



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS
INGENIERÍA ELÉCTRICA

TEMA:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y
OPERACIÓN DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO ALIMENTADO CON
ENERGÍA ALTERNATIVA, EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
COTOPAXI”**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIEROS
ELÉCTRICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

AUTORES:

Alvarez Amores Juan Humberto

Arroyo Romero Angel Mauricio

DIRECTOR DE TESIS:

Ing. Eléctrico. Marcelo Barrera

ASESOR METODOLÓGICO

Dr. Bolívar Vaca

LATACUNGA - ECUADOR

Junio del 2014

AUTORÍA

Los postulantes, declaramos bajo juramento que el trabajo de investigación aquí descrito es de nuestra autoría, además que este trabajo de investigación no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación personal y que se ha consultado en dichas bibliografías que se vinculan en este manuscrito.

.....
Juan Humberto Alvarez Amores

C.I. 0502970387

.....
Ángel Mauricio Arroyo Romero

C.I. 0502799414

AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

En calidad de Director de Trabajo de Investigación sobre el tema:

“Diseño e implementación de un sistema de control y operación de un vehículo eléctrico alimentado con energía alternativa, en la Universidad Técnica de Cotopaxi” de **Juan Humberto Alvarez Amores y Angel Mauricio Arroyo Romero**, egresados de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos Metodológicos y aportes Científicos – Técnicos suficientes para ser sometida a la evaluación del Tribunal de Grado, que el Honorable Consejo Académico de la Unidad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 11 de junio del 2014

.....
Ing. Eléctrico. Marcelo Barrera

DIRECTOR DE TESIS

AVAL DEL ASESOR METODOLÓGICO

En calidad de Asesor Metodológico sobre el tema:

“Diseño e implementación de un sistema de control y operación de un vehículo eléctrico alimentado con energía alternativa, en la Universidad Técnica de Cotopaxi”, de **Juan Humberto Alvarez Amores y Angel Mauricio Arroyo Romero**, egresados de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos Metodológicos y aportes Científicos – Técnicos suficientes para ser sometida a la evaluación del Tribunal de Grado, que el Honorable Consejo Académico de la Unidad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 11 de junio del 2014

.....
MSc. Bolívar Vaca
ASESOR METODOLÓGICO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
Latacunga – Cotopaxi – Ecuador

AVAL DE TRADUCCIÓN

Mg. Fabiola Cando con C.I. 050288460-4, en calidad de docente de la Carrera de Ciencias de la Educación, mención Inglés de la Universidad Técnica de Cotopaxi, certifico que se ha realizado la respectiva revisión del Abstract, con el tema: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y OPERACIÓN DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO ALIMENTADO CON ENERGÍA ALTERNATIVA, EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, cuyos autores son: Alvarez Amores Juan Humberto con C.I. 0502970387 y Arroyo Romero Ángel Mauricio con C.I. 0502799414, postulantes a Ingenieros Eléctricos en Sistemas Eléctricos de Potencia cuyo Director de Tesis es el Ing. Marcelo Barrera.

Latacunga, 11 de junio del 2014

.....
Mg. Fabiola Cando
ENGLISH TEACHER

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Kléver Mayorga (+) por habernos guiado, compartiendo sus conocimientos.

Al Ing. Marcelo Barrera por la confianza depositada y por brindarnos su apoyo incondicionalmente durante el desarrollo de la presente tesis.

De manera especial al Ing. Fabián León por compartir sus vivencias y experiencias durante el desarrollo de nuestro trabajo.

La eterna gratitud a nuestra querida Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirnos las puertas para podernos formar como profesionales, impartiendo conocimientos de vital importancia para el desempeño en el campo profesional.

DEDICATORIA

A DIOS, por su infinita bondad, por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, y brindarme la sabiduría para seguir el buen camino.

A mis queridos padres Beatriz Amores y Gabriel Alvarez por ser los pilares de todos los logros de mi vida, por su amor profundo y fortaleza infinita, por estar apoyándome siempre en todo momento para superar todos los obstáculos que se han presentado, por ser mi ejemplo y mi más grande orgullo.

A mi tía Gloria Amores mi eterno agradecimiento por todo ese apoyo incondicional y sabios consejos.

A mi querido hermano Leo, gracias por tu comprensión, tu paciencia, tus consejos y tú apoyo, un infinito agradecimiento a Víctor, María, Yoli, Héctor, Jorge, Patricio por su ayuda absoluta, y por creer en mí.

Y a toda mi familia que de una u otra forma me apoyaron incondicionalmente.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios les bendiga.

JUAN

DEDICATORIA

A Dios y a mi padre Enrique Arroyo, quienes desde el cielo guían mi camino.

A mi madrecita querida Gloria Romero por su amor, apoyo, comprensión y sacrificios por ser la persona que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida.

A mis hermanos, por su ayuda y apoyo incondicional que me brindaron en los momentos que más lo necesité.

Y a toda mi familia que de una u otra manera me guiaron con sus sabios consejos.

Con todo mi amor y admiración

Mauricio Arroyo

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
AUTORÍA.....	ii
AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS.....	iii
AVAL DEL ASESOR METODOLÓGICO	iv
AVAL DE TRADUCCIÓN	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
DEDICATORIA	viii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Máquina de corriente continua	1
1.1.1. Constitución	2
1.1.2. Tipos de motores.....	3
1.1.3. Tabla característica de los tipos de motores.....	7
1.1.4. Ecuaciones fundamentales para un motor CD serie.....	7
1.1.5. Rendimiento y pérdidas en los motores de corriente continua	10

1.2. Dimensionamiento energético para el movimiento del vehículo.	12
1.2.1. Potencia necesaria para el movimiento del vehículo	12
1.3. Controladores de motores de corriente continua	13
1.3.1. Arranque y control mediante resistencias estatóricas	14
1.3.2. Controlador electrónico de tensión CD-CD.....	15
1.4. Controlador lógico programable (PLC).....	18
1.4.1. Partes y funcionamiento básico de un PLC.....	19
1.4.2. Operación del Equipo.....	20
1.5. Instrumentación y protecciones en un vehículo eléctrico	21
1.5.1. Instrumentación en un vehículo eléctrico	21
1.5.2. Sistema de Protección	22
CAPÍTULO II.....	24
2. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL SISTEMA DE CONTROL Y OPERACIÓN DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO	24
2.1. Introducción.....	24
2.2. Análisis del estado actual del vehículo.....	25
2.2.1. Sistema eléctrico y control	25
2.2.2. Sistema de Potencia.....	25
2.2.3. Sistemas Mecánicos	25
2.3. Hipótesis y variables.....	26
2.4. Parámetros de diseño para el sistema eléctrico del vehículo.....	27
2.4.1. Fuerza contraelectromotriz (fcem):.....	28
2.4.2. Corriente de armadura.....	29
2.4.3. Torque o par desarrollado	29
2.4.4. Corriente de arranque.....	30
2.4.5. Potencia necesaria para el movimiento del vehículo	30

2.5.	Simulación del circuito de control mediante eliminación de resistencias	32
2.6.	Simulación del circuito de control mediante elementos electrónicos.....	34
2.7.	Sistema de luces del vehículo.....	36
2.8.	Dimensionamiento de las protecciones del sistema de control, potencia y luces	37
2.9.	Rendimiento del sistema	40
2.10.	Interpretación de la potencia del motor en función al peso que lleva el vehículo.....	42
2.10.1.	Correlación de la potencia y energía consumida por el motor respecto a la carga del vehículo.....	44
2.11.	Selección del control de voltaje para el motor eléctrico.....	45
2.12.	Verificación de la hipótesis	46
CAPÍTULO III.....		47
3.	PROPUESTA.....	47
3.1.	Desarrollo de la propuesta.....	47
3.1.1.	Título.....	47
3.1.2.	Presentación	47
3.1.3.	Justificación de la propuesta	48
3.1.4.	Objetivos	49
3.1.5.	Alcance.....	49
3.1.6.	Desarrollo técnico de la propuesta	50
3.1.7.	Selección de los elementos para el montaje del sistema de control y operación del vehículo eléctrico.....	51
3.1.8.	Puesta en marcha del sistema de control y operación del vehículo eléctrico alimentado con energía solar	59
3.1.9.	Ubicación de los elementos y accesorios en el vehículo.....	62

3.1.10. Producto final.....	62
4. CONCLUSIONES.....	69
5. RECOMENDACIONES.....	71
6. GLOSARIO.....	72
7. BIBLIOGRAFÍA.....	77
Bibliografía Citada.....	77
Bibliografía Consultada	78
8. ANEXOS.....	79
ANEXO N°1	79
Tabla de características de los conductores eléctricos	79
ANEXO N°2	80
Unidades de medida del Sistema Internacional	80
Unidades de medida del Sistema Internacional	81
ANEXO N°3	82
Estado actual del vehículo.....	82
ANEXO N°4	85
Diagrama de ubicación de los elementos del sistema de control y operación del vehículo.....	85
ANEXO N°5	86
Diagrama unifilar del sistema de luces y accesorios del vehículo.....	86
ANEXO N°6	87
Ubicación de los elementos y accesorios en el vehículo.....	87
ANEXO N°7	91
Mediciones del sistema.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Partes de un motor de corriente continua	3
Figura 1. 2 Mapa conceptual de los tipos de motores de corriente continua	4
Figura 1. 3 Sistemas de autoexcitación en motores de corriente continua.....	4
Figura 1. 4 Arranque y control por medio de un reóstato.	14
Figura 1. 5 Arranque automatizado de un motor serie.....	15
Figura 1. 6 Diagrama de bloques del controlador de velocidad.....	17
Figura 1. 7 Pantalla del LOGO!	18
Figura 1. 8 Cableado del LOGO	20
Figura 2. 1 Área frontal del vehículo	31
Figura 2. 2 Control de un motor CD mediante eliminación de resistencias.	33
Figura 2. 3 Simulación del control de un motor CD mediante eliminación de resistencias	34
Figura 2. 4 Simulación del control de velocidad en un motor CD.....	35
Figura 2. 5 Voltaje troceado.....	35
Figura 2. 6 Simulación del sistema de luces en el software LOGO! Soft Comfort	36
Figura 2. 7 Ventana para la configuración los tiempos del generador de impulsos asíncrono	37
Figura 2. 8 Curvas de protecciones	39
Figura 2. 9 Potencia del motor vs peso	43
Figura 2. 10 Pendiente de la energía en función del peso	45
Figura 3. 1 Circuito de modulación por ancho de pulsos del controlador de velocidad	53
Figura 3. 2 Conexión del módulo de aceleración con el controlador de velocidad	55
Figura 3. 3 Contactor principal	57
Figura 3. 4 Características del contactor	57
Figura 3. 5 Contactor de avance/retro	58
Figura 3. 6 Características del contactor	59

Figura 3. 7 Esquema de conexiones del sistema de control y fuerza 61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Características de los motores CD	7
Tabla 1. 2 Corriente de arranque según la potencia del motor.....	10
Tabla 1. 3 Rendimiento de los motores CD	11
Tabla 2. 1 Operacionalización de variables	27
Tabla 2. 2 Fuerza contraelectromotriz en un motor CD 2Hp.....	28
Tabla 2. 3 Torque en un motor CD 2Hp	29
Tabla 2. 4 Potencia del vehículo	32
Tabla 2. 5 Corrientes para la coordinación de los fusibles	38
Tabla 2. 6 Rendimiento del motor en vacío	40
Tabla 2. 7 Rendimiento del motor con el peso del chasis.....	40
Tabla 2. 8 Rendimiento del motor con controlador electrónico y un peso de 500Kg.	42
Tabla 2. 9 Rendimiento del motor con controlador electromecánico y un peso de 500Kg.....	42
Tabla 2. 10 Potencia vs peso.....	43
Tabla 2. 11 Tabla de potencia y energía que requiere el motor con distintos pesos ...	44
Tabla 3. 1 Elementos para el montaje del sistema de control y operación del vehículo eléctrico.....	51
Tabla 3. 2 Conductores del módulo de aceleración	54
Tabla 3. 3 Datos de la velocidad y torque con el motor acoplado a la transmisión sin peso	63
Tabla 3. 4 Datos de la velocidad y torque con peso del chasis	64
Tabla 3. 5 Datos de la velocidad y torque con peso de 500Kg	64
Tabla 3. 6 Mediciones de potencia.....	64
Tabla 3. 7 Energía por kilómetro consumida por el vehículo	65
Tabla 3. 9 Descripción del costo de los materiales y equipos utilizados	67

RESUMEN

Este trabajo de tesis se basa en el diseño e implementación de un sistema de control y operación de un vehículo eléctrico mediante el aprovechamiento de la energía solar, el objetivo principal es regular la velocidad de un motor de corriente continua mediante un sistema electrónico de potencia y su inversión de giro para que el vehículo pueda avanzar hacia atrás. Como datos principales se tiene un vehículo tradicional que cuenta con una transmisión trasera sin caja de cambios y una caja reductora de velocidad que va conectada entre el motor eléctrico y el eje de las ruedas del vehículo. Para el dimensionamiento de los equipos y elementos en el vehículo se coordinó con el grupo de trabajo de tesis que se encarga de la parte de alimentación del vehículo, decidiendo tomar como modelo un carro de golf. Como parte principal del sistema está el troceador o variador de velocidad que consta de dos partes: la primera es la etapa lógica que genera diferentes señales de modulación por ancho de pulsos (PWM). La segunda es la de potencia, que recibe las señales de PWM generadas en la etapa lógica y proporciona la energía suficiente para controlar la velocidad del motor de corriente continua de acuerdo a la presión que se ejerza sobre el pedal de aceleración, adicionalmente se tiene un contactor doble que se encarga de invertir el giro del motor y un contactor simple que sirve como interruptor principal del sistema. La corriente máxima que se le puede suministrar al troceador es 325 amperios. Obteniendo un vehículo económico tanto en la alimentación y su mantenimiento, alcanza una velocidad promedio de 18 Km/h con una carga máxima de 500 kg. El sistema de alimentación puede ser recargado en cualquier momento por medio de los paneles solares incorporados como cubierta del vehículo y para los días con clima adverso se usa un tomacorriente casero de 120 voltios.

ABSTRACT

This thesis is based on the design and implementation of a control system and operation of an electric vehicle by harnessing solar energy. The main objective is to regulate the speed of a DC motor via power electronics and its turning investment for the vehicle to move backwards. The main data has a traditional vehicle with a rear transmission no gearbox and gearbox speed which is connected between the electric motor and the axis of the wheels of the vehicle. For sizing of equipment and items in the vehicle, it was coordinated with the thesis working group that is in charge of the vehicle power, deciding to model a golf cart. As the main part of the system is the chopper drive or controller that is composed of two parts: the first is the logical step that generates different signals pulse width modulation (PWM). The second is the power, which receives the PWM signals generated in the logic stage and provides sufficient power to control the speed of the DC motor according to the pressure exerted on the accelerator pedal. Additionally, there is a contactor dual handles that reverse the rotation of the motor and a single contactor which serves as main switch of the system. The maximum current that can be supplied to the chopper is 325 amps, getting an economic vehicle both in power and its maintenance which reaches an average speed of 18 Km/h with a maximum load of 500 kg. The power system can be recharged at any time by solar panels built vehicle as cover for bad weather days with an outlet of 120 volt home use.

INTRODUCCIÓN

El sector transporte es el mayor causante de las emisiones de monóxido de carbono en el mundo, es así que las nuevas tecnologías buscan minimizar dichas emisiones con la implementación de vehículos eficientes que utilicen energías alternativas, favoreciendo al medioambiente y la economía en su mantenimiento. Los vehículos eléctricos eficientes en el consumo de energía se evalúan por el rendimiento del paso de la electricidad por cada elemento del sistema que va desde la fuente hasta la energía mecánica que mueve el vehículo.

Para la implementación del sistema de control y operación en el vehículo eléctrico se realiza un estudio entre un sistema electrónico y electromecánico, mediante simulaciones y cálculos matemáticos se determina que el controlador de mayor rendimiento es un variador electrónico de voltaje, por lo cual el diseño e implementación de un sistema de control y operación permite el aprovechamiento eficiente de la energía alternativa, además cumple con parámetros como velocidad y carga aceptables considerando que es un vehículo que será utilizado para transporte de equipos y materiales en los laboratorios de la institución.

El presente estudio se divide en 3 capítulos, el primer capítulo, contiene las bases teóricas sobre el funcionamiento y operación de los motores de corriente continua, controladores de velocidad, controladores lógicos programables, elementos de medición y protección. El segundo capítulo, comprende la comprobación de la hipótesis de estudio mediante cálculos y simulaciones informáticas. En el tercer capítulo, se describe las pruebas de funcionamiento del sistema de control y operación, se incluyen las conclusiones, recomendaciones y se finaliza con los anexos y el manual de operación del vehículo eléctrico.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Máquina de corriente continua

Es aquella que produce o se alimentan de corriente continua, se conoce a una maquina como generador cuando transforma una determinada energía disponible en la naturaleza en energía eléctrica de corriente continua y como motor si ésta energía se transforma en energía mecánica.

Según (SANZ Javier, 2002, pag. 127), el objetivo en el caso del motor, es conseguir un campo magnético en el rotor que interaccione con el del estator en este caso sería el de producir un valor de torque máximo, para lograr esto se debe conseguir que ambos campos sean perpendiculares entre sí en todo momento. En el caso del generador, se trata de generar de forma eficiente un voltaje continuo en bornes del inducido, para ello se mantendrá una velocidad fija en el rotor de tal manera que al moverse sus espiras y bobinas respecto al campo magnético principal del rotor proporcionen un voltaje fijo en el estator. Ambos objetivos se cumplen gracias a las escobillas y al colector de delgas. Hay que mencionar que una máquina trabaja como generador cuando el inductor es el rotor y el inducido el estator, mientras que en un motor el inductor es el estator y el inducido el rotor.

1.1.1. Constitución

Según (**MORA Jesús, 2008**), menciona que las principales partes que conforman la máquina de corriente continua son las que a continuación se detalla:

Estató: se compone de una corana de material ferromagnético que se le denomina culata interior, los polos por su parte están sujetos a la culata que alojan unas bobinas de hilo o pletina de cobre aislado usado para crear el campo magnético en la máquina.

Los polos están hechos de acero silicio laminado, las bobinas de campo están arrolladas sobre los polos y pueden estar compuestas de muchas espiras de alambre delgado o de pocas espiras de alambre grueso.

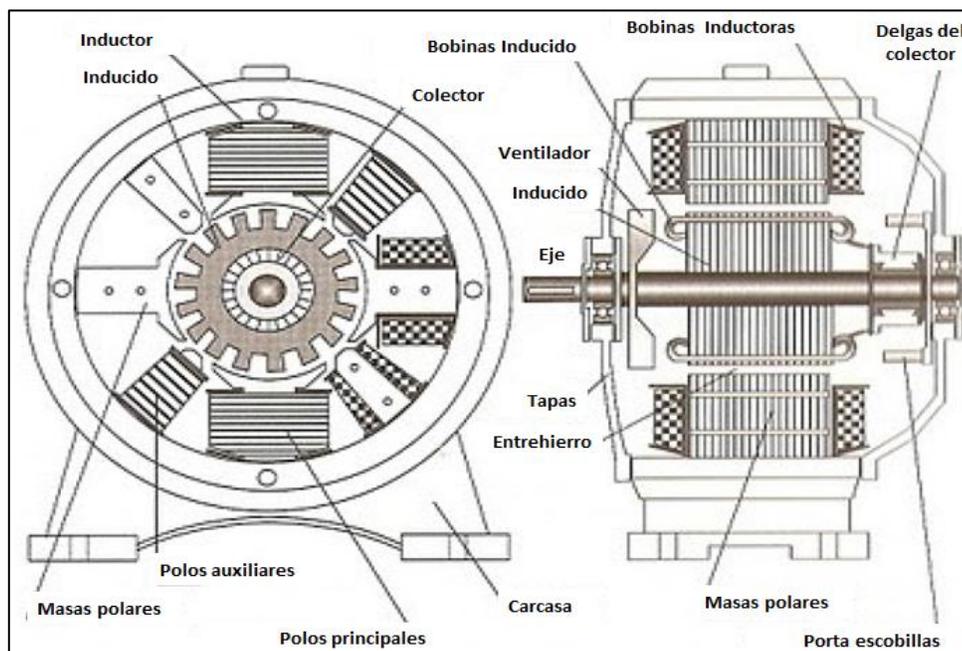
Rotor: formado por un material ferromagnético a base de chapas de hierro aisladas por medio de una capa de barniz u óxido, en estas chapas se aloja el devanado inducido de la máquina y está constituido por bobinas de hilo o de pletina de cobre.

Escobillas: toda máquina de CD requiere de por lo menos dos escobillas, están hechas de carbón o de cobre grafito y van alojadas en las portaescobillas que están sujetas a un anillo y entornilladas al yugo. Un resorte presiona firmemente las escobillas sobre el conmutador para obtener un buen contacto eléctrico entre las delgas, el colector y el circuito de CD exterior.

Conmutador o Colector: Es el corazón de la máquina CD constituido por piezas planas de cobre duro de sección trapezoidal llamadas delgas, separadas y aisladas unas de otras por delgadas láminas de mica, formándose así un tubo cilíndrico aprisionado fuertemente. El colector tiene tantas delgas como bobinas posee el devanado inducido de la máquina y debe operar con variaciones de temperatura de al menos 55°C, con velocidades periféricas que pueden llegar a 35,55 m/s.

La rectificación o conmutación, consiste en un anillo dividido en dos casquillos aislados entre si y conectados cada uno de ellos a cada lado de las bobinas, colocando las escobillas en forma opuesta respecto al eje y al ir girando el conmutador se invertirán sucesivamente las conexiones al exterior, esta rectificación se puede mejorar aumentando el número de bobinas y delgas del conmutador. En la figura 1.1 se muestran las partes de un motor de corriente continua:

Figura 1. 1 Partes de un motor de corriente continua

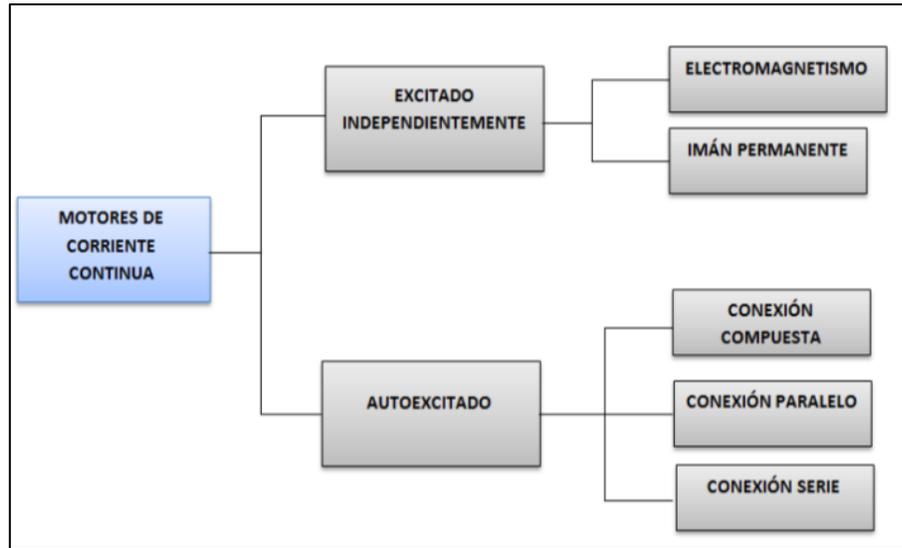


Fuente: <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2010/01/motores-electricos-parte-i1.pdf>

1.1.2. Tipos de motores

En el siguiente mapa conceptual se hace referencia a los tipos de excitación de los motores con sus respectivas sub clasificaciones:

Figura 1. 2 Mapa conceptual de los tipos de motores de corriente continua



Fuente: Grupo investigador

La excitación independiente se refiere a la corriente continua que alimenta al devanado inductor y proviene de una fuente independiente de la máquina, como una batería de acumuladores, un rectificador conectado a una red alterna, o un generador de CD rotativo.

La autoexcitación se refiere a la corriente que excita las bobinas inductoras y proviene de la misma máquina generatriz. Para obtener la autoexcitación o cebado de la máquina necesariamente tiene que existir un pequeño flujo en el circuito magnético, flujo que es posible producir y mantener gracias al fenómeno de histéresis magnética.

Figura 1. 3 Sistemas de autoexcitación en motores de corriente continua



Fuente: <http://www.tuveras.com/maquinascc/dinamo/excitaciondinamo.htm>

1.1.2.1. Motor de excitación independiente

Son aquellos que obtienen la alimentación del rotor y del estator de dos fuentes de voltaje independientes. Con ello el campo del estator es constante al no depender de la carga del motor, y el par de fuerza es entonces prácticamente constante. Las variaciones de velocidad al aumentar la carga se deberán sólo a la disminución de la fuerza electromotriz por aumentar la caída de voltaje en el rotor. Este sistema de excitación no se suele utilizar debido al inconveniente que presenta el tener que utilizar una fuente exterior de corriente.

1.1.2.2. Motor de Imán Permanente

Este motor contiene potentes imanes permanentes para crear un flujo constante en el entrehierro, eliminando así la necesidad del rotor bobinado y escobillas utilizadas normalmente para la excitación en los motores sincrónicos. Esto permite obtener el rendimiento de un motor sincrónico combinado con el diseño robusto y simple de un motor de inducción estándar. El motor de imanes permanentes debe ser energizado directamente en el estator por medio de un accionamiento de velocidad variable.

1.1.2.3. Motor compound o motor de excitación compuesta

Este tipo de motor se caracteriza por obtener una excitación originada por dos bobinados inductores independientes, uno dispuesto en serie con el bobinado inducido y otro conectado en derivación con el circuito formado por los bobinados; inducido, inductor serie e inductor auxiliar.

Los motores compuestos tienen un campo serie, sobre el tope del bobinado del campo shunt, el cual consiste de pocas vueltas de un alambre grueso y está conectado en serie con la armadura que a su vez lleva la corriente de armadura.

El flujo del campo serie, varía directamente a medida que la corriente de armadura varía y es directamente proporcional a la carga, este campo serie se conecta de manera tal que su flujo se añade al flujo del campo principal shunt. Su par de arranque es bastante elevado y no tiene el inconveniente del embalamiento en vacío.

1.1.2.4. Motor Shunt, conexión en paralelo o derivación

Este tipo de motor se caracteriza por poseer un bobinado inductor principal que se conecta en paralelo con el circuito formado por los bobinados inducido e inductor auxiliar. Sus bobinas principales están constituidas por muchas espiras y con hilo de poca sección, por lo que la resistencia del bobinado inductor principal es muy grande.

En el instante del arranque, el par motor que se desarrolla es menor que el motor serie, Al disminuir la intensidad absorbida el régimen de giro apenas sufre variación, su velocidad disminuye ligeramente cuando el par aumenta, tiene la mejor regulación de velocidad. Se emplea principalmente para accionar cargas de velocidad constante.

1.1.2.5. Motor serie o de excitación en serie

Es un tipo de motor en que el inducido y el devanado inductor van conectados en serie. Por tanto, la corriente de excitación o del inductor es también la corriente del inducido absorbida por el motor.

Este motor varía mucho su velocidad con la carga y tiende a asumir velocidades muy altas en vacío, además, tiene muy alto su par de arranque y soporta sobrecargas, su potencia es casi constante a cualquier velocidad.

Se embala cuando funciona en vacío debido a que su velocidad aumenta al disminuir el flujo inductor, además, la intensidad del inductor es la misma que el inducido. Le afectan poco las variaciones bruscas de la voltaje de alimentación, ya que un aumento de esta provoca un aumento de la intensidad, del flujo y de la fuerza contra

electromotriz, lo cual estabiliza la intensidad absorbida. Se emplea para accionar cargas pesadas tales como tranvías, grúas, montacargas, ascensores, carros de golf, etc.

1.1.3. Tabla característica de los tipos de motores

A continuación en la tabla 1.1, se muestra las principales características de los motores de corriente continua autoexcitados:

Tabla 1. 1 Características de los motores CD

<i>Tipo de motor (excitación)</i>	<i>Bobina de campo</i>	<i>Velocidad</i>	<i>Par motor</i>	<i>Aplicaciones</i>
Derivación	Muchas espiras de calibre fino	Constante, es decir independiente a la variación de la carga.	Mediano	Tornos, taladradoras, etc.
Serie	Pocas espiras de calibre grueso	Suave, es decir Inversamente proporcional a la carga.	Elevado	Grúas, trenes eléctricos, tranvías, etc.
Compound	Combinación serie y paralelo	Constante	Elevado	Prensas, laminadoras, etc.

Fuente: Grupo investigador.

1.1.4. Ecuaciones fundamentales para un motor CD serie.

Las ecuaciones principales en un motor de corriente continua son las que toman en cuenta la transferencia de energía hacia la carga, en el anexo 2 se muestra la tabla de unidades que se utiliza para realizar los cálculos del sistema eléctrico del vehículo.

1.1.4.1. Fuerza contraelectromotriz (fcem)

Para calcular un promedio de la fcem inducida (esto es un valor típico que se llama promedio del cuarto de revolución) se integra en el tiempo desde $\theta = 0^\circ$ hasta $\theta = 90^\circ$, consiguiendo la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = 4 \cdot \phi_{\max} \cdot \left(\frac{\omega}{2\pi}\right) \quad \text{Ecuación (1)}$$

Dónde:

ε : Fuerza contraelectromotriz (V)

ω : velocidad de la espira $\left(\frac{\text{rad}}{\text{seg}}\right)$

ϕ_{\max} : Flujo magnético máximo (Wb)

Según el CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA y Patrón Nacional de Densidad de Flujo Magnético en corriente continua (CNM-PNE-12). Para $K=2$ que es una constante del fabricante, se tiene valores de flujo magnético entre valores de 100mT y 200mT, con un nivel de confianza del 95 %, en una área de 1m^2 .

1.1.4.2. Corriente de armadura

Para calcular la corriente de armadura se considera la siguiente ecuación:

$$V - \varepsilon = i \cdot R_a \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$i = \frac{V - \varepsilon}{R_a} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Dónde:

V: Voltaje de alimentación (baterías) (V)

i : Corriente de armadura (A)

R_a : Resistencia de armadura (la resistencia eléctrica del motor) (Ω)

1.1.4.3. Torque o par desarrollado

En este tipo de motores de corriente continua el par motor es máximo en el arranque, luego va disminuyendo conforme aumenta la velocidad.

$$\mathbf{T = K \cdot i \cdot \varnothing} \qquad \text{Ecuación (4)}$$

Dónde:

T: Torque (N.m)

K: Constante del fabricante = 2

i: Corriente de armadura (A)

\varnothing : Densidad de flujo magnético (Wb)

1.1.4.4. Corriente de arranque

Cuando el rotor no está en movimiento no hay resistencia y si se aplica el voltaje de funcionamiento normal se producirá una gran corriente que podría dañar el conmutador y las bobinas del rotor. Si el motor es pequeño la resistencia (de armadura, cableado y otros) tendrá un valor moderado, mientras que en motores grandes su resistencia es mínima y por lo tanto la corriente será muy elevada que puede llegar a ser diez veces mayor que la corriente nominal del motor. Esto perjudica no solamente al motor sino también a la red en la que puede ocasionar oscilaciones de voltaje.

En general, los motores de potencia superior a 0,75 kilovatios deben estar provistos de reóstatos de arranque o dispositivos equivalentes, en la tabla 1.2 se muestra los valores de corriente que alcanzan al momento de su arranque:

Tabla 1. 2 Corriente de arranque según la potencia del motor

Potencia del motor (KW)	Intensidad de arranque
0.75 – 1.5	2,5 In
1.5 – 5	2 In
>5	1,5In

Fuente: Grupo investigador

De este modo la corriente de arranque se calcula mediante la siguiente ecuación, considerando que en el arranque la velocidad (ω) = 0.

$$i = \frac{V}{R_a} \quad \text{Ecuación (5)}$$

1.1.5. Rendimiento y pérdidas en los motores de corriente continua

El rendimiento energético en motores eléctricos estacionarios debe ser considerado para optimizar cualquier sistema eléctrico que se vaya a implementar.

1.1.5.1. Rendimiento

El rendimiento o la eficiencia en motores de corriente continua es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada del motor eléctrico. Se expresa en por ciento y se calcula con la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{W_2}{W_1} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Dónde:

W_1 = potencia de entrada de la máquina.

W_2 = potencia de salida de la máquina.

La diferencia entre ambas representa las pérdidas en la máquina: ΔW

$$\Delta W = W_1 - W_2 \quad \text{Ecuación (7)}$$

$$\eta = 1 - \frac{\Delta W}{W_1} \quad \text{Ecuación (8)}$$

En la siguiente tabla se indica los rendimientos aproximados de los motores de corriente continua- Servicio permanente 40° elevación de temperatura:

Tabla 1. 3 Rendimiento de los motores CD

HP	Rendimiento en %			HP	Rendimiento en %		
	Media carga	¾ de carga	Plena carga		Media carga	¾ de carga	Plena carga
½	62,0	65,0	68,0	20	82,0	85,0	86,5
¾	65,0	70,0	72,0	25	83,0	86,0	87,0
1	70,0	73,0	75,0	30	84,0	87,0	88,0
2	72,0	77,5	81,0	40	85,0	87,5	88,5
3	72,0	77,0	79,0	50	85,5	88,0	89,5
5	77,0	81,0	81,5	75	86,0	89,0	90,5
10	81,0	83,0	85,0	100	86,0	89,0	90,5
15	81,5	84,5	86,0	200	89,0	91,5	92,0

Fuente: Robert Rosenberg “Reparación de motores eléctricos”

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), la eficiencia energética es el conjunto de programas y estrategias para reducir la energía que emplean determinados dispositivos y sistemas, sin que se vea afectada la calidad de los servicios suministrados.

1.2. Dimensionamiento energético para el movimiento del vehículo.

Para realizar el dimensionamiento energético del vehículo que permita el aprovechamiento eficiente, es primordial conocer cómo está distribuido el consumo de la energía, es decir, de qué manera afectan los parámetros de diseño y la variación de cada uno de los elementos al consumo total de la energía.

1.2.1. Potencia necesaria para el movimiento del vehículo

Para este cálculo es importante determinar, la resistencia total al avance del vehículo que se establece por la sumatoria de las resistencias a la rodadura y resistencia aerodinámica.

1.2.1.1. Resistencia a la rodadura

$$R_r = \mu * p \quad \text{Ecuación (9)}$$

Dónde:

μ : coeficiente de rodadura

p : peso del vehículo (peso de vacío + carga útil máxima) (Kg)

1.2.1.2. Coeficiente de rodadura

$$\mu = \mu_0 + k * v^2 \quad \text{Ecuación (10)}$$

Dónde:

$\mu_0 = 0.02$ por ser asfalto

$k = 0.5 * 10^{-6} \left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^{-2}$

$v = \text{velocidad} \left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$

1.2.1.3. Resistencia aerodinámica.

$$R_a = \frac{1}{16} * C_x * S * v^2 \quad \text{Ecuación (11)}$$

Dónde:

C_x : Coeficiente de penetración aerodinámica (0.3 a 0.4)

S : Superficie frontal del vehículo (m^2)

v : Velocidad (m/s)

La resistencia total al avance, se encuentra sumando las expresiones de las resistencias; rodadura y aerodinámica, como se muestra en la ecuación:

$$R_T = R_r + R_a \quad \text{Ecuación (12)}$$

Para encontrar la potencia necesaria que requiere el vehículo se emplea la ecuación 13, considerando el rendimiento de la transmisión y perdidas mecánicas de un 75%.

$$P_w = \frac{R_T * v}{75 * \eta_T} \quad \text{Ecuación (13)}$$

Dónde:

P_w : Potencia (CV)

R_T : Resistencia al avance total (Kg.)

V : Velocidad ($\frac{m}{s}$)

η_T : Rendimiento de la transmisión (0.8 a 0.85)

1.3. Controladores de motores de corriente continua

La necesidad de disponer de controladores para motores de corriente continua radica principalmente en que se desea tener acceso a distintos valores de las variables mecánicas, por ejemplo la velocidad o torque del motor.

El voltaje que se requiere para la alimentación de un motor CD puede ser obtenida directamente de una fuente continua de voltaje, utilizando para el arranque resistencias estáticas denominado reóstato o un controlador electrónico de tensión.

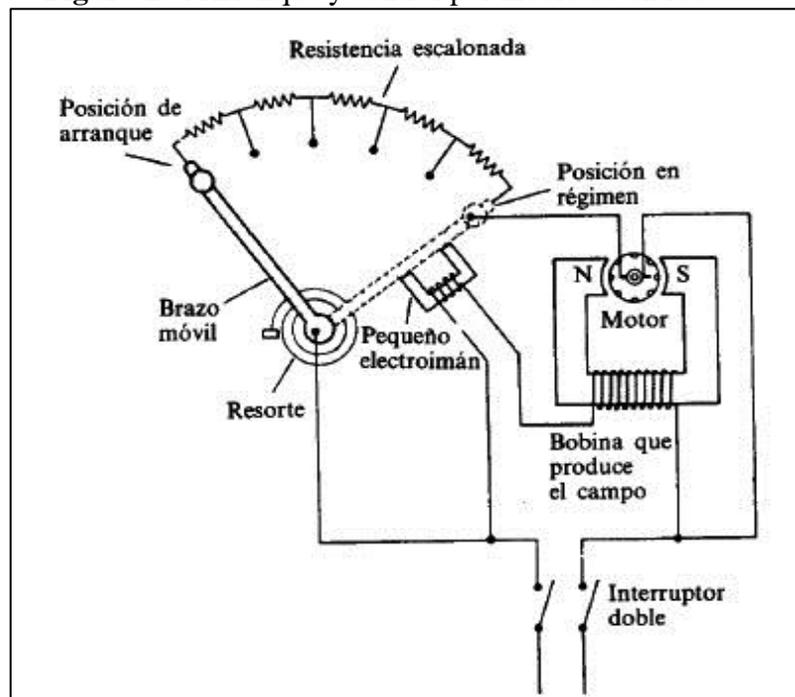
1.3.1. Arranque y control mediante resistencias estáticas

Una forma de limitar la intensidad de arranque es acoplando resistencias en serie con la línea de alimentación al bobinado del rotor, una vez arrancado se retira las resistencias puenteándolas mediante un contactor. Las resistencias deberán ser resistencias de potencia para que sean capaces de resistir el calentamiento que se producirá. Para calcular el valor de las resistencias y la potencia se emplea la siguiente ecuación:

$$R = \left(\frac{U_n}{I_n} \right)^2 \quad \text{Ecuación (14)}$$

$$P = I^2 * R \quad \text{Ecuación (15)}$$

Figura 1. 4 Arranque y control por medio de un reóstato.



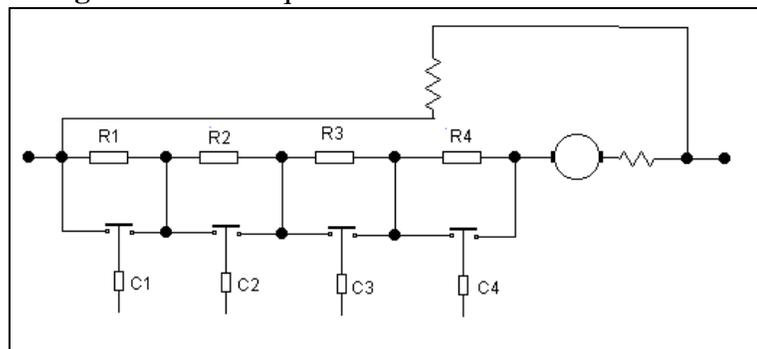
Fuente: Robert Rosenberg "Reparación de motores eléctricos"

El reóstato es lo mismo que un potenciómetro, solo que para manejar mayor corriente consta de una resistencia de alambre y un cursor que permite hacer contacto con cualquier parte de la misma, tiene tres conexiones una en cada extremo de la resistencia y una en el cursor y puede ser utilizado para ir aumentando la tensión en forma paulatina en este caso la del motor quien va a aumentar de velocidad al mismo tiempo, puede estar formado por tres o más resistencias en serie.

Según (**ROSENBERG, Robert**) menciona que, “el reóstato de arranque se diseña para limitar la corriente de arranque a valores comprendidos entre 1.5 y 2.0 veces la corriente nominal del motor. Para calcular las resistencias se tiene que considerar el número de arranques por hora y el tiempo de arranque. Normalmente se calcula la resistencia para 5 arranques por hora y 8 segundos de tiempo arranque”.

Las resistencias se van abriendo por etapas ya sea manual o automáticamente, hasta anular su resistencia una vez que la máquina ha adquirido su velocidad de trabajo. A continuación se presenta un sistema de arranque automatizado mediante contactores temporizados con eliminación de resistencias.

Figura 1. 5 Arranque automatizado de un motor serie



Fuente: Grupo investigador.

1.3.2. Controlador electrónico de tensión CD-CD.

El controlador o regulador de conmutación funciona como un interruptor entre la fuente de corriente continua y la carga, variando el valor promedio de la tensión aplicada a la carga mediante el uso de elementos semiconductores que permiten

controlar la relación entre el tiempo de cierre y el ciclo completo de trabajo, consta de dos partes fundamentales: la sección de poder y sección lógica, a continuación se describe cada una de ellas:

1.3.2.1. Sección de poder

Estos dispositivos de estado sólido son transistores de poder y tiristores (o SCRs). El transistor requiere una señal continua durante la conducción, en cambio el tiristor necesita sólo un pulso para comenzar a conducir; además el transistor entra en corte cuando la señal se hace nula, y el tiristor se apaga cuando la corriente que pasa por él es reducida a cero o cuando se le aplica un voltaje de polaridad inversa”.

Una serie de condensadores filtro conectados directamente a través de la batería proporcionan la corriente instantánea requerida por el circuito de conmutación de potencia y de esta manera proporciona corriente filtrada y supresión de pico de voltaje. El diodo enchufe proporciona un camino para que la corriente de armadura fluya durante el frenado del motor serie.

1.3.2.2. Sección lógica

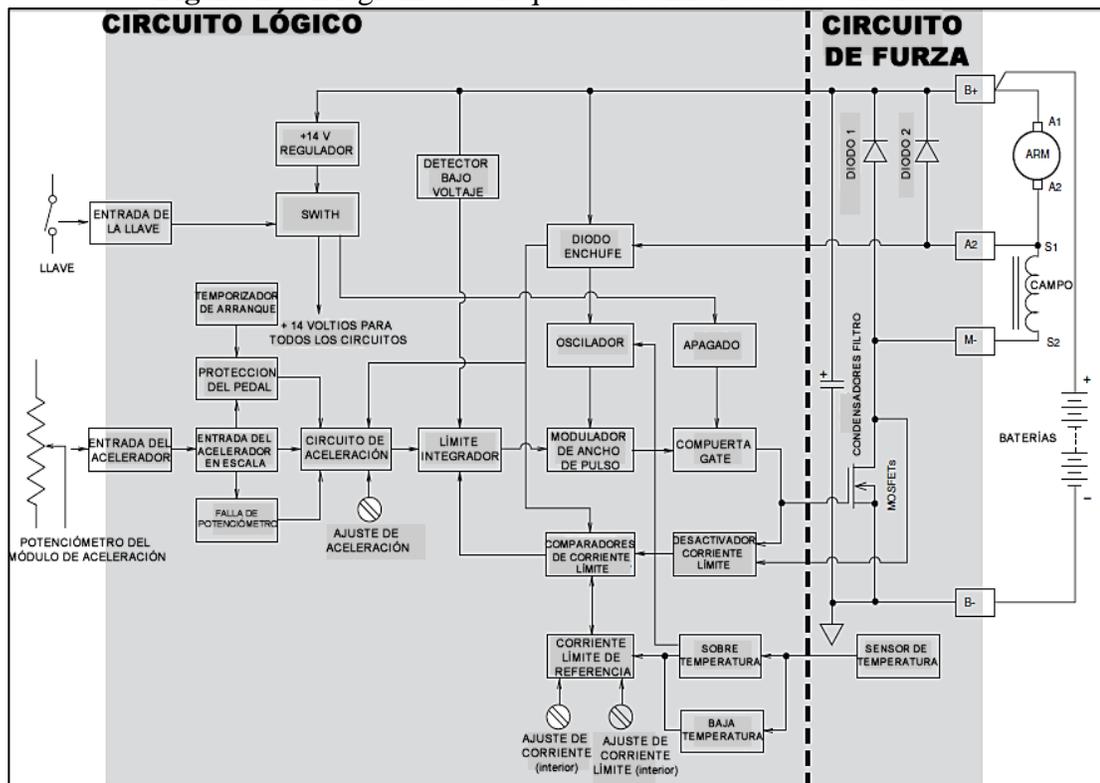
La entrada del acelerador para controlar la velocidad es por lo general de 5000 ohmios, posee una protección (HPD) que inhabilita la aceleración súbita del motor cuando el potenciómetro está en la posición de máxima aceleración, además mediante un detector responde a un bajo o sobre voltaje reduciendo su potencia de entrega hasta que las baterías recuperen su carga. La salida del acelerador también va a un circuito de falla que inhibe la salida del controlador en caso de cables rotos.

La limitación de corriente se realiza mediante la detección de la caída de voltaje en el interruptor principal de potencia (MOSFET) cuando está encendido. Este voltaje se comprueba en los comparadores de límite de corriente. Debido a que el voltaje a

través del MOSFET es alto cuando se apaga, el circuito de comparación del límite de corriente se bloquea durante el intervalo de apagado. La corriente límite se establece de la siguiente manera:

1. Está establecido por un potenciómetro interno para limitar la corriente a la potencia nominal requerida.
2. Durante el funcionamiento a temperaturas extremadamente altas o bajas, se reduce el límite de corriente para protegerse de daños. Un sensor térmico en el disipador de calor produce las señales para reducir el límite de corriente a temperaturas superiores a 75°C o por debajo de -25°C .
3. Durante la operación de frenado eléctrico del vehículo, el límite de corriente se reduce para dar un adecuado par de frenado al motor.

Figura 1. 6 Diagrama de bloques del controlador de velocidad



Fuente: <http://curtisinstruments.com/index.cfm?fuseaction=cDataSheets.dspListDS&CatID=67&siteID=1&langid=1>

1.4. Controlador lógico programable (PLC)

Según el sitio web (LIOTINE Favio,MOYANO Rafael, 2011), manifiesta que, un PLC es un sistema electrónico que opera en base de señales de dos niveles lógicos: (1) encendido y (0) apagado. Algunos PLC además de manejar señales discretas o lógicas, nos permiten programar señales continuas o analógicas utilizando para ello un convertidor digital- analógico. Específicamente un PLC sirve para intervenir los procesos encaminados a la automatización manipulados a través de una lista de instrucciones, comandos o un lenguaje de programación y las formas de programar un PLC son las siguientes:

La primera forma de programar es desde el teclado de programación propio del PLC, que consiste básicamente en crear un esquema eléctrico representado de acuerdo a los símbolos que maneja este dispositivo. A continuación se observa la pantalla del LOGO!:

Figura 1. 7 Pantalla del LOGO!



Fuente: Manual “LOGO!- Maniobra y Control innovativo”-Siemens

La segunda forma es través de una computadora, para ello debemos usar el software de programación LOGO!Soft Comfort, que permite crear, probar, simular, modificar, guardar e imprimir los programas. El software de programación dispone de una ayuda muy completa en la pantalla.

1.4.1. Partes y funcionamiento básico de un PLC

Un controlador lógico programable consiste en módulos de entradas, una CPU o procesador y módulos de salidas.

1.4.1.1. La CPU

Es el cerebro del PLC, responsable de la ejecución del programa desarrollado por el usuario, es la unidad principal de coordinación de todas las funciones, procesador de entrada /salida, procesador de comunicaciones, unidad de memoria y fuente de alimentación.

La CPU se comunica con las interfaces de entrada y salida por medio de un bus paralelo, que incluye un bus de datos y un bus de direcciones. Adicionalmente, un bus de alimentación provee alimentación eléctrica a las interfaces de entrada y salida.

1.4.1.2. Las Entradas

Se encargan de adaptar señales provenientes del campo o niveles que la CPU pueda interpretar como información. Las señales del campo pueden implicar niveles y tipos de señal eléctrica diferentes a los que maneja la CPU. A las entradas se conectan sensores que pueden ser:

- Pulsadores
- Llaves
- Límites de carrera
- Sensores de proximidad
- Y todo elemento que genera señales binarias (ON-OFF)

1.4.1.3. Las Salidas

Controlan dispositivos de campo en función de la información enviada por la CPU.

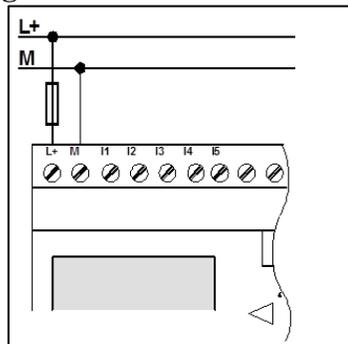
Las salidas comandan distintos equipos, por ejemplo:

- Lámparas.
- Sirenas y bocinas.
- Contactores de mando de motores.
- Válvulas selenoide.
- Otros elementos comandados por señales binarias.

1.4.2. Operación del Equipo

Para conectar el LOGO a la fuente de alimentación en corriente continua se debe cumplir con la siguiente conexión para proteger de cualquier daño al equipo.

Figura 1. 8 Cableado del LOGO



Fuente: Manual “LOGO!- Maniobra y Control innovativo”-Siemens

Para proteger mediante fusible que es lo más recomendado, se debe elegir de acuerdo a la siguiente especificación:

- Para un PLC de 12/24 V dc es necesario un fusible de 0.8 A.
- Para un PLC de 24V dc es necesario un fusible de 2.0 A.

1.5. Instrumentación y protecciones en un vehículo eléctrico

Un vehículo eléctrico debe contar con todos los sistemas de instrumentación y protección que permita la adecuada operación por parte del personal encargado de conducir, así como también proteger de daños graves a los diversos sistemas implementados.

1.5.1. Instrumentación en un vehículo eléctrico

Como cualquier sistema, un vehículo eléctrico debe estar preparado para proveer información al conductor. Esta información debe ser lo más precisa, rápida y confiable que se pueda obtener.

El primer paso es el de elegir las variables, es decir, la información que se quiere obtener.

1.5.1.1. Voltímetro

Este instrumento mide la carga existente en la batería, para aquello debe ser conectado en paralelo con las baterías, la salida de éste puede darse en forma digital o analógica. La salida analógica consta de un voltímetro con una escala expandida etiquetado en porcentajes. Es importante considerar que una batería se encuentra drenada al 80% de su carga completa, luego se debe medir solo la parte usable por la batería (20% superior). La digital está compuesta por una pantalla de números que dan una cuantificación precisa de lo medido, al igual que en el caso analógico se debe considerar que una batería cuando está a plena carga se encuentra un 8.3% por sobre su valor nominal.

1.5.1.2. Amperímetro

Sirve para medir el flujo de corriente entre los puntos en que sea conectado. Usualmente se puede conectar entre las baterías y el controlador o entre el

controlador y el motor. Disponer de una correcta medición de la corriente permitirá conocer la eficiencia del vehículo, ya que a menor corriente, existe un menor esfuerzo tanto del motor como del controlador. Además en casos de vehículos eléctricos con freno regenerativo sirve para cuantificar esta implementación.

1.5.1.3. Sensores de Temperatura

Se deben ubicar en la cercanía del motor, y su tarea es la de medir la temperatura de del bobinado, y cojinetes. Es necesario mencionar que éstos son muy sensibles y su ubicación debe estar protegido de variables exógenas, evitando perturbaciones en la medición.

1.5.2. Sistema de Protección

El vehículo debe estar provisto de los aparatos necesarios para el buen funcionamiento del sistema de protección. Estos dispositivos tienen el objetivo de reaccionar en forma rápida y segura bajo ciertas circunstancias de falla, evitando posibles daños en elementos vitales del vehículo así como también la integridad física del operador del auto.

1.5.2.1. Contactores

Este dispositivo cumple el mismo propósito que el switch de ignición en un automóvil a combustión. Cuando el conductor gira la llave a la posición de partida, el contactor cierra el circuito permitiendo el flujo de corriente hacia el motor. Además tienen la habilidad de manejar voltajes y cargas de mayor envergadura. Se recomienda el uso de contactores especialmente diseñados para vehículos eléctricos, ya que, soportan repetidas secuencias de apertura y cierre sin mucho desgaste.

1.5.2.2. Fusibles

Son filamentos o láminas de un metal o aleación de bajo punto de fusión que se ubican en un punto determinado de una instalación eléctrica para que se fundan por efecto Joule cuando la intensidad de corriente se eleve por un cortocircuito o un exceso de carga, con esto cuidamos la integridad de los conductores de la instalación y destrucción de otros equipos.

Estos dispositivos son muy importantes ya que sirven como respaldo del sistema de protecciones. Por lo tanto deben estar adecuadamente coordinados.

CAPÍTULO II

2. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL SISTEMA DE CONTROL Y OPERACIÓN DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

2.1. Introducción

La ingeniería eléctrica se ocupa del estudio y aplicación de la electricidad, la electrónica y el electromagnetismo. Utiliza conocimientos de ciencias como la física y las matemáticas para diseñar sistemas y equipos que permiten generar, transportar, distribuir y utilizar la energía eléctrica.

Es así que en este capítulo se realiza el diseño del sistema de control y operación del vehículo, mediante cálculos matemáticos y modelaciones con los programas Proteus y LOGO! Soft Comfort, que permitan determinar el rendimiento energético y la confiabilidad en su uso, para lo cual es necesario conocer las características de los elementos tales como potencia del motor, potencia del controlador CD, protecciones eléctricas, etc. Finalmente, se hace un estudio del rendimiento de cada elemento seleccionado para determinar la eficiencia energética que ofrece el vehículo.

2.2. Análisis del estado actual del vehículo

En este literal se hace mención del estado actual de los diferentes sistemas que conforman el vehículo, todos los sistemas se pueden observar en el anexo 3:

2.2.1. Sistema eléctrico y control

El sistema de control del vehículo se encuentra en condiciones no operativas debido a la falta de componentes eléctricos y electrónicos, no se puede obtener un esquema eléctrico que detalle su funcionamiento.

2.2.2. Sistema de Potencia

En el sistema de potencia se encuentra un motor de corriente continua que no cuenta con su placa de datos, es por ello que se necesita desarmar para verificar el tipo, de donde provienen sus devanados, realizar pruebas de continuidad, polarización y absorción para luego determinar su estado y posteriormente probarlo en vacío.

2.2.3. Sistemas Mecánicos

2.2.3.1. Sistema de Transmisión

Es de transmisión y propulsión trasera, al desarmar la caja de transmisión se observa que los engranajes se encuentran en buen estado sin ningún tipo de daño, sin embargo es importante mencionar la fuga de aceite debido al desgaste de los empaques, por lo que se procede a tomar los correctivos necesarios

2.2.3.2.Sistema de dirección

Es de tipo mecánica con tornillo sin fin, se recomienda una lubricación para evitar su desgaste. Para complementar el buen funcionamiento de este sistema se debe realizar alineación y balanceo de las ruedas.

2.2.3.3.Sistema de suspensión

Debido a que la utilización del vehículo está enfocada al transporte de carga, este cuenta con una suspensión de tipo ballestas el cual absorbe el peso del objeto. Este sistema se encuentra en buenas condiciones además hay que recalcar que este tipo de vehículo solo dispone de suspensión trasera.

2.2.3.4.Sistema de frenado

Este sistema dispone de dos tipos de freno: el de tambor en las ruedas traseras y el de mano. En los frenos de tambor se observa que existen fugas del líquido, por lo que se realiza el reajuste de sus componentes, mientras que el freno de mano se encuentra en perfecto estado.

2.3. Hipótesis y variables

El diseño e implementación de un sistema de control y operación permitirá el aprovechamiento eficiente de la energía alternativa en un vehículo eléctrico.

Tabla 2. 1 Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
El diseño e implementación de un sistema de control y operación.	Accesibilidad bibliográfica	Diversidad de fuentes bibliográficas	-Documentos -Infografía
	Diseño del sistema	Parámetros de los dispositivos	- Cálculos matemáticos - Datos Técnicos
		Simulaciones	-Simulador Proteus -Simulador LOGO! Soft Confort
		Elementos en el mercado	-Cotizaciones de elementos
Permitirá el aprovechamiento eficiente de la energía alternativa en un vehículo eléctrico.	Rendimiento del sistema	kW/kg	-Cálculos -Medición
		kWh/kg	-Cálculos -Medición

Fuente: Grupo investigador

2.4. Parámetros de diseño para el sistema eléctrico del vehículo.

Para el diseño del sistema de control y operación debemos dimensionar diversos componentes eléctricos que son necesarias para un funcionamiento confiable, dentro de estos podemos considerar la fuerza contraelectromotriz, corriente de armadura,

torque o par desarrollado por el motor, corriente de arranque y la potencia necesaria para el movimiento del vehículo.

2.4.1. Fuerza contraelectromotriz (*f_{cem}*):

Para calcular el valor de la fuerza contraelectromotriz se utiliza la ecuación (1) del primer capítulo.

$$\varepsilon = 4 \cdot \phi_{\max} \cdot \left(\frac{\omega}{2\pi}\right)$$

$$\varepsilon = 0,637 * \omega \cdot \phi$$

$$\varepsilon = 0,637 * 366,51 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} * 200\text{mWb}$$

$$\varepsilon = 46,69\text{V}$$

En la tabla 2.2 se calcula valores de *f_{cem}* a diferentes valores de velocidad y flujo magnético.

Tabla 2. 2 Fuerza contraelectromotriz en un motor CD 2HP

RPM	$\omega \left(\frac{\text{rad}}{\text{seg}}\right)$	ϕ (Wb)	0,637	ε (V)
10	1,05	0,1	0,637	0,07
900	94,25	0,12	0,637	7,20
1800	188,50	0,14	0,637	16,81
2200	230,38	0,16	0,637	23,48
2700	282,74	0,18	0,637	32,42
3500	366,52	0,2	0,637	46,69

Fuente: Grupo investigador

En la tabla anterior, se observa que a mayor velocidad mayor es la *f_{cem}*, además, con el motor en vacío la *f_{cem}* es casi igual al voltaje aplicado de las baterías, la corriente entonces es pequeña y la velocidad del motor variara de acuerdo a la carga aplicada.

2.4.2. Corriente de armadura

Para calcular la corriente de armadura se considera la ecuación (3):

$$i = \frac{V - \varepsilon}{R_a}$$

$$i = \frac{48V - 46,69V}{0,6\Omega}$$

$$i = 2,18A$$

2.4.3. Torque o par desarrollado

Para calcular el torque del motor se utiliza la ecuación (4)

$$T = K \cdot i \cdot \varnothing$$

Tabla 2. 3 Torque en un motor CD 2HP

RPM	\varnothing (Wb)	K=2	i (A)	T (N.m)
10	0,1	2	79,89	15,98
900	0,12	2	67,99	16,32
1800	0,14	2	51,98	14,56
2200	0,16	2	40,87	13,08
2700	0,18	2	25,97	9,35
3500	0,2	2	2,18	0,87

Fuente: Grupo investigador

La tabla 2.3, muestra que la manera de variar el torque en un motor de corriente continua es aumentando la corriente de armadura (i) o la densidad de flujo (\varnothing) o ambos a la vez. Por lo tanto, estos motores se caracterizan por tener un elevado par de arranque lo que permite iniciar el movimiento con carga, pero su velocidad no se mantiene constante, sino que disminuye al aumentar la carga o aumenta al disminuir ésta.

2.4.4. Corriente de arranque

Se utiliza la ecuación (5) para calcular la corriente de arranque del motor

$$i = \frac{V}{R_a}$$
$$i = \frac{48V}{0.6\Omega} = 80 \text{ A}$$

2.4.5. Potencia necesaria para el movimiento del vehículo

Remplazando la ecuación (10) se tiene:

$$\mu = 0,02 + 0,5 \times 10^{-6} * (v)^2$$

De los datos técnicos del vehículo, se conoce que el peso en vacío es de 400 kg y puede transportar una carga útil máxima de 500 kg. Obteniendo así el peso total del vehículo:

$$p = 400\text{Kg} + 500\text{Kg}$$
$$p = 900\text{Kg}$$

Remplazando el coeficiente de rodadura y el peso del vehículo, en la ecuación 9, se determina la resistencia a la rodadura todo en función de la velocidad:

$$R_r = \mu * p$$

$$R_r = 0,02 + (0,5 \times 10^{-6} * v^2) * 900\text{Kg}$$
$$R_r = 18 + 4,5 \times 10^{-3} v^2$$

2.4.5.1. Resistencia aerodinámica

Para encontrar la superficie frontal del vehículo se utiliza las dimensiones que se muestra en la figura 2.1, y la ecuación (11) para calcular la resistencia aerodinámica:

$$R_a = \frac{1}{16} * C_x * S * v^2$$

Figura 2. 1 Área frontal del vehículo



Fuente: Grupo investigador

$$S = a * b$$

$$S = 1\text{m} * 1,05\text{m}$$

$$S = 1,05\text{m}^2$$

Si se considera un coeficiente aerodinámico de 0.3 y reemplazando el valor del área frontal del vehículo, se obtiene el valor de la resistencia aerodinámica en función de la velocidad:

$$R_a = \frac{1}{16} * C_x * S * v^2$$

$$R_a = 0,0625 * 0,3 * 1,05 * v^2$$

$$R_a = 0,0197 * v^2$$

La resistencia total al avance, se encuentra sumando las expresiones de las resistencias; rodadura y aerodinámica, como se muestra en la ecuación 12:

$$R_T = R_r + R_a$$

Para encontrar la potencia necesaria que requiere el vehículo se emplea la ecuación 13, considerando el rendimiento de la transmisión y pérdidas mecánicas de un 75%.

$$P_w = \frac{R_T * v}{75 * \eta_T}$$

Para analizar el comportamiento del vehículo cuando viaja a diferentes velocidades y considerando un rendimiento de la transmisión de 0.8, se encuentran valores de resistencia y potencia requerida.

Tabla 2. 4 Potencia del vehículo

$v(\frac{km}{h})$	$v(\frac{m}{s})$	R_r (Kg)	R_a (Kg)	R_T (Kg)	P_w (CV)	P (Hp)
10,8	3	18,52	0,177	18,702	0,935	0,923
18	6	19,46	0,709	20,167	2,017	1,990
25,2	8	20,86	1,261	22,118	2,949	2,910
36	10	23,83	1,970	25,802	4,300	4,243

Fuente: Grupo investigador.

De la tabla 2.4, se observa que el vehículo al alcanzar una velocidad de 6 m/s equivalente a 18 Km/h, requiere de una potencia de 1,99 HP. Es decir que al utilizar un motor eléctrico de 2HP se obtiene una velocidad máxima promedio de 18 Km/h.

2.5. Simulación del circuito de control mediante eliminación de resistencias

El valor de las resistencias para la variación de velocidad se calcula utilizando la ecuación (14).

$$R = \left(\frac{48V}{32A} \right)$$

$$R = 1,5\Omega$$

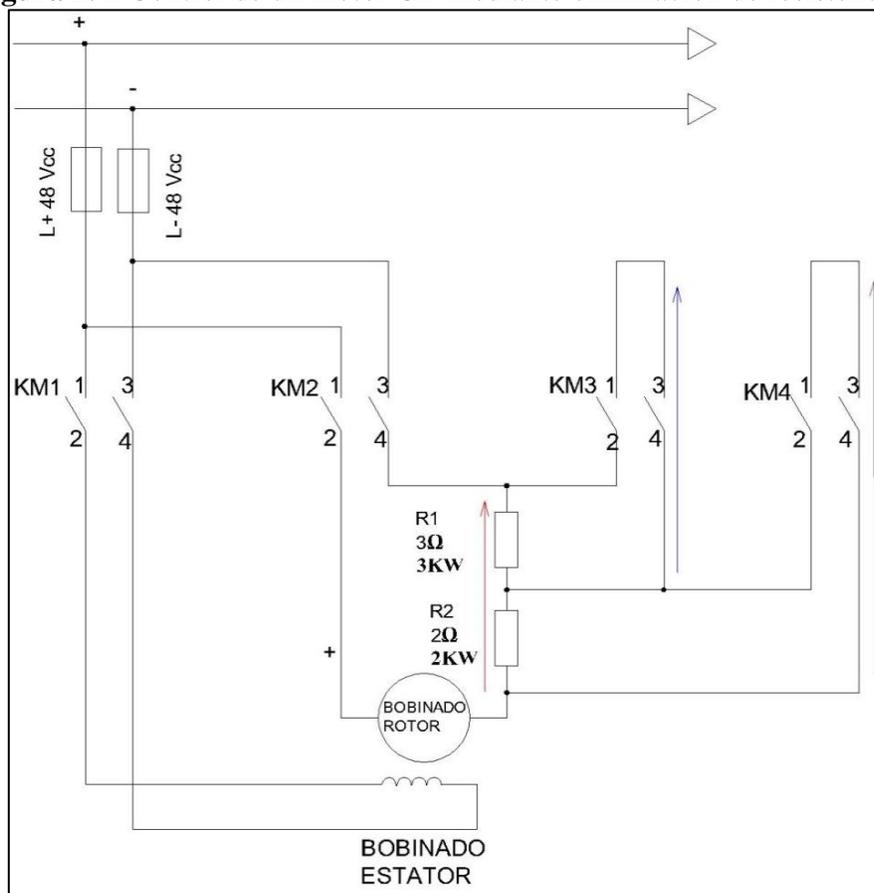
Pero como se trata de proteger al inducido en el momento del arranque se dimensiona por tres veces su valor obteniendo una resistencia de $4,5\Omega$ con la ecuación (15) se encuentra la potencia necesaria para las resistencias.

$$P = 32^2 * 5\Omega$$

$$P = 5KW$$

Como se desea obtener tres velocidades se dimensiona para velocidad baja $R_1 = 3\Omega$ de 3 KW, para velocidad media $R_2 = 2\Omega$ de 2KW y para velocidad máxima se conecta directamente al negativo de la batería. A continuación se muestra un sistema de arranque automatizado mediante contactores temporizados con eliminación de resistencias.

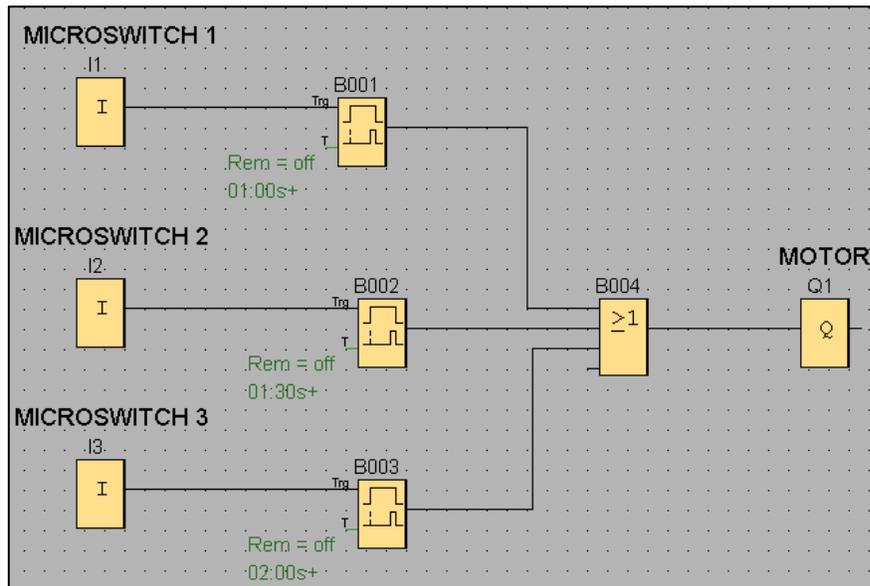
Figura 2. 2 Control de un motor CD mediante eliminación de resistencias.



Fuente: Grupo investigador

Este circuito funciona a 48V su funcionamiento se logra cuando se presiona un pedal el que va activando uno a uno los contactores. Al activar KM1 y KM2 el motor funciona a la mínima velocidad por tener 5Ω de resistencia, mientras que al activar KM3 la velocidad del motor será media por tener una resistencia de 3Ω y finalmente su máxima velocidad se obtendrá cuando se activa KM4 de este modo se hace un bypass a las resistencias. Para la automatización del vehículo se usa un PLC con la finalidad de controlar el tiempo de activación de los contactos si por algún motivo el conductor presione todo el pedal del acelerador.

Figura 2. 3 Simulación del control de un motor CD mediante eliminación de resistencias



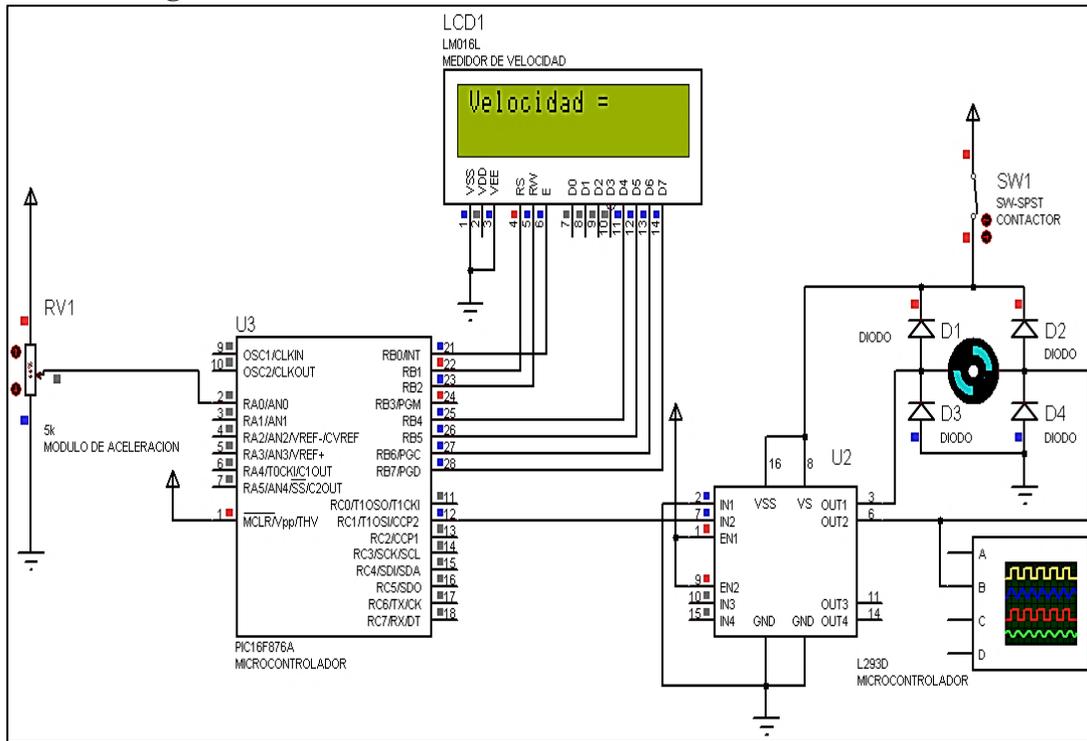
Fuente: Grupo investigador

2.6. Simulación del circuito de control mediante elementos electrónicos

Para realizar la simulación del control de velocidad del motor CD se utiliza el software Proteus Professional versión 7, en el circuito se tiene un potenciómetro que hace las veces de acelerador, microcontroladores para el control y cambio de giro del

motor, un medidor de porcentaje de velocidad, un motor de corriente continua, un interruptor y un osciloscopio para observar gráficamente la modulación por ancho de pulsos (PWM).

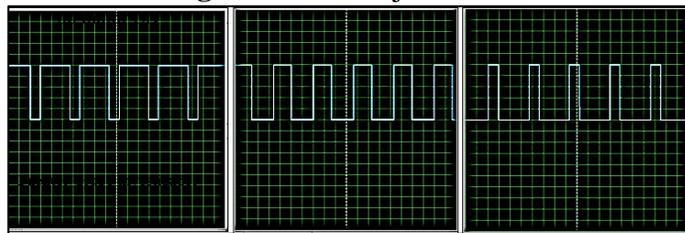
Figura 2. 4 Simulación del control de velocidad en un motor CD



Fuente: Grupo investigador

La simulación se desarrolla de tal forma que se asemeje en la mayoría de sus componentes al sistema que se va a implementar. Colocando el osciloscopio del simulador y en la entrada del motor, se puede observar la gráfica del voltaje troceado de la velocidad mínima, media y máxima del motor.

Figura 2. 5 Voltaje troceado



v. baja

v. media

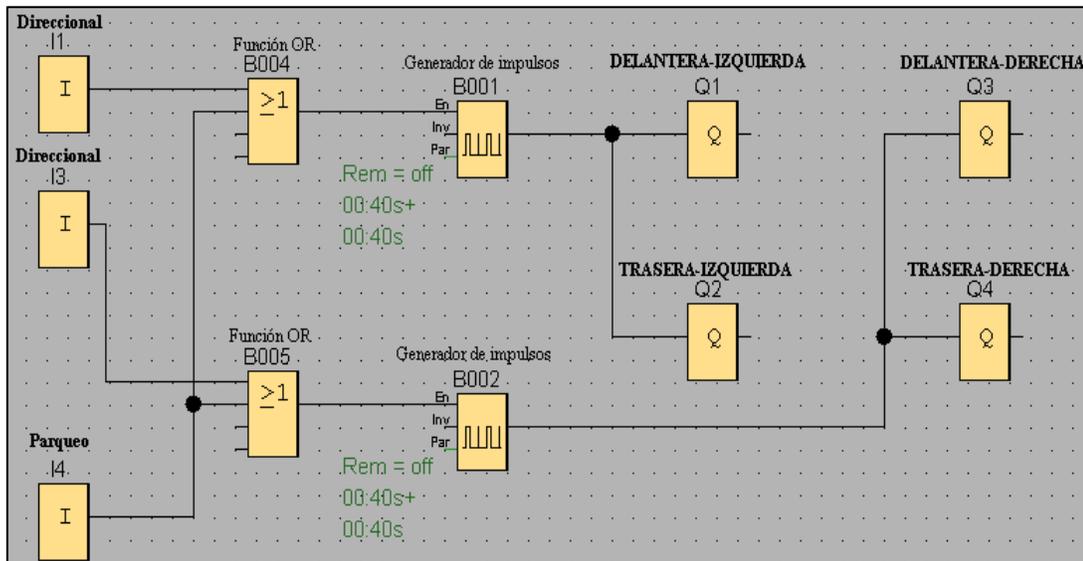
v. alta

Fuente: Grupo investigador

2.7. Sistema de luces del vehículo

Todo vehículo debe contar con adecuada señalización con el fin de evitar accidentes. Para ello se utiliza un controlador lógico programable (PLC), Dentro de la programación se utiliza la función OR para que los focos funcionen ya sea como direccionales o como parqueo y un generador de impulsos para que los focos se enciendan y apaguen a manera de pulsaciones, en la figura siguiente se muestra la simulación en el programa LOGO! Soft Comfort.

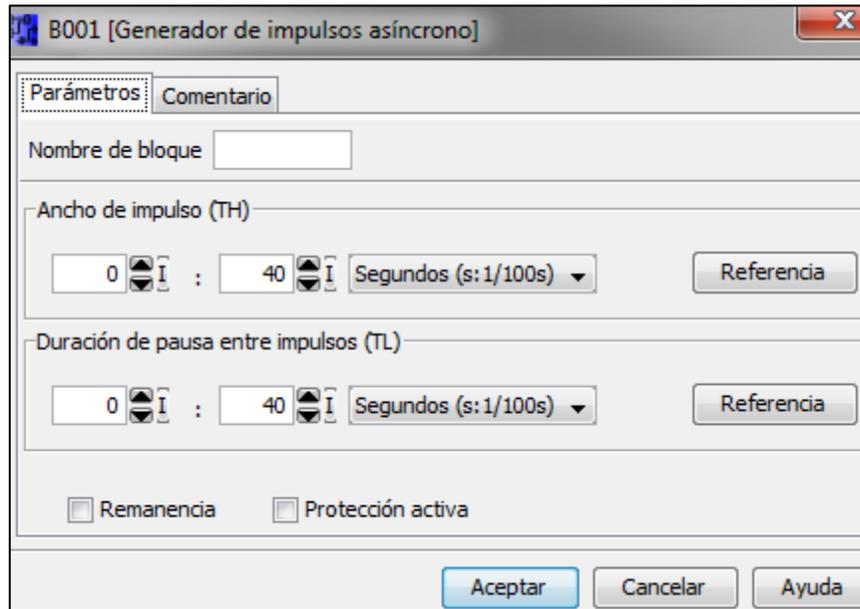
Figura 2. 6 Simulación del sistema de luces en el software LOGO! Soft Comfort



Fuente: Grupo investigador.

La relación impulso/pausa se puede configurar en los parámetros TH (Time High) y TL (Time Low). Para nuestro caso se ajustó el TH y TL con un tiempo de 40 milisegundos.

Figura 2. 7 Ventana para la configuración los tiempos del generador de impulsos asíncrono



Fuente: Software LOGO! Soft Confort.

2.8. Dimensionamiento de las protecciones del sistema de control, potencia y luces

2.8.1.1.Control

En el sistema de control se tiene un consumo mínimo alrededor de 2 amperios por ello se utiliza conductores # 16 AWG el cual soporta una corriente máxima de 3,7 amperios, el fusible de protección es de 4 amperios. Además se ubican diodos de protección de polaridad de 100V-3A, a la entrada del sistema y en las bobinas de los contactores.

2.8.1.2.Potencia

El consumo máximo del motor de 2HP es 32 amperios, pero en el arranque se tiene tres veces su corriente nominal por lo que se coloca un fusible principal de disparo

lento de 35 amperios, se utiliza conductor # 6 AWG que soporta una corriente de 38 amperios en condiciones normales, como indica la tabla que se encuentra en el anexo1, además, en el contactor principal se coloca una resistencia de 250 ohmios 5 watts que evita que sus contactos queden soldados en caso de una sobrecorriente.

Para el sistema de luces se utiliza un conductor #14 AWG el cual soporta una corriente de hasta 6 amperios para ello se coloca un fusible de 8 amperios.

2.8.1.3.Simulación del sistema de protecciones

Para la calibración del circuito de control y luces se utiliza fusibles de acción rápida tipo KgG, mientras que para el circuito de potencia se utiliza un fusible de acción lenta tipo gM time delay que protege contra sobrecargas y sobre corrientes, en la tabla 2.5 se muestran los fusibles a utilizarse para la respectiva coordinación.

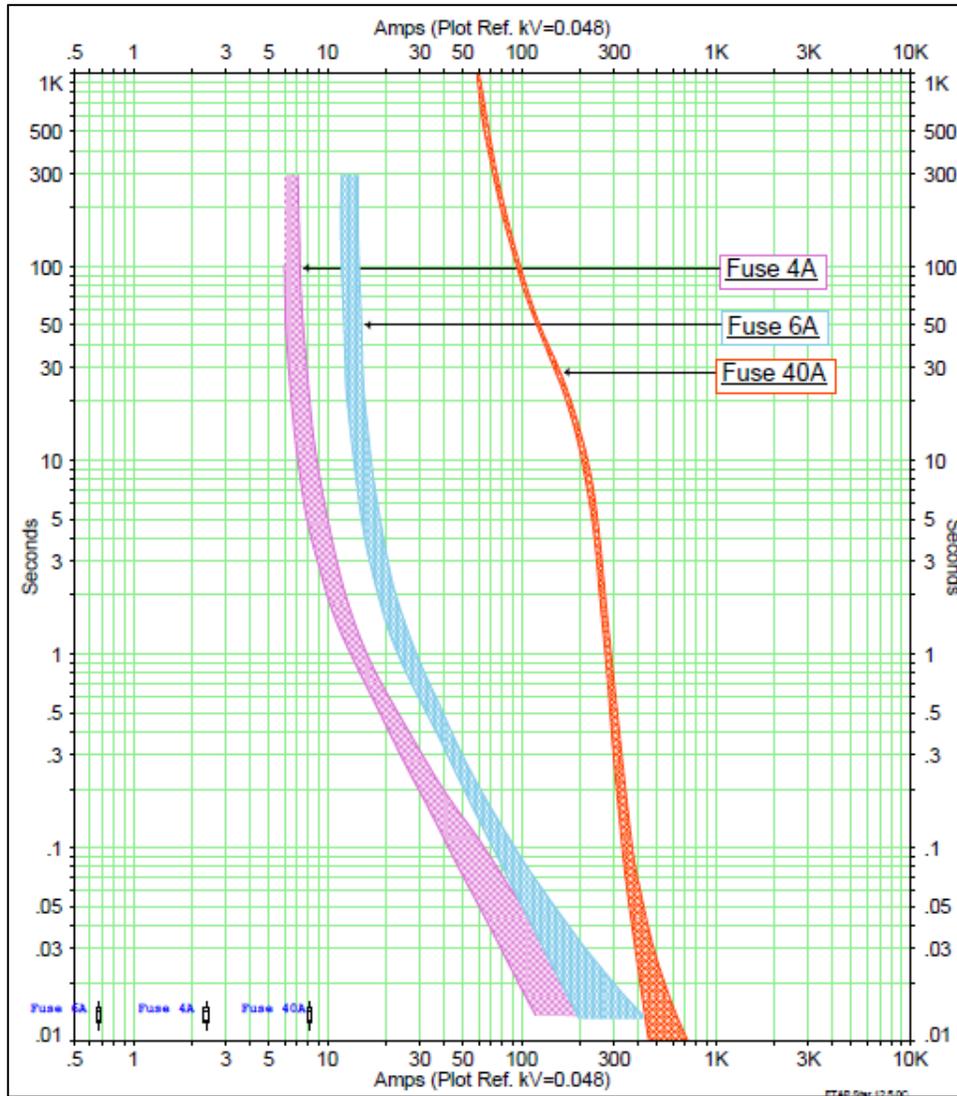
Tabla 2. 5 Corrientes para la coordinación de los fusibles

Corriente de la Carga en (A)	Capacidad del Conductor (A)	Capacidad del fusible (A)
2	3.7	4
6	6	8
32	35	40

Fuente: Grupo investigador.

Para calcular los valores de los fusibles se incrementa el 10% de la corriente de carga, de este modo se obtiene los valores adecuados de los fusibles. Para la simulación de las protecciones se utiliza el programa ETAP Star 12.5.0C A continuación se muestra las curvas de protecciones:

Figura 2. 8 Curvas de protecciones



Fuente: Grupo investigador

En el circuito de potencia se ubica un fusible de tipo acción lenta, de tal manera que en el momento del arranque no actué, como se ve en la figura el arranque puede durar unos 3 minutos (a 5 veces la corriente nominal), sin fundirse el fusible.

2.9. Rendimiento del sistema

Para conocer el rendimiento del sistema de control y operación del vehículo es necesario calcular las pérdidas que tienen cada elemento, y posterior a ello aplicar la ecuación (7) y (8).

$$\Delta W = W_1 - W_2$$

$$\eta = 1 - \frac{\Delta W}{W_1}$$

2.9.1. Perdidas en el motor de corriente continua conexión tipo serie potencia 2HP - 48V.

Estos datos son tomados con la utilización de una pinza amperimetrica marca fluke 337 desde las baterías hasta el motor en distintos escenarios.

Tabla 2. 6 Rendimiento del motor en vacío

Voltaje (V)	Corriente(A)	Potencia(W)	Perdidas(ΔW)	Rendimiento(η)
49	28	1372	202	85%
45	26	1170		

Fuente: Grupo investigador

Tabla 2. 7 Rendimiento del motor con el peso del chasis

Voltaje (V)	Corriente(A)	Potencia(W)	Perdidas(ΔW)	Rendimiento(η)
46	33	1518	198	87%
44	30	1320		

Fuente: Grupo investigador

2.9.1.1. Caída de tensión y pérdidas de potencia desde las baterías hasta el motor y los controladores de velocidad electrónico y electromecánico respectivamente con el máximo peso.

Para este cálculo se considera la resistencia del conductor en un kilómetro.

2.9.1.1.1. Desde las baterías hasta el motor

Caída de tensión $\Delta V = \frac{\Omega}{\text{Km}} * \text{Km} * A$

$$\Delta V = 1,27 \frac{\Omega}{\text{Km}} * 0,005 \text{Km} * 32A = 0,203 \text{ V}$$

Pérdidas de potencia $PP_M = A * \Delta V$

Las pérdidas de potencia desde las baterías hasta el motor debido al conductor son 6,5W.

2.9.1.1.2. Desde las baterías hasta el controlador de velocidad electrónico

Caída de tensión $\Delta V = 1,27 \frac{\Omega}{\text{Km}} * 0,015 \text{Km} * 32,7A = 0,06V$

Pérdidas de potencia $PP_C = 32,7A * 0,06V$

$$PP_C = 1,96W$$

Las pérdidas de potencia desde las baterías hasta el controlador de velocidad electrónico son de 1,92W.

2.9.1.1.3. Desde las baterías hasta el controlador de velocidad electromecánico.

Caída de tensión $\Delta V = 1,27 \frac{\Omega}{\text{Km}} * 0,015 \text{Km} * 35A = 0,07V$

Pérdidas de potencia

$$PP_C = 35A * 0,07V$$

$$PP_C = 2,45W$$

Las pérdidas de potencia desde las baterías hasta el controlador de velocidad electromecánico son de 2,45 W.

De los cálculos anteriores de pérdidas de potencia se tiene que el controlador electrónico de tensión es más eficiente que el controlador electromecánico como indican las siguientes tablas:

Tabla 2. 8 Rendimiento del motor con controlador electrónico y un peso de 500Kg

Voltaje (V)	Corriente(A)	Potencia(W)	Perdidas(ΔW)	Rendimiento(η)
45	35	1575	136,2	91%
44	32,7	1438,8		

Fuente: Grupo investigador

Tabla 2. 9 Rendimiento del motor con controlador electromecánico y un peso de 500Kg

Voltaje (V)	Corriente(A)	Potencia(P)	Perdidas(ΔW)	Rendimiento(η)
45	37	1665	195	88%
42	35	1470		

Fuente: Grupo investigador

El sistema electromecánico es de menor eficiencia o rendimiento debido a que posee resistencias de potencia, contactores lo cual hace que exista consumo de energía para su funcionamiento.

2.10. Interpretación de la potencia del motor en función al peso que lleva el vehículo.

Para determinar el valor de la potencia consumida por el motor eléctrico a diferentes kilogramos de peso, se hace mediciones de corriente y voltaje y se multiplica estos dos valores para obtener la potencia en diferentes etapas de esfuerzo como se muestran en la tabla 2.10.

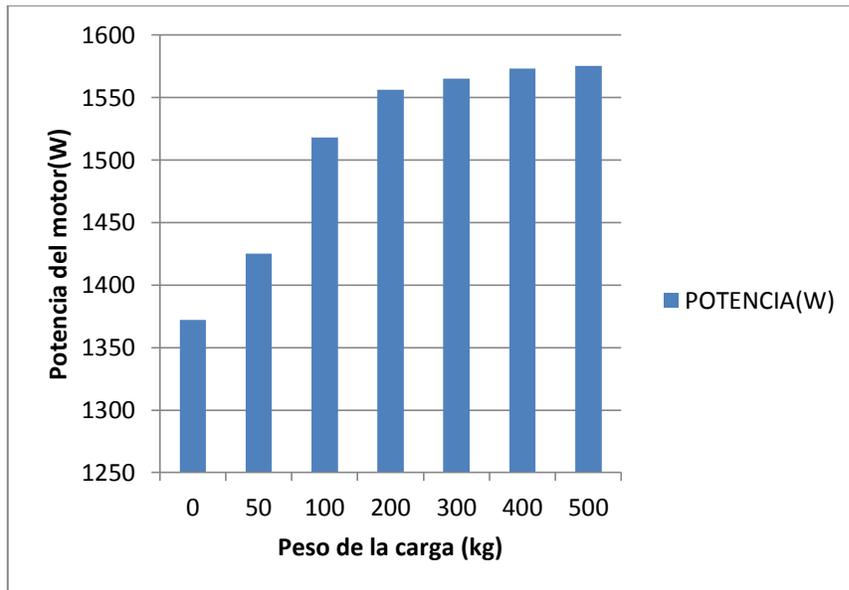
Tabla 2. 10 Potencia vs peso

CARGA(kg)	CORRIENTE(A)	VOLTAJE(V)	POTENCIA(W)
0	28	49	1372
50	30	47,5	1425
100	33	46	1518
200	33.9	45.9	1556
300	34.4	45.5	1565
400	34.8	45.2	1573
500	35	45	1575

Fuente: Grupo investigador

De acuerdo a la clasificación NEMA de aislamientos, se debe considerar que los motores de corriente continua tienen un factor de seguridad de 1.15, este valor indica que el motor es capaz de entregar el 15% más de su potencia nominal de manera continua.

Figura 2. 9 Potencia del motor vs peso



Fuente: Grupo investigador

Mediante la figura 2.10 se puede observar que a partir de los 100 kg de peso el motor trabaja a su potencia nominal y a partir de este valor trabaja dentro del factor de seguridad sin que esto influya en daños al motor, además de ello se comprueba que no existe variaciones bruscas de potencia al incrementar peso al vehículo.

2.10.1. Correlación de la potencia y energía consumida por el motor respecto a la carga del vehículo

Para determinar la variación de la potencia y la energía consumida por el motor, se requiere determinar la potencia consumida de acuerdo a la carga y la energía promedio absorbida durante una hora con diferentes pesos:

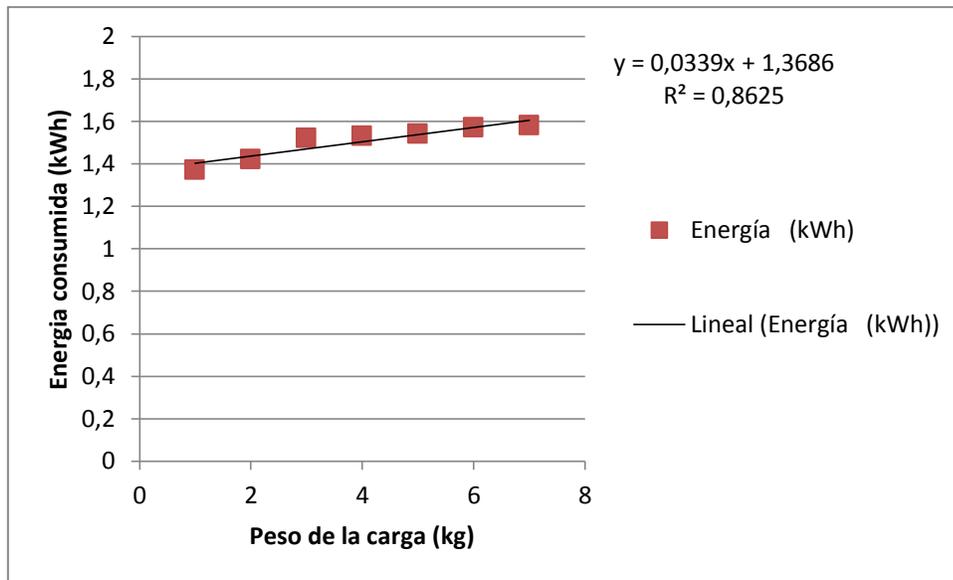
Tabla 2. 11 Tabla de potencia y energía que requiere el motor con distintos pesos

Peso (kg)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (kW)	Tiempo (h)	Energía (kWh)
0	28	49	1,37	1	1,37
50	30	47,5	1,43	1	1,42
100	33	46	1,53	1	1,52
200	33.9	45.9	1,56	1	1,53
300	34.4	45.5	1,57	1	1,54
400	34.8	45.2	1,57	1	1,57
500	35	45	1,58	1	1,58

Fuente: Grupo investigador

De la tabla 2.11 los resultados de la energía consumida (KWh) se obtienen a partir de seis mediciones en una hora, obteniendo una variación del 1% de la potencia medida. En la figura 2.10 se grafica el comportamiento del consumo de energía en función del peso que se agregue al vehículo:

Figura 2. 10 Pendiente de la energía en función del peso



Fuente: Grupo investigador

Mediante la ecuación de la pendiente $y=0.0339x + 1,3686$, se puede interpretar que por cada incremento de carga al vehículo que se muestran en la tabla 2.10 aumenta el consumo de energía en 0.0339 kWh. Como el coeficiente de correlación de Pearson $R^2 = 0,8625$ se acerca a uno, se sabe que en ésta regresión lineal existe una buena correlación entre las variables, por lo tanto es un modelo confiable que justifica el pronóstico anterior.

2.11. Selección del control de voltaje para el motor eléctrico

Luego de conocer el rendimiento de los dos sistemas de control de velocidad se selecciona el convertidor tipo CD-CD marca Curtís modelo 1204M-5301 de 36/48 voltios – 325 amperios, el cual proporciona un control de velocidad suave y silencioso.

El voltaje que puede admitir este tipo de controlador está en un rango de 36 o 48 voltios. Para este caso se establece como 48V, en un rango de trabajo permitido entre 33-48V, si se trabaja con 36 voltios el rango permisible será de 25-36V. Además hay

que mencionar que los rangos permisibles de corriente son: 5 segundos de impulso a 375 amperios, 2 minutos de estabilidad a 325 amperios y 140 amperios permanentes

Este controlador es del tipo "Chopper" o "Troceador", posee un conjunto de transistores de potencia que hacen la función de interruptor. Controlando el tiempo de encendido y apagado del interruptor es posible variar el voltaje de suministro hacia el motor.

2.12. Verificación de la hipótesis

“El diseño e implementación de un sistema de control y operación permitirá el aprovechamiento eficiente de la energía alternativa en un vehículo eléctrico”.

Luego de realizar cálculos y simulaciones se determina que el controlador electrónico de tensión posee un mejor rendimiento respecto al controlador electromecánico obteniendo un 91% de rendimiento en el sistema electrónico frente a un 88 % del electromecánico.

Se verifica que a partir de los 100 kg de peso el motor trabaja a su potencia nominal de 1518 W y a partir de este valor trabaja dentro del factor de seguridad sin que esto influya en daños al motor, además de ello se comprueba que no existe variaciones bruscas de potencia al incrementar peso al vehículo.

Se comprueba que el consumo de energía aumenta en 0.0339 kWh, con un incremento de 100 Kg de peso.

Con lo anterior se puede decir que la hipótesis planteada, está validada satisfactoriamente.

CAPÍTULO III

3. PROPUESTA

3.1. Desarrollo de la propuesta

3.1.1. Título

Diseño e Implementación de un Sistema de Control y Operación de un Vehículo Eléctrico Alimentado con Energía Alternativa, en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

3.1.2. Presentación

En este capítulo se efectuará la descripción de la implementación de un sistema de control y operación del vehículo eléctrico, consta de tres partes importantes que a continuación se mencionan: primero el circuito de potencia que está constituida por las baterías y el motor, mientras que el circuito de control se lo realizará mediante la modulación por ancho de pulsos (PWM), como segunda parte se tiene el dimensionamiento de conductores y protecciones, por último la adecuación de la instrumentación del vehículo tales como: encendido/apagado, marcha/retro, corriente consumida por la carga y nivel de carga de las baterías. El motor eléctrico estará acoplado directamente a la transmisión trasera del vehículo, la variación de su

velocidad se lo realizara mediante un controlador electrónico que será accionado por un pedal de aceleración. La selección de los conductores y protecciones se lo realizará de acuerdo a la corriente que consuman las diferentes cargas instaladas, para verificar el funcionamiento del vehículo se instalara diferentes instrumentos de medida como son el amperímetro y voltímetro.

3.1.3. Justificación de la propuesta

El motivo del presente trabajo de investigación es implementar el sistema de control y operación del vehículo alimentado con energía solar para la Universidad Técnica de Cotopaxi, mismo que sea económico en su alimentación y que tenga la facilidad de adaptarse a las necesidades particulares en su funcionamiento, posee un eficiente ahorro de energía y lo más importante es incentivar a los estudiantes la investigación y aplicación de este tipo de energía.

El control de velocidad del vehículo se basa en un un controlador electrónico que ofrece una elevada eficiencia, respecto a un sistema electromecánico que posee resistencias de potencia y varios contactores lo cual hace que exista mayor consumo de energía para su funcionamiento. La optimización del control y operación del vehículo es fundamental, ya que mediante un adecuado control electrónico se logrará una suave variación de velocidad del motor eléctrico para con ello ahorrar energía e incrementar su autonomía. El control y operación del vehículo eléctrico es económicamente rentable respecto a los vehículos de combustión interna, debido a que su energía es obtenida de un conjunto de baterías, las cuales son recargadas por paneles solares.

3.1.4. Objetivos

Objetivo general

- ❖ Ensamblar y poner en marcha el sistema de control y operación del vehículo eléctrico alimentado con energía alternativa, mediante equipos eléctricos y electrónicos, optimizando el uso de la energía para su funcionamiento.

Objetivos específicos

- ❖ Implementar el sistema de control y operación utilizando equipos eléctricos y electrónicos, siguiendo además la normalización eléctrica, para que el funcionamiento del vehículo eléctrico sea confiable.
- ❖ Realizar pruebas de funcionamiento del sistema, utilizando instrumentos de medición en diferentes circunstancias, para validar la eficiencia energética del vehículo eléctrico.
- ❖ Elaborar la documentación necesaria para describir y sustentar el diseño del sistema de control con sus respectivos circuitos implementados, de manera que sirva para su adecuada operación y mantenimiento.

3.1.5. Alcance

Mediante este sistema de control se obtiene un funcionamiento eficiente del motor eléctrico y con ello un ahorro de energía, además este proyecto permite que los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica y sus carreras afines experimenten el funcionamiento del vehículo y complementen los fundamentos teóricos que se imparte en las aulas, de esta manera se abarca diferentes aspectos como son:

- Conocer los parámetros de funcionamiento del motor de corriente continua.
- Visualizar y entender acoplamiento mecánico entre la transmisión del vehículo y el motor eléctrico.
- Conocer el comportamiento del controlador electrónico y su respuesta ante los diferentes tipos de variaciones de carga.
- Conocer, identificar y operar adecuadamente los elementos de fuerza y control que tiene el vehículo para su funcionamiento.

Finalmente hay que recalcar, que el vehículo eléctrico se divide en dos grupos de investigación con los títulos “Diseño e implementación de un sistema de control y operación de un vehículo eléctrico alimentado con energía alternativa, en la Universidad Técnica de Cotopaxi” y “Diseño y construcción de un sistema eficiente de alimentación solar, mediante acumuladores de energía, para un vehículo eléctrico”. Por lo que estos dos proyectos de tesis son complementarios el uno del otro.

3.1.6. Desarrollo técnico de la propuesta

Es necesario mencionar que todo experimento puede ser repetido a cualquier escala, sin afectar los resultados, siempre y cuando las interferencias sean mínimas. Con esta certeza, para el movimiento del vehículo se utiliza un motor conexión tipo serie de 2HP que es acoplada a una transmisión reductora de 1:7, es decir que al girar el motor 7 vueltas las ruedas giran 1, para variar la velocidad se utiliza un controlador electrónico de 325A/48V, el mismo que está conectado a un módulo de aceleración compuesto por un potenciómetro de 5 K Ω . Para encender el sistema se cuenta con un contactor principal de 100A y para la inversión de giro se usa un contactor doble de 100A. El sistema de luces esta comandado por un PLC logo de 12V/10A que emite pulsos para las direccionales y parqueo. Se instalaron medidores para las magnitudes de voltaje DC para el banco de baterías y la corriente que consume el motor durante su funcionamiento, las lecturas se tomarán en los bornes del banco y a la salida del terminal positivo que va hacia el motor respectivamente.

Con este sistema se espera transportar una carga máxima de 500Kg y recorrer a una velocidad de 18Km/h. El sistema eléctrico del vehículo es de operación manual. Todos estos equipos se encuentran montados en el compartimiento central del vehículo, como se muestra en el anexo 4.

3.1.7. Selección de los elementos para el montaje del sistema de control y operación del vehículo eléctrico.

Tabla 3. 1 Elementos para el montaje del sistema de control y operación del vehículo eléctrico

ÍTEM	CANT	UND	DESCRIPCIÓN	COSTO (USD)
1	1	u	Motor de corriente continua, tipo serie, 2HP, 48V	350.00
2	4	u	Baterías ELEKTRA de plomo-calcio 65 Ah	800.00
3	1	u	Convertidor tipo CD-CD, marca Curtis, modelo 1204M-5301 de 36/48V y 325A	500.00
4	1	u	Contactador principal CD marca Curtis, modelo SW80-9, 48V, 100A, simple polo- simple tiro	90.00
5	1	u	Contactador para avance/retro CD marca Curtis, modelo SW88, 48V, 100A, simple polo- doble tiro	180.00
6	1	u	Fusible principal CD de potencia 100A	5.00
7	1	u	Resistencia de precarga, 250Ω, 5W	2.00
8	2	u	Fusible de control CD 10 A	0.50
9	3	u	Diodo de protección bobina Contactador tipo p/n 100V-3A	0.65
10	1	u	Diodo de protección polaridad tipo p/n, 100V-3 A	0.65
11	3	u	Interruptor manual tipo llave, 100V, 5 A	10.00

12	1	u	Pedal de aceleración, marca Curtis, modelo FP-6 que incluye el potenciómetro de 5000Ω y 2 micro interruptores CD, 4 A, 30 V	189.00
13	2	u	Selector Toggle, doble tiro 120 V- 15 A	3.88
14	10	m	Conductor AWG #6, marca cablec	15.00
15	10	m	Conductor AWG #10, marca cablec	13.00
16	20	m	Conductor AWG #14, marca cablec	14.00
17	20	m	Conductor AWG #16, marca cablec	10.00
18	1	u	PLC Logo confort CD, marca siemens, 12/24 V- 10 A	100.00
19	2	u	Faros delanteros, 60 W	23.00
20	4	u	Luces direccionales y parqueo, 12 W	12.50
21	1	u	Pito, 12 W	18.00
22	1	u	Sirena de retro, 12 W	7.45
23	2	u	Selector dobles, marca ABB, 120 V- 15 A	11.66
24	1	u	Interruptor simple 120 V- 5 A	8.49
25	10	m	Canaleta, 1 pulgada	1.50
26	2	u	Bornera de regleta 1 pulgada, 15 A	1.50
27	1	u	Bornera de regleta 1 pulgada, 30 A	2.50
28	0,5	m	Barra de cobre, AWG # 2	8.00
29	8	u	Conector para terminal de batería	24.00
30	0,5	lb	Terminales riel # 12	0.95
31	1	lb	Terminales ojo # 10	1.50
32	1	u	Amperímetro CD, 100 A	10.00
33	1	u	Voltímetro CD, 150 V	21.50
34	1	u	Resistencia shunt,100 A	12.50
TOTAL				2448.73

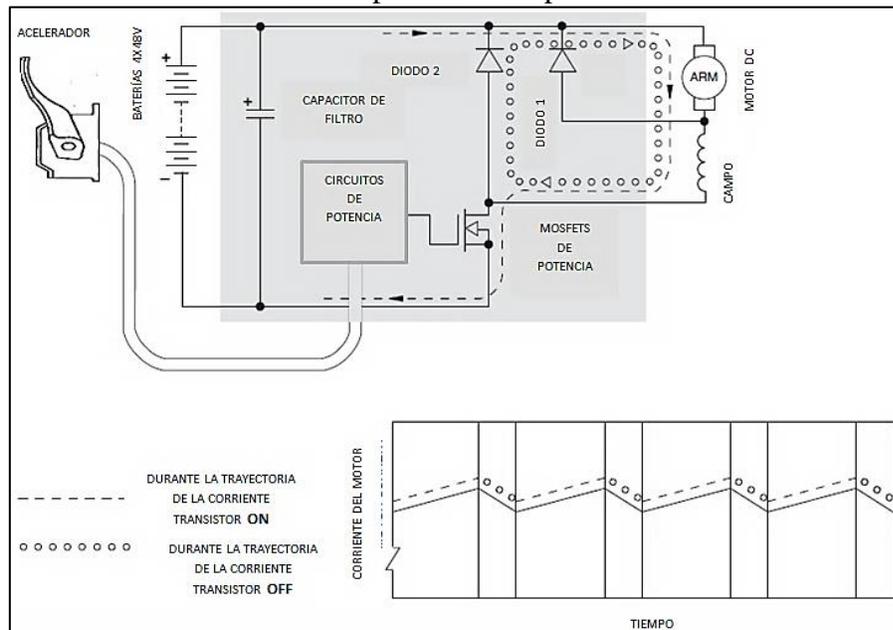
Fuente: Grupo de Investigación

3.1.7.1. Modulación de ancho de pulso

Esta modulación es una onda diente de sierra de 15 kHz procedente del oscilador, la salida de pulsos resultante puede ser regulada suavemente entre apagado y encendido de los MOSFET de potencia del controlador a través de un circuito de control de puerta (gate) que proporciona las altas corrientes de impulsos necesarios para que cambie los MOSFET de potencia de encendido y apagado. Ver en la figura 3.1.

Los transistores MOSFET de potencia, controlan la corriente en los devanados del motor, están conectados en serie con la batería y el motor. Los transistores se encienden y se apagan 15.000 veces por segundo en el circuito del controlador, mientras que la relación de los tiempos de encendido / apagado se varía en respuesta al requerimiento del acelerador. Cuando los transistores están encendidos, la corriente a través del motor se acumula en su propio campo magnético. Cuando los transistores están apagados, la corriente almacenada del motor fluye a través del diodo volante.

Figura 3. 1 Circuito de modulación por ancho de pulsos del controlador de velocidad



Fuente:<http://curtisinstruments.com/index.cfm?fuseaction=cDataSheets.dspListDS&CatID=67&siteID=1&langid=1>

3.1.7.2. *Módulo de aceleración*

Para el control de la aceleración del motor del vehículo se utiliza un módulo similar al de los vehículos convencionales, que consta de un potenciómetro de $5K\Omega$ el cual varía la resistencia de 0Ω hasta $5 K\Omega$ y dos microswitches que se activan secuencialmente a medida que se presiona el pedal. Controla al circuito de disparo de los tiristores del controlador, este dispositivo está formado por un potenciómetro, cuya resistencia es variable, donde con la menor resistencia tendremos aceleración cero y con la mayor resistencia tendremos la máxima aceleración para el motor eléctrico.

Para comprobar el funcionamiento del potenciómetro se prueba el valor de su resistencia con un óhmetro. Con el pedal sin presionar, la resistencia debe ser inferior a 50Ω y al presionar el pedal la resistencia debe subir suavemente hasta que alcanza un valor entre 4500 y 5500Ω . Si se obtiene valores por debajo de 4.500Ω puede causar una reducción en la eficiencia y la velocidad máxima, valores por encima de 7.000Ω indica que el módulo de aceleración está defectuoso y causará el apagado del controlador. A continuación se describe el diagrama de conexiones del módulo de aceleración.

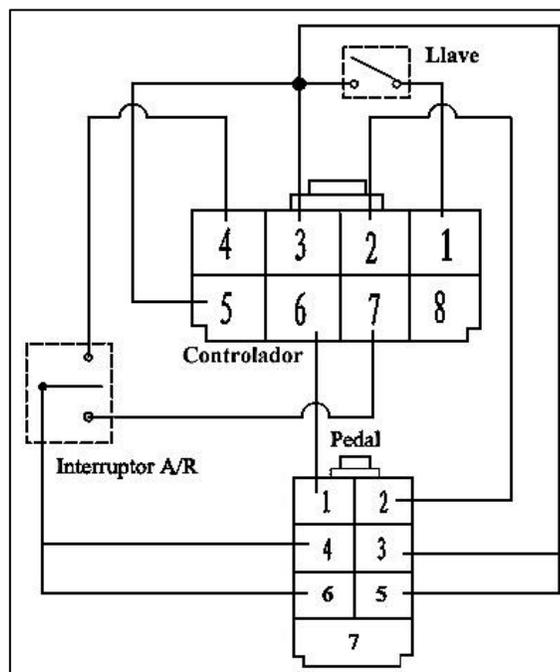
Tabla 3. 2 Conductores del módulo de aceleración

Color de cable	Función del cable
Negro	Terminal de baja del potenciómetro
Blanco	Terminal común del potenciómetro
Rojo	Terminal de alta del potenciómetro
Verde	Microswitch 1
Azul	
Amarillo	Microswitch 2
Gris	

Fuente: Hoja de datos del módulo de aceleración Curtis FP-6

Para la conexión del potenciómetro del acelerador se debe tomar en cuenta que se debe usar solamente los alambres negro y blanco para que opere de 0Ω a $5 \text{ K}\Omega$, quedando libre el conductor de color rojo que se lo conectaría si se desearía que la operación de la resistencia variable sea de $5 \text{ K}\Omega$ a 0Ω . A continuación se muestra el esquema de conexiones que se debe utilizar para la conexión del módulo de aceleración hacia el controlador de velocidad y los respectivos interruptores de control:

Figura 3. 2 Conexión del módulo de aceleración con el controlador de velocidad



Fuente: Grupo investigador.

Descripción de las partes del controlador (troceador)

1. Terminal + de la batería
2. Terminal común del potenciómetro -acelerador
3. Contactor principal
4. Entrada de marcha adelante
5. Entrada de la llave

6. Terminal de baja del potenciómetro-acelerador
7. Entrada de marcha atrás
8. Terminal (no usado)

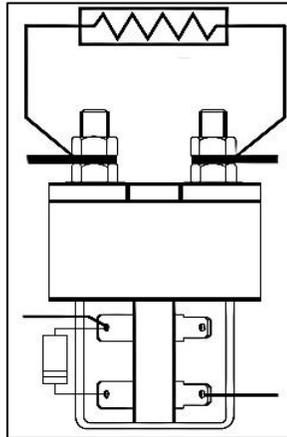
Descripción de las partes del módulo de aceleración

1. Terminal de baja del potenciómetro que contiene el acelerador
2. Terminal común del potenciómetro que contiene el acelerador
3. Entrada del interruptor 1
4. Salida del Interruptor 1
5. Entrada del interruptor 2
6. Salida del Interruptor 2
7. Terminal de alta del potenciómetro que contiene el acelerador (no usado)

3.1.7.3. Contactor principal

Un contactor principal en serie conectado con el positivo de la batería (B +) permitirá conectar y desconectar toda la alimentación. Este contactor es de un solo polo, de un solo tiro (SPST) de alta resistencia, maneja un voltaje de 48 voltios y una corriente de 100 amperios. Un diodo de supresión de bobina, con capacidad para 100 voltios y 3 amperios, debe ser utilizado en la bobina del contactor. La carga rápida de los condensadores internos del controlador producen una corriente de inrush que fluyen brevemente cuando el contactor se cierra, para extender la vida del contactor se coloca una resistencia de precarga de 250Ω y 5W, evitando la soldadura de sus contactos.

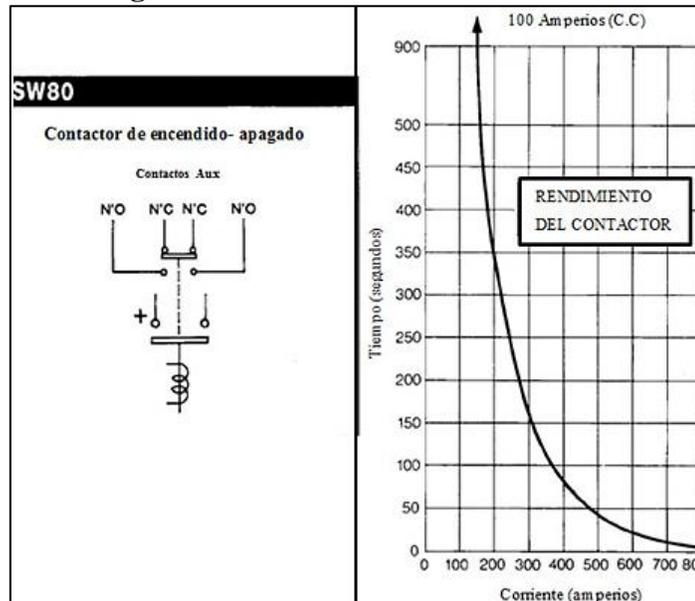
Figura 3. 3 Contactor principal



Fuente:<http://curtisinstruments.com/index.cfm?fuseaction=cDatasheets.dspListDS&CatID=7&siteID=1&langid=1>

Cuando la bobina del contactor recibe corriente eléctrica se comporta como electroimán y el núcleo que está separado es atraído hacia su interior para que se cierren los contactos, mientras que si a la bobina del contactor se le desenergiza, se abren los contactos. El diagrama de conexión del contactor y su rendimiento se muestran a continuación:

Figura 3. 4 Características del contactor



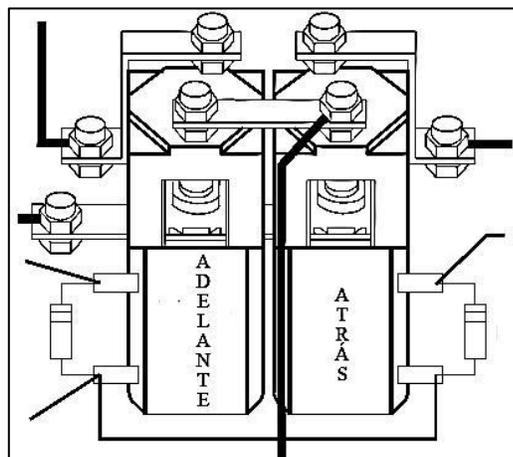
Fuente:<http://curtisinstruments.com/index.cfm?fuseaction=cDatasheets.dspListDS&CatID=7&siteID=1&langid=1>

3.1.7.4. Contactor para cambiar el sentido de avance del vehículo

Para que se produzca la inversión del giro del motor, es esencial que el campo se invierte y que la armadura puede conectarse directamente al B + del controlador y terminales A2, para ello se utiliza un contactor de doble polo, doble tiro (DPDT).

Las bobinas de los contactores adelante / atrás deben coincidir con el voltaje de la batería que es 48 voltios. Un diodo de supresión de bobina con capacidad para 100 voltios y 3 amperios se debe utilizar en las bobinas de los contactores tanto de avance y retroceso.

Figura 3. 5 Contactor de avance/retro

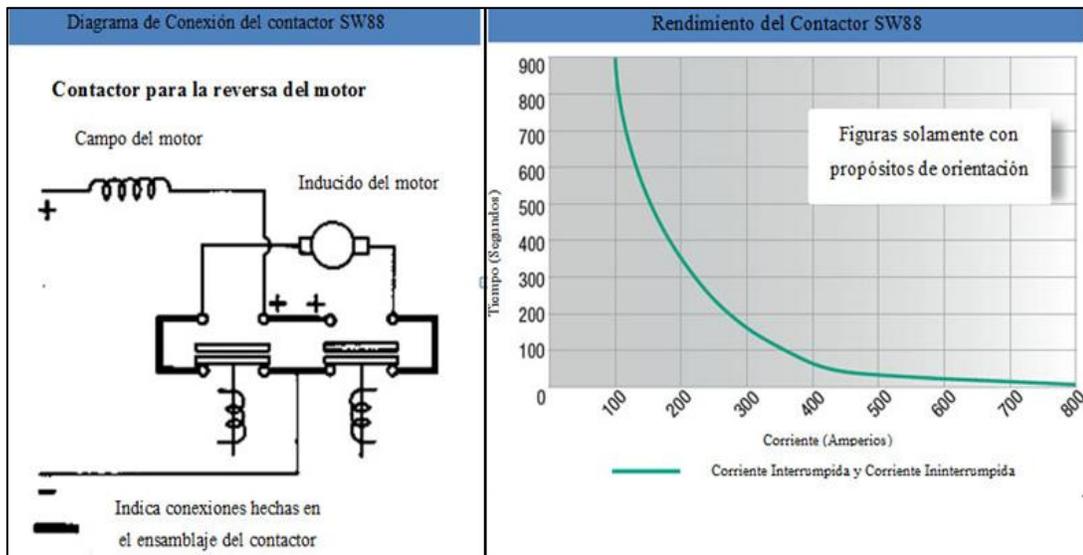


Fuente:

<http://curtisinstruments.com/index.cfm?fuseaction=cDatasheets.dspListDS&CatID=7&siteID=1&langid=1>

El contactor de avance / retroceso debe estar conectado en la alimentación positiva para las bobinas de los contactores, de manera que se pueden activar y apagar por el interruptor de seguridad, enclavamientos y microinterruptores del pedal. La bobina del primer contactor o el otro se activa para seleccionar la dirección deseada. A continuación se presenta la estructura interna y su rendimiento:

Figura 3. 6 Características del contactor



Fuente:<http://curtisinstruments.com/index.cfm?fuseaction=cDatasheets.dspListDS&CatID=7&siteID=1&langid=1>

3.1.8. Puesta en marcha del sistema de control y operación del vehículo eléctrico alimentado con energía solar

El sistema consta de tres partes fundamentales: la sección de control, sección de fuerza y la sección de luces:

El vehículo se enciende mediante un interruptor tipo llave, la cual cierra el circuito parcialmente por medio de la energización de la bobina del contactor principal, luego el circuito se cierra completamente al pisar el pedal del módulo de aceleración el cual posee dos interruptores (microswitches) que energizan al controlador de velocidad, y finalmente se selecciona la posición deseada del interruptor para enclavar una de las bobinas del contactor encargado de cambiar el sentido de avance del vehículo.

Una vez cerrando el contacto se pone en marcha el motor, cuya velocidad dependerá de la presión que se ejerza al pedal del acelerador, además se debe mencionar que el modulo aceleración posee la protección (HPD) que inhabilita la aceleración súbita del motor cuando por accidente se presione a fondo el acelerador y el conductor encienda el vehículo.

El circuito de fuerza está formado por un motor de corriente continua conexión tipo serie de 2 HP y 48V que es controlado por un circuito electrónico que regula el paso de corriente desde las baterías hasta el motor eléctrico. Este controlador tiene tres terminales de control como muestra la figura 3.7, el primer terminal polariza al circuito y los otros dos terminales se conectan al potenciómetro que se encuentra en el módulo de aceleración estos varían el ancho de pulso para la conmutación de los transistores de potencia (MOSFET).

Los terminales de poder del controlador de velocidad son los bornes de entrada B- que se conecta al borne negativo de la batería y el B+ que se conecta al borne positivo. La salida A2 se conecta al terminal A2 de la armadura del motor para continuar hasta el terminal de entrada del contactor de reversa y de este punto se conecta a la bobina de campo del motor S1, el terminal M- se conecta a la entrada del contactor de avance hacia adelante y de la salida de este contactor a la bobina de campo del motor S2, finalmente el borne A2 del motor se conecta directamente al terminal positivo del controlador B+ como se muestra en la siguiente figura:

3.1.9. Ubicación de los elementos y accesorios en el vehículo

El sistema de control y operación del vehículo eléctrico, está constituido por las siguientes partes, cuyas imágenes se pueden ver en el anexo 6:

1. Interruptores de encendido- apagado para el sistema de luces y el motor en el tablero frontal del vehículo.
2. Banco de baterías 12 V- 65Ah cada una.
3. Contactor de simple polo y simple tiro para encender y apagar el sistema de potencia del vehículo.
4. Controlador de velocidad 48V, 325A con sus respectivas salidas.
5. Contactor de doble polo y doble tiro para la inversión de giro del motor.
6. Motor de corriente continua autoexcitado con conexión tipo serie, 48V, 2HP.
7. Módulo de aceleración de 0 a 5k Ω , con su respectivo cableado.
8. Controlador Lógico Programable para el sistema de luces del vehículo.
9. Voltímetro, amperímetro CD con resistencia shunt, para la visualización del comportamiento de las baterías y el motor respectivamente.
10. Fusibles de protección para potencia y control.

3.1.10. Producto final

Instalados todos los elementos de control, potencia y partes mecánicas se procede a realizar las pruebas de funcionamiento, verificando el rendimiento del sistema en tres escenarios diferentes de velocidad y peso. Utilizando un tacómetro digital se mide las revoluciones por minuto en las ruedas y el motor. Además se realiza la programación manual del logo para el funcionamiento del sistema de luces. Y finalmente con una pinza amperimétrica de corriente continua se miden datos de voltaje y corriente que serán empleados para calcular el rendimiento del sistema, además se verifica que la

las protecciones mediante fusibles no presentan ninguna anomalía al someter el vehículo a su máxima potencia. Todas las mediciones mencionadas se pueden observar en el anexo 7.

A continuación se presentan tres tablas que indican la variación de velocidad y torque aplicando distintas cargas. Para calcular la velocidad y torque se aplica las siguientes fórmulas:

Torque del motor.

$$T = \frac{5252 * HP}{rpm}$$

T: torque (lb/ft)

5252: constante

HP: potencia del motor

rpm: velocidad del motor

Velocidad de vehículo

$$V = \frac{(\varnothing * \pi) * rpm(ruedas)}{60} = m/s$$

El radio de la rueda es 0,19m.

Tabla 3. 3 Datos de la velocidad y torque con el motor acoplado a la transmisión sin peso

	Rpm (ruedas)	Rpm (motor)	T (N.m)	m/s	Km/h
Velocidad mínima	209	1463	7,18	2,08	7,49
Velocidad media	350	2450	4,29	3,48	12,53
Velocidad máxima	600	4200	2,50	5,97	21,49

Fuente: Grupo de Investigación

Tabla 3. 4 Datos de la velocidad y torque con peso del chasis

	Rpm (ruedas)	Rpm (motor)	Torque	m/s	Km/h
Velocidad mínima	134	938	11,20	1,33	4,80
Velocidad media	275	1925	5,46	2,74	9,85
Velocidad máxima	510	3570	2,94	5,07	18,27

Fuente: Grupo de Investigación

Tabla 3. 5 Datos de la velocidad y torque con peso de 500Kg

	Rpm (ruedas)	Rpm (motor)	Torque	m/s	Km/h
Velocidad mínima	118	826	12,72	1,17	4,23
Velocidad media	250	1750	6,00	2,49	8,95
Velocidad máxima	425	2975	3,53	4,23	15,22

Fuente: Grupo de Investigación

En definitiva los resultados obtenidos anteriormente nos indican que a menor velocidad hay un mayor torque del motor, por lo cual al momento de moverse el vehículo necesitara el motor un mayor torque para romper la inercia y el rozamiento que existe entre las llantas y el suelo. Mientras que cuando el vehículo ya alcanza una velocidad media o final el torque del motor será mucho menor.

3.1.10.1. Rendimiento del sistema

Para determinar el rendimiento del sistema se realiza mediciones de voltaje y corriente a la salida del banco de baterías y a la entrada del motor a plena carga:

Tabla 3. 6 Mediciones de potencia

MEDICIONES	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (W)
Baterías	45	35	1575
Motor	44	33,7	1438,8

Fuente: Grupo de Investigación

$$\eta = 1 - \left(\frac{1575 - 1438,8}{1575} \right)$$

$$\eta = 91\%$$

El rendimiento del vehículo eléctrico a plena carga es del 91 % por lo que es un sistema que no tiene pérdidas considerables de potencia, entonces se aprecia que es un sistema eficiente.

3.1.10.2. Consumo del vehículo

En el caso de los vehículos eléctricos la energía consumida se mide en kilovatios-hora por cada kilómetro recorrido (kWh/km). Para esta prueba el vehículo tuvo un recorrido de aproximadamente 10 Km con batería a plena carga, obteniendo los siguientes datos como se muestra en la tabla 3.7.

Tabla 3. 7 Energía por kilómetro consumida por el vehículo

VELOCIDAD(km/h)	PESO(kg)	ENERGÍA CONSUMIDA (kWh/km)
10	100	0.15
8	100	0.19
6	100	0.25

Fuente: Grupo de Investigación

Para medir la energía consumida durante una distancia recorrida se utilizó un vatímetro, mediante el cual se pudo determinar el consumo energético a diferentes velocidades. Como resultado se obtiene que el vehículo consume un promedio de 0.20 kWh/km con un peso de 100 kg, es decir que a mayor velocidad existe un menor consumo de energía.

3.1.10.3. Características técnicas del vehículo eléctrico

Peso vehículo	400 kg
Largo	262 cm
Ancho	104 cm.
Controlador de velocidad	325 amperios, 48 voltios.
Motor	Serie ,48V, 2 HP de potencia
Voltaje del sistema	48 Voltios
Capacidad de carga máxima	500 kg.
Frenos	Frenos de tambor en las 2 ruedas traseras
Baterías	Cuatro, 65 amperios-hora, 12 voltios (aleación plomo-calcio)
Consumo energético promedio	0.15 kWh por kilómetro
Instrumentación	Indicador de estado de batería, interruptor de llave, amperímetro, voltímetro
Color	Azul

Fuente: Grupo de Investigación

3.1.10.4. Análisis económico

Para la conversión de un vehículo convencional a un eléctrico, se debe tomar en consideración que ciertos equipos no existen en el país por lo cual es necesario su exportación con ello se eleva su costo inicial. La inversión realizada para la construcción del sistema de control y operación del prototipo es de aproximadamente 2698.73 dólares y el tiempo empleado para la investigación y desarrollo es de aproximadamente un año. A continuación se muestra la descripción del costo total de los materiales y equipos los cuales se los detalla uno a uno en la tabla 3.1:

Tabla 3. 8 Descripción del costo de los materiales y equipos utilizados

PRESUPUESTO REFERENCIAL DEL SISTEMA DE CONTROL Y OPERACIÓN DEL VEHÍCULO	
Descripción	Costo
Equipos y materiales utilizados en el sistemas de control y operación	2448.73
Herramientas	50.00
Rubros extras	200.00
TOTAL	2698.73

Fuente: Grupo de Investigación

3.1.10.4.1. Beneficio económico respecto al uso de energía obtenida mediante paneles solares

Para analizar el beneficio económico que entrega el sistema de control y operación del vehículo eléctrico, se tiene que el cargador de baterías funciona a 2 amperios y 120 voltios con esto se encuentra el valor de energía consumida durante el proceso de carga.

$$P = V * I$$

$$P = 240 \text{ W}$$

Tomando en cuenta las 8 horas que requiere para que las baterías se recarguen tenemos:

$$E = 240\text{W} * 2.6\text{h}$$

$$E = 0.624 \text{ kWh}$$

Los 0.624 kWh de energía a un costo actual de la energía de 8.5 centavos el kilovatio-hora, tenemos un valor a pagar de 5.3 centavos al día. Si consideramos que el vehículo es cargado durante los 20 días laborables del mes, encontramos un valor aproximado que se recargaría a la planilla de energía eléctrica.

La energía que consume el sistema proviene de recarga solar por lo cual los 1.27 dólares que pagaríamos en la planilla eléctrica mensual se transforman en un beneficio, por lo tanto la rentabilidad anual sería 12.72 dólares anuales, si consideramos una sola recarga en el día.

3.1.10.4.2. Beneficio económico respecto a un automóvil convencional

Para este análisis se compara con un vehículo Chevrolet corsa wind año 2002 de 1.4 cilindraje. El consumo de combustible es de 0.26 galones por cada 10 Km recorridos en ciudad con un peso de 100 kg. El costo del galón actualmente es de 1,48 USD .Con estos valores el promedio de consumo de combustible por kilómetro recorrido es de 0.026 galones, que da un costo 0.04 USD por cada kilómetro recorrido. Comparando el resultado obtenido de la tabla 3.7, el vehículo eléctrico consume un promedio de 0.20 kWh/km con un peso de 100 kg, que con la tarifa actual nos da un precio 0.02 USD por kilómetro recorrido.

El costo del kilovatio/hora es de acuerdo a las tarifas establecidas por el CONELEC y el precio del combustible tomando como referencia el valor promedio de la gasolina extra en el Ecuador. Los vehículos eléctricos requieren mínimo mantenimiento, lo que representa un ahorro adicional. Además su funcionamiento no produce emisiones de CO₂ y es silencioso al no tener vibraciones.

Analizando los costos en su consumo se puede concluir que el vehículo eléctrico es dos veces más económico que un vehículo tradicional. De este modo, aunque el vehículo eléctrico seguirá teniendo un costo inicial superior, a medida que se vayan recorriendo kilómetros se irá compensando el sobre costo inicial.

4. CONCLUSIONES

- Luego de realizar las pruebas del sistema, se obtuvieron resultados satisfactorios, determinando que el vehículo alcanza una velocidad máxima de 18 Km/h sin carga y puede llevar un peso máximo de hasta 500Kg.
- Al realizar cálculos y simulaciones se determinó que el controlador electrónico de voltaje posee un rendimiento del 91%, frente a un 88 % que ofrece el sistema electromecánico.
- El consumo energético promedio del vehículo eléctrico es de 0.20 kWh/km con un peso de 100 kg.
- Se comprueba que por cada incremento de peso en intervalos de 100 kg, el consumo de energía aumenta en 0.034 kWh, esto se justifica por medio del coeficiente de correlación de Pearson que nos da un valor 0,86.
- La potencia consumida respecto al peso, muestra un comportamiento lineal sin cambios bruscos, con un incremento progresivo de 100kg.
- El controlador de velocidad puede funcionar, ya sea, con 36 o 48 voltios y su límite de bajo voltaje es 33 voltios luego de lo cual se activa su protección para evitar que se dañe el banco de baterías.
- Se ha comprobado de acuerdo a la medición con el óhmetro que el módulo de aceleración en la posición de reposo nos da una resistencia hasta 50 ohmios y al presionarlo llega a los 5000 ohmios que es óptimo para evitar fallas en el rendimiento del controlador de velocidad.

- En el circuito de potencia se ubica un fusible de 40 amperios de acción lenta, con la característica que en el momento del arranque no actúe en unos 3 minutos, para un valor de 5 veces la corriente nominal.

5. RECOMENDACIONES

- Para poner en marcha el vehículo se recomienda leer detenidamente el manual de operación, el cual detalla los riesgos y precauciones básicas a considerar durante su manejo, para evitar lesiones y daños al equipo.
- Se recomienda revisar cada tres meses todos los terminales de los dispositivos, para descartar que estén deteriorados o sueltos y se produzcan arcos o cortocircuitos debido a su uso.
- No exponer a la lluvia el vehículo ya que los dispositivos eléctricos, pese a estar adecuadamente cubiertos podrían tener filtraciones que causarían daños a corto o mediano plazo.
- Se recomienda no sobrepasar el límite de carga del vehículo, porque podemos sobrecalentar el motor y hacer que actúen las protecciones.
- Para reducir el consumo de corriente, se recomienda utilizar un motor de mayor voltaje, para lograr un mejor rendimiento de las baterías. Pero hay que considerar que esto conlleva una elevación considerable de los costos.
- En el contactor principal se colocó una resistencia de 250 ohmios y 5 vatios para evitar que sus contactos queden soldados en caso de una sobrecorriente por sobrecarga del vehículo o cortocircuitos en los cables de fuerza del sistema.
- El sistema de control y operación implementado impulsa el vehículo, que se recomienda utilizarlo para el transporte de equipos y materiales en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

6. GLOSARIO

A

ARMADURA.- Paquete de chapas que sostiene el bobinado inducido y el conjunto de los conductores que constituyen el bobinado del motor.

AMPLITUD DE ONDA.- Es la máxima perturbación de la onda. La mitad de la distancia entre la cresta y el valle.

AERODINÁMICA.-Ciencia que se ocupa del estudio del movimiento del aire y de las acciones que el mismo ejerce sobre los cuerpos que se mueven inmersos en él.

C

CORRIENTE CONTINUA.- Flujo continuo de electrones a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial.

CAMPO MAGNÉTICO.- Descripción matemática de la influencia magnética de las corrientes eléctricas y de los materiales magnéticos.

CONMUTADOR.- Dispositivo de los aparatos eléctricos que sirve para que una corriente cambie de dirección.

COJINETE.-Pieza o conjunto de ellas sobre las que se soporta y gira el árbol transmisor de momento giratorio de una máquina.

CORRIENTES PARÁSITAS.- Son las corrientes inducidas en el cuerpo conductor por la variación en el flujo magnético. El resultado es la aparición de una f.e.m. que hace circular una corriente en el material conductor.

CONTACTOR.- es un interruptor accionado a distancia por medio de un electroimán.

CONDENSADOR.- Es un dispositivo eléctrico que permite acumular cargas eléctricas.

CH

CHOPPER.-Es un interruptor electrónico que se usa para interrumpir una señal bajo el control de otra.

D

DIODO VOLANTE.- Diodo que se conecta en paralelo con la carga inductiva para evita el sobrevoltaje que se produce cuando se suspende la corriente que recorre a la bobina.

E

ENTREHIERRO.- Espacio de aire entre dos partes ferro- magnéticas en un circuito magnético.

EFEECTO JOULE.- Fenómeno que al circular corriente eléctrica en un conductor, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor.

ELECTROIMÁN.-es un tipo de imán en el que el campo magnético se produce mediante el flujo de una corriente eléctrica, desapareciendo en cuanto cesa dicha corriente.

F

FRENADO REGENERATIVO.- Es un sistema que permite reducir la velocidad de un vehículo transformando parte de su energía cinética en energía eléctrica.

FLUJO MAGNÉTICO.-Es una medida de la cantidad de magnetismo, y se calcula a partir del campo magnético.

H

HISTÉRESIS MAGNÉTICA.- Al magnetizar un ferromagneto éste mantiene la señal magnética tras retirar el campo magnético que la ha inducido.

I

INDUCTOR.- Componente pasivo de un circuito eléctrico que, debido al fenómeno de la autoinducción, almacena energía en forma de campo magnético.

INDUCIDO.- Elemento de una máquina eléctrica que comprende los arrollamientos excitados por la inducción del campo magnético del inductor.

IONES.-Son átomos o grupo de ellos que han perdido o ganado uno o más electrones de manera que adquieren una carga eléctrica positiva o negativa respectivamente. Su existencia se debe al bombardeo de la atmósfera por los rayos cósmicos u otra fuente alta de energía como la radiactividad.

INRUSH.- Corriente momentánea que se establece en un circuito en el preciso momento de la conexión, y que dura determinado tiempo.

M

MICA.- Mineral del grupo de los silicatos hidratados, compuesto de aluminio, potasio, sodio, magnesio e incluso litio.

MOSFET.- Transistor utilizado para amplificar o conmutar señales electrónicas.

MICROCONTROLADOR.- Es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria.

N

NEMA.- National Electrical Manufacturers Association (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos).

O

OSCILOSCOPIO.- Instrumento de medición electrónico para la representación gráfica de señales eléctricas que pueden variar en el tiempo.

P

POLÍMEROS.- son macromoléculas generalmente orgánicas formadas por la unión de moléculas más pequeñas.

R

RÉGIMEN PERMANENTE.- Funcionamiento de una red de Kirchhoff cuando los términos transitorios de sus intensidades o tensiones son despreciables.

RECTIFICADOR.- Elemento o circuito que permite convertir la corriente alterna en corriente continua.

S

SEMICONDUCTORES.- Elementos que tienen una conductividad eléctrica inferior a la de un conductor metálico pero superior a la de un buen aislante.

SUBVIRAJE.-Fenómeno que se produce durante la conducción de un vehículo que provoca que el giro real del mismo sea menor al que teóricamente debería inducir la posición de las ruedas delanteras.

SEÑAL ANALÓGICA.- Es aquella señal que es continua por ejemplo la red eléctrica es una señal sinusoidal teóricamente perfecta pero al ser continua es analógica.

SEÑAL DIGITAL.- Es aquella que esta discretizada, por ejemplo cuando se toma como muestra infinitos puntos de una señal, entonces está digitalizándose la señal, mientras más puntos se recoja más parecida a la función analógica será.

T

TORQUE.- momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia.

TIRISTOR.-componente electrónico constituido por elementos semiconductores que utiliza realimentación interna para producir una conmutación.

TRIAC.- Este triodo para corriente alterna es un dispositivo semiconductor, de la familia de los tiristores. La diferencia con un tiristor convencional es que éste es unidireccional y el triac es bidireccional.

TRANSISTOR.-dispositivo electrónico semiconductor utilizado para producir una señal de salida en respuesta a otra señal de entrada.

TROCEADOR.-Es un convertidor CD/CD que transforma la corriente continua de tensión constante en corriente continua de tensión fija o variable. Conocido también como Chopper.

ABREVIATURAS

CD.-Corriente directa

CA.-Corriente alterna

fem.-Fuerza electromotriz

fcem.-Fuerza contra electromotriz

In.- Corriente nominal

ΔW .- Pérdidas en el motor

SCR.-Rectificador controlado de silicio

MOSFET.- Transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor

PWM.- Modulación por ancho de pulsos

RPM.-Revoluciones por minuto

K.-Constante

S.-Superficie

b.- Base

a.- Altura

ΣPP.- Sumatoria de las pérdidas de potencia

ΔV.- Caída de tensión

HPD.- Protección que deshabilita el encendido con el pedal presionado

SPST.-Contactor de polo simple y simple tiro

DPDT.- Contactor de doble polo y doble tiro

A1.-Terminal de armadura del motor

A2.- Terminal de armadura del motor

S1.- Terminal de campo del motor

S2.- Terminal de campo del motor

UNIDADES

N.-Newton

CV.- Caballos de vapor

HP.- Caballos de fuerza

A.-Amperio

m.- Metro

T.-Tesla

Km.-Kilómetro

W.-Watio

Ω.- Ohmios

Kg.-Kilogramo

Rad.-Radianes

Seg.-Segundos

Wb.-Weber

mT.- Militesla

7. BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía Citada

ALVARADO Gerardo. 2009,pág.12. UTM. [En línea] 2009,pág.12.
http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/10990.pdf.

BLOGGER. 2009. BLOGSPOT. [En línea] Marzo de 2009.
<http://mecanicayautomocion.blogspot.com/2009/03/el-sistema-de-transmision.html>.

Departamento de Ingeniería-Universidad de Chile-Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 2003. Proyecto Auto Electrico. *Proyecto Auto Electrico*. [En línea] Universidad de Chile, 03 de Septiembre de 2003. [Citado el: 15 de Febrero de 2013.]
<http://146.83.6.25/electricar/descargas.htm>. ISBN/ISSN.

EDITEX EBOOKS. EDITEX EBOOKS. [En línea]
http://www.editexebooks.es/AdjuntosLibros/Sist_Transm-Frenado_Ud01.pdf.

E-DUCATIVA CATEDU. 2013. [En línea] 2013. <http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//4750/4933/html/index.html>.

Kevin, WEBB John y GRESHOCK. 1993. *"Industrial control Electronics"*. USA,Macmillian : s.n., 1993.

LIOTINE Favio,MOYANO Rafael. 2011. SlideShare. [En línea] 25 de Junio de 2011. <http://www.slideshare.net/sandraadiaz/plc1>.

MORA Jesús. 2008. *"Máquinas eléctricas"*. 2008.

NTE-INEN 2498. 2009. *"Norma Técnica Ecuatoriana" - Instituto Ecuatoriano de Normalización*. 2009.

PAUCAR Agustín. 2000. *"TEORIA Y ANÁLISIS DE LAS MAQUÍNAS ELÉCTRICAS"*. Lima : s.n., 2000.

POLONÍA Jorge. 2010. *"Control de Motores Electricos cd"*. 2010.

RASHID Muhammad. 2004,pág.20. *"Electrónica de potencia:circuitos, dispositivos y aplicaciones"*. Mexico : Pearson Educación, 2004,pág.20.

Rashid, M. H. 1993. *"Electrónica de potencia circuitos, dispositivos y aplicaciones"*. México : Prentice Hall Hispanoamericana, 1993.

ROLDÁN José. 2005. *"Motores eléctricos y accionamientos de máquinas 30 tipos de motores"*. España : Thomson Paraninfo, 2005.

ROSENBERG, Robert. *"Reparación de motores eléctricos"*.

SANZ Javier. 2002, pag. 127. *"Máquinas Electricas"*. Madrid : PEARSON EDUCACION.S.A., 2002, pag. 127.

Slideshare. 2010. [En línea] 2010. <http://www.slideshare.net/sandraadiaz/plc1>.

tecnun. [tecnun. \[En línea\] \[http://www.tecnun.es/asignaturas/SistElec/Practicas/PR_SIS_03.pdf\]\(http://www.tecnun.es/asignaturas/SistElec/Practicas/PR_SIS_03.pdf\)](http://www.tecnun.es/asignaturas/SistElec/Practicas/PR_SIS_03.pdf)

WIKIPEDIA. 2011. WIKIPEDIA. [En línea] 07 de Septiembre de 2011. http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_ancho_de_pulsos.

—. **2014.** WIKIPEDIA. [En línea] 2014. http://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_recargable.

Bibliografía Consultada

<http://www.google.com.ec/imgres?imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.docstoc.com%2Fdocs%2F122165244%2Ftabla-de-conversion-de-unidades&tbnid=xqBhuzdjLBC9aM:&docid=oW01SjCO4fBEWM&h=1754&w=1240>

<http://curtisinstruments.com/>

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/simexico1.pdf>

<http://www.energiaysociedad.es/electricidad>

http://www.mckinsey.com/global_locations/europe_and_middleeast/spain/es/latest_thinking

<http://mundodigital.cl/2005/07/01/conoce-el-chevrolet-corsa-y-decide/>

8. ANEXOS

ANEXO N°1

Tabla de características de los conductores eléctricos

Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Número espiras por cm.	Kg. por Km.	Resistencia (Ohm/Km.)	Capacidad (A)
0000	11,86	107,2			0,158	319
000	10,40	85,3			0,197	240
00	9,226	67,43			0,252	190
0	8,252	53,48			0,317	150
1	7,348	42,41		375	1,40	120
2	6,544	33,63		295	1,50	96
3	5,827	26,67		237	1,63	78
4	5,189	21,15		188	0,80	60
5	4,621	16,77		149	1,01	48
6	4,115	13,30		118	1,27	38
7	3,665	10,55		94	1,70	30
8	3,264	8,36		74	2,03	24
9	2,906	6,63		58,9	2,56	19
10	2,588	5,26		46,8	3,23	15
11	2,305	4,17		32,1	4,07	12
12	2,053	3,31		29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,63		23,3	6,49	7,5
14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6,0
15	1,450	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,6	12,9	3,7
17	1,150	1,04	8,4	9,26	16,34	3,2
18	1,024	0,82	9,2	7,3	20,73	2,5
19	0,9116	0,65	10,2	5,79	26,15	2,0
20	0,8118	0,52	11,6	4,61	32,69	1,6
21	0,7230	0,41	12,8	3,64	41,46	1,2
22	0,6438	0,33	14,4	2,89	51,5	0,92

ANEXO N°2

Unidades de medida del Sistema Internacional

UNIDADES BÁSICAS DEL SISTEMA SI		
Cantidad	Nombre de la unidad	Símbolo
Longitud	Metro	m
Masa	Kilogramo	kg
Tiempo	Segundo	s
Corriente eléctrica	Ampere	A
Temperatura	Kelvin	K
Cantidad de sustancia	Mol	mol
Intensidad luminosa	candela	cd
UNIDADES DERIVADAS		
Área	Metro cuadrado	m ²
Volumen	Metro cubico	m ³
Frecuencia	Hertz	Hz
Cantidad de electricidad	Coulomb	C
Diferencia de potencial	Voltio	V
Intensidad de campo eléctrico	Volt por metro	V/m
Flujo luminoso	Lumen	Lm
Aceleración angular	Radián por segundo cuadrado	rad/ s ²
Fuerza	Newton	N
Conductividad térmica	Watt por metro-kelvin	W/m.K

Unidades de medida del Sistema Internacional

Magnitud	Nombre de la unidad SI derivada	Símbolo	Expresión en unidad SI de base	Expresión en otras unidades SI
Angulo plano	radián	rad	$m \cdot m^{-1} = 1$	
Angulo solido	esterradián	sr	$m^2 \cdot m^{-2} = 1$	
Frecuencia	hertz	Hz	s^{-1}	
Fuerza	newton	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$	
Presión, esfuerzo	pascal	Pa	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$	N/m^2
Trabajo, energía, cantidad de calor	joule	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	$N \cdot m$
Potencia, flujo energético	watt	W	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$	
Carga eléctrica, cantidad de electricidad	coulomb	C	$s \cdot A$	
Diferencia de potencial, tensión eléctrica, fuerza electromotriz ,potencial eléctrico	volt	V	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$	W/A
Capacitancia eléctrica	faradio	F	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$	C/V
Resistencia eléctrica	ohm	Ω	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$	V/A
Conductancia eléctrica	siemens	S	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$	A/V
Flujo de inducción magnético	weber	Wb	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	$V \cdot s$
Inducción magnética	tesla	T	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$	Wb/m^2
Inductancia	henrio	H	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$	Wb/A
Flujo luminoso	lumen	lm	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot cd = cd$	$cd \cdot sr$
iluminancia	lux	lx	$m^2 \cdot m^{-4} \cdot cd = m^{-2} \cdot cd$ $4 \cdot cd = m^{-2} \cdot cd$	lm/m^2
Temperatura Celsius	Grado celsius	$^{\circ}C$	K	

ANEXO N°3

Estado actual del vehículo

Sistema de Control



Sistema de Potencia



Sistema de Transmisión



Sistema de dirección



Sistema de suspensión



Sistema de frenado



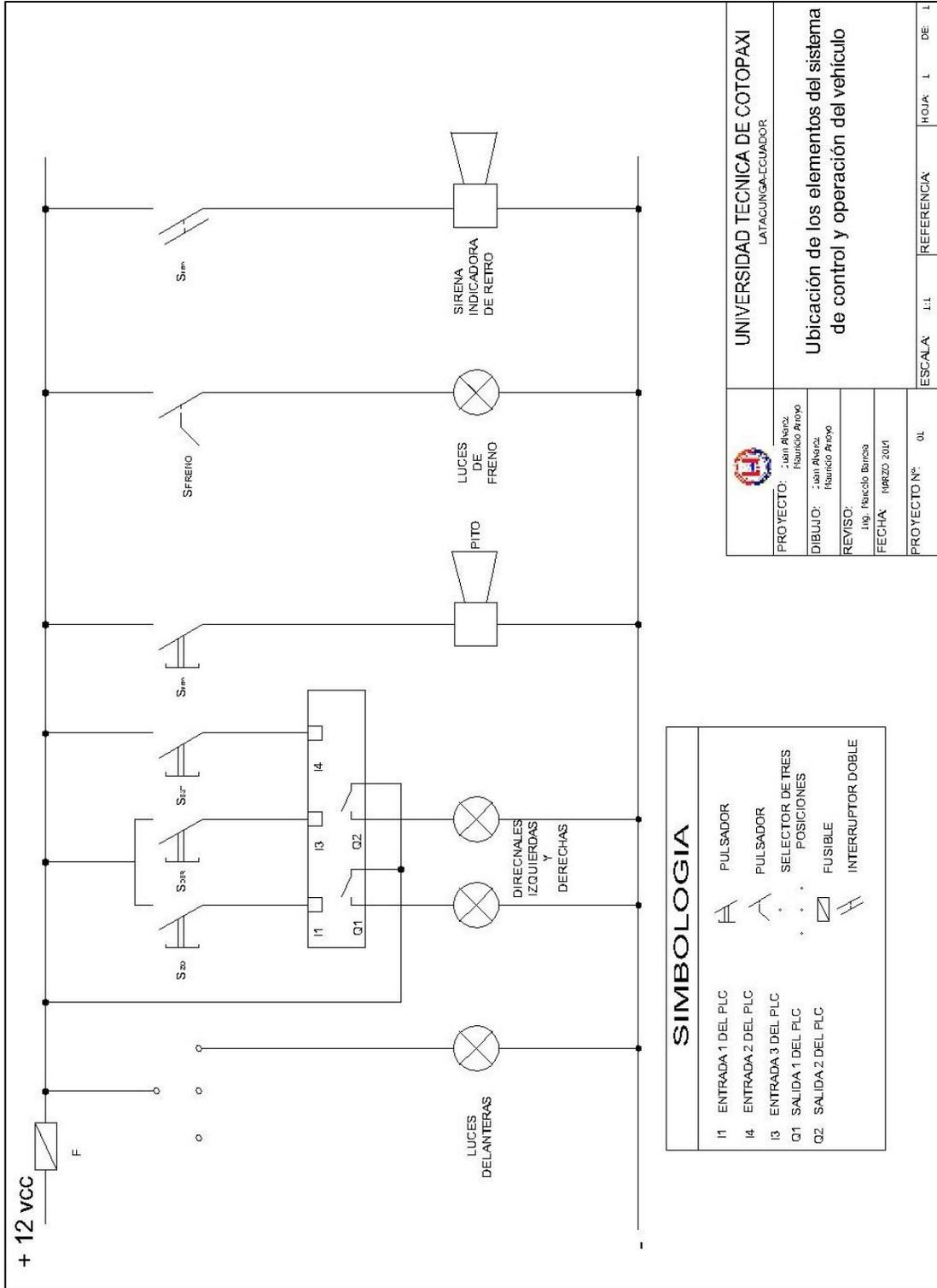
ANEXO N°4

Diagrama de ubicación de los elementos del sistema de control y operación del vehículo



ANEXO N°5

Diagrama unifilar del sistema de luces y accesorios del vehículo



ANEXO N°6

Ubicación de los elementos y accesorios en el vehículo

1. Interruptores de encendido- apagado para el sistema de luces y el motor en el tablero frontal del vehículo.



2. Banco de baterías 12 V- 65Ah cada una.



3. Contactor de simple polo y simple tiro para encender y apagar el sistema de potencia del vehículo.



4. Controlador de velocidad 48V, 325A con sus respectivas salidas.



5. Contactor de doble polo y doble tiro para la inversión de giro del motor.



6. Motor de corriente continua autoexcitado con conexión tipo serie, 48V, 2HP.



7. Módulo de aceleración de 0 a 5kΩ, con su respectivo cableado.



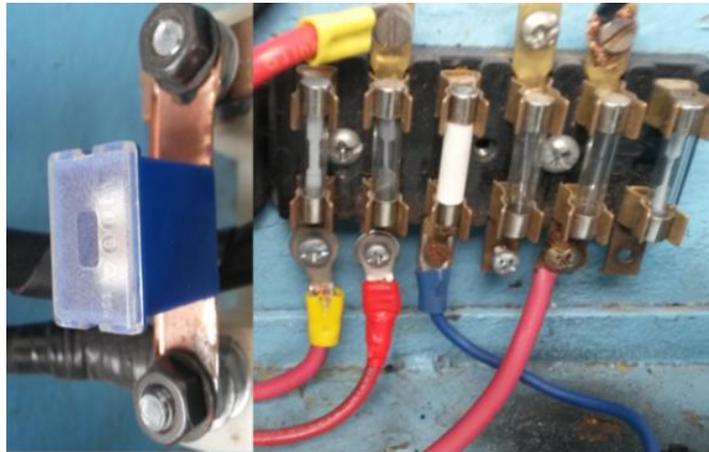
8. Controlador Lógico Programable para el sistema de luces del vehículo.



9. Voltímetro, amperímetro CD con resistencia shunt, para la visualización del comportamiento de las baterías y el motor respectivamente.



10. Fusibles de protección para potencia y control.



ANEXO N°7

Mediciones del sistema

Tacómetro digital



Pinza amperimétrica marca fluke 337



Rpm a velocidad máxima en la llanta



Rpm a velocidad máxima en el motor



Voltaje en vacío



Voltaje en funcionamiento



Corriente promedio de consumo



Pruebas con máxima carga

