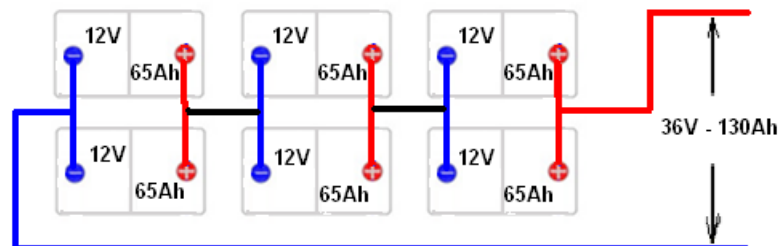


Fuente: Autor

Para la fuente de 36V del segundo caso, se conectarán tres baterías en serie y a cada una de estas una batería en paralelo formando una fuente de 36V en la serie y 130Ah en el paralelo.

Figura 16

Configuración de baterías para 36V 130Ah



Fuente: Autor

De acuerdo con la fuente se determina su autonomía mediante la tabla 6.

Tabla 6

Autonomía del prototipo de vehículo eléctrico solar

Tensión de La fuente (V)	Amperios hora de la fuente	Autonomía en minutos
48	210	60
	170	48,57
	130	37,14
	65	16
36	170	60
	130	45,88
	65	23

Fuente: Autor

Bajo estos parámetros se realizó la selección del módulo controlador de velocidad para el motor Manta, cuando es alimentado por una fuente de tensión de 48V donde el motor entregara una potencia máxima de 10 HP o 7355W.

#### 4.4.5 Módulo controlador de velocidad

##### 4.4.5.1 Parámetros que debe cumplir el controlador

El controlador de velocidad debe soportar una corriente calculada bajo la ecuación 27 y un excedente en porcentaje descrito por el fabricante.

Siendo:

$$I = \frac{4520,94 \text{ VA}}{36\text{V}} = 125,58 \text{ A}$$

Y una corriente de arranque según el fabricante del 300%.

$$I_A = 376,75\text{A}$$

Estos cálculos determinan las características mínimas con las que debe cumplir el controlador, para esta aplicación se utiliza un controlador de la línea de fabricación Sigma Drive modelo PMT445M, del cual se detallan sus características a continuación.

#### 4.4.5.2 Módulo controlador seleccionado para la aplicación – Sigma Drive PMT445M

Tabla 7

Características técnicas del módulo sigma drive PMT445M

PARÁMETRO		PARÁMETROS de funcionamiento general	PARÁMETROS de funcionamiento específico
Tensión de alimentación		24V a 48V	36V
Máximo voltaje de operación		48v	36V
Suministro de corriente		180 A	150 <sup>a</sup>
Caída de tensión en 150 A		600mV	400Mv
		400mV	
Voltaje de salida	En 24v	0v a +24v	X
	En 36v	0v a +36v	0V a 36V
	En 48v	0v a +48v	X
Ajuste del límite de corriente		10% a 100% de la corriente total	10% a 100%
Sobrecalentamiento		90°C de temperatura	Desconexión
			X

	interna		
<b>Aceleración</b>	Ajustable de 0 a 10 segundos		1.5Seg
<b>Desaceleración</b>	Ajustable de 0 a 10 segundos		1Seg
<b>Umbral de encendido</b>	>4v		5V
<b>Umbral de reversa</b>	4v a 6v		5V
<b>Conmutación de frecuencia</b>	20kHz aproximadamente		X
<b>Dimensiones (mm)</b>	225 x 200 x 49 L x A x G		
<b>Peso</b>	4.1 Kg		
	<b>Con potenciómetro de (5K)</b>		
<b>Entradas</b>	Aceleración	0% 3.4 v 100% 0.1 v	Adelante y reversa
<b>Modo interruptor</b>	Acción	Encendido –Apagado	
	Dirección	Adelante – reversa	
<b>Salida de freno</b>	0 % 0.2v 100% 4.8v		

Fuente: Autor

Nota: Los datos para la elaboración de la tabla fueron tomados del fabricante.

#### 4.4.5.3 Módulo de aceleración (Sigma Drive PMT445M) y contactor de línea

La adquisición del equipo se realizó a través de la empresa Sevtronic S.A. ubicada en Barcelona – España, para luego realizar la importación en un periodo de aproximado cinco meses.

Con la llegada del equipo se realizó la verificación del módulo controlador y el contactor de línea que se adquirió, realizando una inspección física para constatar que dichos elementos se encontraran en buen estado.

#### 4.4.5.4 Contactor de línea SW180B

El contactor de línea que se adquirió es un dispositivo fabricado por Allbright tipo SW180B el que cuenta con las siguientes características.

La serie de contactores SW180 se ha diseñado para cargas de corriente directa, particularmente motores tales como los utilizados en los vehículos eléctricos, carros industriales, monta carga de aeropuerto y más.

Tienen doble contacto principal con extremidades de aleación de plata en el contacto.

Disponen de una bobina para funcionar con corriente continua la cual soporta un voltaje de entre 6V a 48V, las conexiones de la bobina se realizan por medio de los terminales tipo espada de 6mm los que se proveen con el contactor.

Tabla 8

Datos técnicos del contactor SW180B

<b>Corriente</b>		<b>Tensión de bobina</b>
<b>Periodos interrumpidos</b>	<b>Periodos ininterrumpidos</b>	
150 Amperios	200 Amperios	36 Vdc a 48 Vdc

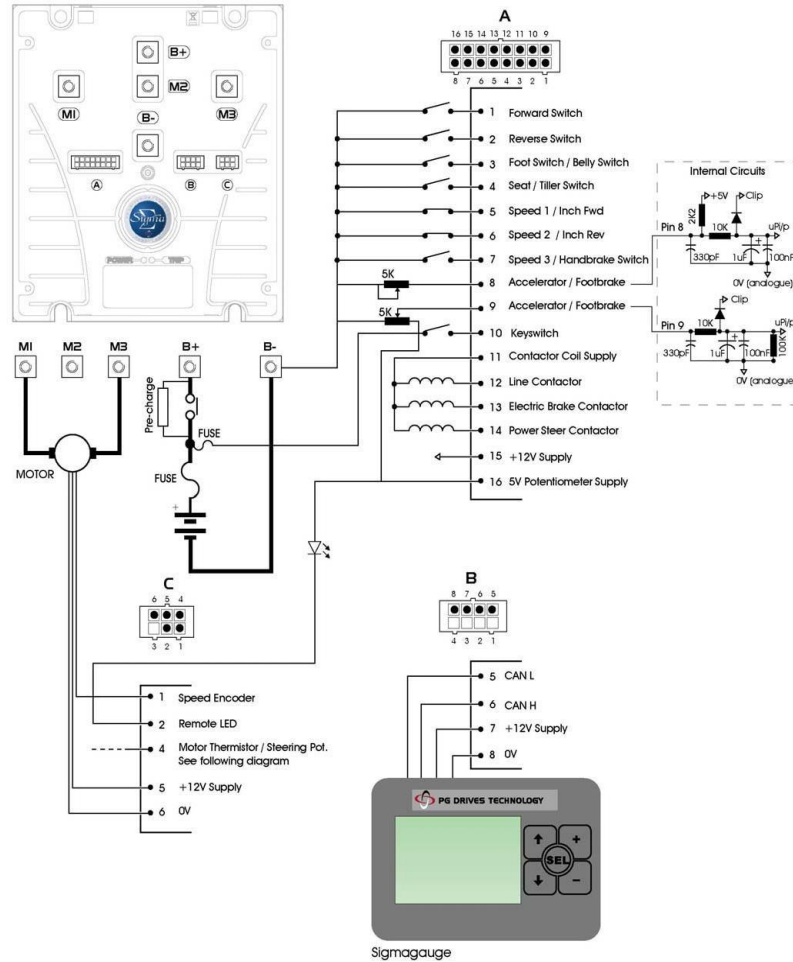
Fuente: Autor

#### 4.4.6 Diagrama de conexión módulo de aceleración (Sigma Drive PMT445M)

Se realizó el diagrama de conexión del módulo, partiendo del diagrama propuesto por el fabricante que contiene el manual de instalación del equipo.

Figura 17

Diagrama de Instalación para Sigma Drive PMT445M recomendado por el fabricante.



Fuente: Manual de instalación Sigma Drive

El equipo dispone de tres socket de conexión tipo pin:

- A interfaz del equipo.
- B salidas de comunicación.
- C datos del motor.

#### 4.4.6.1 Descripción de los conectores y sus pines.

- Conector “A” Interfaz de Vehículo de 16 vías

Tabla 9

Descripción de Pines para el conector A

<b>Disposición de pines</b>	<b>Pines configurados</b>
Pin 1: Interruptor Delantero.	Marcha hacia adelante
Pin 2 - Interruptor de reversa	Marcha hacia atrás
Pin 3 - Interruptor de pie / Ombligo (seguridad).	No configurado
Pin 4 - Asiento / sierpe.	No configurado
Pin 5 - Límite de velocidad 1.	No configurado
Pin 6 - Límite de velocidad 2.	No configurado
Pin 7 - Límite de velocidad 3.	No configurado
Pin 8 - Acelerador o freno de pie.	Acelerador
Pin 9 - Acelerador o freno de pie.	No configurado
Pin 10 – Llave (interruptor de encendido).	Encendido principal
Pin 11 - Alimentación de las bobinas de contactores.	Bobina del contactor
Pin 12 - Línea de contactores.	Común de contactores
Pin 13 - Freno eléctrico del contactor.	No configurado
Pin 14 - Contactor de dirección de potencia.	No configurado



Pin 15 - + 12V de alimentación.	No configurado
Pin 16 - + 5V potenciómetro Suministro.	Potenciómetro de aceleración

Fuente: Autor

- Conector 'B' - Comunicaciones (8 vías)

Por ser un módulo compacto, la comunicación se realiza por dispositivos específicos para el controlador, para esta aplicación no se utilizan ninguno de los pines del conector B.

Pin 1 - No se utiliza.

Pin 2 - No se utiliza.

Pin 3 - Modo de Programación Flash (+ 12V).

Pin 4 - Programador flash 1/0.

Pin 5 - CAN L.

Pin 6 - CAN H.

Pin 7 - + 12V de alimentación.

Pin 8 - 0 V.

- Conector "C" - Comentarios de motor 6 vías.

Tabla 10

Descripción de pines para el conector C

Disposición de pines	Pines configurados
Pin 1 Codificador de velocidad.	No configurado.
Pin 2 LED remoto.	Led de visualización de errores.

Pin 3 No se utiliza.	No configurado.
Pin 4 Termistor o potenciómetro directivo.	No configurado.
Pin 5 + 12V de alimentación.	No configurado.
Pin 6 0 V.	No configurado.

Fuente: Autor

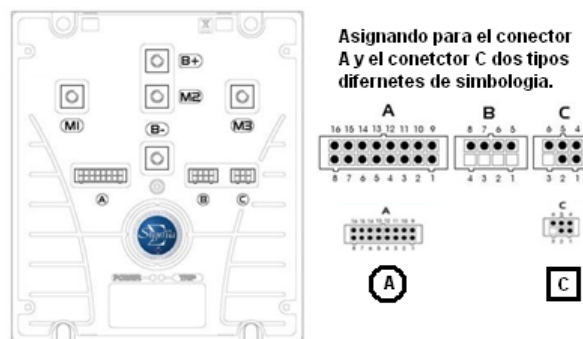
#### 4.4.7 Diseño de circuito para el controlador

Se diseña el circuito que sera implementado en esta aplicación bajo la siguiente nomenclatura.

##### 4.4.7.1 Nomenclatura de instalación

Figura 18

Nomenclatura de instalación

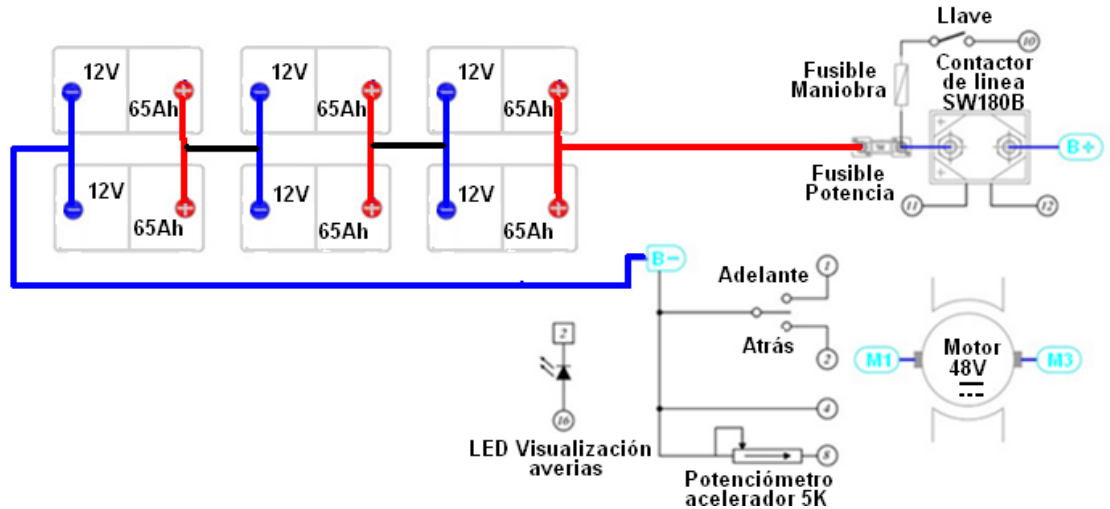


Fuente: Autor

A partir del diseño fueron necesarios otros elementos como interruptores, fusibles, led y potenciómetro.

Figura 19

Diagrama de conexión a 36V del P.V.E.



Fuente: Autor

El diagrama está diseñado para un correcto funcionamiento del sistema, protegiendo al módulo controlador, de acuerdo con las características del módulo este se enciende a través de la patilla número 10 del conector A, haciendo que atraviese por un fusible de maniobra para proteger al módulo, con el módulo encendido, se energiza la patilla número 11 del conector A que alimenta a la bobina del contactor de línea el cual funciona como un interruptor entre la etapa de potencia del módulo y la fuente de tensión. El potenciómetro de 5K está conectado a la patilla 4 y 8 del conector A como indica el fabricante, en donde realiza el ajuste de la modulación por ancho de pulso.

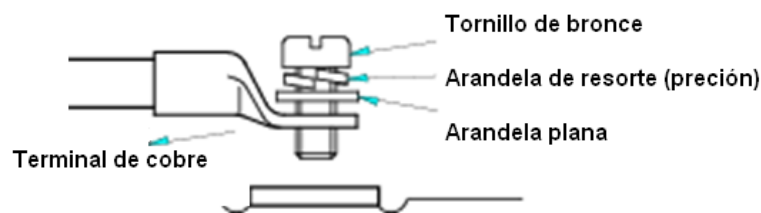
#### 4.4.8 Instalación del módulo controlador

Con respecto a los terminales de potencia del módulo controlador sigma drive PMT445M, dispone de cinco terminales de cobre con orificios roscados para las conexiones de su etapa de potencia. Estos se identifican como B +,

B-, M1, M2 y M3. El módulo controlador se suministra con tornillos adecuados, aros elásticos y arandelas planas para la fijación de los cables de la batería y del motor. Siendo la forma de conexión correcta para la terminación de los conectores de alta potencia de la siguiente manera.

Figura 20

Conexión correcta de los terminales de potencia.



Fuente: Manual de instalación Sigma Drive

El control se maneja con las entradas analógicas y digitales, dispuestas por el socket de conexión tipo pin de dieciséis patillas, designado por la letra A en el módulo controlador.

La conexión de estos pines se realiza con terminales tipo pin hembra de un milímetro, se conectan respectivamente con cable número 18 AWG TFF, mismo que fue distribuido hasta llegar a cada uno de los mandos de control manual.

#### **4.4.9 Prueba de funcionamiento del módulo de aceleración (Sigma Drive PMT445M)**

Una vez realizada la conexión, se procedió a las pruebas de funcionamiento del equipo conjuntamente con el motor Manta a 48V, desmontado del prototipo, se obtuvo un correcto funcionamiento.

Tabla 11

Prueba de funcionamiento del módulo controlador

<b>VARIABLE/PARAMETRO</b>	<b>VALOR MEDIDO</b>	<b>VALOR REFERENCIAL</b>
Módulo controlador	Funciona desde estado de reposo hasta aceleración máxima	Controlar la velocidad del motor
Fuente de tensión	53.9V cuatro baterías en serie	48V – 24 vasos en serie

Fuente: Autor

#### **4.4.10 Adaptación de módulo controlador (Sigma Drive PMT445M) y complementos**

A partir de su correcto funcionamiento se procede a la adaptación del módulo y sus complementos, estos fueron ubicados en la parte posterior sobre una caja metálica similar a un tablero de control eléctrico, a partir de este momento se denominara tablero de control, está alojado sobre la carrocería del prototipo de vehículo eléctrico solar sobre materiales eléctricamente no conductivo - fondo de madera para evitar fugas de energía o problemas futuros de cortocircuitos y fallas eléctricas.

Para la respectiva adaptación se empezó por relacionar las medidas del módulo (Sigma Drive PMT445M) con respecto al tablero de control para determinar su posición, de tal manera que sea posible alojar dentro el tablero de control todos los complementos antes mencionados.

Determinada la posición del módulo controlador y la de sus complementos se realiza las perforaciones en la madera de fondo para asegurar el módulo con pernos 5/16" x 2" y una arandela plana.

Se procede con el montaje del contactor de línea que por sus características antes mencionadas es un elemento compacto, se logra su montaje en el tablero de control por medio de una platina roscada que fue dispuesta originalmente por el fabricante para el alojamiento de contactos auxiliares, dando como resultado una excelente adaptación y firmeza para el trabajo seguro de este dispositivo.

Figura 21

Contactador de línea



Fuente: Autor

Tabla 12

Adaptación de módulo y complementos para el control del motor

Nº	Pieza/parte/sistema	Trabajo realizado	Diagrama	Medidas/Características
1	Módulo Controlador	Adaptación	Figura 14	225 x 200 x 49 L x A x G
2	Contactador de línea	Adaptación	Figura 14	127 x 60,7 x 44,6 L x A x G
3	Fusible de maniobra	Adaptación	Figura 14	
4	Fusible de potencia	Adaptación	Figura 14	68 x 24 x 0,5 L x A x G
5	Led de falla	Adaptación	Figura 14	0,5Ø
6	Potenciómetro de aceleración	Adaptación	Figura 14	Eje ¼" Ø

Fuente: Autor

Figura 22

Elementos de control montados en el tablero de control



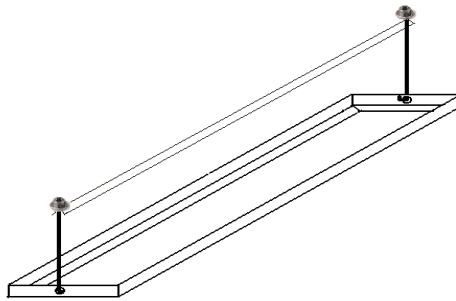
Fuente: Autor

#### 4.4.11 Adaptación de baterías

El montaje de las baterías sobre el prototipo de vehículo solar, se realiza en la parte posterior del mismo, ubicándolas tras el asiento del conductor sobre una base metálica que se fabricó a partir de la existente en el vehículo.

Figura 23

Base lista para instalar sobre el P.E.S

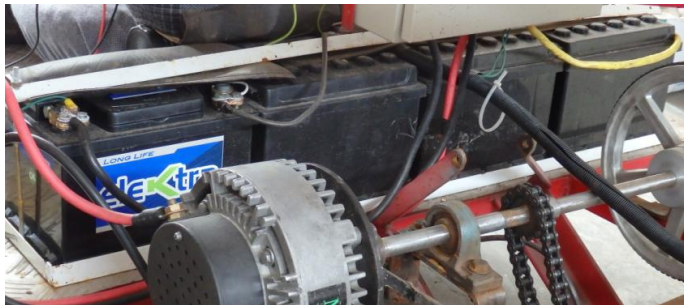


Fuente: Autor

El resultado de esta adaptación fue satisfactorio ya que cumple con su función de alojar y asegurar las baterías sobre el vehículo sin riesgo alguno ya sea mecánico o eléctrico.

Figura 24

Baterías en la base modificada



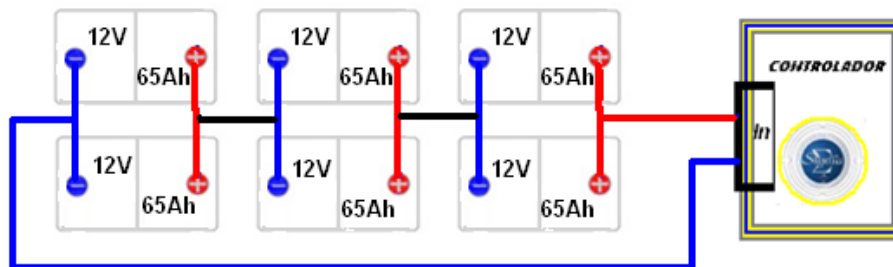
Fuente: Autor



Aseguradas las baterías, se procede con la conexión en serie de cuatro baterías para el primer caso donde la fuente será de 48V a 65Ah, se realiza la interconexión del módulo para que funcione el sistema.

Figura 25

Conexión serie paralelo para fuente de 36V – 130Ah



Fuente: Autor

Tabla 13

Proceso de adaptación de Baterías

Nº	Pieza/parte/sistema	Trabajo realizado	Diagrama	Medidas/Características
1	Base de baterías	Modificación	Figura 22 y 23	980 x 180 - L x A
2	Baterías x 6	Adaptación	Figura 26	238 x 174 x 175 L x A x A

Fuente: Autor

#### 4.4.12 Adaptación del potenciómetro como pedal de acelerador.

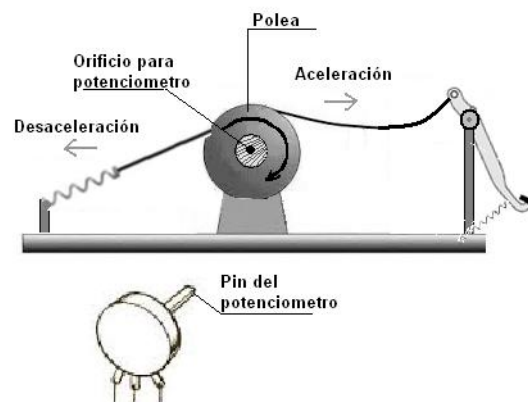
La aceleración del vehículo, es controlada por el módulo de control Sigma Drive a través de un potenciómetro giratorio de 5KΩ. La manipulación del

potenciómetro requiere un funcionamiento similar al acelerador de un vehículo convencional, es decir para ser controlado con el pie.

Para la construcción del acelerador fue necesario diseñar un pedal que se adapte al modelo del vehículo y al accionar del potenciómetro, el pedal realiza la acción de acelerar gracias a la fuerza que ejerce el pie del conductor y la desaceleración la realiza por medio de un resorte que regresa el pedal a su posición inicial, el movimiento rectilíneo es transmitido al potenciómetro por medio de cables a una polea para conseguir el movimiento circular que necesita el potenciómetro de la siguiente manera:

Figura 26

Diseño de cuerpo de aceleración



Fuente: Autor

Para la construcción del acelerador, se usó un eje con rodamiento en el que se soldó el pedal, luego se realizó el montaje sobre el prototipo y por inercia del peso de la parte opuesta al pedal después del punto de equilibrio (rodamiento), se sujetó el pedal con el resorte de arrastre número uno, se construyó la polea en daflon por sus propiedades físicas ya que en este material el estriado interno se lo realizó introduciendo un estriado de pin de

potenciometro a presión, obteniendo un exelente resultado, la polea fue montada como pieza movil sobre el pin del potenciomtero ya que el potenciometro se afirmo sobre una platina gracias a la tuerca de sujecion que posee. Con el sistema montado fue necesario conectar los cables de accionamiento y pocicionar el resorte número dos de desaceleración. La calibracion se la realiza en el eje dentado del potenciometro y la polea, obteniendo la adaptación de la figura 27.

Figura 27

Cuerpo de aceleración



Fuente: Autor

Tabla 14

Proceso de adaptación del pedal acelerador

Nº	Pieza/parte/sistema	Trabajo realizado	Diagrama	Medidas/Características
1	Potenciómetro	Adaptación	Figura 27	0,5 Ø de eje
2	Cuerpo de aceleración	Diseño Construcción y adaptación	Figura 27	Hacer girar el potenciómetro $\frac{3}{4}$ de vuelta

Fuente: Autor

#### 4.4.13 Pruebas de funcionamiento del prototipo eléctrico solar suspendido y sobre la calzada con fuente de tensión de 36V y 48V.

Suspendido:

Para realizar las pruebas de funcionamiento del prototipo, fue necesario inmovilizar las ruedas posteriores del vehículo donde tiene la tracción de tal forma que los neumáticos posteriores pierdan contacto con la calzada por motivos de seguridad y monitoreo del correcto funcionamiento.

Tabla 15

Prueba de funcionamiento con el vehículo suspendido

<b>VARIABLE/PARAMETRO</b>	<b>VALOR MEDIDO</b>	<b>VALOR REFERENCIAL</b>
Módulo controlador	26.4°C	No sobrepasar 50°C en el disipador de calor
Acelerador	Desde fuera de funcionamiento a velocidad controlada.	De 0 a velocidad controlada.
Conductores eléctricos	23.4°C	No sobrepasar 60°C
Motor	28.8°C	Temperatura de trabajo 51.66°C
Relación de giro motor – Neumáticos	8 – 1	3 – 1 relación de motor - ruedas en una moto de combustión.

Fuente: Autor

Se mantuvo el vehículo funcionando constantemente por un periodo de diez minutos, a una temperatura ambiente de 20°C donde se observó un correcto funcionamiento de sus sistemas y se determinó que el prototipo está listo para realizar las pruebas de conducción sobre la calzada con una persona a bordo.

Figura 28  
Prototipo suspendido



Fuente: Autor

Figura 29  
Temperatura del motor a luego de 11'32"



Fuente: Autor

Figura 30

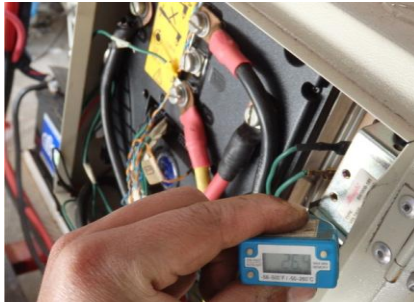
Temperatura de conductores luego de 11'32" de funcionamiento con el prototipo suspendido



Fuente: Autor

Figura 31

Temperatura del disipador del módulo luego de 11'32" de funcionamiento



Fuente: Autor

Sobre la calzada:

Con las pruebas sobre la calzada con la fuente de 48V 65Ah se observó y midió varios parámetros sobre su comportamiento arrojando los siguientes resultados:

Tabla 16

Pruebas de funcionamiento a 48V

<b>VARIABLE/PARAMETRO</b>	<b>VALOR MEDIDO</b>	<b>VALOR REFERENCIAL</b>
Autonomía	13'52"	16'00"
Velocidad promedio	8 km/h	50 km/h
Resistencia estructural		
Ruedas	1km	Ilimitado
Bases de paneles	1km	Ilimitado
Ruidos de estructura	Vibración en la estructura	Totalmente silencioso

Fuente: Autor

#### Análisis de la tabla 16

Bajo rendimiento en cuanto a la velocidad proporcionada por el vehículo, no supera los ocho kilómetros por hora medidos con otro vehículo a la par, también se redujo su autonomía de 16'0" según la teoría calculada inicialmente para la selección de las baterías en función de su autonomía a 13'52" dando como resultado una autonomía muy baja.

Se observó que estructuralmente el prototipo cuenta con varias falencias como: las ruedas no soportan el peso y la velocidad de momento por un recorrido más allá de dos kilómetros, donde al recorrer un aproximado de esta distancia se salió el neumático posterior izquierdo evidenciando un mal estado del rin ya que se encuentra con desgaste en sus orificios de sujeción, presuntamente por un mal apriete de los mismos, también se pudo definir varios problemas de vibración los cuales afectaron de manera importante a

los paneles solares, dando como resultado la ruptura de uno de los paneles superficialmente el vidrio e internamente sus celdas, destruyendo por completo el panel; otro problema importante en cuanto a las vibraciones se presentó en el confort para el manejo, cuando el vehículo alcanza su velocidad máxima se produce excesiva vibración que es una molestia para el conductor, reduciendo aún más sus prestaciones en cuanto a velocidad.

Tabla 17  
Análisis comparativo de funcionamiento

VARIABLE / SISTEMA	PARÁMETRO		COMPARACIÓN
	ANTES	ACTUAL	
Autonomía	Sin funcionamiento	13' 52"	13'52" de funcionamiento más que antes.
Velocidad	Sin funcionamiento	8 km/h	8km/h más veloz que antes.
Potencia	24(V) 2 (Hp)	48 (V) 10 (Hp)	8 (Hp) de torque continuo durante 13`52" más que antes

Fuente: Autor

Con estos valores, se logra el objetivo principal de implementar un circuito de control electrónico y optimizar la eficiencia del P.E.S, sin que estos sean estándares aceptables, se realiza pruebas a partir de la segunda opción de configuración de la fuente de alimentación. Donde la alimentación es de 36V y 130Ah, lo que incrementa su autonomía a un nivel considerable con respecto a la tabla 1, siendo:



Tabla 18

Prueba de funcionamiento a 36V

<b>VARIABLE/PARAMETRO</b>	<b>VALOR MEDIDO</b>	<b>VALOR REFERENCIAL</b>
Autonomía	30'00"	45'88"
Velocidad promedio	7 k/h	50 k/h
Resistencia estructural		
Ruedas	2km	Ilimitado
Bases de paneles	2km	Ilimitado
Ruidos de estructura	Vibración en la estructura	Totalmente silencioso

Fuente: Autor

Con este tipo de conexión, se mejoró notablemente su autonomía y reflejo una perdida insignificante de velocidad por disminución de la tensión de alimentación, la resistencia de su estructura se mantiene limitada por sus fallas.

A pesar de ampliar la autonomía del vehículo con relación al tiempo se mantiene presente su baja velocidad.

Tabla 19

Comparación de resultados para los dos tipos de conexión de la fuente

<b>VARABLE / SISTEMA</b>	<b>PARÁMETRO</b>		<b>COMPARACIÓN</b>
	48V	36V	
Autonomía	13' 52"	30'00"	16'48"
Velocidad	8 km/h	7Km/h	1km/h

Potencia	48V 10HP	36V 6HP	4HP
----------	----------	---------	-----

Fuente: Autor

A partir de estas variables, se busca incrementar su velocidad e incorporar un sistema de recarga de baterías que sea capaz de conseguir la puesta en marcha del vehículo para su siguiente funcionamiento.

En cuanto al sistema de recarga de baterías, se conecta un panel solar que proporcione energía continua a las baterías ya sea que el vehículo este en reposo o en marcha.

Por otro lado para incrementar la velocidad se decide eliminar la caja de velocidades, debido a la pérdida de velocidad que existe por la relación de transmisión de acuerdo a las pruebas de funcionamiento con el vehículo suspendido; además se reduce la pérdida de energía.

#### **4.4.14 Implementación de sistema fotovoltaico para recarga de baterías.**

Para la implementación de este sistema fue necesario analizar los paneles existentes en la cubierta del vehículo, bajo el concepto expuesto por Mario Ortega 2003 “No conectaremos nunca entre sí módulos de distintas características ni de distintos fabricantes” (p.135).

Los paneles que tiene el prototipo son del mismo fabricante, pero no tienen las mismas características eléctricas en sus terminales de salida:

Tabla 20

Paneles existentes en el prototipo

Panel	Características Eléctricas			Fabricante
	Tensión	Corriente c.c.	Potencia	
1	14,4V	1,6 <sup>a</sup>	23W	Sin marca
2	4,8V	3,2 <sup>a</sup>	15W	Sin marca
3	2,4V	1,6 <sup>a</sup>	4W	Sin marca
4	0.5V	0,75 <sup>a</sup>	0.3W	Sin marca

Fuente: Autor

Con las características medidas de los paneles, se puede evidenciar sus diferencias eléctricas y deducir que no se pueden conectar entre sí para aumentar la tensión y corriente de salida.

Figura 32

Paneles fotovoltaicos antiguos del prototipo

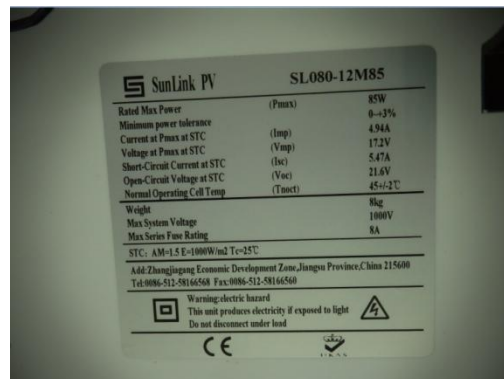


Fuente: Autor

Por tal motivo, se realiza el desmontaje de estos paneles y se incorpora al sistema un panel solar marca Tynsolar de procedencia China el que posee las siguientes características:

Figura 33

Placa de datos del panel



The image shows a technical data plate for a SunLink PV SL080-12M85 solar panel. The plate is white with black text and contains the following information:

SunLink PV		SL080-12M85
Rated Max Power	(Pmax)	85W
Minimum power tolerance		0-3%
Current at Pmax at STC	(Imp)	4.94A
Voltage at Pmax at STC	(Vmp)	17.2V
Short-Circuit Current at STC	(Isc)	5.47A
Open-Circuit Voltage at STC	(Voc)	21.6V
Normal Operating Cell Temp	(Toct)	45±2°C
Weight		8kg
Max System Voltage		1000V
Max Series Fuse Rating		8A
STC: AM-1.5 E-1000W/m2 Tc=25°C		
Add: Zhongjiagang Economic Development Zone, Jiangsu Province, China 215600		
Tel: 0086-512-58166560 Fax: 0086-512-58166560		
Warning: electric hazard This unit produces electricity if exposed to light Do not disconnect under load		
CE		

Fuente: Autor

Como podemos observar en la figura 33, el panel puede proporcionar un voltaje máximo de 17,2V a una corriente de 4.94A, esto significa que el panel entregará una potencia de 85W.

Con la implementación del panel fotovoltaico, se cargaran las baterías por cada dos en paralelo realizando la selección de carga según el estado de las baterías, la selección de la batería o de las baterías en paralelo a ser cargadas se realiza por medio de una palanca selectora.

Tabla 21

Proceso de adaptación del panel fotovoltaico Tynsolar

Nº	Pieza/parte/sistema	Trabajo realizado	Diagrama	Medidas/Características
1	Base del panel	Modificación	Sin diagrama	1207 x 552,5 L x A
2	Panel Fotovoltaico	Adaptación	Figura 47	1206 x 552 L x A

Fuente: Autor

Figura 34

Panel Tynsolar instalado en el Prototipo



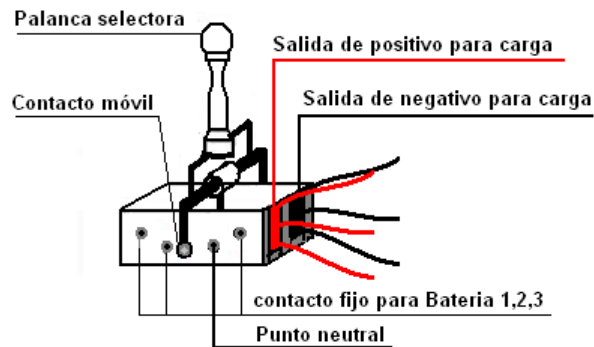
Fuente: Autor

#### 4.4.15 Construcción y adaptación de palanca selectora de carga.

La construcción de esta palanca se basa en la necesidad de realizar la conmutación o selección de carga de las baterías ya que el panel es capaz de cargar una sola fuente de 12V a la vez, en tal virtud se construye una palanca selectora que sea capaz de recibir la energía fotovoltaica y proporcionarle a cada batería según se realice la selección.

Figura 35

Diseño de palanca selectora



Fuente: Autor

De esta manera cuando la palanca selectora se deslice hacia delante o hacia atrás y su contacto móvil que esta energizado con energía proveniente del panel fotovoltaico caiga sobre un contacto fijo, la energía circulara a través de este y el conductor hasta llegar a la batería seleccionada.

La energía proveniente del panel se encuentra en los contactos móviles, en un lado el positivo y en el otro el negativo haciendo de esta palanca una especie de interruptor triple de doble contacto.

Tabla 22

Proceso de construcción de la palanca selectora de carga

Nº	Pieza/parte/sistema	Trabajo realizado	Diagrama	Medidas/Características
1	Palanca	Diseño Construcción y adaptación	Figura N 36	120 x 50 x 50 L x A x G

Fuente: Autor

Figura 36

Imagen real de la palanca selectora adaptada

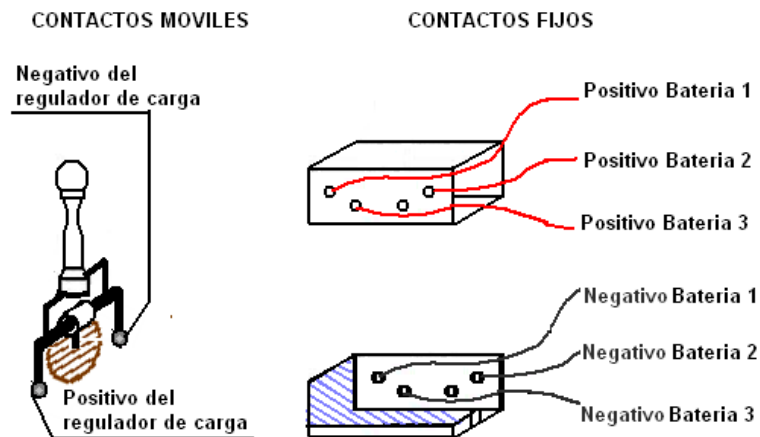


Fuente: Autor

La instalación de esta palanca se realiza a través de los contactos móviles con el regulador de carga y por otro lado los cables de salida que están conectados a los contactos fijos respectivamente, de la siguiente manera.

Figura 37

Conexión interna de la palanca selectora



Fuente: Autor

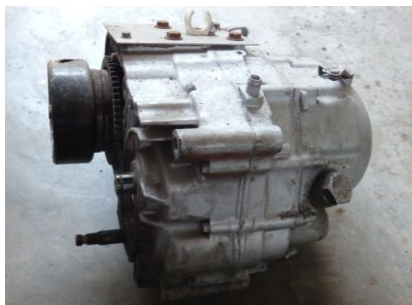
#### **4.4.16 Adaptación de un nuevo sistema de tracción eliminando la caja de velocidades.**

La necesidad de eliminar la caja de velocidades surge a partir de la pruebas de funcionamiento, donde el vehículo no puede superar los 8 Km/h, a pesar de que el torque y la velocidad del motor son superiores, además en la prueba de funcionamiento con el vehículo suspendido se mide la relación de transmisión de motor – neumáticos, donde se evidencia que existe una pérdida considerable de RPM finales, es necesario aclarar que una caja de velocidades de una moto está diseñada para multiplicar el torque y disminuir la velocidad de acuerdo con la marcha, aprovechando las altas revoluciones a las que el motor de combustión puede girar, optimizando la potencia del motor.

Para la eliminación de la caja de velocidades, se desmonta el eje de transmisión que mantiene conectada la caja con el motor, si se revisa la tabla 4 se puede observar que también es el causante de vibración excesiva en el sistema de transmisión.

Figura 38

Caja de velocidades desmontada



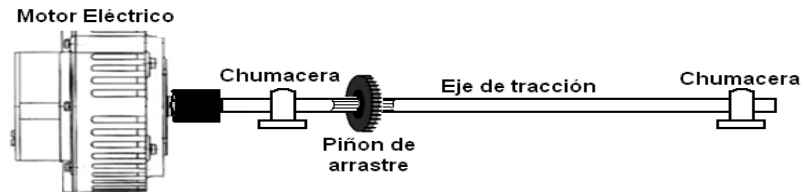
Fuente: Autor



Luego de retirar la caja de velocidades, se procede con el diseño del nuevo sistema de transmisión.

Figura 39

Diseño del eje de transmisión



Fuente: Autor

De esta manera se obtiene una transmisión directa del motor hacia el piñón de arrastre como indica la figura 39, además se realiza el montaje de dos chumaceras de banco para que sean las encargadas de soportar la presión y peso del sistema.

Para la construcción del eje fue necesario montar las chumaceras sobre un soporte de platina en forma de trípode, luego se procede a la selección del piñón de arrastre para que cumpla con una relación de transmisión  $3 - 1$ , donde por cada tres vueltas que entrega el motor directamente al piñón, este entregara la tracción a una catalina por medio de cadena donde la catalina receptora girara una vuelta, lo que significa que el vehículo avanzara 1,12m en función del diámetro de sus neumáticos, si el vehículo alcanza 2.750RPM máximo según la curva característica de torque a 36V expuesta en la gráfica de la figura 5, en base a la relación de transformación las ruedas del vehículo alcanzaran 916RPM máximas, esto quiere decir que si el vehículo por cada vuelta de las ruedas puede recorrer 1,12 metros recorrerá 1,025Km por cada minuto de funcionamiento, se determina que su velocidad máxima en las mejores condiciones será de 61,5 Km/h, siendo esta una velocidad adecuada

para el prototipo. Para llegar a la relación de transmisión 3 -1 se coloca un piñón de arrastre de 12 dientes frente a una catalina de 38 dientes en el eje de las ruedas.

La adaptación se la realiza de acuerdo con el diseño y se obtiene los siguientes resultados.

Figura 40

Nuevo sistema de transmisión



Fuente: Autor

Tabla 23

Construcción y adaptación del nuevo sistema de transmisión

Nº	Pieza/parte/sistema	Trabajo realizado	Diagrama	Medidas/Características
1	Caja de marchas	Desmontaje	Sin diagrama	Pesa 11.8Kg
2	Eje de tracción	Diseño, construcción y adaptación	Figura 39	90 x 3/4" L x D
3	chumaceras	Adaptación	Figura 39	3/4" Ø interno de rodamiento

4	Pilar de chumacera	Diseño, construcción y adaptación	Figura 39	78 x 130 A x A
4	Piñón de arrastre	Calculo y adaptación	Figura 39	12 muescas o dientes con estriado de 8
5	Motor	Adaptación	Figura 39	Eje 3/4"

Fuente: Autor

Con el trabajo realizado se cuenta con una velocidad de giro en el eje de arrastre de 916RPM lo que da oportunidad para instalar un alternador de carga, comúnmente usado en vehículos convencionales para generar energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del vehículo, un alternador de altas prestaciones empieza a generar a partir de las 800RPM, lo que se podría aprovechar para dar un aporte adicional de energía en situaciones especiales, por ejemplo en pendientes donde el vehículo no necesite impulso del motor eléctrico para alcanzar una velocidad sobre los 30Km/h.

Tabla 24

Prueba de funcionamiento del sistema de transmisión directo

<b>VARIABLE/PARAMETRO</b>	<b>VALOR MEDIDO</b>	<b>VALOR REFERENCIAL</b>
Relación de transmisión Motor – neumáticos	3,5 – 1	3 – 1
Peso del sistema	5,2 kg	Sin estándar

Fuente: Autor

En base a los resultados se evidencia un incremento en la relación de transmisión que fue el objetivo de realizar el remplazo de la caja de velocidades.

Tabla 25

Comparación de resultados de la relación de transmisión con y sin caja.

VARIABLE / SISTEMA	PARÁMETRO		COMPARACIÓN
	Caja de marchas	Transmisión directa	
Relación de transmisión	8 - 1	3.5 -1	Por cada vuelta del motor se optimiza 4. 5 vueltas en las ruedas
Velocidad Máxima	8 km/h	44 km/h	36 km/h más rápido

Fuente: Autor

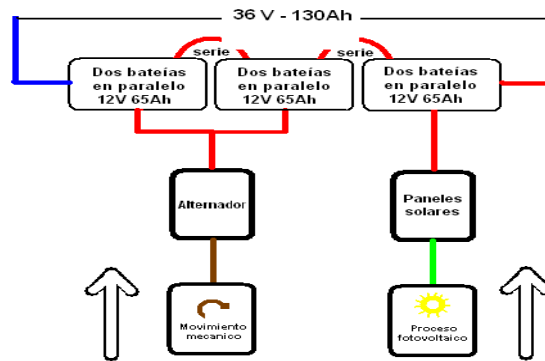
Con estos resultados se logra un incremento de velocidad aceptable para los parámetros básicos de un vehículo eléctrico expuestos en la tabla 1, adicional a la velocidad máxima mejorada es viable la implementación de un sistema de carga extra para una parte de la fuente con ayuda de un alternador.

#### 4.4.17 Adaptación de alternador

Se decide utilizar un alternador de 24V de carga, comúnmente se usa en camiones, se busca inyectar una carga de 24V a las dos primeras baterías de la serie quedando una batería para cargarse continuamente con energía fotovoltaica proveniente de los paneles solares, esquemáticamente de la siguiente manera:

Figura 41

Diagrama esquemático del sistema de carga

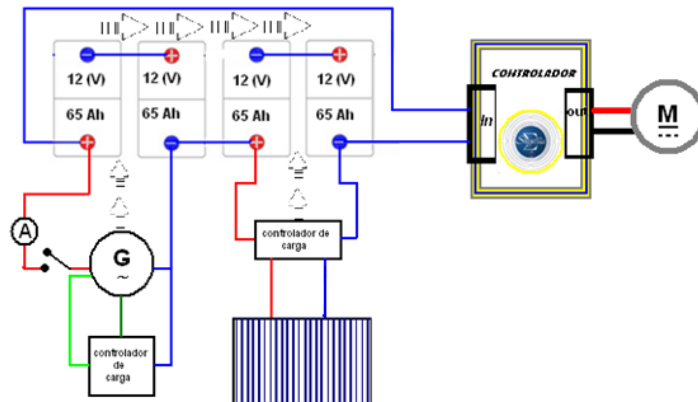


Fuente: Autor

Se procedió con la diagramación del circuito eléctrico para el funcionamiento del sistema de carga.

Figura 42

Circuito de carga



Fuente: Autor

Se procede a ubicar el alternador en un lugar seguro con buena ventilación y donde se pueda transmitir una correcta tracción por parte del eje motriz, quien será el encargado de proveer del movimiento mecánico al

alternador para que este cumpla la función de generar energía a través de una fuerza mecánica inicial, además fue necesario incorporar una base para el templador del alternador quien servirá como segundo punto de apoyo y proporcionará un fácil montaje de la banda conductora y su templamiento.

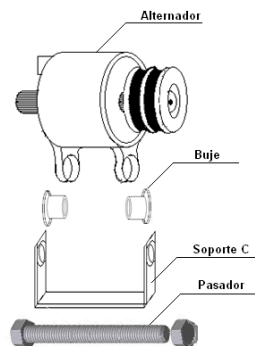
Para la adaptación se realizó una C de hierro la que se dio forma sobre una platina de  $\frac{1}{4}$ " de espesor por 1" de ancho y 16" de largo la misma que posteriormente fue soldada en la estructura del prototipo de vehículo eléctrico solar.

Para los agujeros de sujeción del alternador se fabricó bocines en daflón que es un material aislante el que servirá para que el alternador quede totalmente aislado de la estructura.

La adaptación del alternador es totalmente independiente y móvil a través de sus diferentes piezas desmontables:

Figura 43

Montaje de alternador



Fuente: Autor

Figura 44

Alternador Montado en el prototipo

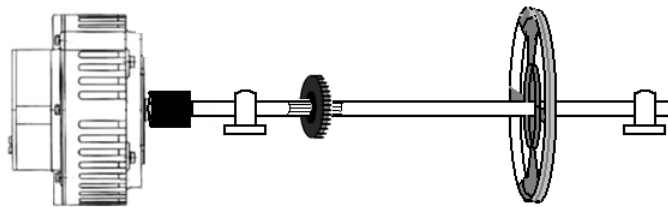


Fuente: Autor

Con el montaje del alternador fue necesario incrementar una polea de arrastre en el eje conductor, para el caso será el mismo eje motriz sobre el que se montó el piñón de arrastre de la siguiente manera.

Figura 45

Diseño de adaptación de la polea de arrastre en eje de tracción



Fuente: Autor

Para la selección de la polea a ser montada se trabajó con una relación de transformación que sea capaz de multiplicar las revoluciones en el alternador, se instaló una polea de arrastre de mayor diámetro que la polea conducida del alternador.

Figura 46

Sistema de carga con alternador montado



Fuente: Autor

Tabla 26

Proceso de Adaptación de un alternador en el P.E.S para carga adicional

<b>N o</b>	<b>Pieza/parte/sistem a</b>	<b>Trabajo realizado</b>	<b>Diagram a</b>	<b>Medidas/Característica s</b>
1	Soporte tipo C	Diseño, Construcción y adaptación	Figura 43	(155 x 75 x 25,4) mm con perforación Ø 10 mm
2	Buje aislante	Diseño, Construcción y adaptación	Figura 43	Diámetros 10 – 14 – 22 mm
3	Alternador	Adaptación	Figura 43	139 mm base móvil
4	Pasador	Adaptación	Figura 43	5/8" x 7"
5	Polea de arrastre	Adaptación	Figura 45	8" Ø con eje 5/8"

Fuente: Autor



Para el funcionamiento de los sistemas es necesario realizar la conexión eléctrica de cada uno de sus componentes como se indica en el diagrama de conexión de la figura 42, así se dispone del sistema de carga con energía fotovoltaica de manera continua y por lo contrario el sistema de carga con alternador entrara en funcionamiento solo cuando el conductor lo active de forma manual permitiendo la polarización del estator a través del interruptor de llave ubicado a la derecha del asiento.

Figura 47

Interruptor de llave



Fuente: Autor

Con el sistema instalado fue necesario realizar pruebas de funcionamiento con el prototipo fuera de contacto con la calzada, en las pruebas se observó que el sistema funciona acorde con su diseño.

Tabla 27

Prueba de funcionamiento con transmisión directa y adaptación de un alternador para generación adicional de energía

VARIABLE/PARAMETRO	VALOR MEDIDO	VALOR REFERENCIAL
Autonomía	40'	45'88"

Velocidad promedio	30 km/h	50 k/h
Aporte de energía del alternador	27V – 15 A	27V – 60 <sup>a</sup>
Resistencia Estructural		
Ruedas	Ilimitado	Ilimitado
Bases de paneles	Sin problemas	Ilimitado
Ruidos de estructura	Silencioso	Totalmente silencioso

Fuente: Autor

#### Análisis de la tabla 27

La generación de energía por parte del alternador se obtiene cuando se conecta el sistema a través de la llave de contacto, ubicada en el piso del prototipo a la derecha del asiento, cuando se activa el sistema de carga por alternador, es necesario llevar una aceleración progresiva continua hasta que el amperímetro de carga opere entre 0 y 60 amperios de carga con la aguja indicadora en la sección verde del amperímetro, cuando el amperímetro indica que el sistema está operando, se puede reducir la aceleración hasta sacar de funcionamiento al sistema de tracción con motor eléctrico desconectando el interruptor de encendido del vehículo.

Es oportuno usar el sistema de carga con alternador solo en pendientes donde el vehículo se desplace sin necesidad del motor eléctrico, el sistema de carga con el alternador por su sistema propio de funcionamiento ejerce una fuerza opuesta al giro de avance del vehículo, por lo tanto no se recomienda usar el sistema conjuntamente con el motor eléctrico ya que provocara el frenado del vehículo haciendo que el motor exija más torque y por ende más consumo.

Figura 48

Amperímetro indicando sistema de carga con alternador, en reposo



Fuente: Autor

Figura 49

Amperímetro indicando sistema de carga con alternador, trabajando



Fuente: Autor

Tabla 28

Comparación de resultados generales del prototipo

VARIABLE / SISTEMA	PARÁMETRO		COMPARACIÓN
	Antes	Actual	
<b>Autonomía</b>	Sin dato	30 km/h durante 40'	30 km/h durante 40' más que antes
<b>Velocidad Máxima</b>	Sin dato	40 km/h	40 km/h más rápido
<b>Tiempo estimado de carga por cada paralelo de baterías con energía solar</b>	Sin dato	22 h	Es posible cargar las baterías en 22 h de exposición al sol.
<b>Aporte de energía</b>	Sin	15 A por cada	Nota: La generación

<b>por sistemas adicionales (alternador)</b>	sistema	hora de funcionamiento	depende del terreno en el cual se desplace el vehículo
<b>Relación de transmisión</b>	8 - 1	3.5 -1	Por cada vuelta del motor se optimiza 4. 5 vueltas en las ruedas
<b>Funcionamiento</b>	No	Si	Vehículo funcionando y optimizado

Fuente: Autor

#### 4.4.18 Instrucciones de operación para del prototipo eléctrico solar

Para la puesta en marcha del prototipo se requiere:

- Encender el vehículo a través de su interruptor de encendido colocado a la derecha en el panel principal.

Figura 50

Interruptor de encendido activo



Fuente: Autor

- Seleccionar la dirección de avance sea esta hacia adelante o reversa a través de un interruptor de doble posición siendo (-) para reversa y (=) hacia adelante.

- Presionar el pedal color negro (acelerador) ubicado a la derecha en el piso del prototipo hasta llegar a la velocidad deseada.
- El pedal color rojo del freno se presionara solo cuando se deje de acelerar para no averiar el sistema inyectando una fuerza opuesta a la de avance, este pedal se utilizará solo cuando se desee llevar el prototipo hasta el estado de reposo.
- En condiciones geográficas con pendientes pronunciadas se puede encender el sistema de carga con alternador girando la llave de color rojo ubicada en el piso del prototipo a la derecha del asiento del conductor como indica la figura 47. Para verificar que el sistema está cargando se debe visualizar el amperímetro de carga que está ubicado a la derecha en el panel frontal de la parte superior del prototipo, mismo que deberá indicar la carga que están recibiendo las baterías en amperios como indica la figura 49. Es necesario indicar, para que el alternador empiece a generar se debe acelerar, aumentando las RPM en el alternador haciendo que se polarice el estator hasta visualizar la carga en el amperímetro, luego de esto se puede disminuir la velocidad y dependiendo de la pendiente incluso desconectar el sistema eléctrico con el interruptor de vehículo llevándolo hasta la posición apagado.
- La palanca selectora para carga solar deberá estar en la posición tres, solo en caso de que el nivel de carga sea bajo en las baterías uno y dos se llevara la palanca hasta estas posiciones según sea el caso.
- El sistema de carga con alternador también sirve como freno gracias a la fuerza electromotriz que ejerce para generar energía eléctrica cuando se activa el sistema a través de la llave de accionamiento de la figura 47.

## **CAPITULO V**

### **5 Conclusiones y recomendaciones**

#### **5.1 Conclusiones**

Dentro de la investigación realizada, se encontró que existe variedad de sistemas ya elaborados, incluso para ser aplicados en conversión total de vehículos de combustión a eléctricos, lo que ha permitido implementar con éxito, un sistema de control de velocidad optimo y confiable para el motor Manta.

La optimización de los sistemas para incremento de autonomía, no solo fue el desarrollo eficaz de sus sistemas existentes sino que además se incorporó al vehículo un sistema adicional para cargar las baterías.

La implementación de los nuevos sistemas en el prototipo, hace que la conducción se asemeje a la de un vehículo convencional, ya que la conducción del prototipo es igual o más sencilla de controlar que un vehículo de combustión, la velocidad puede ser controlada al igual que en un vehículo convencional a través de un acelerador de pie.

A partir de esta propuesta se presenta un prototipo de vehículo eléctrico solar de bajo mantenimiento, energía de impulso gratuita y rendimiento óptimo en diferentes tipos de carreteras y condiciones geográficas, siendo el de mayor rendimiento cuando el vehículo se desplaza en zonas bajas donde la condición geográfica tiende a ser plana ayudando al vehículo a mantener su velocidad y potencia constante durante su funcionamiento.

## 5.2 Recomendaciones

Continuar con la investigación sobre el control electrónico para motores eléctricos de altas prestaciones y crear o realizar conversiones de vehículos eléctricos funcionales que sean útiles para nuestra sociedad.

Implementar un sistema de carga que sea capaz de tomar energía de la red eléctrica.

Realizar mantenimiento y control de sus sistemas como; lubricación del acelerador, limpieza superficial de paneles fotovoltaicos, control de nivel de electrolito en las baterías y mantenimiento de sus partes mecánicas

Para optimizar el rendimiento actual del prototipo, se deberá montar el mismo sistema en un prototipo más liviano y con mayores prestaciones de confort como; suspensión, sistema de alumbrado, freno regenerativo y carrocería cubierta o por lo contrario reducir el peso del prototipo elaborado e implementar estos sistemas.

Para aprovechar el módulo controlador implementado, se recomienda el uso de la totalidad de sus servicios como: Freno regenerativo, Interruptores de seguridad y visualización de estado del sistema.

## Bibliografía

- Alonso Pérez, J. (2009). *Técnicas del automóvil: equipo eléctrico*. Madrid España. Paraninfo
- Benalcazar M. (2010). *Guía para Realizar Trabajos de Grado*. Ibarra Ecuador. El Taller Libertario.
- Floyd T. (2008). *Dispositivos Electrónicos*. México. Pearson Educación.
- García A. González, J. García, F. García, M. Martínez, A. (2009). *Energías Renovables Para el Desarrollo*. Madrid España. Paraninfo.
- García Trasancos, J. (2009). *Electrónica*. Paraninfo.
- Gómez Alós, M. Bachiller Soler, A. Ortega Gómez, G. (2008). *Problemas Resueltos de Maquinas Eléctricas*. Madrid España. Paraninfo.
- Malvino, A. Bates, D. (2007). *Principios de Electrónica*. Madrid. McGraw-Hill.
- Martín Castillo, J. (2012). *Maquinas Eléctricas*. Madrid España. Editex.
- Menéndez Martínez, A. (2012). *La corriente continua Volumen I*. Tebar.
- Neamen D. (2012). *Dispositivos y circuitos eléctricos*. México McGraw–Hill.
- Ortega M. (2001). *Energías Renovables*. Madrid España. Paraninfo.
- Posó Miguel, A. (2011). *Proyectos, Tesis y Marco Lógico*. Quito Ecuador. Noción Imprenta.
- Roldán Vilorio, J. (2005). *Motores eléctricos: Accionamiento de máquinas, 30 tipos de motores*. Madrid España. Thomson Paraninfo.
- Rueda Santander, J. (2010). *Técnico en mecánica y electrónica automotriz. Mecánica automotriz Tomo 3*. Colombia. Diseli.
- Sánchez A. (2014). *Electrónica: Dispositivos y Aplicaciones*. Quito Ecuador. Escuela Politécnica Nacional.



- Tobajas Vázquez, C. (2011). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. España. Ceypsa.
- Eduardo Frías Valero (2004). Aportaciones al estudio de las máquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del método de los elementos finitos. Universidad politécnica de Cataluña.
- Javier Andolz Bielsa (2003). Cálculo y diseño de un motor lineal tubular de imanes permanentes. Escuela técnica superior de Ingeniería.
- Gabriel González Barrios (2008). Proyecto de vehículo eléctrico de uso diario con energía solar. S/E.
- Bryan Salvatierra. (2012) Autos Eléctricos. Universidad politécnica salesiana.

## **Lincografía**

Características de Batería:

<http://www.ptelectronics.es/index.php/es/menubaterias/menucaracteristica>

- Corriente Continua:

[http://unicrom.com/Tut\\_corrientecontinua.asp](http://unicrom.com/Tut_corrientecontinua.asp)

- Energía fotovoltaica:

[http://www.corpoema.com/CDenergia/FV\\_Capi6.PDF](http://www.corpoema.com/CDenergia/FV_Capi6.PDF)

- Energía Eólica:

<http://www.monografias.com/trabajos14/energia-eolica/energia-olica.shtml#di>

- Paneles Solares:

<http://quenergia.com/soluciones-energetcas/paneles-solares-fotovoltaicos/>

- Regulador de Carga:

<http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com/2006/01/el-regulador-de-carga.html>

- <http://www.autolibreelectrico.com/>

<http://dspace.universia.net/bitstream/2024/157/1/MANUAL++DE++VEHICULO+ELECTRICO+CHERY.pdf>.

## ANEXOS

Prueba de funcionamiento del sistema de control



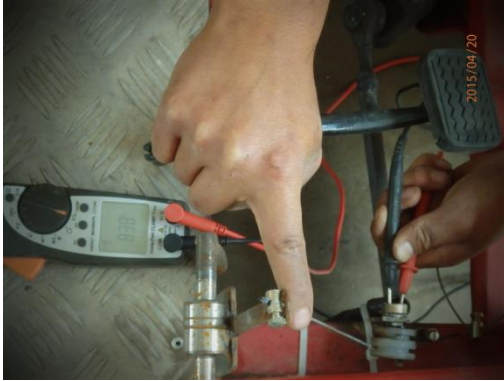
Voltaje de la fuente en la prueba de funcionamiento.



Resistencia del acelerador en desacelerado



### Resistencia del acelerador en acelerado



### Reparación del rin



### Pruebas de funcionamiento con otro vehículo a la par



Velocidad a 40 km/h medidos con camioneta Fiorino a la par



Caja de marchas Montada en el Prototipo



Prototipo final





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

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

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	0401780309		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Rojas Muñoz Diego Antonio		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Mira. Narchin Mira So4-021 Y Av. Enrique Arboleda		
<b>EMAIL:</b>	dar1m@hotmail.com		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062-280-696	<b>TELÉFONO MÓVIL</b>	0996749826

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA A UN VEHÍCULO MONOPLAZA PROPULSADO POR UN MOTOR ELÉCTRICO ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE PARA MEJORAR SU AUTONOMÍA.
<b>AUTOR (ES):</b>	Diego Antonio Rojas Muñoz
<b>FECHA: AAAAMMDD</b>	2015/06/29
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Ing. Pablo Méndez

## 2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Rojas Muñoz Diego Antonio, con cédula de identidad Nro.0401780309, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## 3. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 24 días del mes junio de 2015

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: Diego Antonio Rojas Muñoz  
C.C.0401780309



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Diego Antonio Rojas Muñoz, con cédula de identidad Nro.0401780309 manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado titulado: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA A UN VEHÍCULO MONOPLAZA PROPULSADO POR UN MOTOR ELÉCTRICO ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE PARA MEJORAR SU AUTONOMÍA”**. Que ha sido desarrollada para optar por el Título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 24 días del mes de junio de 2015

(Firma).....

Nombre: Diego Antonio Rojas Muñoz

Cédula: 0401780309