



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE
PROPULSIÓN DE UN TRICICLO MONOPLAZA ELÉCTRICO
PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN SUS
EXTREMIDADES INFERIORES**

AUTOR: WILSON MAURICIO VARGAS SHIGUANGO

**DIRECTOR: ING. WILLIAM BONILLA
CODIRECTOR: ING. FREDDY SALAZAR**

LATACUNGA

2015



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN DE UN TRICICLO MONOPLAZA ELÉCTRICO PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN SUS EXTREMIDADES INFERIORES**” realizado por el señor **WILSON MAURICIO VARGAS SHIGUANGO**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **WILSON MAURICIO VARGAS SHIGUANGO** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, Agosto del 2015

ING. WILLIAM BONILLA

DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **WILSON MAURICIO VARGAS SHIGUANGO**, con cédula de identidad N° 1500652928, declaro que este trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN DE UN TRICICLO MONOPLAZA ELÉCTRICO PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN SUS EXTREMIDADES INFERIORES**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, Agosto del 2015

WILSON MAURICIO VARGAS SHIGUANGO

C.C.: 1500652928



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

AUTORIZACIÓN

Yo, **WILSON MAURICIO VARGAS SHIGUANGO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN DE UN TRICICLO MONOPLAZA ELÉCTRICO PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN SUS EXTREMIDADES INFERIORES**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, Agosto del 2015

WILSON MAURICIO VARGAS SHIGUANGO

C.C.: 1500652928

DEDICATORIA

A Dios por guiarme por el buen camino, darme fortaleza para saber afrentar toda adversidad y sobre todo por regalarme una familia maravillosa.

A mis padres Jorge y Anita por todo su apoyo y sacrificio que hicieron para que yo pudiera cumplir mis sueños.

A mi esposa Patricia que con tu paciencia, comprensión, y cariño hizo que pudiera alcanzar mis metas sin preocupaciones.

A mis hijos Amír y Helen por ser los regalos más valiosos que la vida me ha entregado y que se convirtieron en uno de los pilares más importantes de mi vida.

A mis abuelitos Domingo y Teresa por ser quien con sus palabras de infinito amor, buenos consejos y alegría brindaron a mi vida esa ganas de cumplir mis sueños y metas.

A mi familia por su inmenso amor y apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mi carrera profesional.

Wilson Vargas

AGRADECIMIENTO

A mis padres Jorge y Anita por ser quienes con su trabajo arduo y sacrificio tuve la oportunidad de tener una educación de excelencia, agradecido por sus consejos y motivación que me han encaminado a esta alegría que hoy la tengo.

A mi esposa Patricia mi compañera de vida que a lo largo de mi carrera ha estado conmigo brindándome su apoyo incondicional tanto en circunstancias adversas como en las prósperas para continuar con mis sueños y metas.

A mis tutores de tesis, Ing. William Bonilla y al Ing. Freddy Salazar quienes me brindaron sus conocimientos, confianza y toda la paciencia para guiarme durante todo el desarrollo del proyecto.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE por abrirme las puertas de su seno científico para poder estudiar mi carrera, donde conocí a mis compañeros y profesores los cuales me enseñaron la amistad y me brindaron sus conocimientos para ser un líder en el campo profesional.

Wilson Vargas

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
CERTIFICADO	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
ÍNDICE DE CUADROS.....	xviii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT	xx

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Objetivos	1
1.2.1 Objetivo general	1
1.2.2 Objetivo específico	2
1.3 Justificación e importancia	2
1.4 Hipótesis.....	2
1.5 Metas del proyecto	3

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Antecedentes	4
2.2 Evolución histórica del vehículo eléctrico	4
2.3 Vehículos eléctricos	10
2.4 Tipos de vehículos eléctricos	11
2.4.1 Vehículos híbridos.....	11
2.4.2 Vehículos eléctricos	12
2.4.3 Vehículos eléctricos de autonomía extendida	12
2.5 Baterías.....	13
2.5.1 Introducción.....	13
2.6 Parámetros eléctricos de las baterías recargables.....	13
2.6.1 Fuerza electromotriz, voltaje o potencial (E).	14
2.6.2 Capacidad específica (Q)	14
2.6.3 Energía específica (W).....	14
2.6.4 Ciclos de vida	15
2.6.5 Temperatura de trabajo	15
2.7 Características de las baterías en vehículos eléctricos.....	15
2.8 Tipos de baterías utilizadas en autos eléctricos	16
2.8.1 Plomo-ácido	16
2.8.2 Níquel cadmio (NiCd)	16
2.8.3 Baterías de níquel-hidruro metálico (NiMH)	17
2.8.4 Iones de litio (LI-ION)	17
2.8.5 Baterías de polímero de litio.....	18
2.8.6 Baterías Zebra (NaNiCl)	18

2.8.7	Baterías plomo-ácido de ciclo profundo	19
2.9	Modelo matemático del sistema motriz	21
2.9.1	Fuerza de fricción entre la superficie a rodar y los neumáticos (F_{rr})....	22
2.9.2	Fuerza de fricción con el viento (F_{ad}).	22
2.9.3	Componente del peso del vehículo a lo largo de la pendiente F_{hc}	23
2.9.4	Fuerza de tracción que es la que impulsa al vehículo eléctrico (F_{te})... ..	23
2.10	Sistema de propulsión.....	24
2.11	Características del sistema de propulsión	25
2.12	Motor	25
2.13	Tipos de motores eléctricos.....	25
2.13.1	Motores de imán permanente sin escobillas DC	25
2.13.2	Motor de magnetismo permanente o brushless (BLDC).	26
a)	Ventajas de motores brushless (BLDC)	27
2.13.3	Motores sincrónicos de imán permanente AC.....	27
2.14	Comparación de motor con escobillas (Brushed) vs. Un motor sin escobillas (Brushless).....	28
2.15	Características de los motores DC en tracción eléctrica	29
2.16	Características de los motores CA en tracción eléctrica.	30
2.17	Controladores de motores eléctricos.....	31
2.17.1	Controlador Multiswitching	31
2.17.2	Controlador de estado sólido.....	32
2.17.3	Controlador moderno electrónico	33
a)	Corte por baja tensión	34
b)	Sobrettemperatura en el controlador.....	34
2.18	Frenado regenerativo	35

2.18.1	Funcionamiento del freno regenerativo	35
2.19	Elementos eléctricos y electrónicos	37
2.19.1	Elementos de control.....	37
a)	Controlador.....	37
b)	Palanca de control o acelerador electrónico.....	38
2.19.2	Elementos de activación.....	39
a)	Contactador y relé	39
b)	Interruptor.....	39
2.19.3	Elementos de conexión	39
a)	Conductores	39
b)	Terminales.....	40
2.19.4	Elementos de seguridad.....	40
a)	Fusibles	40
b)	Diodo	40
2.20	Accesorios eléctricos.....	40
2.20.1	Iluminación eléctrica.....	40
2.20.2	Velocímetro	41

CAPÍTULO III

3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	42
3.1	Cálculo dinámico del sistema motriz	42
3.2	Fuerzas actuantes sobre el triciclo eléctrico en pendientes	44
3.2.1	Cálculo de la fuerza de fricción entre la superficie a rodar y los neumáticos (F_{rr})	44
3.2.2	Cálculo de la fuerza de fricción con el viento (F_{ad}).	44

3.2.3	Cálculo del componente del peso del vehículo en la pendiente (F_{hc}) ...	46
3.2.4	Cálculo de la fuerza de tracción eléctrica total (F_{te}).....	46
3.2.5	Cálculo para el torque necesario T_n	47
3.2.6	Cálculo de la velocidad angular (ω)	48
3.3	Cálculo de potencia y selección del motor	49
3.3.1	Cálculo de potencia $P_{calculada}$	49
3.3.2	Parámetros para la selección de un motor eléctrico.....	49
a)	Potencia y torque	49
b)	Resistencia a los agentes externos.....	50
c)	Eficiencia	50
3.4	Selección del motor	50
3.4.1	Especificaciones del motor seleccionado.....	52
3.5	Criterio de selección de controlador	53
3.5.1	Parámetros de selección del sistema de control	53
a)	Dimensiones.....	53
b)	Peso	53
3.6	Selección del controlador	53
3.6.1	Funcionamiento del controlador	53
3.6.2	Características del controlador seleccionado.....	56
3.6.3	Especificaciones generales del controlador seleccionado:	57
3.6.4	Conexiones del controlador.....	58
a)	Panel frontal del controlador de motor KEB:	58
b)	Definición del pin J2	59
3.7	Selección de baterías para el triciclo monoplaza eléctrico	61
3.7.1	Cálculo del banco de batería.....	62

3.7.2	Selección de baterías	64
3.8	Cálculo del tiempo de recarga de la batería	66
3.8.1	Cálculo de autonomía teórica	66
3.9	Cálculo de fusibles eléctricos	69
3.10	Diseño del circuito eléctrico del sistema motriz	69
3.10.1	Circuito de alimentación	70
3.10.2	Circuito de carga y potencia del motor	70
3.10.3	Circuito de accesorios	71
3.10.4	Circuito de conexión del controlador al motor.	72
3.11	Diseño y análisis del soporte del motor asistido por ANSYS.....	72
3.11.1	Análisis del soporte del motor	73
3.11.2	Cargas aplicadas al soporte motor	73
3.11.3	Análisis del soporte motor por el software.....	74
3.12	Construcción e implementación del sistema de propulsión	78
3.13	Implementación del sistema de alimentación	79
3.13.1	Diagrama de flujo de proceso.....	80
3.14	Implementación del motor	81
3.15	Implementación del controlador	82
3.16	Implementación del circuito de control	83
3.16.1	Selección de cables	83
3.16.2	Cable de control y transmisión de señales	84
3.16.3	Construcción del circuito de control.....	85
3.17	Implementación de accesorios del triciclo monoplaza.....	89
3.17.1	Luces frontales y posteriores.....	89
3.17.2	Sistema de acceso	90

3.17.3 Velocímetro	90
3.17.4 Bocina	91
3.17.5 Retrovisores	91

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS	92
4.1 Pruebas de aceleración.....	92
4.2 Pruebas en recta	93
4.3 Prueba de autonomía.....	96
4.4 Análisis económico del triciclo eléctrico monoplaza.	97
4.4.1 Costos directos.....	97
4.4.2 Costos indirectos.....	98
4.4.3 Costo de mano de obra	98
4.4.4 Costo total.	98
4.4.5 Costo de operación.	99

CAPÍTULO V

5.1 CONCLUSIONES	102
5.2 RECOMENDACIONES	104
BIBLIOGRAFÍA	105
ANEXOS	110

Anexo A. Planos
 Anexo B. Circuitos Eléctricos
 Anexo C. Manual del Controlador
 Anexo D. Ficha Técnica Batería
 Anexo E. Artículo Científico

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Motor eléctrico aplicado a un modelo de vehículo con ruedas.....	5
Figura 2 Primer triciclo eléctrico	5
Figura 3 Electrobat.....	6
Figura 4 Electric Count.....	6
Figura 5 Coche eléctrico	7
Figura 6 Coche eléctrico	7
Figura 7 Sebring-Vanguard CitiCar	8
Figura 8 Kewet.....	8
Figura 9 Toyota RAV4 EV	9
Figura 10 Honda Insight.....	9
Figura 11 Sedán eléctrico modelo S	9
Figura 12 Nissan Leaf	10
Figura 13 Modelos de vehículos eléctricos	10
Figura 14 Triciclo eléctrico para discapacitados.....	11
Figura 15 Vehículo eléctrico de autonomía extendida	12
Figura 16 Batería Ion Litio.....	18
Figura 17 Baterías de gel.....	20
Figura 18 Fuerzas que actúan en un vehículo en una pendiente.....	21
Figura 19 Esquema del sistema de propulsión del triciclo eléctrico	24
Figura 20 Motor Brushless principio de funcionamiento.....	26
Figura 21 Motor de trifásico con un imán permanente (PMSM).....	28
Figura 22 Sistema Multiswitching.....	32
Figura 23 Controlador solido tipo Curtis.....	33
Figura 24 Controlador KEB (24-72 V)	34
Figura 25 Estados de funcionamiento de un motor/generador	36
Figura 26 Conexión del KEB Controller al Pc mediante el cable RS232.....	37
Figura 27 Función del controlador.....	38
Figura 28 Acelerador para motor eléctrico	38
Figura 29 Accesorios eléctricos de una moto.....	41

Figura 30	Recorrido del triciclo.....	43
Figura 31	Sección transversal del triciclo.....	45
Figura 32	Fuerza de tracción de acuerdo al grado de pendientes	47
Figura 33	Motor brushless 48V/4000W MOD-0704509598	52
Figura 34	Controlador Kelly KEB 48601F seleccionado	55
Figura 35	Significado de modelo del controlador	56
Figura 36	Panel frontal del controlador	58
Figura 37	Pin J2.....	59
Figura 38	Diagrama de conexión del controlador.....	61
Figura 39	Conexión de baterías en serie	62
Figura 40	Ciclos de vida de la batería RITAR RA12-100D	65
Figura 41	Tiempo de carga vs corriente de carga.....	66
Figura 42	Fusible de corte rápido.....	69
Figura 43	Circuito de alimentación-Livewire	70
Figura 44	Circuito de Carga y Potencia-Livewire	71
Figura 45	Circuito de Accesorios-Livewire	72
Figura 46	Asignación de cargas para el análisis estático.....	74
Figura 47	Selección del material para el análisis	74
Figura 48	Deformación elástica.....	75
Figura 49	Deformación total.....	75
Figura 50	Tensión equivalente (Von Mises).....	76
Figura 51	Factor de seguridad	76
Figura 52	Ensamblaje del motor	78
Figura 53	Disposición de los elementos.....	79
Figura 54	Porta-baterías	79
Figura 55	Sujeción y disposición del porta-baterías.....	80
Figura 56	Ubicación de las baterías.....	80
Figura 57	Implementación del motor.....	82
Figura 58	Caja base para la colocación del controlador	82
Figura 59	Ubicación del controlador.....	83

Figura 60 Grosor de cables eléctricos.....	84
Figura 61 Construcción del circuito de potencia y carga.....	85
Figura 62 Comprobación del circuito de potencia y carga	86
Figura 63 Cargador BLACK&DECKER	86
Figura 64 Conexión del motor-controlador-circuito de control-batería	87
Figura 65 Instalación del circuito de control	87
Figura 66 Instalación de las luces led Delanteras	89
Figura 67 Encendido de las luces delanteras	89
Figura 68 Instalación eléctrica mecanismo del sistema de acceso	90
Figura 69 Velocímetro.....	90
Figura 70 Bocina	91
Figura 71 Retrovisor.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Prestaciones de las baterías utilizadas en vehículos eléctricos	20
Tabla 2	Equivalencia entre grados de pendiente y porcentaje.....	43
Tabla 3	Peso total del prototipo	46
Tabla 4	Valores requeridos para la selección del motor	50
Tabla 5	Modelos y características de motores Brushless.....	51
Tabla 6	Características técnicas motor Brushless seleccionado.....	52
Tabla 7	Controlador Kelly para motores brushless CD.....	54
Tabla 8	Características de baterías de ciclo profundo.....	63
Tabla 9	Características de la batería seleccionada	64
Tabla 10	Resumen del análisis del soporte motor	77
Tabla 11	Diagrama de proceso del ensamble del porta-baterías	81
Tabla 12	Calibre de cables eléctricos y su carga máxima	84
Tabla 13	Diagrama de proceso del ensamble del circuito de control	88
Tabla 14	Resultado prueba en recta a baja carga	94
Tabla 15	Resultado prueba en recta a media carga.....	94
Tabla 16	Resultado prueba en recta a toda carga.....	95
Tabla 17	Datos relevantes de las pruebas en recta	96
Tabla 18	Desglose de los materiales directos para la conversión.....	97
Tabla 19	Desglose de los materiales indirectos para la conversión	98
Tabla 20	Costo de mano de obra	98
Tabla 21	Costo total de la investigación	99
Tabla 22	Costo de consumo eléctrico anual del triciclo.....	101

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Ventajas y limitaciones Ion-Litio	17
Cuadro 2 Comparación de motor Brushless vs motor Brushed	28
Cuadro 3 Código de Led del controlador	60

RESUMEN

El proyecto a desarrollar consistió en el diseño y construcción el sistema de propulsión eléctrica y carga que brinda una velocidad máxima de 35 Km/h y una autonomía de 4 horas, en la cual recorre una distancia de 40 Km por carga plena. El sistema de carga es enchufable a 110 V de corriente alterna, el cual carga a 4 baterías de 12 V 100 A, este sistema de alimentación eléctrica hace funcionar a un motor brushless y los diferentes accesorios implementados en el triciclo monoplaza eléctrico, así mismo la selección de materiales eléctricos para el diseño del proyecto fue de vital importancia debido a que gran parte de los mismos están sometidos a diferentes cargas y descargas necesarias para cumplir de manera eficiente y efectiva su trabajo determinando la vida útil de las mismas. Demostrando con ello que este tipo de triciclo monoplaza eléctrico, puede ser incluido en el mercado como una nueva alternativa de movilidad eficiente y con cero emisiones al medio ambiente. Fue de gran ayuda la utilización del software ANSYS para la simulación de la base del motor, en la que se pudo obtener datos para la construcción ya que cumple con los criterios de diseño de Von Mises.

Palabras clave:

- **AUTOMÓVILES - SISTEMA DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA**
- **TRICICLO MONOPLAZA ELÉCTRICO**
- **AUTOMÓVILES - SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA.**

ABSTRACT

The project to develop consisted in the design and construction the system of electrical propulsion and load that offers a maximum speed of 35 Km/h and an autonomy of 4 hours, in which it runs a distance of 40 Km by full load. The system of load is enchufable to 110 V of alternating current, which loads to 4 batteries of 12 V 100A, this system of electrical feeding does to work to an engine brushless and the different accessories implemented in the single-seat tricycle electric, likewise the selection of electrical materials for the design of the project was of vital importance due to the fact that big part of the same are subjected to different loads and necessary downloads to fulfil of efficient and effective way his work determining the useful life of the same. Showing with this that this type of single-seat tricycle electric, can be included in the market like a new alternative of efficient mobility and with zero broadcasts to the environment. It was a great help the utilisation of the software ANSYS for the simulation of the base of the engine, in which it could obtain data for his construction since it fulfils with the criteria of design of Von Mises.

KEYWORDS:

- **CARS - SYSTEM OF ELECTRICAL PROPULSION**
- **SINGLE-SEAT TRICYCLE ELECTRIC**
- **CARS - SYSTEM OF ELECTRICAL FEEDING.**

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN DE UN TRICICLO MONOPLAZA ELÉCTRICO PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN SUS EXTREMIDADES INFERIORES

En el Ecuador según cifras del INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) en el año 2010 existían 1'608.334 personas con algún tipo de discapacidad, que representan el 12,14% de la población total; 184.336 hogares ecuatorianos tienen al menos una persona con discapacidad. La población rural del Ecuador presenta un 85.6% de pobreza, el 50% de las personas con discapacidad son pobres, con un ingreso per cápita promedio de treinta dólares por mes. (Acurio , 2013)

En la Provincia de Cotopaxi de acuerdo a cifras del CONADIS en el 2014 (Consejo Nacional de Igualdad de Discapacidades del Ecuador) el número de personas con discapacidad es de 10,347 entre hombres y mujeres, con diferentes tipos de discapacidad, auditivas, físicas, intelectuales, de lenguaje, psicológicas y visuales. (CONADIS, 2015)

Durante los últimos años, la toma de conciencia hacia las personas con distintas discapacidades ha hecho que muchas fundaciones, entidades y organizaciones; en éste caso la Asociación de Discapacitados de Cotopaxi (ADICO), luchan por dar igualdad, confort y facilidad al desplazamiento de dichas personas por los diferentes senderos de la ciudad de Latacunga. Sabemos que el medio común de transporte para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores siempre ha sido la silla de ruedas, la misma que en muchos casos es eléctrica y presta mayor confort a dicha persona en su movilización de tramos cortos.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Planteamiento del problema

La ausencia de un medio de transporte innovador, versátil y ecológico que se acople a la movilización de personas con discapacidad en sus extremidades inferiores en nuestro país, especialmente en la Ciudad de Latacunga – Provincia de Cotopaxi, es razón, por la cual hemos visto la necesidad de diseñar un triciclo monoplaza eléctrico en el cual las personas de la Asociación de Discapacitados de Cotopaxi (ADICO) se puedan trasladar de un lugar a otro dentro de la ciudad sin la dependencia de terceras personas que le ayuden en el desempeño normal de su movilización.

El triciclo monoplaza eléctrico es un medio de transporte innovador que les permite a las personas de la Asociación de Discapacitados de Cotopaxi (ADICO) moverse con mayor independencia y facilidad en su diario vivir. Por lo cual el desarrollo de este proyecto está enfocado en el diseño y construcción del sistema de propulsión de un triciclo monoplaza eléctrico con el fin de evitar contaminaciones atmosféricas y que sea un proyecto netamente ecológico.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Diseñar y construir el sistema de propulsión de un triciclo monoplaza eléctrico para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores como medio de transporte alternativo para aumentar la fluencia de las personas mejorando su viabilidad y traslado satisfactorio del mismo.

1.2.2 Objetivo específico

- Diseñar el sistema de propulsión basada en previos cálculos y comprobaciones con el fin de alcanzar los requerimientos exigidos para un triciclo monoplaza eléctrico para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores.
- Construir una estructura para los componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos.
- Implementar un sistema de propulsión con baterías y un motor eléctrico capaz de trasladar al triciclo monoplaza.
- Maximizar el funcionamiento del sistema motriz comparando a través de la simulación de cargas y esfuerzos realizada mediante software.

1.3 Justificación e importancia

La necesidad de transportarse y de ser independiente en su movilización siempre ha existido y ha sido de gran importancia para las personas con discapacidad en sus extremidades inferiores residentes en la Ciudad de Latacunga – Provincia de Cotopaxi. Por lo cual se vio oportuno cubrir esta necesidad de dichas personas al crear un triciclo monoplaza eléctrico con sus diferentes sistemas ya sean en este caso el sistema motriz y de carga que permitan el buen desempeño del mismo.

El triciclo monoplaza eléctrico 100% diseñado para la Asociación de Discapacitados de Cotopaxi (ADICO) es la alternativa de futuro a la movilidad y el transporte urbano, gracias a la utilización de una energía limpia y eficiente como es la energía eléctrica.

1.4 Hipótesis

¿Será viable el diseño, construcción e implementación del sistema motriz y de carga, de un triciclo monoplaza eléctrico para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores con el fin de ayudar en la movilización y transporte de dichas personas?

1.5 Metas del proyecto

- Recopilar toda la información necesaria para la implementación del sistema motriz y carga del proyecto al cabo de la segunda semana.
- Diseño, simulación de cargas y funcionamiento de los sistemas motriz y eléctrico del proyecto al cabo de la sexta semana.
- Construcción e implementación del sistema motriz al finalizar la décima semana.
- Construcción e implementación del sistema de carga, accesorios y a su vez empezar a trabajar en la elaboración de los capítulos I y II de modo que durante este periodo pueda concluir con los mismos al finalizar la décima segunda semana.
- Realizar todas las comprobaciones mecánicas y eléctricas de los sistemas de carga y motriz al cabo de la décima cuarta semana para determinar la óptima operación y desempeño de los diferentes componentes de los mismos.
- Realizar diferentes pruebas a fin de verificar el estado y funcionamiento de los distintos sistemas ya ensamblados y se procederá a trabajar en la elaboración de los capítulos III y IV de modo que durante este periodo pueda concluir con los mismos al finalizar la vigésima semana.
- Para la finalización de la vigésima segunda semana se procederá a la reestructuración de todos los capítulos para realizar las revisiones finales para la elaboración del trabajo impreso.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Una solución para el problema de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) es el vehículo eléctrico, que no genera ningún tipo de emisión. El motor de combustión interna es reemplazado por un motor eléctrico, que funciona con baterías recargables en vez de gasolina u otros combustibles. A largo plazo, el objetivo es obtener electricidad de una fuente de energía limpia. (SEED, 2015)

El Gobierno Nacional, a través del Ministerio Coordinador de la Producción, suscribió un convenio para la promoción, comercialización y perspectivas de fabricación de baterías y vehículos eléctricos en el Ecuador, y esto aportará al cambio de la matriz productiva. (El comercio, 2015)

Por ello mediante un estudio previo realizado para el diseño y construcción de este prototipo se determinó que en el Ecuador no existe este tipo de vehículos para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores es por ello que se planteó la idea de diseñar y construir este triciclo eléctrico para solventar la necesidad de transporte independiente para este tipo de personas.

El triciclo monoplaza 100% eléctrico diseñado para la Asociación de Discapacitados de Cotopaxi (ADICO) es la alternativa de futuro a la movilidad y el transporte urbano, gracias a la utilización de una energía limpia y eficiente como es la energía eléctrica.

2.2 Evolución histórica del vehículo eléctrico

En el siglo XIX, las investigaciones sobre electromagnetismo avanzaban con rapidez, y su aplicación a los transportes fue una de sus primeras funciones. En aquel momento, los inventores buscaban un sustituto para la tracción animal en los vehículos, y dos tecnologías se disputaban el puesto: los motores eléctricos y los térmicos. (Benavente, 2014)

En 1828 se construye el primer motor eléctrico por el húngaro Ányos Jedlik, y poco después lo aplica a un pequeño modelo de vehículo con ruedas, sin embargo, no publicó sus avances hasta décadas después, por lo que no influyó en inventores posteriores. (Benavente, 2014)

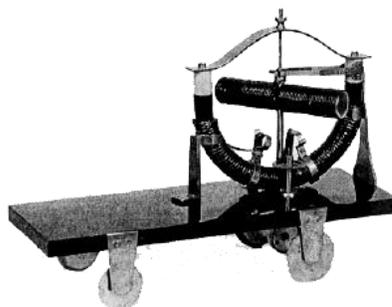


Figura 1 Motor eléctrico aplicado a un modelo de vehículo con ruedas

Fuente: (Benavente, 2014)

En 1834 es presentado el primer coche eléctrico por el herrero norteamericano Thomas Davenport que constaba con una batería no recargable y recorría entre 15 y 30 kilómetros.

En 1881 los ingleses William Ayrton y John Perry crean el primer triciclo eléctrico, las baterías contaban con diez células de ácido lo que le daba una potencia de $\frac{1}{2}$ HP, recorría entre 16 y 40 kilómetros a unos 15 Km/h dependiendo del terreno. (Benavente, 2014)

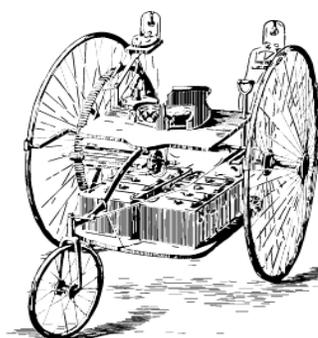


Figura 2 Primer triciclo eléctrico

Fuente: (Benavente, 2014)

En 1894 los Ingeniero Henry Morris y Pedro Salom inventaron el Electrobat, tenía dos motores de 1,5 Hp que lo impulsaba durante unos 40 kilómetros por carga a 32 Km/h, los primeros modelos tenían ruedas de hierro para soportar el enorme peso de la batería. (Benavente, 2014)



Figura 3 Electrobat

Fuente: (Benavente, 2014)

En 1898 el aristócrata francés Gaston de Chasseloup Laubat bate por primera vez un récord de velocidad con un coche eléctrico a 63,13 Km/h llamado Jeantaud, lo que le valió el mote de Electric Count (Conde Eléctrico).

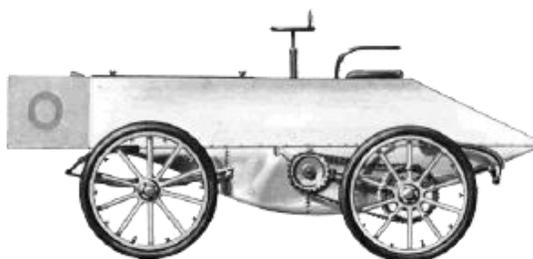


Figura 4 Electric Count

Fuente: (Benavente, 2014)

En 1913 durante la primera década del siglo XX se venden casi 40.000 coches eléctricos en Estados Unidos, pero la producción en masa del Ford y otros fabricantes, unida al bajo precio de la gasolina y la mayor eficacia de estos motores hacen caer las ventas. (Benavente, 2014)



Figura 5 Coche eléctrico

Fuente: (Benavente, 2014)

En el año 50 el programa especial estadounidense reaviva el interés y las investigaciones en materia de baterías y nuevas fuentes de energía. (Benavente, 2014)



Figura 6 Coche eléctrico

Fuente: (Benavente, 2014)

En 1974, la compañía americana Sebring-Vanguard empezó la producción en serie del primer coche eléctrico producido en masa, el CitiCar, un pequeño utilitario del que se produjeron unas 2.000 unidades hasta 1977. En 1980, Peugeot y Renault contaban con dos modelos con variante eléctrica, el Peugeot 205 y el Renault Express, equipados con baterías de níquel-hierro, con una autonomía que rondaba los 140 kilómetros y una velocidad máxima de 100 km/h. (TECMOVIA, 2015)



Figura 7 Sebring-Vanguard CitiCar

Fuente: (TECMOVIA, 2015)

En 1991 nace el Kewet, un pequeño coche eléctrico fabricado íntegramente en Noruega, con espacio para tres pasajeros, su producción se ha mantenido durante décadas y en 2007 cambio de nombre a Buddy, se han vendido desde entonces 1500 unidades, solo en el país nórdico, recorre entre 50 y 80 kilómetros entre cargas y puede alcanzar unos 80 Km/h. (Benavente, 2014)



Figura 8 Kewet

Fuente: (Benavente, 2014)

En 1996 Toyota lanza el RAV4 EV, la versión eléctrica del popular RAV4, que solo está disponible de forma limitada, alcanza los 126 Km/h con una distancia por carga de hasta 153 Km. (Benavente, 2014)



Figura 9 Toyota RAV4 EV

Fuente: (Benavente, 2014)

En 1999 el Honda Insight y el Toyota Prius, salen a la venta en Estados Unidos, son coches híbridos que combinan motor eléctrico y de gasolina, son los primeros híbridos del mercado desde 1917. (Benavente, 2014)



Figura 10 Honda Insight

Fuente: (Benavente, 2014)

En el 2009 Tesla presenta el sedán Eléctrico modelo S, que puede recorrer entre 370 y 480 Km según el modelo y alcanzar entre 190 y 210 km/h, desde su lanzamiento ha sido considerado uno de los mejores coches producidos en masa del mundo. (Benavente, 2014)



Figura 11 Sedán eléctrico modelo S

Fuente: (Benavente, 2014)

En el 2014 El Nissan Leaf se convierte en el primer coche eléctrico que vende más de 100.000 unidades desde que fue lanzado en el 2010 en los Estados Unidos y Japón, tiene una autonomía de 121 kilómetros y alcanza una velocidad máxima de 145 Km/h. (Benavente, 2014)



Figura 12 Nissan Leaf

Fuente: (Benavente, 2014)

2.3 Vehículos eléctricos

Los vehículos eléctricos se propulsan total o parcialmente por un motor eléctrico alimentado por baterías que se recargan a través de una toma de corriente. Su utilización presenta ventajas desde el punto de vista medioambiental, ya que permite disminuir el nivel de emisiones de CO_2 a la atmósfera. (Copyright Endesa S.A., 2013)



Figura 13 Modelos de vehículos eléctricos

Fuente: (Copyright Endesa S.A., 2013)

El triciclo 100% eléctrico para personas discapacitadas es la alternativa de futuro a la movilidad y el transporte urbano, gracias a la utilización de una energía limpia y eficiente como es la energía eléctrica.



Figura 14 Triciclo eléctrico para discapacitados

Fuente: (Copyright Endesa S.A., 2013)

Una de las oportunidades que brinda el triciclo eléctrico es la de eliminar por completo el esquema de propulsión convencional con una única unidad propulsora, donde, el motor brushless es la verdadera protagonista al enviar el torque necesario para mover el triciclo. Es decir, instalar el motor directamente en la rueda sin transmisiones intermedias.

2.4 Tipos de vehículos eléctricos

Los vehículos eléctricos se propulsan total o parcialmente por un motor eléctrico alimentado por baterías que se recargan a través de una toma de corriente y se clasifican en 3 tipos.

2.4.1 Vehículos híbridos

Los vehículos híbridos llevan en si un motor de combustión interna y un motor eléctrico para su funcionamiento principal, reduciendo de esa manera el consumo de combustible y las emisiones. Este tipo de vehículos tienen una mayor eficiencia energética en la que se tienen beneficios económicos y ambientales. Por lo general este tipo de vehículos cuentan con escasa

autonomía en modo eléctrico, por lo que estos motores eléctricos a menudo pueden recorrer unos kilómetros sólo (en los mejores casos), ya que no se puede circular en modo totalmente eléctrico en algunos modelos. (Moreira, 2010)

2.4.2 Vehículos eléctricos

Estos vehículos cuentan con una serie de baterías de ion litio que proporcionan alimentación automatizada a un motor eléctrico, las emisiones y el consumo de combustible es nulo al no poseer un motor de combustión interna. Para su funcionamiento óptimo estos vehículos requieren una recarga adecuada el cual se lo realizara enchufándolos a una red eléctrica, cuya carga suele ser de 7-8 horas. (Moreira, 2010)

2.4.3 Vehículos eléctricos de autonomía extendida

Son vehículos con motor de combustión, el motor de combustión no mueve al vehículo, sólo proporciona energía para recargar las baterías obteniendo una mayor autonomía eficiente para el motor eléctrico, además son enchufables, por lo que se tiene la posibilidad de una recarga eléctrica asimismo el motor de explosión asegura una autonomía optima que ronda los 600 km. (Moreira, 2010)

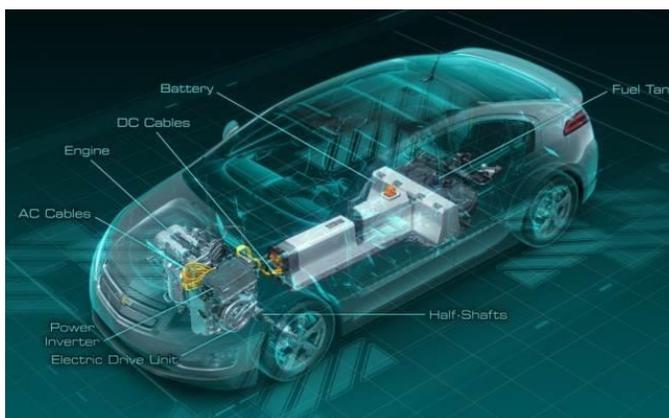


Figura 15 Vehículo eléctrico de autonomía extendida

Fuente: (Bosch, 2015)

2.5 Baterías

2.5.1 Introducción

Desde su invención, las baterías se han mantenido con una evolución que se podría considerar constante. Para el vehículo considerado, las baterías son su corazón, y sin ellas su funcionamiento no sería posible. (Becerril Sandoval, 2014)

Las características de los vehículos eléctricos como: la autonomía, velocidad máxima, tiempo de recarga, costo, etc., van a depender fuertemente del tipo de baterías que se va a utilizar en el diseño y fabricación del vehículo. Por todo ello, la temática de las baterías recargables es una de las más importantes en el campo de los vehículos eléctricos. (Martín Pérez , 2010)

Las baterías comunes más utilizadas, son las convencionales de electrolito líquido. Pero existen otro tipo de baterías, las llamadas “secas”. En el interior de la batería no hay electrolito en estado de fluido, por lo que el electrolito está inmovilizado. Durante su normal funcionamiento las baterías secas no emanan gases al exterior, por tanto es nulo el peligro de corrosión en los exteriores. (Bastidas Arroyo & Cabrera Díaz, 2014)

Técnicamente, hay dos formas de inmovilizar el electrolito:

- Volviendo gelatina al electrolito (o sea GEL);
- Uso de separador, de fibra de vidrio con gran capacidad de absorción, en inglés AGM (Absorbed Glass Mat) como las baterías de ciclo profundo.

2.6 Parámetros eléctricos de las baterías recargables

Las características importantes a tomar en cuenta para seleccionar las baterías es saber ciertos conceptos importantes que ampliarán nuestra visión y conocimiento, para ello, nos basamos en lo que señala el artículo de guía de vehículos eléctricos de Madrid España. (Martín Pérez , 2010)

2.6.1 Fuerza electromotriz, voltaje o potencial (E).

Es el resultado de las interacciones químicas de los materiales activos del cátodo y del ánodo (voltaje de una celda electroquímica), estas interacciones producen energía o fuerza electromotriz que son medidas en voltios. (Martín Pérez , 2010, pág. 119)

2.6.2 Capacidad específica (Q)

Es la cantidad total de carga eléctrica que es capaz de almacenar un acumulador. La unidad utilizada para expresar la cantidad de capacidad específica es el amperio-hora (Ah). Al comparar las diferentes tecnologías de baterías, es muy útil normalizar el valor de la capacidad a la masa total (Ah/kg) o al volumen total (Ah/l) de la batería. (Martín Pérez , 2010, pág. 119)

Las normalizaciones de capacidad y volumen de la batería son significativas, ya que tanto el peso como el volumen de la batería son dos magnitudes de importancia ya que al reducir el peso de los acumuladores de energía eléctrica obtendremos una óptima aplicación en vehículos eléctricos y vehículos híbridos. (Martín Pérez , 2010)

También hay que tener en cuenta los ciclos de vida, para que puedan soportar los ciclos de carga y descarga de un 80% de su capacidad nominal definido. (Martín Pérez , 2010, pág. 119)

2.6.3 Energía específica (W).

La energía específica se refiere a la cantidad total de energía eléctrica que se puede almacenar en la batería. Y se la calcula mediante la siguiente expresión:

$$W_m = \frac{ExQ}{P_{bat}} \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

Dónde:

W_m = Energía específica másica [Wh/Kg]

E = Fuerza electromotriz [V]

Q = Capacidad específica [Ah]

P_{bat} = Peso de la batería [Kg]

2.6.4 Ciclos de vida

Son el número de ciclos carga y descarga que se pueden llevar a cabo hasta que la capacidad de la batería sea el 80% de su valor nominal. En el vehículo eléctrico es muy recomendable que las baterías tengan más de 500 ciclos de vida. (Martín Pérez , 2010, pág. 119)

Es muy importante mencionar que a la hora de decidir cuáles serán los tipos de tecnologías de las baterías para su utilización tener en cuenta aspectos como; tener un bajo impacto medioambiental o que las baterías sean fácilmente reciclables, juegan un papel muy importante en el mundo. Por último, a la hora de tomar una decisión es disponer de baterías con un precio bajo o moderado. (Martín Pérez , 2010, pág. 120)

2.6.5 Temperatura de trabajo

Un exceso de la temperatura, dentro de ciertos límites, aumenta la actividad de los procesos químicos en el interior de la batería y la capacidad de ella. Por otro lado, a bajas temperaturas, la actividad química es menor y la capacidad disminuye. (Martín Pérez , 2010)

2.7 Características de las baterías en vehículos eléctricos

La Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) en México explica que:

La fuente de poder más común en los vehículos eléctricos son las baterías las cuales deben tener las siguientes características:

- Alta potencia específica
- Prolongado ciclo de vida

- Bajo costo
 - Seguridad
 - Simple mantenimiento
 - Proporcionar una correcta estimación de la energía remanente
 - Tener una baja auto descarga
 - Ser recargada rápidamente.
 - Sin riesgo de causar contaminación ambiental cuando sean desechadas.
- (CONAE, 2015)

Tomando en cuenta las características y especificaciones que deben tener las baterías en vehículos eléctricos, el último punto del mencionado artículo es muy importante ya que este proyecto de investigación busca tener el menor impacto posible para que sea un proyecto netamente ecológico, en capítulo 3 seleccionaremos el tipo de batería tomando en cuenta el factor medioambiental y la autonomía necesaria que requiere el triciclo.

2.8 Tipos de baterías utilizadas en autos eléctricos

2.8.1 Plomo-ácido

Los acumuladores de plomo-ácido son las más antiguas y tienen una baja relación entre la electricidad acumulada con el peso y el volumen. Su desventaja es que ocupan mucho espacio y pesan mucho, pero son duraderas y de bajo coste, y la tasa de reciclaje supera el 90%. Para obtener una autonomía de 50 km con una velocidad punta de 70 km/h se necesitan más de 400 kg de baterías de plomo-ácido. El tiempo de recarga puede oscilar entre 8 y 10 horas. (Ceña & Santamarta, 2009)

2.8.2 Níquel cadmio (NiCd)

Este acumulador utiliza un cátodo de cadmio y un ánodo de níquel. El cadmio es un metal pesado y muy tóxico, por lo que han sido prohibidas por la Unión Europea, teniendo una gran duración (más de 1.500 recargas) pero una

baja densidad energética (50 Wh/kg), además de verse afectadas por el efecto memoria es decir se reduce la capacidad de carga. (Ceña & Santamarta, 2009)

2.8.3 Baterías de níquel-hidruro metálico (NiMH)

Las baterías recargables de níquel hidruro metálico almacenan de 2 a 3 veces más electricidad que sus equivalentes en peso de níquel cadmio, aunque también se ven afectadas por el efecto memoria pero en una proporción menor. Estas baterías de níquel cadmio son similares a las baterías recargables de níquel hidruro metálico, pero sin el metal tóxico, por lo que su impacto ambiental es muy inferior. Su densidad energética asciende a unos 80 Wh/kg. (Ceña & Santamarta, 2009)

2.8.4 Iones de litio (LI-ION)

El desarrollo de la telefonía móvil dio paso a nuevas tecnologías como la creación de baterías de iones de litio. Su densidad energética asciende a unos 115 Wh/kg, y no sufren el efecto memoria. Su ciclo de vida es elevado 500-600 ciclos. Recomendadas para usuarios exigentes, se usan mucho en cámaras fotográficas o en aplicaciones altamente fiables, altamente costoso por lo que su Mercado es muy reducido. (RENOVAENERGÍA, 2015)

Cuadro 1

Ventajas y limitación de la batería Ion-Litio

VENTAJAS	LIMITACIONES
Alta densidad de energía capaces de proporcionar altas corrientes	Están sujetas al envejecimiento aunque no sean usadas
Muy bajo porcentaje de auto descarga	Muy costosas
No tienen efecto memoria	Requieren de un circuito de protección para mantener una operación segura
Alto voltaje por celda	Muy contaminantes
Son más ligeras	

Fuente: (Navarrete Chang & Vega Trujillo, 2012)

Sera la siguiente generación que alimentarán de energía a los vehículos híbridos y cien por ciento eléctricos conectados a la red. A pesar de sus indudables ventajas, también presentan inconvenientes como: sobrecalentamiento, alto costo y, sobre todo, las reservas de litio, sujetas a una gran controversia. (Navarrete Chang & Vega Trujillo, 2012)



Figura 16 Bateria Ion Litio

Fuente: (Ceña & Santamarta, 2009)

2.8.5 Baterías de polímero de litio

Estas baterías utilizan una tecnología similar a la de iones de litio, pero con una mayor densidad de energía, diseño muy útil para equipos ultraligeros y una tasa de descarga superior. Entre sus desventajas está la alta inestabilidad de las baterías si la descarga se produce por debajo de cierto voltaje y se sobrecargan. (Ceña & Santamarta, 2009)

2.8.6 Baterías Zebra (NaNiCl)

Estas baterías tienen una alta densidad energética, que operan en un rango de temperaturas que va de 270°C a 350°C, lo que requiere un aislamiento. Son apropiadas para autobuses. (Ceña & Santamarta, 2009)

Tienen desventajas, como pérdidas térmicas cuando no se usa la batería. La distancia que un vehículo eléctrico puede recorrer con este tipo de baterías sin

recargarla va de 60 a 250 kilómetros en modelos actuales o de próxima fabricación. (Ceña & Santamarta, 2009)

Hay que tener en cuenta que la mayor parte de los desplazamientos diarios son inferiores a los 60 km, un vehículo eléctrico consume de 0,12 kwh a 0,30 kwh por kilómetro; para recorrer 100 kilómetros haría falta una batería con una capacidad de 12 kwh a 30 kwh, dependiendo del modelo como: bicicletas eléctricas, motocicletas, triciclos, automóviles, vehículos. (Ceña & Santamarta, 2009)

2.8.7 Baterías plomo-ácido de ciclo profundo

Las baterías de ciclo profundo se refieren en general a las baterías que tienen la capacidad de descargarse completamente cientos de veces. La diferencia de esta batería con la de un automóvil convencional es que la batería del automóvil está hecha para proveer una rápida cantidad de energía miles de veces en su tiempo de vida, ya que la capacidad de descarga es de 50 veces menos y las baterías de ciclo profundo o cíclico están fabricadas para descargarse cientos de veces. Cabe recalcar que en una batería convencional de plomo-ácido disminuye su vida útil bruscamente en poco tiempo al descargarse completamente. (Camacho Cañizares & Guevara Barros, 2014)

A este tipo de baterías también se lo conoce como baterías secas y se la puede encontrar de dos tipos: Gelatina al electrolito (o sea baterías de GEL), o con uso de separador de fibra de vidrio con gran capacidad de absorción, en inglés AGM (Absorbed Glass Mat). (BateríasTotal, 2015)

- **Baterías de Gel:** En estas baterías, el ácido es en forma de gel. Su gran ventaja es que ya no hay líquido que se puede perder, son cerradas y funcionan en cualquier posición. Son más resistentes a bajas temperaturas, la vida útil es mucho mayor que la vida de las baterías líquidas ante descargas profundas. Las desventajas son una resistencia interna poco más alta que reduce el flujo máximo de la corriente, son algo más delicadas

para cargar y llevan un precio mayor. Estas baterías se usan frecuentemente en la industria y la telecomunicación. (BateríasTotal, 2015)



Figura 17 Baterías de gel

Fuente: (SOLUCIONSOLAR, 2015)

- Baterías tipo AGM. En estas baterías, el ácido está fijado en fibras de vidrio. Son cada vez más usadas en aplicaciones solares y eólicos. Sus ventajas además de las antes citadas en las baterías de Gel, es que presentan una mayor resistencia en climas fríos, su auto descarga es mínima y tiene la eficiencia más alta de todas las baterías de plomo ácido (hasta 95%), tienen una baja resistencia interna que permiten corrientes altas. (RENOVAENERGÍA, 2015)

Tabla 1

Prestaciones de las baterías utilizadas en vehículos eléctricos

Tipo de baterías	Energía (Wh/kg)	Energía/Volumen (Wh/litro)	Potencia/Peso (W/kg)	Número de ciclos	Eficiencia energética %
Zebra (NaNiCl)	125	300		1000	92.5
Polímero de Litio	200	300	3000	1000	90
Iones de litio	125	270	1800	1000	90
Níquel-Hidruro metálico (NiMH)	70	140-300	250-1000	1350	70

CONTINÚA



Níquel Cadmio (NiCd)	60	50-150	150	1350	72.5
Plomo-ácido	40	60-75	150	600	82.5

Fuente: (Ceña & Santamarta, 2009)

2.9 Modelo matemático del sistema motriz

La teoría de control es una parte fundamental de los estudio de sistemas dinámicos, para poder obtener el desempeño deseado de un sistema motriz, lo primero que se debe saber es su respuesta ante las distintas condiciones de operación. Una forma de entender la dinámica de un sistema es la obtención de un modelo matemático abstracto, el cual es obtenido mediante la aplicación de leyes físicas que rigen su comportamiento, como las leyes de Newton para sistemas mecánicos. Este modelo matemático es un conjunto de ecuaciones que representan de forma aproximada la respuesta del sistema. (Ogata, 203)

Para un buen desempeño del triciclo, en pendiente tendrá que cumplir con la Segunda ley de Newton que plantea que la sumatoria de fuerzas en el eje x es igual a la masa del cuerpo en movimiento por la aceleración que este tenga. Las ecuaciones para el cálculo de la fuerza de tracción fueron tomadas de: (Larminie, 2003, págs. 184-187).

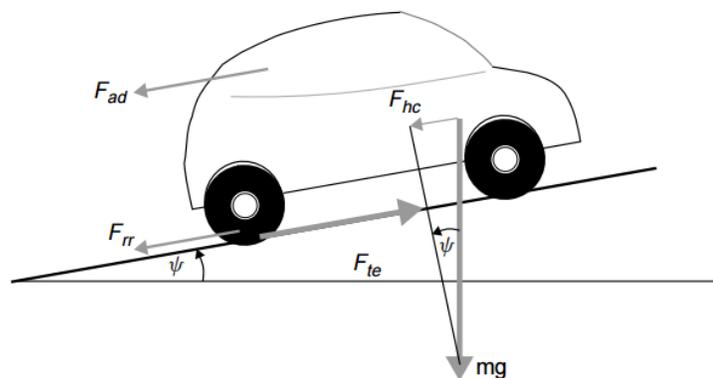


Figura 18 Fuerzas que actúan en un vehículo en una pendiente

Fuente: (Larminie, 2003)

$$F_{te} - F_{rr} - F_{ad} - F_{hc} = m \cdot a \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

Donde:

F_{te} = Fuerza de tracción que es la que impulsa al vehículo eléctrico. [N]

F_{rr} = Fuerza de fricción entre la superficie a rodar y los neumáticos. [N]

F_{ad} = Fuerza de fricción con el viento. [N]

F_{hc} = Componente del peso del vehículo a lo largo de la pendiente. [N]

2.9.1 Fuerza de fricción entre la superficie a rodar y los neumáticos (F_{rr}).

Esta fuerza es la que se opone al movimiento del vehículo por que produce fricción (energía convertida en calor) entre los neumáticos y la superficie donde se esté desplazando el vehículo, para realizar este cálculo dependerá mucho la superficie por donde vayamos a rodar el vehículo.

$$3. \quad F_{rr} = U_{rr} * m * g * \cos(\psi) \quad \text{Ecuación (2.3)}$$

Donde:

U_{rr} = Coeficiente de rozamiento dinámico entre caucho y asfalto (0.015) (Kindler, 1986).

m = Masa del vehículo eléctrico. [Kg]

4. ψ = Ángulo de la pendiente en grados. [°]

2.9.2 Fuerza de fricción con el viento (F_{ad}).

Esta fuerza se aplica sobre la sección transversal del triciclo debido a que estará en movimiento y será ejercida por la acción del viento en contra del avance del triciclo y será negativa por estar opuesta al movimiento. En situaciones reales esta podría cambiar de sentido y ser positiva si el viento estuviera en el mismo sentido del movimiento, pero por motivo de diseño se la considera contraria.

$$F_{ad} = \frac{1}{2} * \rho * A * C_d v^2 \quad \text{Ecuación (2.4)}$$

Donde:

ρ = Densidad del aire. [Kg/m^3]

A = Sección transversal del triciclo en. [m^2]

C_d = Coeficiente aerodinámico 0.3 a 0.8 en vehículos de turismo (Kindler, 1986)

v^2 = Producto de la velocidad del triciclo m/s (la fuerza de fricción con el viento es directamente proporcional a la velocidad del vehículo, más velocidad mayor fuerza). [Km/h]

2.9.3 Componente del peso del vehículo a lo largo de la pendiente (F_{hc}).

Constituye la sumatoria de fuerzas que más exige al motor eléctrico, ya que la fuerza del peso aumenta su magnitud mientras mayor es el ángulo de la pendiente, esta fuerza, es la componente del peso sobre el eje x, cuando el vehículo se desplaza en una pendiente.

$$F_{hc} = m * g * \text{sen}(\psi) \quad \text{Ecuación (2.5)}$$

Donde:

m = Masa del vehículo eléctrico. [Kg]

g = Gravedad. [$\frac{m}{s^2}$]

5. ψ = Ángulo de la pendiente en grados. [$^\circ$]

2.9.4 Fuerza de tracción que es la que impulsa al vehículo eléctrico (F_{te}).

Esta es la fuerza que necesita proveer el motor eléctrico para impulsar al triciclo, despejando la fuerza de tracción eléctrica de la ecuación (2.2) tenemos:

$$F_{te} = m \cdot a + F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} \quad \text{Ecuación (2.6)}$$

2.10 Sistema de propulsión

La propulsión eléctrica es la interfaz entre las baterías y las ruedas del vehículo, transfiriendo energía en la dirección requerida, con alta eficiencia y controlando la etapa de potencia todo el tiempo. Un sistema de propulsión eléctrico puede ser dividido en 2 partes: Sistema de potencia y Sistema alimentación.

- Sistema de potencia incluye el motor, y el controlador electrónico.
- Sistema de alimentación incluye las baterías y los respectivos cargadores para las mismas.

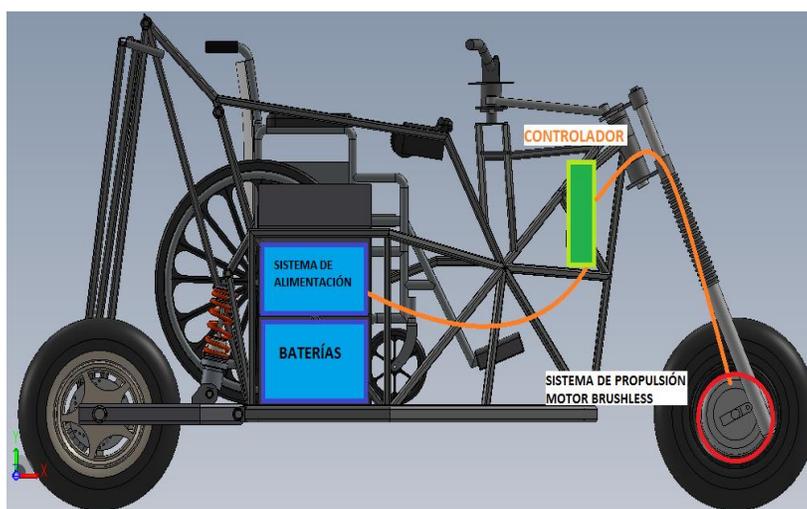


Figura 19 Esquema del sistema de propulsión del triciclo eléctrico

El límite entre las baterías y el controlador es el núcleo del motor, donde la conversión de energía electromecánica toma lugar. La propulsión eléctrica, principalmente la electrónica de potencia, juega un rol muy importante en los vehículos, motos, bicicletas o triciclos eléctricos, algunas veces esto se describe como el corazón de los estos vehículos eléctricos. (Palafox, 2009)

2.11 Características del sistema de propulsión

- Motor eléctrico, que convierte la potencia eléctrica en potencia mecánica o movimiento.
- Convertidor de frecuencia o controlador, que transforma la potencia eléctrica de la red de forma regulada (regulación electrónica de velocidad).
- Sistema de alimentación, este sistema está compuesto por baterías, que alimentaran con energía eléctrica al motor.

2.12 Motor

Los motores eléctricos son máquinas que transforman la energía eléctrica en energía mecánica. Su funcionamiento se basa en las fuerzas electromagnéticas existentes entre el imán y el bobinado. Los motores empleados en bicicletas, motos o triciclos eléctricos son casi en su totalidad motores de imanes permanentes con o sin escobillas, estos motores tienen la densidad de potencia más alta.

2.13 Tipos de motores eléctricos

2.13.1 Motores de imán permanente sin escobillas DC

- **Motor serie:** En éste, el estator y el rotor se conectan en serie y, la misma corriente pasa a través de ambos. En esta configuración, el par se incrementa en proporción al cuadrado del incremento de la corriente.
- **Motor Shunt:** En este tipo de motores, los circuitos del rotor y el estator se conectan en paralelo; hay que tomar en cuenta, que el par y la velocidad de estos motores son relativamente independientes de la carga.
- **Motor compuesto:** Este motor, es una combinación de un motor serie y un motor shunt. Tiene dos ramales de circuitos básicos; una envolvente del circuito alrededor del estator, y el otro es un circuito serie que incluye tanto estator como rotor.

- **Magnetismo permanente (PM) o Brushless:** Estos motores dependen del magnetismo inherente de los materiales, para crear un campo magnético con motores que pueden tener hasta 600 HP. Sin embargo, la mayoría de los motores PM son de tipo DC sin escobillas. (Bastidas Arroyo & Cabrera Díaz, 2014).

2.13.2 Motor de magnetismo permanente o brushless (BLDC).

A este tipo de motores también se los conoce como motores brushless, por su denominación en inglés, estos son conmutados electrónicamente (ECM), es un tipo de motor sin escobillas que tiene control del par y velocidad. (Abatta Jácome & Moya Llano , 2013)

Un BLDC tiene un rotor con imanes permanentes y un estator con bobinado, las escobillas y el colector han sido eliminados, los devanados están conectados a la electrónica de control, dicha electrónica reemplaza la función de energizar el devanado adecuado. (Abatta Jácome & Moya Llano , 2013)

El devanado se energiza en un patrón que gira alrededor del estator. El estator devanado energizado lleva al imán del rotor, y conmuta al igual que el rotor que se alinea con el estator.

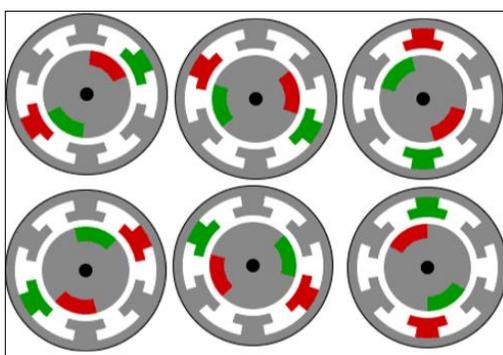


Figura 20 Motor Brushless principio de funcionamiento

Fuente: (Abatta Jácome & Moya Llano , 2013)

Las escobillas de un motor de corriente continua tienen varias limitaciones, ruido, limitada vida del colector, limitada velocidad máxima, entre otras. Los

motores BLDC son potencialmente más limpios, más rápidos, más eficientes, menos ruidosos, más fiables y no producen chispas. Sin embargo, el motor BLDC requiere control electrónico, siendo este el motor BLDC el más apto para vehículos o motocicletas eléctricas. (Abatta Jácome & Moya Llano , 2013)

a) Ventajas de motores brushless (BLDC)

Estos motores tienen ciertas ventajas de rendimiento sobre los motores de corriente alterna, especialmente en aplicaciones con amplias variaciones en carga y velocidad, pues una de sus características, es mantener eficiencias relativamente altas a cargas de motor bajas.

Esos motores no requieren escobillas, y por lo tanto no necesitan mantenimiento normalmente asociados con los motores de corriente continua, además son competitivos por su capacidad de desarrollar múltiples aplicaciones de eficiencia energética, una desventaja de los motores brushless es su tendencia a acumular magnetismo cuando el motor esta sin uso y se lo hace rodar.

2.13.3 Motores sincrónicos de imán permanente AC

El motor sincrónico de imán permanente (PMSM), es un motor de corriente alterna sincronizado, cuyo campo de excitación es proporcionado por imanes permanentes. La parte que no se mueve se la denomina estator y está construida por bobinados y la parte móvil o rotor constituido por imanes permanentes. (Guru & Hiziroglu, 2003)

La densidad de potencia en el motor síncrono de imanes permanentes es mayor que la de los motores de inducción con las mismas calificaciones debido a que la potencia del estator no es dedicada a la producción del campo magnético. La distribución de los imanes permanentes genera un BEMF en el PMSM de forma sinusoidal. (Guru & Hiziroglu, 2003)

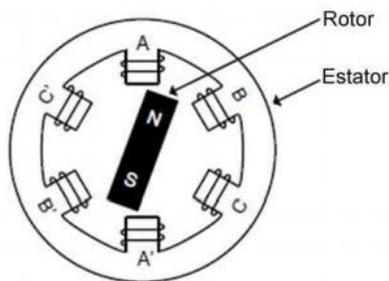


Figura 21 Motor de trifásico con un imán permanente (PMSM)

Fuente: (Padmaraja , 2003)

Un PMSM proporciona una rotación a una velocidad fija de forma sincronizada con la frecuencia de la fuente de alimentación, independientemente de la fluctuación de la tensión de la línea. El motor funciona a una velocidad fija sincronizada con la frecuencia del inversor, con cualquier torque hasta el límite de funcionamiento del motor. Por eso son ideales para las unidades de alta precisión de velocidad fija. (Padmaraja , 2003)

2.14 Comparación de motor con escobillas (Brushed) vs. Un motor sin escobillas (Brushless).

Cuadro 2

Comparación de motor Brushless vs motor Brushed

Parámetros	MOTOR BRUSHLESS DC	MOTOR BRUSHED AC
Conmutación	Conmutación electrónica basada en transistores y sensores de posición de efecto Hall en algunos casos.	Conmutación por escobillas
Mantenimiento	Mínimo	Periódico
Durabilidad	Mayor	Menor
Curva Velocidad / par	Plana. Operación a todas las velocidades con la carga definida	Moderada. A altas velocidades la fricción de las escobillas se incrementa, reduciendo el par.
Eficiencia	Alta. Sin caída de tensión por	Moderada

CONTINÚA



	la ausencia de escobillas.	
Potencia de salida / Tamaño	Alta. Menor tamaño debido a mejores características térmicas porque los bobinados están en el estator, que al estar en la carcasa tiene una mejor disipación de calor	Baja. El calor producido en la armadura es disipado en el interior aumentando la temperatura y limitando las características.
Inercia del rotor	Baja. Debido a los imanes permanentes en el rotor	Alta. Limita las características dinámicas.
Rango de velocidad	Alto. Sin limitaciones mecánicas impuestas por escobillas/conmutador.	Bajo. El límite lo imponen principalmente las escobillas
Ruido eléctrico generado	Bajo.	Arcos en las escobillas
Coste de construcción	Complejo y caro	Simple y barato.
Requisitos de control	Un controlador es requerido siempre para mantener el motor funcionando. El mismo puede usarse para variar la velocidad.	No se requiere control si no se requiere una Variación de velocidad.
Conexión de bobinados	Conexión triangulo estrella	Conexión Triangulo
Método de Reversa	Cambiando la lógica	Cambiando la polaridad del voltaje

Fuente: (Yumbo & Reyes, 2012)

2.15 Características de los motores DC en tracción eléctrica

- Los motores DC generan mayor torque, en un vehículo eléctrico se puede prescindir de transmisión ya sea directamente el control de velocidad y sentido de giro del motor eléctrico el que determine la velocidad y dirección del vehículo. (Camacho Cañizares & Guevara Barros, 2014)
- Los motores DC utilizan la corriente directamente de las baterías es por eso que la conexión de control es más simple. (Camacho Cañizares & Guevara Barros, 2014)

- No requieren sistemas de refrigeración porque generan menos calor que un motor de inducción de corriente alterna por lo que se desperdicia menos energía. (Camacho Cañizares & Guevara Barros, 2014)
- Los motor DC puede funcionar como un generador, dependiendo su forma de conexión por lo que se puede aprovechar esta capacidad para utilizar al motor como un freno regenerativo al aprovechar la energía cinética del vehículo para recargar las baterías ayudando a que los vehículos eléctricos tengan una óptima autonomía. (Camacho Cañizares & Guevara Barros, 2014)

2.16 Características de los motores CA en tracción eléctrica.

- Los motores de corriente alterna en la propulsión de vehículos eléctricos es más costosa y compleja debido a que la alimentación de corriente directa de las baterías debe ser convertida a corriente alterna para esto el vehículo necesita un inversor de tensión. (Camacho Cañizares & Guevara Barros, 2014)
- Los circuitos de control de velocidad son más complejos, y todo el sistema es más caro porque la industria del vehículo eléctrico no ha desarrollado la infraestructura necesaria para bajar los costos. (Camacho Cañizares & Guevara Barros, 2014)
- El rendimiento de un motor de corriente alterna es más elevado que el de un motor de DC, estos motores alcanzan altas velocidades en períodos cortos de tiempo. (Camacho Cañizares & Guevara Barros, 2014)
- Los sistemas de corriente alterna son más sencillos y seguros de instalar frente a los de corriente continua que con una falla pueden causar un cortocircuito de la batería entera, lo que puede causar que el motor se incendie, mientras que un inversor de corriente alterna soplado, simplemente falla y detiene al vehículo eléctrico. (Camacho Cañizares & Guevara Barros, 2014).

2.17 Controladores de motores eléctricos

El controlador, es el componente más importante para el funcionamiento del motor eléctrico brushless, y en la actualidad en su mayoría son muy eficientes.

Las funciones principales del controlador en el motor eléctrico, son:

- Regulación de velocidad
- Regulación de par

Su principal objetivo es limitar el arranque del motor eléctrico, ya que este puede exigir enorme intensidad eléctrica, tanto como las baterías o la fuente de alimentación se lo permitan. (Abatta Jácome & Moya Llano , 2013)

2.17.1 Controlador Multiswitching

Este tipo de controlador es el más simple en la limitación de velocidad. El controlador Multiswitching usa filas de baterías separadas por paquetes que suministran diversas tensiones. Por ejemplo, si nos fijamos en un paquete con un total de 120 V este puede ser separado en cuatro secciones, cada sección daría una tensión independiente de 30 V, en un inicio, una sección de baterías está activada, dando 30 V, lo que limita la tensión y la corriente en el comienzo. A medida que el vehículo comienza a desplazarse, otra sección de baterías se conecta añadiendo 30 V, este paquete de cuatro secciones (Figura 22) nos indica que el controlador tiene 4 velocidades. (Abatta Jácome & Moya Llano , 2013)

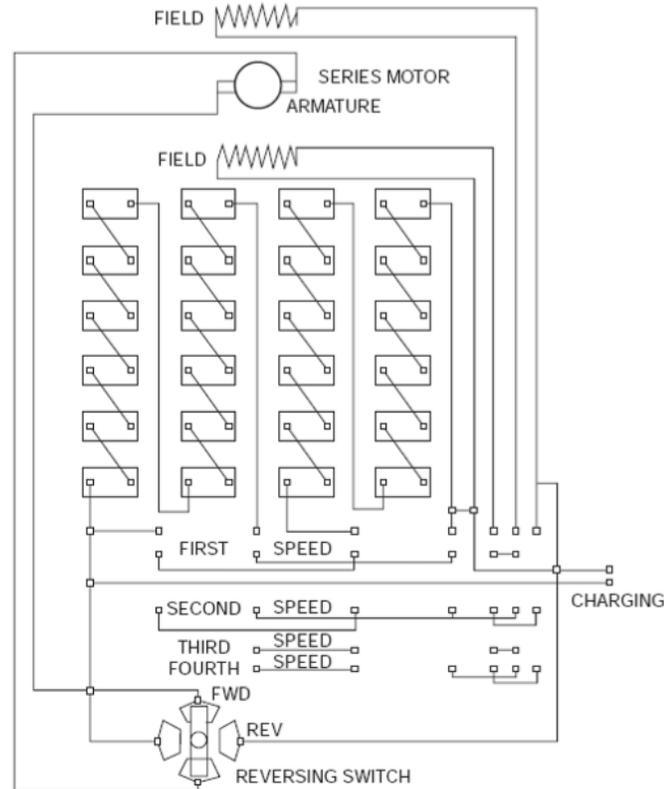


Figura 22 Sistema Multiswitching

Fuente: (Abatta Jácome & Moya Llano , 2013)

2.17.2 Controlador de estado sólido

A finales de 1960, el rectificador de silicio (SCR) y la técnica de modulación por ancho de pulso fue la que provocó el desarrollo del controlador de estado sólido (Figura 23). Estos productos electrónicos son usados para cambiar rápidamente de encendido a apagado para variar la velocidad del motor.

Los SCR fueron una gran mejora, pero funciona a una frecuencia de conmutación baja, por lo general alrededor de 400 Hz, lo que creó un sonido audible. A finales de 1970, los moduladores de ancho de pulso fueron avanzando tecnológicamente en el desarrollo de controladores, principalmente de metal óxido-semiconductor (MOSFET). Esto finalmente dio un funcionamiento de forma suave y eficiente para controlar el motor. (Abatta Jácome & Moya Llano , 2013)

A diferencia de los controladores de SCR, estos suelen operar en 15,000 a 18,000 Hz, así por encima del rango de audición humana. La frecuencia de conmutación más alta, crea una operación suave del motor. Esto hace que sean silenciosos, generalmente incluyen algún tipo de limitador de corriente para proteger el motor contra daños. (Abatta Jácome & Moya Llano , 2013)



Figura 23 Controlador solido tipo Curtis

Fuente: (Abatta Jácome & Moya Llano , 2013)

2.17.3 Controlador moderno electrónico

Hoy en día, el controlador PWM (modulación por ancho de pulso) es típico en la mayoría de los vehículos eléctricos (Figura 24). Se enciende y se apaga a velocidades muy altas para controlar la rapidez con que desea ir.

Se trata de un dispositivo sólido que utiliza un modulador de ancho de pulso que envía corto ráfagas de corriente al motor en pulsos a una tasa de 15 kHz. La mayoría de los controladores tienen seguridades por ellos mismos por ejemplo:

- Corte por baja tensión
- Condiciones de sobrecalentamiento

Reduciendo la corriente de alimentación o incluso la desconexión temporal si es necesario.



Figura 24 Controlador KEB (24-72 V)

a) Corte por baja tensión

La mayoría de los controladores actualmente tienen la característica de corte por baja tensión, en algunos controladores, esta función se puede programar.

Si se encuentra en una situación de emergencia y el vehículo se detiene, a las baterías, si se deja pasar entre 15 a 20 minutos, volverán a la vida lo suficiente para poder rodar unos pocos kilómetros hasta conseguir un lugar para poder cargarlas.

b) Sobretemperatura en el controlador

El corte de energía por sobretemperatura es una característica de todos los controladores como medida de seguridad para no quemar el controlador o peor aún, provocar un incendio eléctrico.

El controlador cambia la frecuencia cuando existe sobretemperatura de 15 a 1 kHz, proporcionando un tono audible, alertando al operador de la sobretemperatura, al hacer esto, el controlador reduce la potencia, haciendo que la acumulación de calor alcance límites de funcionamiento normal.

Si la temperatura sigue aumentando debido a un enfriamiento inadecuado y alcanza un límite excesivo, se apagará completamente como una característica de funcionalidad que tiene el controlador, si el recorte de energía por

sobrettemperatura se produce con frecuencia en la operación normal del vehículo, el controlador es insuficiente para la aplicación o necesitara un controlador adecuado para el triciclo o vehículo eléctrico.

2.18 Frenado regenerativo

El freno regenerativo permite reducir la velocidad de un vehículo transformando parte de su energía cinética en energía eléctrica. Se basa en el principio de que un motor eléctrico puede ser utilizado como generador.

2.18.1 Funcionamiento del freno regenerativo

Los estados de funcionamiento de un motor de C.C. se pueden representar gráficamente como se muestra (ver figura 25), en la que se utiliza un sistema de coordenadas en el eje vertical que representa la fuerza electromotriz (F.E.M.) y en el eje horizontal la corriente inducida, como la F.E.M. es proporcional a la velocidad, el eje vertical también será de velocidades. Del mismo modo, el par se representa en el eje horizontal porque es proporcional a la corriente. (Yumbo & Reyes, 2012)

En los cuadrantes I y III, el producto f.e.m. por intensidad es positivo y el motor está absorbiendo energía eléctrica para convertirla en energía mecánica, es decir, se está comportando como motor, por lo tanto la potencia es positiva

En los cuadrantes II y IV, el producto es negativo por lo que la máquina devuelve energía eléctrica, es decir, se comporta como generador. El controlador es el elemento que hace que el motor pueda trabajar en esos cuadrantes por lo que podrá ser:

- De un cuadrante si únicamente puede suministrar corriente para alimentar el motor.
- De dos cuadrantes si puede absorber la corriente generada por el motor cuando éste gira más rápido que la velocidad establecida.
- De cuatro cuadrantes si también se puede invertir y absorber la corriente generada en ambos sentidos.

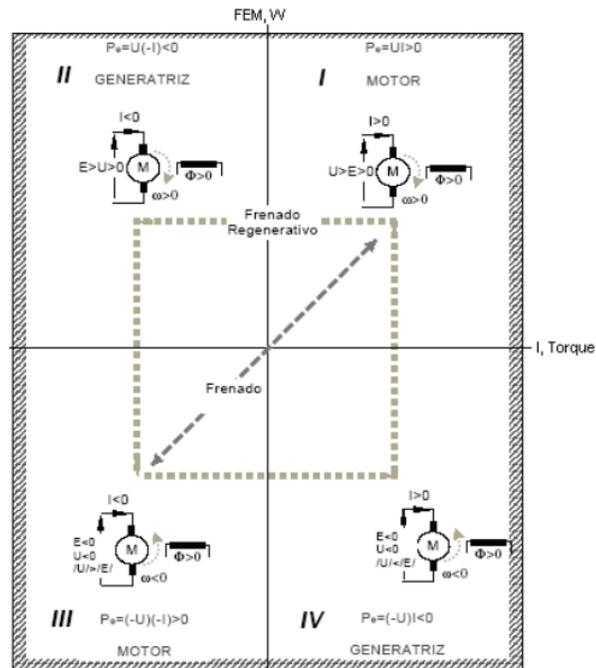


Figura 25 Estados de funcionamiento de un motor/generador

Fuente: (Yumbo & Reyes, 2012)

Para realizar el frenado del motor brushless, es necesario, como en cualquier otro motor de CC, aumentar la carga en el bobinado, de tal manera que el campo generado en éste aumente, disminuyendo la velocidad del rotor. Cuando el controlador ordena a un motor que disminuya la velocidad, éste responde perdiendo la energía que tiene acumulada por inercia a causa de la entrega de energía a las baterías. (Yumbo & Reyes, 2012)

El objetivo del frenado regenerativo es no disipar la energía en calor como realiza el frenado convencional usando freno mecánico o una resistencia, sino aprovechar esta energía para recargar la batería que alimenta el motor. La teoría electromagnética nos dice que se genera un campo proporcional a la velocidad, cuando se mueve un dipolo magnético en el espacio. Este campo es inducido en las bobinas, de las que están compuestas las fases del motor, generando una F.E.M. de retorno inducida para tener un par mayor a cero. (Yumbo & Reyes, 2012)

Esta energía puede ser utilizada cuando el motor deja de ser excitado, ya que es proporcional a la velocidad y por lo tanto a la inercia, en el momento de frenar para recargar las fuentes de alimentación. La información sobre la energía en cada una de las fases del motor cuando no se está alimentando, se puede obtener de los sensores que indican la posición del rotor. (Yumbo & Reyes, 2012)

2.19 Elementos eléctricos y electrónicos

2.19.1 Elementos de control

Está conformado por los siguientes elementos: controlador y palanca de control o acelerador electrónico.

a) Controlador

Es un dispositivo electrónico que permite controlar el flujo de voltaje hacia el motor eléctrico, KEB48601F Kelly Controls, es un controlador programable, se lo realiza mediante un software a través del ordenador o de una laptop, ya que permite comunicarse por el protocolo RS232.



Figura 26 Conexión del KEB Controller al Pc mediante el cable RS232

Fuente: (Copyright Controlador Kelly., 2008)

El controlador tiene una función similar al del carburador en un motor de combustión interna, es decir permite y regula el paso de voltaje hacia el motor eléctrico, mediante un circuito de control implementado en su diseño. En el siguiente gráfico se representa la función básica del controlador.

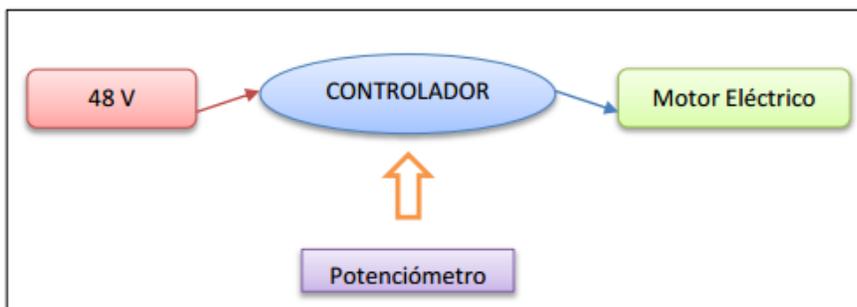


Figura 27 Función del controlador

Fuente: (Tutillo Taipe, 2014)

b) Palanca de control o acelerador electrónico.

Para los motores eléctricos se utilizan aceleradores de tipo electrónico, los cuales trabajan enviando señales mediante un sensor de “efecto hall” hacia el controlador.

Para su funcionamiento requiere alimentación (+5V), y masa. Devuelve como señal una onda de amplitud variable (0,9V- 4,8V), dependiendo de los deseos del conductor 0-100% de aceleración (Fernández & Efrén, 2012).



Figura 28 Acelerador para motor eléctrico

Fuente: (Yumbo & Reyes, 2012)

2.19.2 Elementos de activación

Son los elementos que brindarán la activación automática o manual del circuito eléctrico.

a) Contactor y relé

Los relés y los contactores son equipos parecidos a un interruptor con la diferencia de que los interruptores son comandados por la mano del usuario y los relés y contactores son comandados por una tensión. Por tanto un relé o un contactor es un interruptor automático; con él podemos realizar diversas combinaciones y sus aplicaciones son múltiples.

Las clases y características de los relés varían según la función a realizar en diferentes aplicaciones eléctricas electrónicas, tanto los relés como los contactores hacen la misma función (abrir y cerrar contactos), pero para distintas potencias, es decir hay que saber diferenciar entre relé y contactor para sus aplicaciones .

b) Interruptor

Un interruptor eléctrico es un dispositivo que permite desviar o interrumpir el paso de la corriente eléctrica. En la actualidad estos interruptores tienen aplicaciones innumerables, van desde un simple interruptor que apaga o enciende una bombilla, hasta un complicado selector de transferencia automático de múltiples capas, controlado por computadora en diferentes campos.

2.19.3 Elementos de conexión

a) Conductores

Son materiales que deberá resistir el paso de la electricidad, los mejores conductores eléctricos son de metales, como el cobre, el oro, el hierro y el aluminio, y sus aleaciones, aunque existen otros materiales no metálicos que

también poseen la propiedad de conducir la electricidad, como el grafito o las disoluciones y soluciones salinas (por ejemplo, el agua de mar) o cualquier material en estado de plasma. (Sandoval, 2013)

b) Terminales

Un terminal es el punto en que un conductor de un componente eléctrico, dispositivo o red llega a su fin y proporciona un punto de conexión de circuitos externos. El terminal puede ser simplemente el final de un cable o puede estar equipado con un conector o tornillo. (Sandoval, 2013)

2.19.4 Elementos de seguridad

a) Fusibles

Los fusibles son dispositivos que permiten el paso constante de la corriente eléctrica hasta que ésta supera el valor máximo permitido de acuerdo a su resistencia. Cuando aquello sucede, entonces el fusible, inmediatamente, cortará el paso de la corriente eléctrica a fin de evitar algún tipo de accidente, protegiendo los aparatos eléctricos de "quemarse" o estropearse.

b) Diodo

Un diodo es un componente electrónico de dos terminales que permite la circulación de la corriente eléctrica a través de él en un solo sentido. Este término generalmente se usa para referirse al diodo semiconductor, el más común en la actualidad; consta de una pieza de cristal semiconductor conectada a dos terminales eléctricos. (Sandoval, 2013)

2.20 Accesorios eléctricos

2.20.1 Iluminación eléctrica

Especialmente con las motocicletas y los ciclomotores, una iluminación óptima es de decisiva importancia: En la oscuridad, las motos son

considerablemente más difíciles de ver que los coches. Además de que, incluso los pequeños obstáculos y baches pueden plantear serios riesgos para el conductor. Por consiguiente, deben ser capaces de confiar 100% en sus lámparas y faros. Una adecuada luz hace mucho más visible la moto para todos los motoristas, ofrece al conductor una perfecta visión de la carretera y por tanto incrementa el confort en la conducción incluso en malas condiciones meteorológicas.



Figura 29 Accesorios eléctricos de una moto

Fuente: (Nergiza, 2014)

2.20.2 Velocímetro

Sirve para medir tanto la velocidad del vehículo como los kilómetros recorridos por el mismo. Una aguja indica sobre una escala graduada la velocidad actual del vehículo. Para medir los kilómetros recorridos utiliza unos tambores numerados que van incrementado una cifra que representa el número de kilómetros. (Meganeboy, 2014)

Para medir la velocidad de los kilómetros recorridos, se necesita de un elemento que transmita la velocidad de las ruedas hasta el velocímetro. De esto se encarga un cable flexible que gira en el interior de una funda y que va conectado a la caja de cambios o un piñón que va conectado a la rueda en caso de motos. (Meganeboy, 2014).

Los tipos de velocímetros que hay son: mecánico, electrónico y digital.

CAPÍTULO III

3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Antes de empezar a realizar el diseño y construcción del sistema motriz del triciclo monoplaza eléctrico se procederá a realizar los cálculos necesarios para la implementación del sistema motriz y a investigar las características del motor, el controlador y las baterías que necesitara el triciclo para que cumpla con la autonomía necesaria a la que está proyectada, y así seleccionar los componentes que se utilizaran para la construcción y montaje de las mismas.

3.1 Cálculo dinámico del sistema motriz

Los parámetros que debemos tomar para empezar con los cálculos son los siguientes:

- Peso total del vehículo (incluido los ocupantes)
- Velocidad de circulación del vehículo
- Porcentaje de pendiente que va a subir el vehículo
- Aceleración que tiene el vehículo en movimiento

Para calcular la potencia que va a impulsar el triciclo se necesita plantear en base a las condiciones más exigentes (pendientes) que se tiene en el recorrido de la ciudad de Latacunga, esto significa que tendrá que impulsar a una persona con discapacidad en sus extremidades inferiores con su respectiva silla de ruedas (70 Kg persona, 20 Kg silla de ruedas) en una pendiente del 15% (ver tabla 2), a una velocidad promedio de 15 km/h. Si esta condición se cumple, entonces el triciclo podrá cumplir con las demás condiciones del recorrido, ya que el recorrido elegido mostrado en la figura 30, está compuesta por ligeras pendientes y superficies planas.

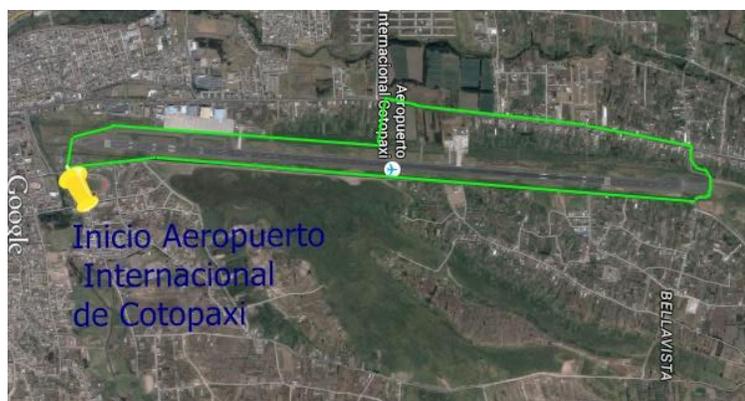


Figura 30 Recorrido del triciclo

Tabla 2

Equivalencia entre grados de pendiente y porcentaje.

PORCENTAJE DE PENDIENTES (%)	GRADOS DE PENDIENTES (°)	PORCENTAJES DE PENDIENTES (%)	GRADOS DE PENDIENTES (°)
5%	2,86°	55%	28,81°
10%	5,71°	60%	30,96°
15%	8,53°	65%	33,02°
20%	11,31°	70%	34,99°
25%	14,04°	75%	36,87°
30%	16,70°	80%	38,66°
35%	19,29°	85%	40,36°
40%	21,80°	90%	41,99°
45%	24,23°	95%	43,53°
50%	26,57°	100%	45,00°

Fuente: (Regrabables, 2011)

Los vehículos eléctricos están diseñados para recorrer en lugares planos con pendientes poco pronunciadas para poder tener una autonomía considerable, por lo tanto el triciclo eléctrico está diseñado con estos parámetros.

3.2 Fuerzas actuantes sobre el triciclo eléctrico en pendientes

3.2.1 Cálculo de la fuerza de fricción entre la superficie a rodar y los neumáticos (F_{rr})

Para el cálculo de la (F_{rr}) utilizamos la ecuación (2.3)

$$F_{rr} = U_{rr} * m * g * \cos(\psi)$$

$m = 400$ Kg masa total del triciclo eléctrico (ver tabla 3.2)

$\psi = 8,53^\circ$ para una pendiente de 15%(ver tabla 3.1)

$$F_{rr} = 0.015(400\text{kg}) \cdot \left(9,8 \frac{m}{s^2}\right) \cdot \cos(8,53^\circ)$$

$$F_{rr} = 58.15 \text{ N}$$

3.2.2 Cálculo de la fuerza de fricción con el viento (F_{ad}).

Antes de calcular la (F_{ad}) primero vamos a calcular la sección transversal del triciclo los datos obtenidos para el cálculo son medidas reales del prototipo (ver figura 31).

Cálculo de la sección transversal:

$$A = \text{Ancho} * \text{Alto}$$

$$A = 1.40 \text{ m} * 1.20 \text{ m}$$

$$A = 1.68 \text{ m}^2$$

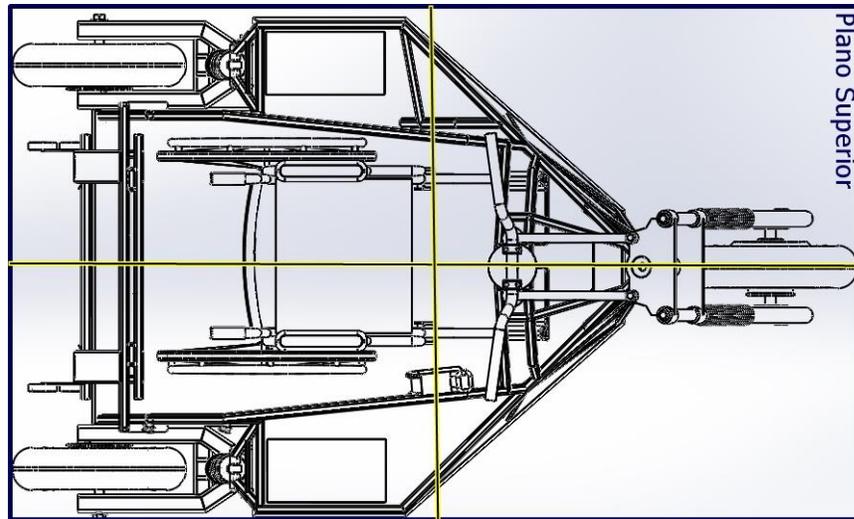


Figura 31 Sección transversal del triciclo

Cálculo de la sección transversal:

$$A = \text{Ancho} * \text{Alto}$$

$$A = 1.40 \text{ m} * 1.20 \text{ m}$$

$$A = 1.68 \text{ m}^2$$

Por aumentar de la autonomía y ahorrar de energía eléctrica, la velocidad con la que se calculara la fuerza de fricción con el viento es de $4.167 \frac{m}{s}$ equivalente a $15 \frac{Km}{h}$, se consideró que ésta será la velocidad apropiada para subir las pendientes, mientras que en superficies planas la velocidad máxima estimada es de $35 \frac{Km}{h}$ para lo cual utilizamos la ecuación (2.4).

$$F_{ad} = \frac{1}{2} * \rho * A * C_d v^2$$

ρ = Densidad del aire a la cual se encuentra ubicada la ciudad de Latacunga es de 0.833 Kg/m^3 a 2750 m.s.n.m altitud

$$F_{ad} = \frac{1}{2} * \left(0.833 \frac{Kg}{m^3}\right) * (1.68 \text{ m}^2) * (0.5) * \left(4.167 \frac{m}{s}\right)^2$$

$$F_{ad} = 6.075 N$$

3.2.3 Cálculo del componente del peso del vehículo en la pendiente (F_{hc})

El peso aplicado para este cálculo, es el peso total, incluyendo los pasajeros y las baterías, tal como se muestra a continuación.

Tabla 3
Peso total del prototipo

COMPONENTE	PESO EN KG
Carrocería	40
Chasis	130
Motor eléctrico	20
Baterías	120
Silla de ruedas	20
Pasajero	70
TOTAL	400 KG

$$F_{hc} = m * g * \text{sen}(\psi)$$

$$F_{hc} = (400 Kg) \cdot \left(9,8 \frac{m}{s^2}\right) \cdot \text{sen}(8.53^\circ)$$

$$F_{hc} = 581.44 N$$

3.2.4 Cálculo de la fuerza de tracción eléctrica total (F_{te}).

Para el cálculo de la fuerza de tracción eléctrica total utilizamos la ecuación (2.5), esta es la fuerza que necesita proveer el motor eléctrico para impulsar al triciclo, la aceleración que se tomó para el cálculo es $0,04 \frac{m}{s^2}$ según (Larminie,

2003) por ser una pendiente que va a subir un vehículo eléctrico necesitamos mantener una aceleración pequeña alcanzando una velocidad de 15 km/h.

$$F_{te} = m \cdot a + F_{rr} + F_{ad} + F_{hc}$$

$$F_{te} = (400Kg) \cdot \left(0,04 \frac{m}{s^2}\right) + 58.15N + 6.075 N + 581.44 N$$

$$F_{te} = 661.66 N$$

Esta fuerza va variando de acuerdo al porcentaje de pendiente (en grados °) en el que se encuentre desplazándose el vehículo, los resultados de estos cálculos para diferentes grados de inclinación se detallan a continuación (ver figura 32).

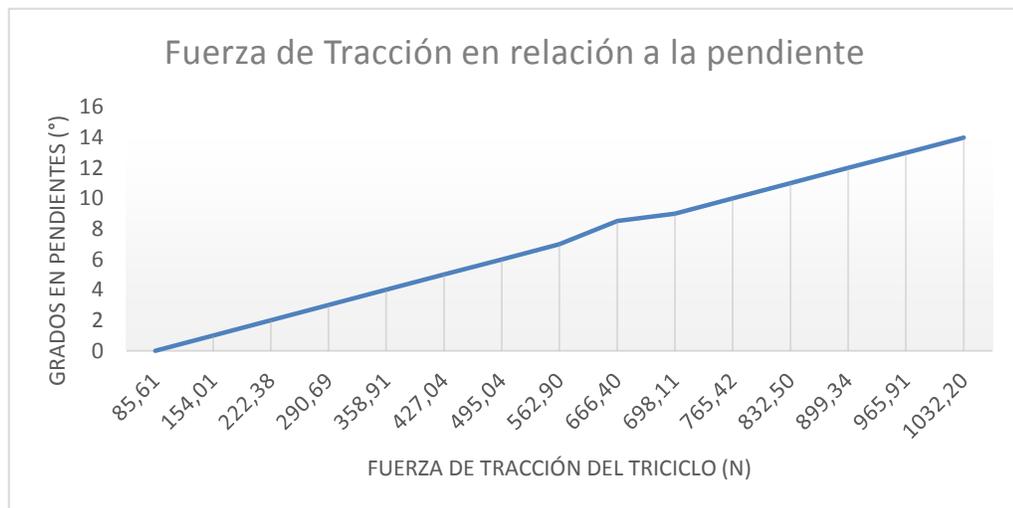


Figura 32 Fuerza de tracción de acuerdo al grado de pendientes

3.2.5 Cálculo para el torque necesario (T_n).

Para calcular el torque necesario, depende del radio de la rueda que se implementara y de la fuerza de empuje: (Becerril Sandoval, 2014)

$$T_n = R \cdot F \quad \text{Ecuación (3.1)}$$

Donde:

T_n =Torque necesario. [Nm]

R = Radio del neumático. [m]

F = Fuerza de empuje. [N]

R = Radio del neumático utilizado 10 pulgadas = 0,127 m. [m]

$$T_n = (0.127 \text{ m})(661.66 \text{ N})$$

$$T_n = 84.03 \text{ Nm}$$

3.2.6 Cálculo de la velocidad angular (ω)

Para calcular la velocidad angular a velocidad máxima, se utiliza la siguiente expresión: (Becerril Sandoval, 2014)

$$\omega = \frac{V_{max}}{R} \quad \text{Ecuación (3.2)}$$

Donde:

ω = Velocidad angular [rad/seg]

V_{max} = Velocidad máxima del motor eléctrico 35 Km/h = 9.72 m/s

R = Radio del neumático. [m]

$$\omega = \left(\frac{9.72 \text{ m/seg}}{0.127 \text{ m}} \right)$$

$$\omega = 76.55 \text{ rad/seg}$$

Debido a que la velocidad angular está dada en rpm, en las especificaciones de los motores, es conveniente realizar la siguiente conversión:

$$\omega_{rpm} = \frac{\omega(60)}{2\pi} \quad \text{Ecuación (3.3)}$$

$$\omega_{rpm} = \frac{(76.55)(60)}{2\pi}$$

$$\omega_{rpm} = 731 \text{ rpm}$$

3.3 Cálculo de potencia y selección del motor

3.3.1 Cálculo de potencia ($P_{calculada}$).

La potencia es igual al producto de la fuerza de tracción necesaria para mover al triciclo y la velocidad máxima que llevará. (La velocidad máxima en pendiente $15 \text{ km/h} = 4.167 \text{ m/s}$) para este cálculo utilizaremos la siguiente ecuación.

$$P_{calculada} = F_{te} \cdot v_{max} \quad \text{Ecuación (3.4)}$$

$$P_{calculada} = (661.66 \text{ N})(4.167 \text{ m/s})$$

$$P_{calculada} = 2757.14 \text{ W}$$

Suponiendo que existan pérdidas de energía de un 20%, es decir una eficiencia del motor de un 80% tenemos que utilizar la siguiente ecuación.

$$P_{Motor} = \frac{P_{calculada}}{eficiencia} \quad \text{Ecuación (3.5)}$$

$$P_{motor} = \frac{2757.14 \text{ W}}{0.80}$$

$$P_{motor} = 3446.42 \text{ W}$$

3.3.2 Parámetros para la selección de un motor eléctrico

En este proceso se deben tomar en cuenta varios factores, para tener como resultado un motor que cumpla con todos los requerimientos del prototipo, y su funcionamiento sea óptimo.

a) Potencia y torque

La potencia y torque del motor a utilizar en el prototipo deberá tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

Tabla 4**Valores requeridos para la selección del motor**

CRITERIOS	VALORES
Fuerza de tracción eléctrica total en pendientes (F_{te}).	661.66 N
Torque necesario (T_n).	84.03 Nm
Potencia calculada (P_{motor})	3446.42 W

b) Resistencia a los agentes externos.

Es la resistencia a los agentes externos, tales como: el agua, polvo, tierra, lodo, asfalto, agentes detergentes, ya que estos serán parte de un medio de transporte.

c) Eficiencia

En los motores de combustión interna (gasolina) la eficiencia es aproximadamente del 25%; la meta de este proyecto es tratar de aprovechar la máxima eficiencia del motor, es por eso que la eficiencia mínima del motor será del 80%.

3.4 Selección del motor

Con los parámetros calculados de torque y potencia del motor que se va a utilizar, se tiene opciones en el mercado motores brushless entre 2000 y 5000 W de potencia, con lo cual analizando las características de los mismos como: costo y utilidad para cumplir adecuadamente con el trabajo necesario a la que se está diseñando el triciclo, seleccionare el motor adecuado con la potencia requerida para este proyecto de acuerdo a las siguientes características.

Tabla 5**Modelos y características de motores Brushless**

TIPO DE MOTOR	VOLTAJE (V)	POTENCIA (W)	EFICIENCIA (%)	VELOCIDAD (Km/h)	PESO (Kg)	CAPACIDAD DE ACENSO (°)	PAREJA MÁXIMA (Nm)
Brushless MOD-602958017	48/60/72	2000	83	45	17	20	80
Brushless MOD-602958059	48/60/72	2500	83	45	17	20	90
Brushless MOD-602945176	48/60/72	3000	83	50	17	28	100
Brushless MOD-0704509598	48/60/72	4000	85	50	20	28	100
Brushless MOD-518399714	48/60/72	5000	85	55	21	25	160

Fuente: (REPUESTOSCHINOS , 2014)

De acuerdo a la tabla 5 seleccione un motor Brushless MOD-0704509598 porque cumple con las características que se busca en el cálculo de potencia y puede llegar a desempeñar la potencia calculada, para ampliar las razones por la que se seleccionó el motor, a continuación se detalla las especificaciones del mismo.

3.4.1 Especificaciones del motor seleccionado

La figura 33 muestra el motor seleccionado del que a continuación se detallan las características más importantes, que ampliarán las razones por las que se lo escogió



Figura 33 Motor brushless 48V/4000W MOD-0704509598

A continuación se detallan las características que posee el motor seleccionado.

Tabla 6

Características técnicas motor Brushless MOD-0704509598 seleccionado

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN
Tipo de motor	Motor brushless de alta potencia
Voltaje nominal (V)	48V
Potencia nominal (W)	4000W
Corriente máxima (A)	60 amperios
Velocidad máxima (Km/h)	50 Km/h
Eficiencia (%)	85%
Torque (Nm)	100 Nm
Recorrido Máximo	De acuerdo a la capacidad de la batería
Tipo de freno	Tambor

CONTINÚA



Capacidad de acenso (°)	28° sin carga
Tamaño de la rueda (Pulg)	10 pulg.
Peso (Kg)	20 Kg

3.5 Criterio de selección de controlador

Uno de los componentes indispensables en la propulsión del triciclo eléctrico es el controlador, ya que este controla el voltaje suministrado al motor, y para ello se tomara en consideración el voltaje y consumo de corriente del motor para su selección.

3.5.1 Parámetros de selección del sistema de control

El proceso de selección del controlador debe cumplir con los siguientes parámetros:

a) Dimensiones

El dimensionamiento del controlador debe ser lo más acortado posible, ya que al reducir dimensiones de cualquier tipo de elemento también estaremos disminuyendo el peso, factor que debemos aprovecharlo.

b) Peso

En general los sistemas de control carecen de un peso elevado, por lo tanto son de gran influencia para el desempeño del prototipo.

3.6 Selección del controlador

3.6.1 Funcionamiento del controlador

Para seleccionar el controlador se determinó que el controlador del motor tendrá las siguientes funciones:

- Inversión de giro del motor (avance y retroceso de la marcha de vehículo).

- Tendrá la capacidad de controlar la función de regeneración de energía del motor-generador cuando el motor no reciba carga.
- Funcionará con 48V CC y será capaz de entregar una corriente de hasta 140 Amperios siendo esta corriente la que el motor consuma cuando se encuentre funcionando a su potencia máxima.
- Debe soportar altas temperaturas y tener su propio sistema de refrigeración.

En la tabla 7, encontraremos una lista de controladores de la marca KELLY CONTROLLS KEB de la cual se seleccionará el que cumpla con todos los requerimientos anteriores.

Tabla 7

Controlador Kelly para motores brushless CD

Kelly Ebike Brushless DC Motor Controller			
Model	Power(Watt)	Voltage(Volt)	Regen
KEB48200X	2000W	24V-48V	No
KEB48201X	2000W	24V-48V	Yes
KEB48300X	3000W	24V-48V	No
KEB48301X	3000W	24V-48V	Yes
KEB48400X	4000W	24V-48V	No
KEB48401X	4000W	24V-48V	Yes
KEB48600	6000W	24V-48V	No
KEB48601	6000W	24V-48V	Yes
KEB72100	10000W	24V-72V	No
KEB72101	10000W	24V-72V	Yes

Fuente: (Copyright Controlador Kelly., 2008)

El controlador que se seleccionó es KEB 48601F programable que proporciona un control eficiente, suave y silencioso para una motocicleta eléctrica, limita estrictamente la corriente de la batería, control de velocidad del motor, proporcionan una buena aceleración y subir pendientes.

Este controlador hace uso de un microprocesador que hace un control PWM (modulación por ancho de pulsos), que controla a un conjunto de transistores MOSFET de alta potencia dispuestos en forma de H para lograr eficiencias de hasta el 99%.

El microprocesador permite un control preciso del motor en base a las señales de entrada como: posición del acelerador, sensor de frenado y selección del sentido de giro (avance y retroceso). Este controlador de motor sin escobillas programable también permite a los usuarios configurar parámetros, realizar pruebas y obtener información de diagnóstico rápido y fácil.



Figura 34 Controlador Kelly KEB 48601F seleccionado

Fuente: (Copyright Controlador Kelly., 2008)

El significado de denominación del modelo de controlador de motor Kelly KEB se detalla a continuación:

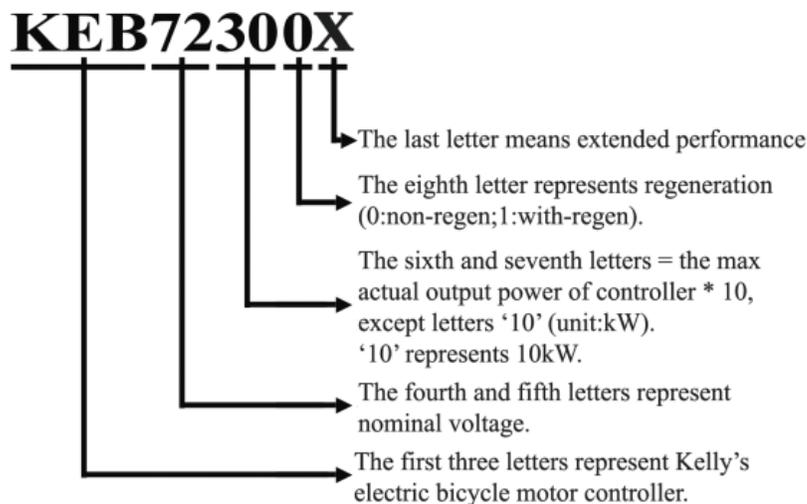


Figura 35 Significado de modelo del controlador

Fuente: (Copyright Controlador Kelly., 2008)

KEB= Tipo de controlador Kelly para moto o bicicletas eléctricas

72= Voltaje nominal con la que trabaja

30= Potencia de salida real del controlador * 100 (unidad: KW) excepto el número 10 que es igual a 10 KW.

0= Control del freno regenerativo (0= no regeneración, 1= con regeneración)

X= Mayor rendimiento de funcionabilidad

3.6.2 Características del controlador seleccionado

- Inteligencia con un potente microprocesador.
- Rectificación síncrona, de ultra baja caída, PWM rápido para lograr una eficiencia muy alta.
- Detección de corriente en las 3 fases del motor.
- Hardware sobre la protección actual.
- Hardware protección contra sobretensiones.
- Modo de Soporte de par, el modo de velocidad y el funcionamiento en modo equilibrado.
- Límite configurable para la corriente del motor y la corriente de la batería.
- LED de código de fallo.

- Carcasa de aluminio resistente para una máxima disipación del calor y el ambiente áspero.
- Los terminales de alta corriente robustos y conectores aviación resistentes para pequeña señal.
- Protección térmica: recortar, advirtiendo y apagado de alta temperatura actual.
- Motores de apoyo con cualquier número de polos.
- Hasta 40.000 RPM estándar eléctrico. Alta velocidad opcional 70.000 ERPM y ultra alta velocidad de 100.000 ERPM. (RPM eléctrica = RPM mecánica * pares de polos del motor).
- Interruptor de freno se utiliza para iniciar regeneración.
- 0-5V señal de freno se utiliza para mandar la corriente de regeneración.
- protección de alto pedal configurable: el controlador no funcionará si se detecta alta del acelerador en el encendido.
- Estándar ordenador PC / ordenador portátil para hacer la programación. No se necesitan herramientas especiales.
- Programa de usuario proporcionado.

3.6.3 Especificaciones generales del controlador seleccionado:

- Frecuencia de Operación: 16.6kHz.
- Reserva de batería actual: <0.5mA.
- Sensor de 5V Corriente de suministro: 40 mA.
- Rango de tensión de alimentación del controlador, PWR, 18V a 90V.
- Corriente de suministro, PWR, 150mA.
- Rango de voltaje de la batería configurable, B +. Rango de operación Max: 18V a 60V.
- Full operativo Poder Rango de temperatura: 0 °C a 50 °C (temperatura de la caja del controlador).
- Rango de temperatura de funcionamiento: -30 °C a 90 °C, 100 °C apagado (controlador de temperatura de la caja).

- Pico fase actual, a 10 segundos: 350A.
- Fase continúa Límite de corriente: 140A.
- Máximo batería actual: Configurable

3.6.4 Conexiones del controlador

a) Panel frontal del controlador de motor KEB:

Contiene cinco barras de metal, un puerto de programación RS232 y un conector resistente de 14 pin se proporcionan para conectar a la batería señales de motor y de control en la parte frontal del controlador como se muestra en la figura 36.

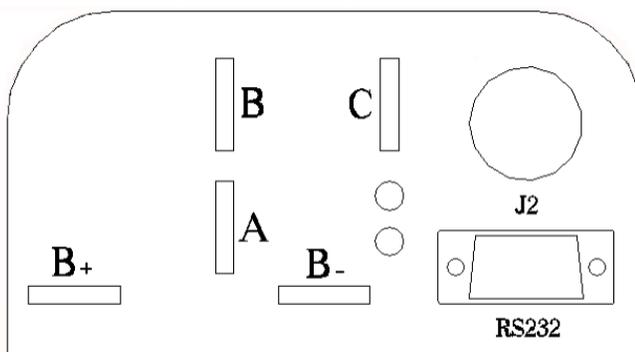


Figura 36 Panel frontal del controlador

Fuente: (Brushless, 2014, págs. 8-10)

Significado de las nomenclaturas del controlador

B+= Positivo de la batería

B-= Negativo de la batería

A= Salida U / 1 / A fase

B= Salida V / 2 / B fase

C= Salida W / 3 / C fase

b) Definición del pin J2

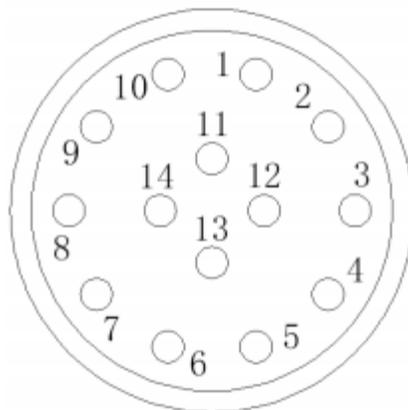


Figura 37 Pin J2

Fuente: (Brushless, 2014, págs. 8-10)

Definición:

- 1 PWR=** Fuente de alimentación del controlador
- 2 RTN=** Retorno de la señal, o tierra de la fuente de alimentación
- 3 RTN=** Retorno de la señal:
- 4=** 12V frenos de alto nivel y la entrada de temperatura del motor
- 5=** Entrada analógica del acelerador, 0-5V
- 6=** Entrada analógica de frenos, 0-5V
- 7=** Salida de alimentación de 5V, <40mA
- 8 Micro SW=** Entrada del interruptor del acelerador.
- 9=** Inversión de entrada del interruptor
- 10=** Entrada del interruptor de freno
- 11=** Hall fase C
- 12=** Hall fase B
- 13=** Hall fase A
- 14 RTN=** Retorno de la señal

Para la verificación de la conexión del controlador se debe tomar en cuenta el encendido de LED del controlador.

Cuadro 3

Código de Led del controlador

CÓDIGO DE LED	EXPLICACIÓN	SOLUCIÓN
Verde Apagado 	No hay alimentación o apagado	1. Compruebe si todos los cables son correctas. 2. Revise el fusible y la fuente de alimentación
Verde Encendido	Operación normal	Ninguna
Verde y rojo en ambos 		1. Software sigue actualizando. 2. Tensión de alimentación demasiado baja o la batería demasiado alta 3. El controlador está dañado. Póngase en contacto con Kelly acerca una reparación en garantía

Fuente: (Brushless, 2014)

Las conexiones de estos terminales deben ser bien ajustadas con tornillos para evitar calentamiento de los cables por conexiones flojas. Además el controlador debe ser instalado en un lugar donde pueda recibir el viento para su refrigeración.

A continuación la figura 38, muestra el diagrama de conexión del circuito completo, con todas sus seguridades.

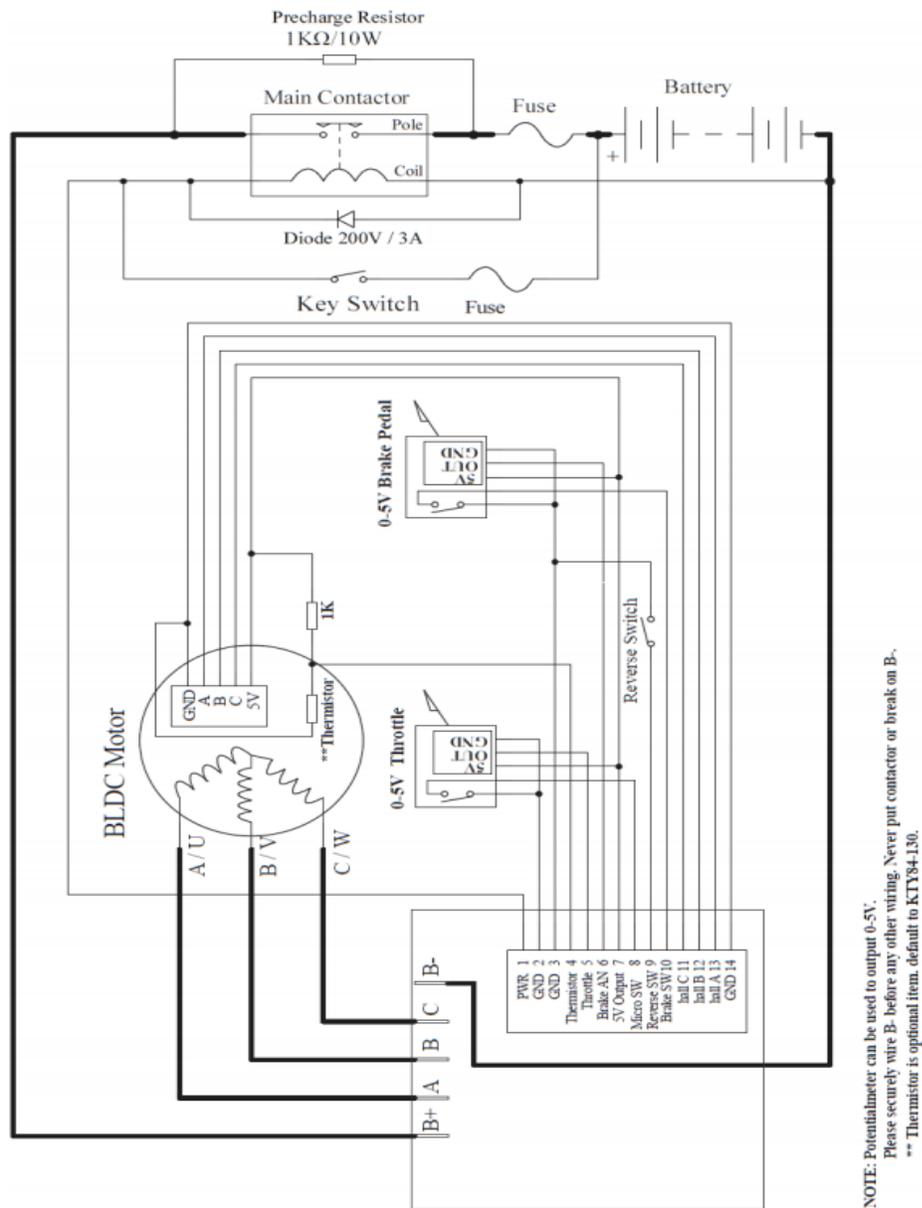


Figura 38 Diagrama de conexión del controlador

Fuente: (Brushless, 2014, págs. 8-10)

3.7 Selección de baterías para el triciclo monoplaza eléctrico

Después de haber visto los tipos de baterías que existen y las características que necesito para la implementación, se va a elegir la tecnología más acorde en base a sus características para que cumpla con la autonomía requerida.

3.7.1 Cálculo del banco de batería

El motor seleccionado funcionara a 48V y entregara un potencia nominal de 4000W, comúnmente en el mercado nacional existen baterías con una tensión de 12V y una corriente de 40-100 Ah, para conseguir los 48V necesarios para el funcionamiento del motor a utilizarse se deberá conectar cuatro baterías en serie como se indica en la figura 3.10, con esta conexión se suma el voltaje y se mantiene la corriente nominal de las baterías.

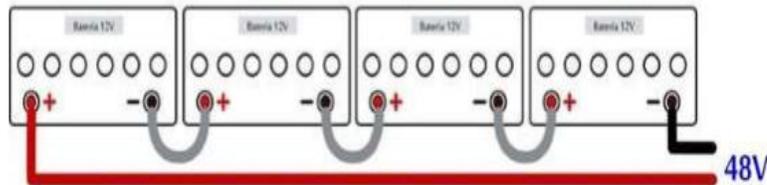


Figura 39 Conexión de baterías en serie

Fuente: (Bastidas Arroyo & Cabrera Díaz, 2014)

Las baterías no deben descargarse por completo para poder funcionar correctamente, sin que se vea afectado su ciclo de trabajo por lo que se recomienda descargarlas máximo hasta un 80% de su capacidad de carga, para lo cual se procederá a calcular la capacidad específica de las baterías.

$$I_{Baterías} = \frac{(P_{Motor})(\eta_{Motor})}{(V_{Banco})(\%Descarga)} \quad \text{Ecuación (3.6)}$$

Donde:

$I_{Baterías}$ = Capacidad específica de las baterías (A)

P_{Motor} = Potencia nominal del motor (W)

η_{Motor} = Eficiencia del motor

V_{Banco} = Voltage necesario para el funcionamiento del motor (V)

$\%Descarga$ = % de descarga de la batería

$$I_{Baterías} = \frac{(4000w)(0.85)}{(48V)(0.8)}$$

$$I_{Baterías} = 88.54 A$$

De acuerdo al peso estimado de 30 Kg de las baterías se procederá a calcular la energía específica másica [Wh/Kg] de acuerdo a la ecuación (2.1).

$$W_m = \frac{ExQ}{P_{bat}}$$

$$W_m = \frac{(48V)(88.54Ah)}{120 Kg}$$

$$W_m = 35.41 \frac{Wh}{Kg}$$

Entonces con 88 Ah de capacidad específica y con 35 Wh/Kg de energía específica másica podremos determinar las baterías adecuadas, buscando en el mercado encontramos baterías con diferentes características como se muestra en la tabla 8, el éxito en el triciclo monoplaza eléctrico es la reducción del peso, mientras más liviano sea, será mucho más viable.

Por tal razón el peso es un parámetro determinante en la selección de las baterías, ya como se dijo anteriormente se utilizaran cuatro baterías y el peso de las mismas influirá en el desempeño del vehículo.

Tabla 8.

Características de baterías de ciclo profundo

BATERÍAS	EXIDE	ULTRACELL	RITAR
Capacidad (Ah)	140	120	100
Voltaje (V)	12	12	12
Peso (Kg)	48	37	30
Medidas (mm)	513 x 223 x 223	240 x 177 x 225	328 x 172 x 222

CONTINÚA



Capacidad específica(Wh/kg)	35 38.92	35 38.92	40
-----------------------------	----------	----------	----

3.7.2 Selección de baterías

Con los parámetros dispuestos anteriormente la batería seleccionada es de ciclo profundo RITAR RA12-100D a continuación se detalla sus características.

Tabla 9
Características de la batería seleccionada

BATERÍA RITAR RA12-100D 12V100AH	
Modelo	RA12-100D
Tipo de batería	Libre de mantenimiento Ciclo profundo Electrolito tipo AGM
Rango de temperatura de operación	Descarga: -20°C ~ 60°C Carga: 0°C ~ 50°C Almacenamiento: -20°C ~ 60°C
Rango normal de operación	25°C ± 5°C
Capacidades nominales	100Ah@10hr-rate to 1.80V per cell @25°C
Voltaje nominal	12 VD
Máxima corriente de descarga	1000 A (5 seg.)
Límite de máxima carga recomendado	30.0 A
Peso aproximado	30.0 kg
Dimensiones	328(L)×172(W)×222(H)
Imagen	

Fuente: (RENOVAENERGÍA, 2015)

La mayoría de baterías de carros viven menos de 200 ciclos si se descarga regularmente a 50% de su capacidad, las baterías líquidas de ciclo profundo (incluso las 'selladas') son capaces de soportar 400 ciclos, baterías de AGM y de Gel superan fácilmente 800 ciclos.

Utilizando el 80% de capacidad de esta batería podemos tener 600 ciclos de vida, como lo muestra la figura 40, punto que es bueno considerando que es una batería de ciclo profundo tipo AGM.

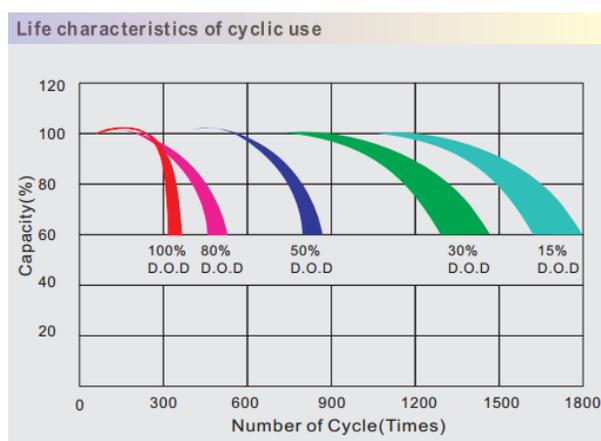


Figura 40 Ciclos de vida de la batería RITAR RA12-100D

Fuente: (RENOVAENERGÍA, 2015)

Lo más importante es la diferencia entre la cantidad de energía que entra en la batería durante la carga y la que está realmente disponible en la batería durante la descarga. Esta eficiencia de Coulomb (conocida como eficiencia o rendimiento Faradaico) es en baterías normales de plomo entre 70 y 85%.

Ejemplo que de 100 Ah producidos para cargar la batería, solamente entre 70 y 85 Ah son disponibles, el resto de la energía se pierde principalmente en calor, se encuentran en el mercado baterías de muy buena calidad, sobre todo los de tipo AGM, que pueden tener una eficiencia hasta 90%.

3.8 Cálculo del tiempo de recarga de la batería

El tiempo estimado para la carga completa de las baterías seleccionadas está dado por el fabricante, en nuestro caso RITAR RA12-100D nos muestra en la figura 41 y nos ceñimos a la curva de corriente carga que significa cargar la batería a una corriente constante del 10% de la capacidad de la batería (100Ah), por lo que nuestro cargador debe entregar una corriente de 10 A y 12V ya que se cargarán individualmente por el diseño y construcción de un tablero de control con relés que ayudara a que se activen los cargadores para su respectivo funcionamiento.

Según nos muestra la figura que tendremos una carga completa en el período de 8 horas, que se lo puede hacer en la noche o cuando sea necesario.

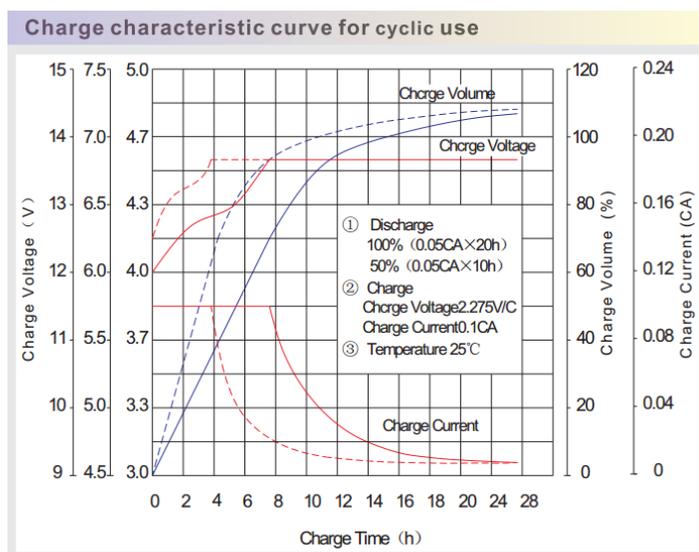


Figura 41 Tiempo de carga vs corriente de carga

Fuente: (RENOVAENERGÍA, 2015)

3.8.1 Cálculo de autonomía teórica

Basándose en la tabla 8 se requiere una intensidad de corriente máxima de 60 A y un voltaje de 48 V, con lo cual podemos calcular la autonomía teórica del triciclo.

Para lograr la autonomía deseada, es necesario conocer el tiempo de operación de las baterías, para lo cual se calcula la corriente suministrada para la operación del motor.

El cálculo de la corriente suministrada por cada batería para la operación del motor se realizó con la siguiente fórmula. (Becerril Sandoval, 2014)

$$I_B = \frac{I_O}{n} \quad \text{Ecuación (3.7)}$$

Donde:

I_B = Corriente suministrada por la batería (A)

I_O = Corriente de operación (A)

n = Número de baterías utilizadas

Por lo tanto:

$$I_B = \frac{60}{4}$$

$$I_B = 15A$$

Para el cálculo del tiempo de duración de la carga se consideró esta fórmula: (Becerril Sandoval, 2014)

$$t_o = \frac{Q}{I_B} \quad \text{Ecuación (3.8)}$$

Donde:

t_o = Tiempo de operación a corriente continua (h)

Q = Carga de la batería (Ah)

I_B = Corriente suministrada por la batería (A)

$$t_o = \frac{100 \text{ Ah}}{15 \text{ A}}$$

$$t_o = 6.67 \text{ h}$$

Por lo tanto se determina que con cuatro baterías de ciclo profundo RITAR, conectadas en serie, el triciclo será capaz de alcanzar una autonomía de 6.67 h a una velocidad estipulada de 35 km/h , en superficie plana, con una carga promedio de 100 kg y sus baterías a carga máxima.

En pendientes con un consumo promedio de 80 A y una velocidad promedio de 25 Km/h y conociendo que la capacidad de las baterías seleccionadas es 100 Ah entonces la autonomía queda determinada por la siguiente ecuación.

$$\text{Autonomía} = \frac{C_{\text{Bateria}} \times V_{\text{Promedio}}}{C_{\text{Promedio}}} \quad \text{Ecuación (3.9)}$$

Donde:

C_{Bateria} = Carga de la bacteria seleccionada (Ah)

V_{Promedio} = Velocidad promedio (km/h)

C_{Promedio} = Carga promedio (A)

$$\text{Autonomía} = \frac{100 \text{ Ah} \times 35 \text{ km/h}}{80 \text{ A}}$$

Autonomía = 43,75 Km En superficies planas

$$\text{Autonomía} = \frac{100 \text{ Ah} \times 25 \text{ km/h}}{80 \text{ A}}$$

Autonomía = 31,25 Km En Pendientes

Esta autonomía calculada dependerá mucho de las condiciones de manejo de cada persona y el grado de pendiente en donde se conduzca el triciclo.

3.9 Cálculo de fusibles eléctricos

En el capítulo II se detallaron las funciones que desempeñará el fusible. El componente más delicado en el sistema de propulsión eléctrica es el controlador del motor eléctrico por lo que se lo colocará un fusible entre las baterías y controlador. Para el cálculo del fusible a implementarse debemos utilizar la ecuación (3.10), y conocer la corriente máxima del circuito que es de 100 Amperios a máxima potencia.

$$f = \frac{I_{total}}{0.9} \quad \text{Ecuación (3.10)}$$

$$f = \frac{100 A}{0.9}$$

$$f = 111.11 A$$

Para mayor seguridad se deberá implementar un fusible de corte rápido de 48 (V) y 110 (A) que existen en el mercado como los que se muestran en la figura (42)



Figura 4212 Fusible de corte rápido

3.10 Diseño del circuito eléctrico del sistema motriz

Para el correcto funcionamiento del sistema motriz se diseñó un circuito de control con relés para el sistema de carga y potencia del motor.

Potencialmente este sistema funcionara como un sistema de protección y activación para las mismas.

3.10.1 Circuito de alimentación

Para llegar a tener los 48V y mantener el amperaje de la batería, la conexión de las mismas se los realizo en serie como se muestra en la figura.

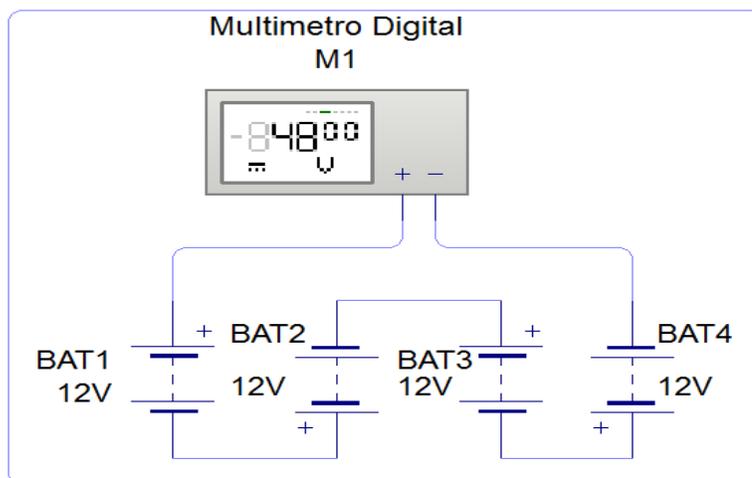


Figura 43 Circuito de alimentación-Livewire

3.10.2 Circuito de carga y potencia del motor

Se diseñara un circuito que active el sistema de potencia (controlador, motor) y el sistema de carga (baterías, cargadores) este circuito será controlado mediante un interruptor de codillo (ojo de cangrejo) de tres posiciones, su funcionamiento será activar el circuito de potencia y carga independientemente y a su vez desactivara a todo el circuito para este diseño se utilizó 13 relés de 70 amperios 12 voltios, los relés funcionarán como contactores o interruptores automáticos que son comandados por una tensión de corriente minimizando riesgos de corto circuito

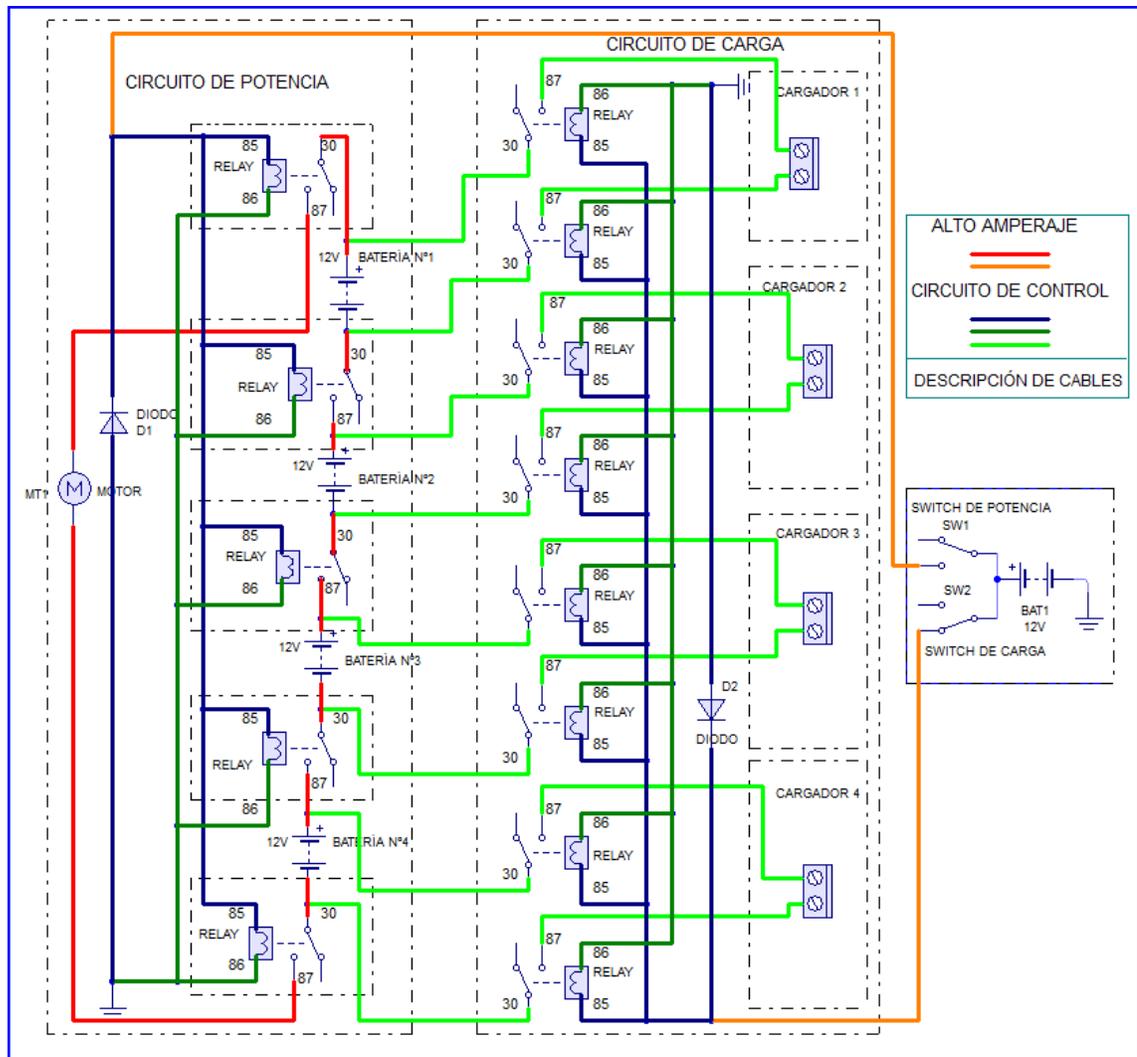


Figura 44 Circuito de Carga y Potencia-Livewire

3.10.3 Circuito de accesorios

Para el diseño de este circuito se utilizó luces led para que no haya un consumo excesivo de corriente y esto ayudara a que el triciclo obtenga una autonomía necesaria a la que está calculada.

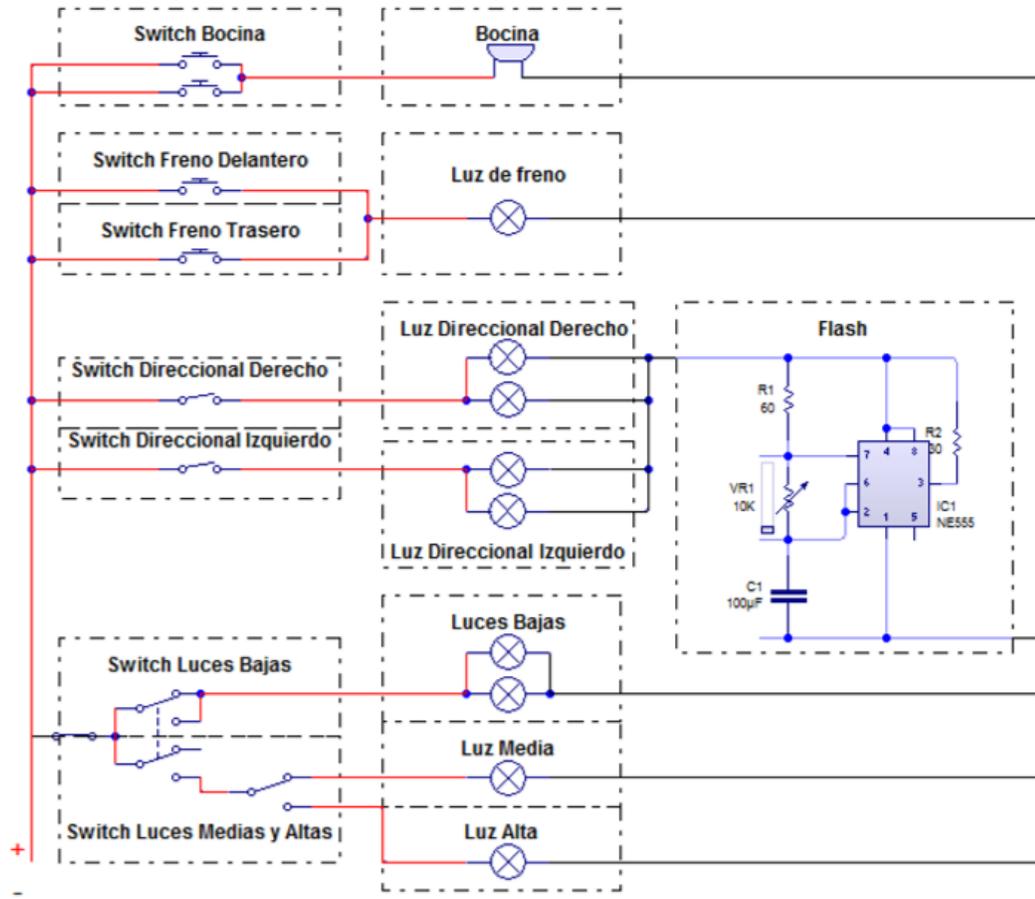


Figura 45 Circuito de Accesorios-Livewire

3.10.4 Circuito de conexión del controlador al motor.

De acuerdo al fabricante, el controlador KEB 48601F tiene el siguiente circuito eléctrico (ver anexo 2) el cual especifica de como irán conectados los 14 pines J2 del controlador al motor.

3.11 Diseño y análisis del soporte del motor asistido por ANSYS.

Los componentes necesarios para la implementación ya se han determinado, ahora se va a diseñar el elemento estructural que va a sujetar al motor con la ayuda del programa de diseño SOLIDWORKS y análisis en ANSYS.

3.11.1 Análisis del soporte del motor

Elegimos el material de acero ASTM A36 con un límite de fluencia de 250 MPa con un grosor de 0.5 pulgadas (13 mm) para su modelado y lo analizamos, estos valores lo obtuvimos del apéndice A-13 del libro de (Mott, 2006)

3.11.2 Cargas aplicadas al soporte motor

Primero se determina la magnitud de la fuerza aplicarse, en este caso se utilizara la distribución del peso del triciclo que se obtuvo a través de un CAD diseño asistido por computadora Solidworks, la masa obtenida fue de 200 Kg que se aplica en la parte delantera en donde se encuentra ubicado el motor, para lo cual es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$F_{aplicada} = W_{aplicado} \times 9.8 \frac{m}{s^2} \quad \text{Ecuación (3.11)}$$

Dónde:

$F_{aplicada}$ = Fuerza que se ejerce al soporte del motor [N]

T_n = Torque del motor [Nm] (Tabla 3.5)

$W_{aplicado}$ = Peso aplicado al soporte del motor [Kg] = 200 [Kg]

Entonces, al remplazar valores se obtiene:

$$F_{aplicada} = (200Kg) \left(9.8 \frac{m}{s^2} \right)$$

$$F_{aplicada} = 1960 N$$

En la figura 46 se aplican las cargas ejercidas al soporte del motor eléctrico para obtener el análisis estático de la estructura.

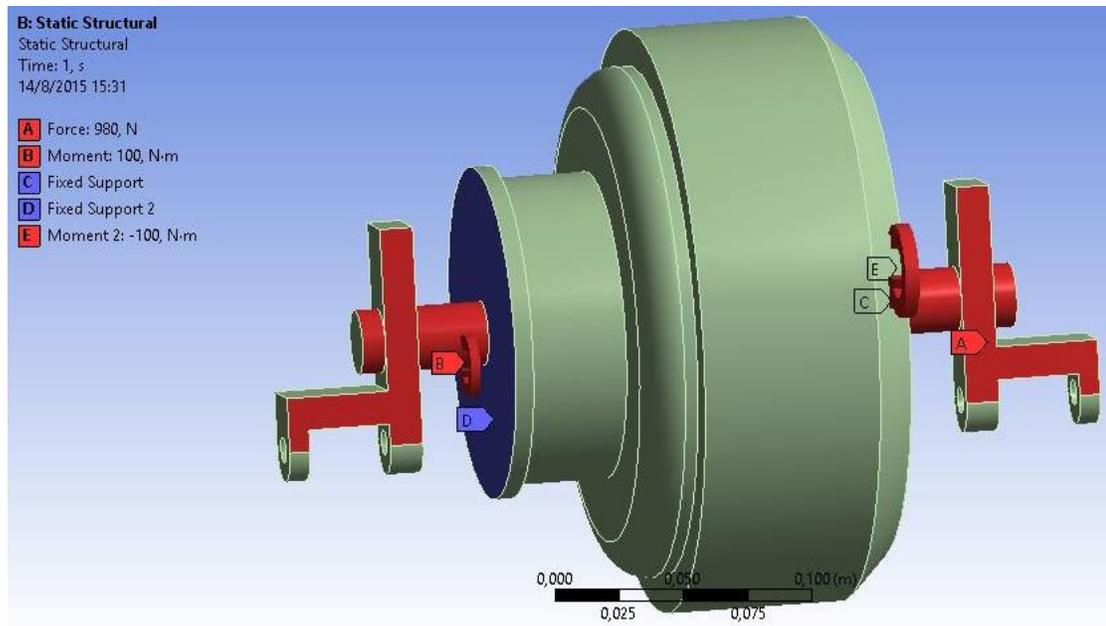


Figura 46 Asignación de cargas para el análisis estático.

3.11.3 Análisis del soporte motor por el software

Las figuras (47,48,49,50,51) muestran los análisis del soporte del motor, y en la tabla 10, se detalla el resumen del análisis.

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	<input checked="" type="checkbox"/> Density	7750	kg m ⁻³	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input checked="" type="checkbox"/> Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input checked="" type="checkbox"/> Isotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	<input checked="" type="checkbox"/> Tensile Yield Strength	2,07E+08	Pa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	<input checked="" type="checkbox"/> Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	<input checked="" type="checkbox"/> Tensile Ultimate Strength	5,86E+08	Pa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	<input checked="" type="checkbox"/> Compressive Ultimate Strength	0	Pa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 47 Selección del material para el análisis

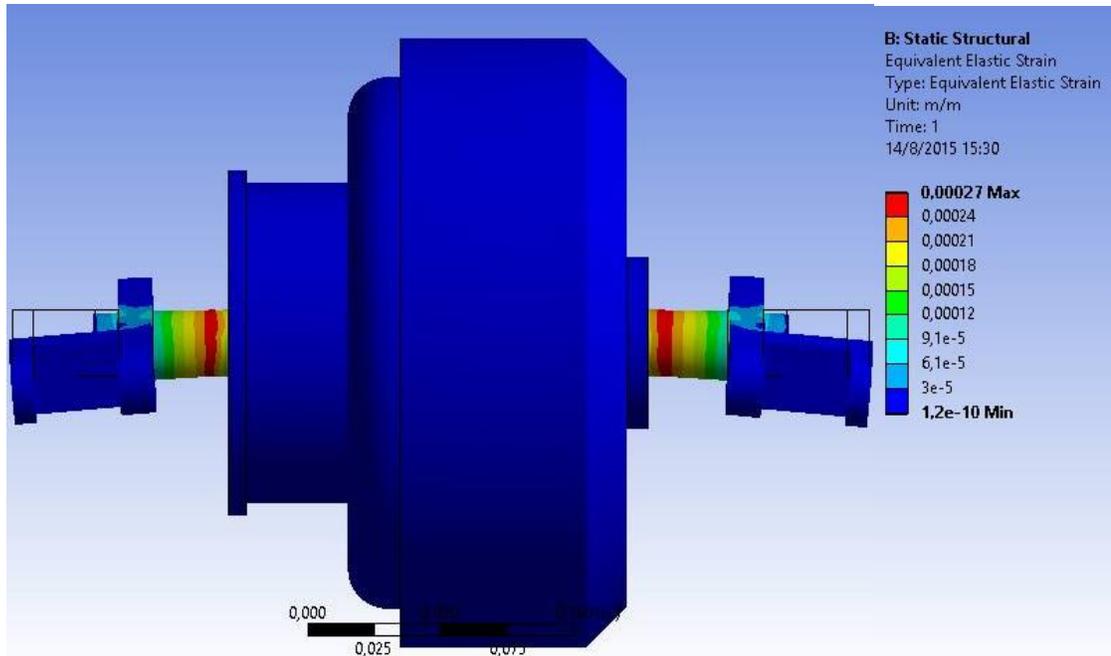


Figura 48 Deformación elástica

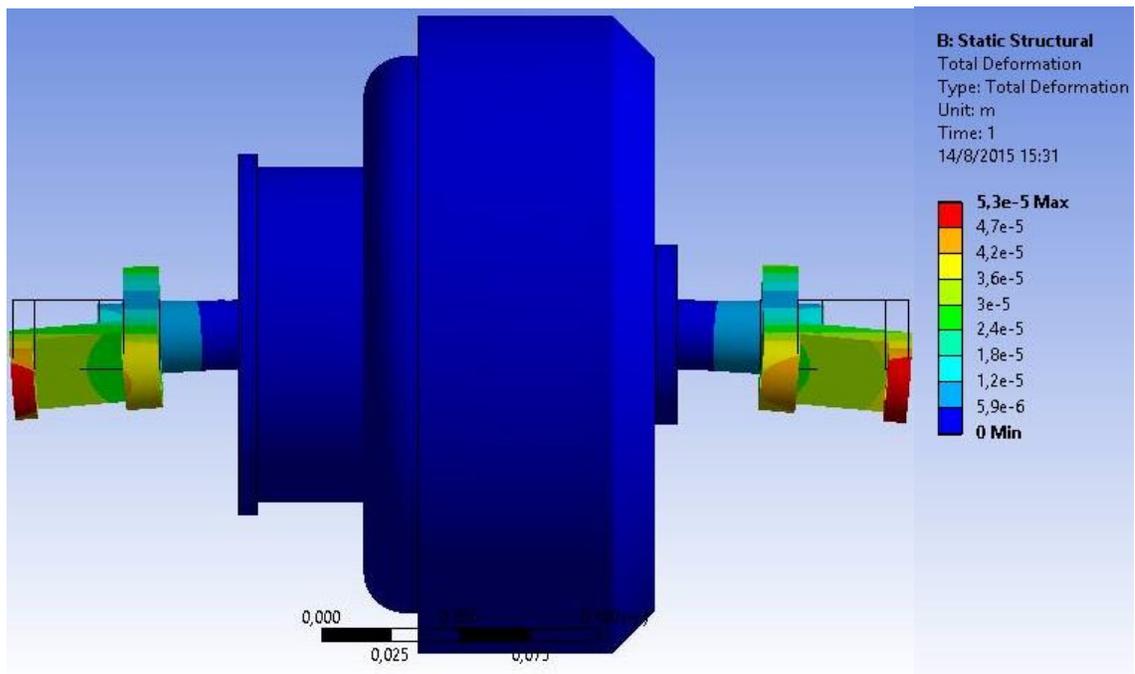


Figura 49 Deformación total

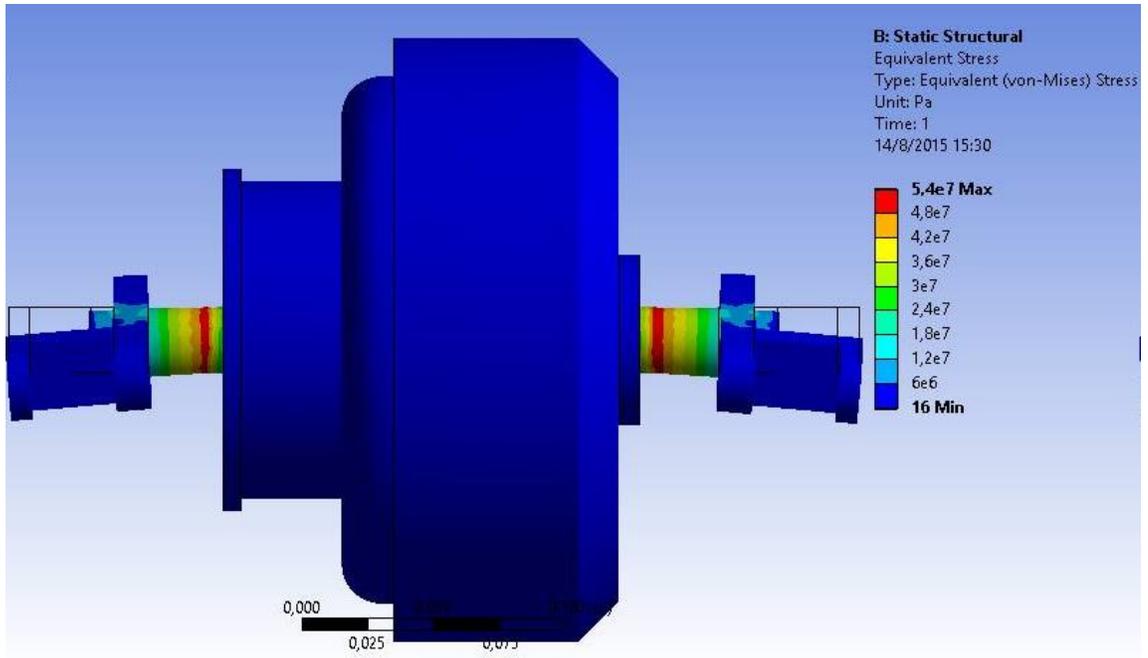


Figura 50 Tensión equivalente (Von Mises)

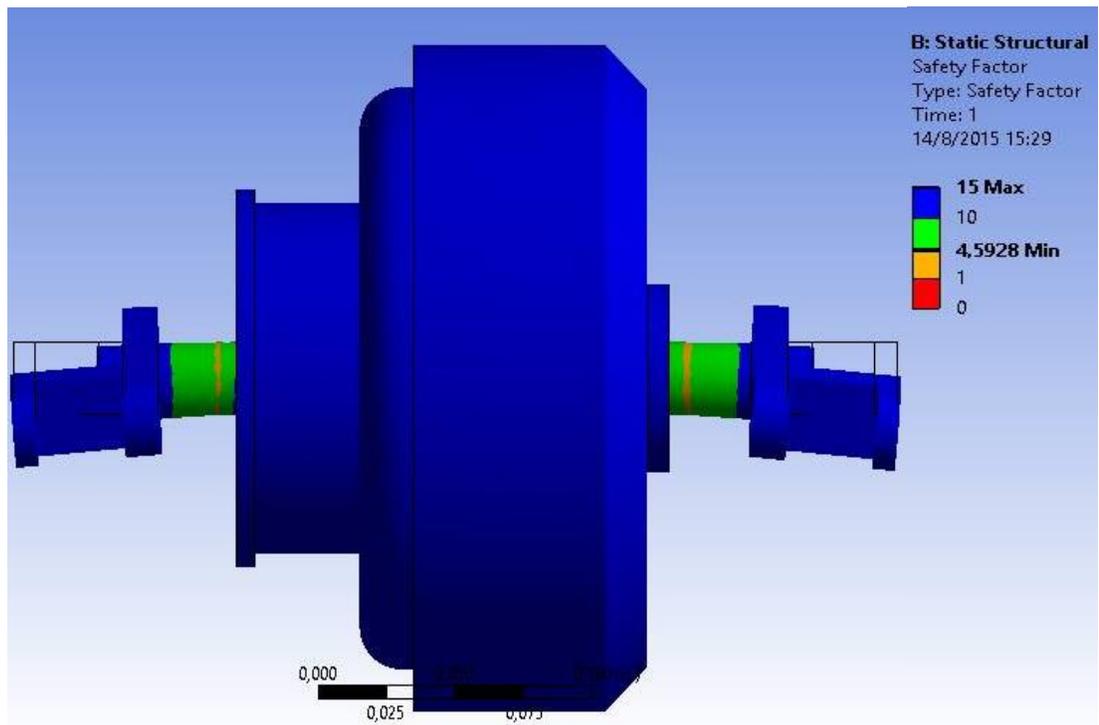


Figura 51 Factor de seguridad

El factor de seguridad mínimo se calcula a partir de:

$$\sigma_{V.M} = \frac{S_Y}{N} \quad \text{Ecuación (3.12)}$$

$$N = \frac{S_Y}{\sigma_{V.M}}$$

$$N = \frac{250 \text{ MPa}}{54 \text{ MPa}}$$

$$N = 4,6$$

Donde:

N = Factor de seguridad

S_Y = Límite elástico del material A 36

$\sigma_{V.M}$ = Esfuerzo de Von Mises calculado

Tabla 10

Resumen del análisis del soporte motor

Deformación máxima total	0.053 mm
Tensión equivalente máxima obtenida (Von Mises)	54 MPa
Límite de fluencia acero ASTM A36	2 530 kg/cm², 250 Mpa, 36 ksi
Factor de seguridad	4,6

Según el análisis aplicado, se obtuvo una tensión equivalente de Von Mises de $\sigma_{V.M} = 54 \text{ MPa}$, obteniendo como resultado un factor de seguridad de 4,6 el cual nos da paso a su construcción ya que nos indica su alta seguridad ante el fallo de la base del motor.

La deformación máxima señala que el diseño no va a tener una variación mayor de 0,053 mm lo que nos indica que la estructura es segura.

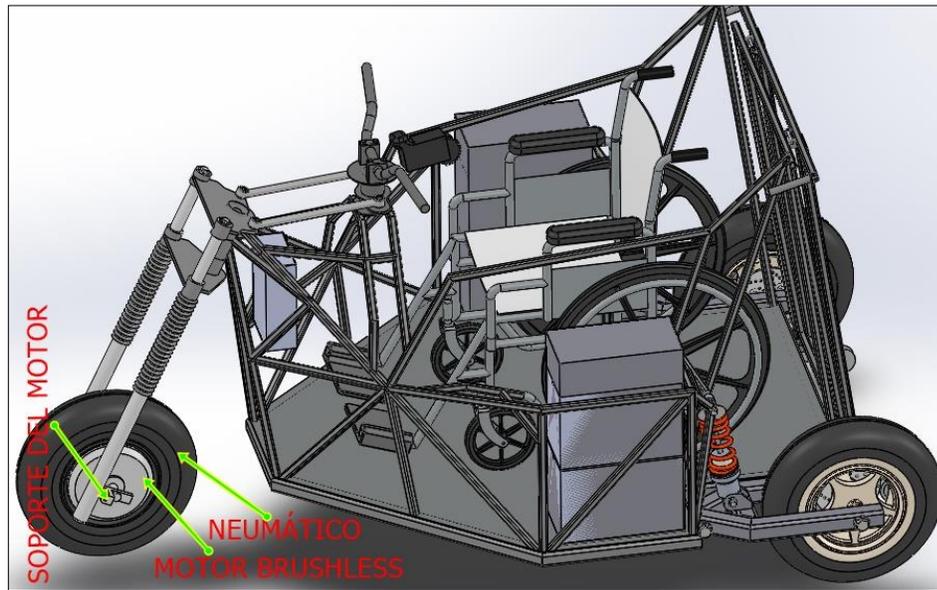


Figura 52 Ensamblaje del motor

3.12 Construcción e implementación del sistema de propulsión

Para la construcción e implementación del sistema de propulsión, el chasis del triciclo deberá brindar el suficiente espacio para la colocación de las mismas, se debe tomar en cuenta las siguientes características, sin que las mismas afecten la carrocería y estética del triciclo:

- Espacio para la colocación de las baterías.
- Espacio para la colocación del controlador y cargador.
- Espacio para la colocación del circuito de potencia y carga del sistema.
- Espacio para el motor brushless

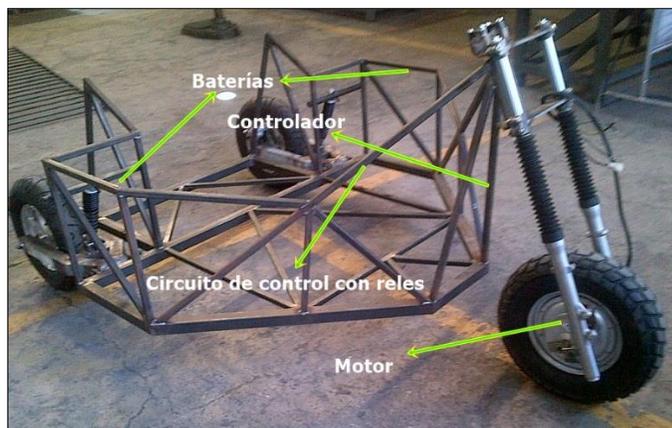


Figura 53 Disposición de los elementos

3.13 Implementación del sistema de alimentación

Para la colocación de las baterías, se construyó dos porta-baterías de (350 (L) x 175 (W) x 550 (H)), según el espacio que contamos en el chasis la disposición de esta será de 2 baterías en cada caja elaborada como se muestra en la (figura 54).



Figura 54 Porta-baterías

Estos porta-baterías son sujetados al chasis mediante pernos y tuercas, como podemos ver en la siguiente figura, donde se muestra el aprovechamiento del espacio.



Figura 55 Sujeción y disposición del porta-baterías

La disposición de los porta-baterías, es para mayor facilidad de conexión de las baterías como se muestra en la figura 56.



Figura 56 Ubicación de las baterías

3.13.1 Diagrama de flujo de proceso

Para complementar el desarrollo del sistema de alimentación del proyecto se procede a continuación a realizar un diagrama de procesos.

Tabla 11

Diagrama de proceso del ensamble del porta-baterías

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DEL TRICICLO MONOPLAZA ELÉCTRICO PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN SUS EXTREMIDADES INFERIORES				
Descripción de la parte: SISTEMA DE ALIMENTACIÓN			FECHA: 15/04/15	
Descripción de la operación: CONSTRUCCIÓN DEL PORTA-BATERÍAS			REALIZADO POR: Vargas W.	
Descripción de los símbolos: 			GRAFICO N°: 1	HOJA N°: 1 de 2
Dist. En metros	Tiempo en min.	Símbolos del grafico	Descripción del proceso	Método
2000	60	● → □ D ▽	Adquisición de materiales	Factor humano – Vehículo
0	15	○ → ■ D ▽	Medición de ángulos	Flexo metro
10	5	● → □ D ▽	Corte de material	Cortadora metálica
5	20	● → □ D ▽	Biselado de ángulos	Entenalla, sierra y amoladora
15	5	○ → ■ D ▽	Medición de planchas laminadas al frío ASTM A36	Flexo metro y calibrador
10	10	● → □ D ▽	Corte de planchas laminadas al frío ASTM A36	Cortadora metálica
0	20	● → □ D ▽	Soldadura de ángulos	GMAW
0	10	● → □ D ▽	Soldadura de planchas laminadas	GMAW – MIG
0	5	● → □ D ▽	Taladrado de la puerta del porta-baterías para la colocación de la cerradura	taladro, Lima redonda
0	20	● → □ D ▽	Pulido	Amoladora
10	60	● → □ D ▽	Pintado	Pintado convencional
10	5	● → ■ D ▽	Fijación del porta-baterías al chasis	Llave mixta de ½ Pulg.
2060	235	10 1 3 0 1	Totales	
Valor añadido por el tiempo = Tiempo de Operación/Tiempo total = (215)/235 =91.48 %				

3.14 Implementación del motor

Debido a que el motor eléctrico no cuenta con un eje adecuado para el ensamblaje en las barras delanteras del triciclo se procedió a construir una base de acuerdo a las medidas de las mismas, para la elaboración de este soporte se utilizó un acero ASTM A36 con un espesor de 0,5 pulg el cual nos servirá como base y sujeción del motor Brushless como se muestra en la figura 57, una

vez implementado el motor se procederá a la instalación del neumático 135/90R10 en el respectivo aro del motor.

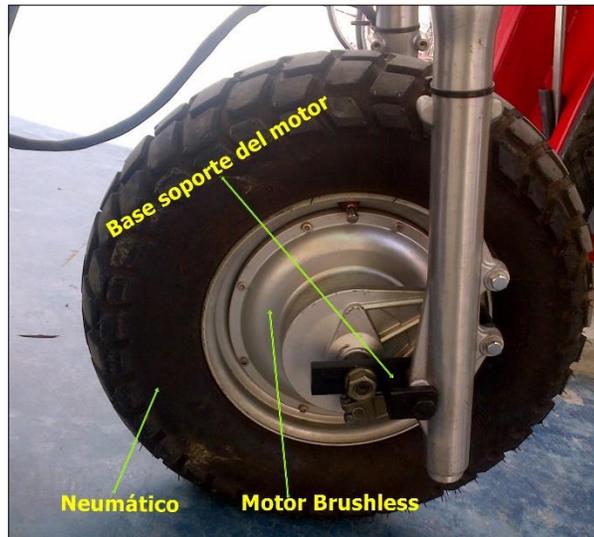


Figura 57 Implementación del motor

3.15 Implementación del controlador

Para colocar el controlador y las demás conexiones, se construyó una caja de 170(L) x 85(W) x 250(H), esta caja va soldada en la parte delantera del bastidor como podemos observar en la figura 58:



Figura 58 Caja base para la colocación del controlador

Una vez colocada la caja base del controlador en la parte posterior del bastidor se procederá con la implementación del controlador como se muestra en la figura.



Figura 59. Ubicación del controlador

3.16 Implementación del circuito de control

Para la implementación del circuito de control que activara al sistema de propulsión y al sistema de carga de las baterías lo primero que se deberá realizar es la selección de cables.

3.16.1 Selección de cables

El cableado de un vehículo eléctrico es muy importante y a veces se pasa por alto su correcto cálculo durante el diseño de la instalación. Si la selección del cable es inferior a la necesaria obtendremos el recalentamiento de los terminales y disminuirémos la vida útil de los elementos que se encuentran en el circuito.

Los cables son catalogados con una numeración en base a su grosor. Estos calibres varían de acuerdo a la corriente (Amperios) y el voltaje de trabajo (Voltios). Otros factores para el dimensionamiento de un cable son la

temperatura, humedad, y uso del cable. El número más grande corresponde a un cable de menor espesor.

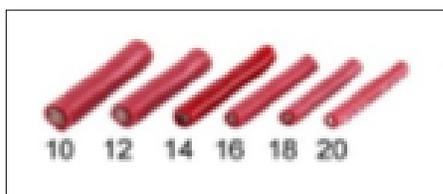


Figura 60 Grosor de cables eléctricos

3.16.2 Cable de control y transmisión de señales

Los cables de control son los que transmitirán señales de baja tensión, principalmente de 12V entre las que están: sensor de la posición del acelerador; palanca de selección de giro del motor; sensor de accionamiento freno de servicio; interruptor de encendido; activación de accesorios y luces intermitentes, entre otros. Las señales que se van a necesitar son de bajo voltaje (12 a 48V) y de baja corriente con un máximo de 15 A.

Entonces buscando en la tabla 12 vemos que debemos utilizar un cable número 18, los cables de las baterías que transportará la corriente hasta el circuito de potencia de allí al controlador y de este al motor, el cable a utilizar será de número 8 y número 6.

Tabla 12

Calibre de cables eléctricos y su carga máxima

AWG GAUGE CALIBRE	Conductor Diámetro Milímetros	Carga Máxima en Amperes
0000	11.684	380
00	9.26592	283
0	8.25246	245
1	7.34822	211
2	6.54304	181
6	4.1148	101

CONTINÚA



8	3.2639	73
10	2.58826	55
12	2.05232	41
14	1.62814	32
16	1.29032	22
18	1.02362	16
20	0.8128	11

Fuente: (Tirado R., 2009)

3.16.3 Construcción del circuito de control

Después de seleccionar el cable adecuado para el sistema, se construyó el circuito de carga y potencia guiándonos de la figura 61 del circuito de control diseñado.



Figura 61 Construcción del circuito de potencia y carga

Después de realizar el circuito se realizaron las pruebas respectivas para verificar el estado de conexión del circuito.



Figura 62 Comprobación del circuito de potencia y carga

El circuito de carga consta con 4 cargadores BLACK&DECKER portátiles que se pueden conectar a un tomacorriente de 110 voltios el cual cargara a las baterías de 12 voltios 100 amperios en un lapso de 6 a 7 horas.



Figura 63 Cargador BLACK&DECKER

Para el correcto funcionamiento del sistema motriz se diseñó un circuito de control con relés para al sistema de carga y potencia del motor, los relés funcionara como un sistema de protección y activación para las mismas, finalmente se procederá a la conexión del motor, controlador, circuito de control y baterías.



Figura 64 Conexión del motor-controlador-circuito de control-batería

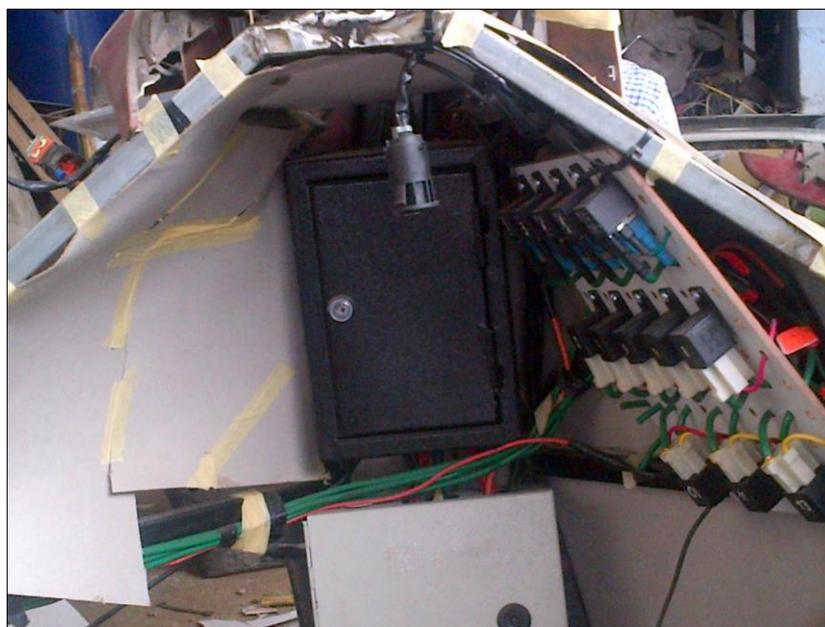
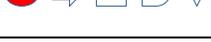
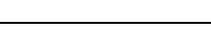
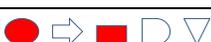
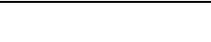


Figura 65 Instalación del circuito de control

Para complementar el desarrollo del sistema de control (carga y potencia) del proyecto se procede a continuación a realizar un diagrama de procesos.

Tabla 13

Diagrama de proceso del ensamble del circuito de control

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DEL TRICICLO MONOPLAZA ELÉCTRICO PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN SUS EXTREMIDADES INFERIORES				
Descripción de la parte: SISTEMA DE CARGA Y POTENCIA			FECHA: 15/07/15	
Descripción de la operación: CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO DE CARGA Y POTENCIA			REALIZADO POR: Vargas W.	
Descripción de los símbolos:  Operación Transporte Inspección Almacenamiento Retraso			GRAFICO N°: 2	HOJA N°: 2 de 2
Dist. En metros	Tiempo en min.	Símbolos del grafico	Descripción del proceso	Método
5	15		Inspección de los elementos a ensamblarse	Factor humano
1000	60		Adquisición de materiales	Factor humano – Vehículo
1	30		Diseño del circuito	Programa de diseño de circuitos Live-Wire,
5	15		Fijación de las baterías en puntos estratégico	Factor humano
15	5		Ubicación de los elementos de control y potencia en la carrocería del triciclo	Factor humano, llave mixta de ½ pulg.
5	10		Conexión del circuito de alta potencia	Cable número 6, taípe, terminales, cinta auto fundente
5	10		Conexión del circuito de control	Cable número 8-10-12-14, taípe, terminales, cinta auto fundente
5	10		Conexión del circuito de carga	Cable número 8-10-12-14, taípe, terminales, cinta auto fundente
1	5		Inspección del avance 1 del ensamble	Factor Humano
20	30		Instalación de los elementos de activación, control y carga	Cargadores, controlador, motor, interruptor principal, destornillador plano estrella
1	5		Inspección final del ensamble	Factor humano
30	20		Pruebas de funcionamiento	Factor humano
1093	215	10 1 3 0 0	Totales	
Valor añadido por el tiempo = Tiempo de Operación/Tiempo total = (195)/215 =90.69 %				

3.17 Implementación de accesorios del triciclo monoplaza

La disponibilidad de accesorios en el prototipo del triciclo eléctrico sirve para brindar una conducción segura al conductor, para que no haya un consumo excesivo de corriente y la autonomía sea más útil se utilizaran luces led y no las convencionales que vienen en las motos y automóviles, a continuación se detallan los accesorios que se implementó en el triciclo monoplaza eléctrico.

3.17.1 Luces frontales y posteriores

La figura 66 muestra las luces led frontales y posteriores instaladas en el triciclo las cuales servirán como luces guías para viraje (direccionales), y la luz principal de camino para manejo durante la noche (altas, bajas y freno).



Figura 66 Instalación de las luces led Delanteras



Figura 67 Encendido de las luces delanteras

3.17.2 Sistema de acceso

La figura 68 muestra la instalación del sistema de acceso el cual cuenta con un motor del eleva vidrios que se implementó al prototipo para que cumpla con la relativa función de abrir o cerrar la rampa para el ingreso independiente del conductor con su silla de ruedas.



Figura 68 Instalación eléctrica mecanismo del sistema de acceso

3.17.3 Velocímetro

La figura 69 muestra el tablero de una motocicleta, el cual dispone de un velocímetro que será vital a la hora de manejo, también dispone de un indicador de cargas de baterías.



Figura 69 Velocímetro

3.17.4 Bocina

La figura 70 se muestra la bocina que será usada exclusivamente en casos de emergencia y no de manera innecesaria.

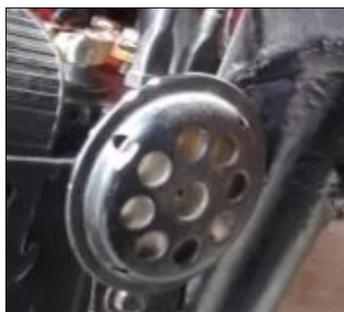


Figura 70 Bocina

3.17.5 Retrovisores

La figura 71 muestra el retrovisor del triciclo, siendo este un accesorio de vital importancia para el piloto a la hora de hacer maniobras como rebasar o frenar en carretera.



Figura 71 Retrovisor

CAPÍTULO IV

4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS

Con la finalidad de obtener resultados más precisos al realizar las pruebas nos aseguramos de mantener las baterías cargadas al 100%. Todas las pruebas en éste capítulo se las hizo con la carga máxima calculada (90 Kg una persona con su silla de ruedas). Al ser un vehículo para el transporte de personas con discapacidad en sus extremidades inferiores de la ciudad de Latacunga, la superficie donde se realizaron las pruebas es de asfalto.

4.1 Pruebas de aceleración

Para efectuar la prueba de aceleración del triciclo eléctrico monoplaza, se la realizó en una vía plana del aeropuerto de Cotopaxi como se muestra en la figura 31 del capítulo 3, consistía en determinar el tiempo que el triciclo demora en recorrer una distancia de 50 metros, partiendo desde el reposo, el tiempo cronometrado fue de 10 segundos.

Entonces la velocidad calculada está dada por:

$$V_f = \frac{d}{t} \quad \text{Ecuación (4.1)}$$

Donde:

V_f = Velocidad final ($\frac{Km}{h}$)

d = Distancia (m)

t = Tiempo (s)

$$V_f = \frac{50 \text{ m}}{10 \text{ seg.}}$$

$$V_f = 0,5 \frac{\text{m}}{\text{seg.}} = 18 \frac{\text{Km}}{\text{h}}$$

Una vez calculada la velocidad se procederá a calcular la aceleración (ver ecuación 4.2)

$$a = \frac{V_f - V_o}{t_f - t_o} \quad \text{Ecuación (4.2)}$$

Donde:

a = Aceleración ($\frac{m}{seg.}$)

t_o =Tiempo inicial (s)

t_f =Tiempo final (s)

V_o =Velocidad final ($\frac{Km}{h}$)

V_f =Velocidad final ($\frac{Km}{h}$)

$$a = \frac{0,5 \frac{m}{seg.} - 0}{10seg. - 0} = 0,05 \frac{m}{seg^2}$$

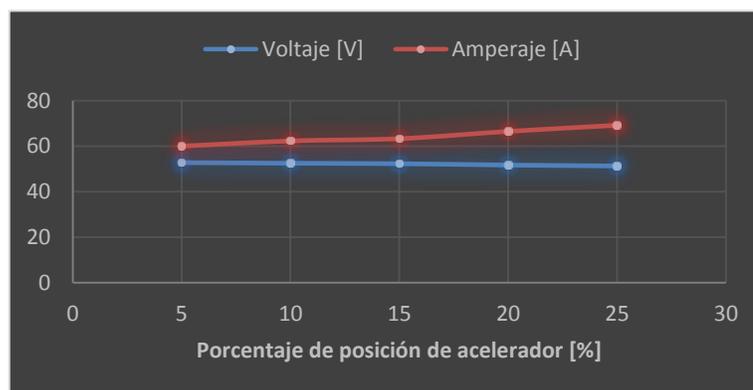
La prueba de aceleración determinó que el triciclo eléctrico monoplaza tiene una aceleración máxima de $0,05 \frac{m}{seg^2}$

4.2 Pruebas en recta

En las tablas que se presentan a continuación indica los datos obtenidos de las pruebas en recta de baja, media y plena carga respectivamente, en cada una de ellas se observa el voltaje de las baterías y el amperaje consumido por el motor de acuerdo a la posición del acelerador.

Tabla 14**Resultado prueba en recta a baja carga**

Porcentaje de posición de acelerador [%]	Voltaje [V]	Amperaje [A]
5	52,8	60
10	52,5	62,3
15	52,3	63,3
20	51,7	66,5
25	51,3	69,2

**Figura 72 Resultado prueba en recta a baja carga**

En esta prueba la posición del acelerador se encuentra al 25% el voltaje disminuye de un 52,8 V al 51,3 V y el amperaje que necesita el motor aumenta de 60 A – 69.2 A

Tabla 15**Resultado prueba en recta a media carga**

Porcentaje de posición de acelerador [%]	Voltaje [V]	Amperaje [A]
30	50,9	72,1
35	50,2	74,3
40	49,4	77,7
45	48,9	79,7
50	48,1	82,3

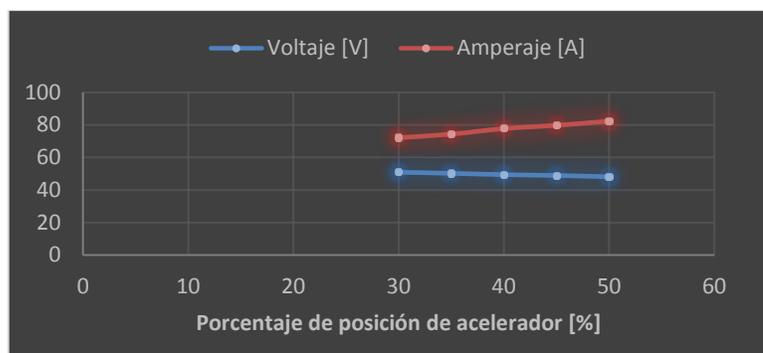


Figura 73 Resultado prueba en recta a media carga

Al aumentar la posición del acelerador a un 50 % el voltaje disminuye a 48,1 V y el amperaje que necesita el motor aumenta a 82,3 A.

Tabla 16

Resultado prueba en recta a toda carga

Porcentaje de posición de acelerador [%]	Voltaje [V]	Amperaje [A]
60	47,2	85,6
70	45,9	87,8
80	44,6	90,8
90	43,4	94,6
100	42,24	100

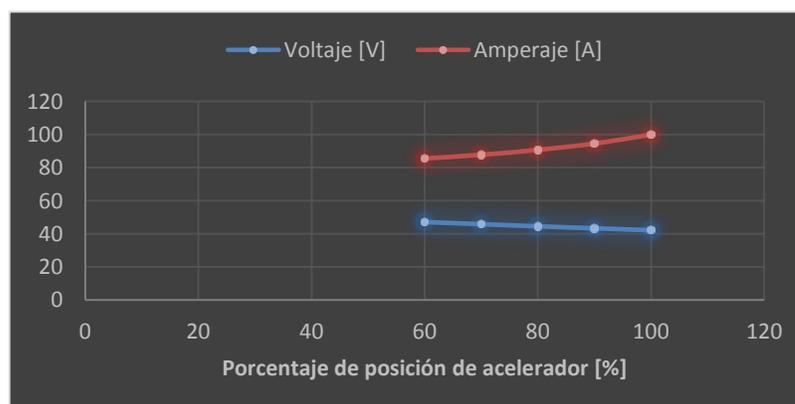


Figura 74 Resultado prueba en recta a toda carga

Al aumentar la posición del acelerador a un 100 % el voltaje disminuye a 42,24 V y el amperaje que necesita el motor aumenta a 100 A en este caso el motor requiere de un alto amperaje para funcionar al su par máximo.

En la tabla 17 se pone a consideración los datos más relevantes obtenidos de las pruebas.

Tabla 17
Datos relevantes de las pruebas en recta

Posición del acelerador %	Corriente consumida	Caída de voltaje
25	69,2	51,3
50	82,3	48,1
100	100	42,24

Al realizar estas tres pruebas se estableció que a medida que la posición del acelerador varia, el voltaje y la intensidad de corriente también varían directa e inversamente y la caída de voltaje máxima al acelerar al 100% es de 42,24 voltios, por lo tanto el consumo del amperaje desde el 25% hasta el 100% es de 30.8 A por lo que se recomienda no acelerar al 100% para mantener la autonomía

4.3 Prueba de autonomía

Esta prueba dependerá de las características de las baterías seleccionadas, conociendo que la capacidad de las baterías es de 100 Ah, la ruta establecida para esta prueba consta de 8Km con pendientes poco pronunciadas (ver figura 3.1),

Con las baterías cargadas al 100% se procedió a realizar la pruebas de autonomía logrando dar 5 vueltas a una velocidad de 35 Km/h es decir que el triciclo recorrió aproximadamente 42 Kilómetros, cumpliendo así con el cálculo teórico establecido.

4.4 Análisis económico del triciclo eléctrico monoplaza.

La elaboración de este proyecto se consideró los siguientes factores.

4.4.1 Costos directos

Son los materiales y accesorios que intervienen directamente en el proyecto los mismos que se muestran a continuación.

Tabla 18

Desglose de los materiales directos para la conversión.

Cantidad	Ítem	Características	Precio unitario \$ (USD)	Precio total \$ (USD)
1	Motor Brushless	48 V-60 A-4000 W MOD-0704509598	2500	2500
4	Baterías de ciclo profundo AGM	RITAR RA12-100D 12V100AH	275	1100
1	Controlador	Kelly Controls KEB 48601F-6000W	400	400
1	Acelerador	48V-4000W	100	100
17	Relé	Bosch 70 A-12V	6	102
50 metros	Cable circuito de potencia y carga	AWG número 8-10	0.75	37.5
30 metros	Cable accesorios de conexión	AWG número 16-18	0.65	19.5
1	Motor eleva vidrios	12 Voltios	120	120
2	Luces led delanteras	12 voltios	30	60
4	Luces led direccionales	12 voltios	12	48
2	Luces led frenos	12 voltios	18	36
1	Indicador de carga	2 voltios	60	60
2	Aros y llantas	135/90R10	60	120
2	Interruptores	12 voltios	4	8
20	Pernos y tornillos	varios	0.40	8
			Total	4662

4.4.2 Costos indirectos

Intervienen costos tales como logística, movilización y combustible utilizados para la realización del proyecto, pero no han intervenido directamente.

Tabla 19

Desglose de los materiales indirectos para la conversión

Cantidad	Ítem	Características	Precio unitario \$ (USD)	Precio total \$ (USD)
1	Logística	Importación de materiales	700	700
2	Combustible y movilización	Transporte de materiales	300	300
			Total (USD)	1000

4.4.3 Costo de mano de obra

Tabla 20

Costo de mano de obra

Operario	Número de horas	Precio unitario \$ (USD)	Precio total \$ (USD)
Técnico eléctrico electrónico	20	10	200
Ayudante del técnico	20	5	100
		Total (USD)	300

4.4.4 Costo total.

Lo determina la sumatoria de los diferentes costos antes establecidos, así el costo total del prototipo en la parte eléctrica será:

Tabla 21**Costo total de la investigación**

Ítem	Descripción	Costo \$ (USD)
1	Costos directos	4662
2	Costos indirectos	1000
3	Mano de obra	300
	Total (USD)	5962

4.4.5 Costo de operación.

Para el cálculo de operación y mantenimiento se considera un recorrido de 40 Km diarios con una carga completa para un periodo de 5 años. Se proyecta que el triciclo empleará un cargador de 110V, 6 A, lo cual permitirá la carga completa de las baterías en 6 horas, con estos datos iniciales se puede calcular el consumo, para lo cual se inicia el cálculo de potencia (ver ecuación 4.3).

$$P = V.I \quad \text{Ecuación (4.3)}$$

Donde:

P = Potencia [W]

V = Voltaje =110[V]

I =Intensidad =6[A]

$$P = (110V)(6A)$$

$$P = 660 W$$

Una vez calculada la potencia se procede con el cálculo de energía mediante (ver ecuación 4.4).

$$E = P.t \quad \text{Ecuación (4.4)}$$

Donde:

E = Energía consumida [Wh]

$P = \text{Potencia} = 660[\text{W}]$

$t = \text{Tiempo de carga} = 6[\text{h}]$

$$E = 660 \text{ W} * 6 \text{ h}$$

$$E = 3960 \text{ Wh} = 3,96 \text{ Kwh}$$

Entonces, tenemos que el consumo del cargador por hora, es de 3960 Wh.

Teniendo un consumo de 3,96 kW/h, esto sería al mes un consumo total de 118,8 KW/h. Ingresamos en la página de la CONELEC (Consejo Nacional de Electricidad), en donde encontramos en el cálculo de tarifas residenciales, que “el monto calculado no debe ser tomado como el real, debido a que se está facturando solo por energía y comercialización, sin ser tomado en consideración los diferentes subsidios de ley y rubros a terceros.” (CONELEC, 2015)

Entonces, realizamos el costo mensual en la empresa eléctrica de Cotopaxi.

Artefacto	Potencia en KW/h	Número de Artefactos	Utilización Horas	Utilización Días mes	Acciones
Consumo Total:	118,8				
<input type="button" value="Calcular"/>					
Consumo mensual: 118 Kw					
■ Resultados:					
Rango de Consumo	Rango	Cargo	Sub total [S]		
0-50	50	0.0810	4.0500		
51-100	50	0.0830	4.1500		
101-150	18	0.0850	1.5300		
151-200	0	0.0870	0.0000		
201-250	0	0.0890	0.0000		
251-300	0	0.0910	0.0000		
301-350	0	0.0930	0.0000		
351-400	0	0.0950	0.0000		
401-9999	0	0.0950	0.0000		
Valor Comercialización: \$ 1.41					
■ Total Factura: \$ 11.14					

Figura 75 Valor del consumo energético del triciclo

Fuente: (CONELEC, 2015)

Por lo tanto tenemos un consumo energético mensual del triciclo eléctrico monoplaza con un costo de operación de 11.14\$.

Tabla 22

Costo de consumo eléctrico anual del triciclo

Años					
Consumo eléctrico	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Costo	133,68	133,68	135,48	137,35	139,29
Inflación	0	1,80	1,87	1,94	2,01
Total (USD)	133,68	135,48	137,35	139,29	141,3

El costo del consumo eléctrico total en los 5 años que el triciclo consume es de 687 dólares con 10 ctvs.

CAPÍTULO V

5.1 CONCLUSIONES

- El triciclo cumple con los parámetros de diseño dinámicos calculados consiguiendo implementar del sistema de propulsión con un motor eléctrico brushless modelo MOD-0704509598 capaz de producir 4000 W de potencia efectiva que alcanza una velocidad de 50Km/h, con un voltaje de 48 voltios y 60 amperios para su funcionamiento,
- Para el control de los componente eléctricos y electrónicos se implementó un módulo de control electrónico de marca Kelly Controls KEB48601F que cuenta con un puerto de programación RS232 y un conector J2 de 14 pines que controlan la aceleración, retro y freno regenerativo del motor brushless.
- Con los datos de la capacidad específica calculada se procedió a seleccionar baterías de ciclo profundo de electrolito tipo AGM 12 voltios y 100 amperios, para alcanzar el voltaje de funcionamiento de 48 voltios se conectaron 4 baterías en serie.
- Se ha diseñado un sistema de control con relés el cual activara al sistema de potencia del motor y también activara al sistema de carga de las baterías, a su vez este circuito de control funcionara como un dispositivo de seguridad ya que funcionarán como un elemento de paro de emergencia o como un contactor.
- Para el sistema de accesorios se implementó luces led de 12V/20mA ya que el consumo de corriente es mínima esto ayudara a que el triciclo posea una buena autonomía.
- Para las conexiones de todo el sistema de propulsión se ha seleccionado adecuadamente elementos eléctricos y electrónicos como, las baterías, controlador electrónico, motor, acelerador, relés y conductores de corriente eléctrica de acuerdo al calibre para la conexión de alto y bajo amperaje.
- Según el análisis aplicado, se obtuvo una tensión equivalente de Von Mises de $\sigma_{V.M} = 54 MPa$, obteniendo como resultado un factor de seguridad de

4,6 el cual nos da paso a su construcción ya que nos indica su alta seguridad ante el fallo de la base del motor.

- Después de realizar las pruebas en carreteras a baja, media y carga plena se determinó que el voltaje y la intensidad de corriente también varían directa e inversamente y la caída de voltaje máxima al acelerar al 100% es de 42,24 voltios, por lo tanto el consumo del amperaje desde el 25% hasta el 100% es de 30.8 A por lo que se recomienda no acelerar al 100% para mantener la autonomía
- El triciclo monoplaza eléctrico cumple con las expectativas propuestas, alcanzando una distancia de recorrido de 42 Km con una velocidad media de 35Km/h y una velocidad máxima de 50Km/h suficiente para moverse en zonas urbanas ya que la velocidad máxima permitida en ciudades es de 50Km/h.
- La necesidad de transporte independiente para las personas con discapacidades en sus extremidades inferiores residentes en la ciudad de Latacunga con este tipo de vehículo ha sido de gran importancia, ya que es un triciclo monoplaza 100% eléctrico como alternativa de futuro gracias a la utilización de una energía limpia y eficiente como es la energía eléctrica.
- Con este tipo de vehículo eléctrico se obtuvo un ahorro económico considerable a comparación de una motocicleta a gasolina.
- La importancia del triciclo monoplaza eléctrico es contrarrestar el deterioro del medio ambiente, con ello impulsando la generación de investigadores con conciencia ambiental contribuyendo también al cambio de la matriz productiva del país.

5.2 RECOMENDACIONES

- Seleccionar un motor apropiado de acuerdo a cálculos matemáticos como potencia y torque que el consumidor necesite.
- Tener precaución al manipular el interruptor de codillo (ojo de cangrejo) ya que cuenta con tres posiciones de accionamiento como, encendido del sistema, apagado, y carga para no tener dificultades con el funcionamiento del triciclo.
- Tomar en cuenta los parámetros iniciales del motor, ya que la capacidad de subir pendientes muy pronunciadas no son adecuada para que los componentes eléctricos no sufran daños.
- Al tener problemas con el controlador, acudir inmediatamente al manual de fallas del controlador para verificar las posibles fallas del sistema.
- Si desea mejorar la velocidad del motor, se puede descargar el software de programación del controlador en la página oficial de Kelly Controls.
- Capacitar a los estudiantes de la carrera sobre nuevas tendencias de uso de energías renovables para lograr nuevos proyectos y la generación de investigadores con conciencia ambiental.
- Para incrementar la autonomía del triciclo se debe implementar baterías de Ion litio ya que pueden tener una capacidad específica de 200Wh/Kg frente a las baterías de ciclo profundo AGM que tiene una capacidad específica de 40Wh/Kg, sin embargo el costo de estas baterías son muy elevadas.
- Con el cambio de la matriz energética en el país este tipo de vehículos serán tomados en cuenta para el transporte por lo que convendría ir investigando proyectos ejemplares.

BIBLIOGRAFÍA

- Padmaraja , Y. (2003). Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals. Microchip Technology Inc., 1-20.
- Ceña, A., & Santamarta, J. (2009). El coche eléctrico:el futuro del transporte,la energía y el medio ambiente. REVE (Regulación Eólica con Vehículos Eléctricos), 42-43.
- Grasblum, P., & Lepka, J. (2011). Electric Motor Type Classification. INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ, 4-5.
- Guru , B., & Hiziroglu, H. (2003). Máquinas eléctricas y transformadores. New York Oxford: Alfa Omega.
- Kindler, H. (1986). Coeficiente dinamico entre caucho y asfalto. En H. Kindler, Matematica Aplicada a la Técnica del Automovil GTZ (pág. 239). Bogotá: REBERTÉ S.A.
- Larminie, J. (2003). Electric Vehicle Technology. USA: John Wiley & Sons Inc.
- Martín Pérez , A. (2010). Baterías para vehículos eléctricos. En I. Vaquero Díaz, & P. García Bermúdez, Guía de los vehículos eléctricos (pág. 234). Madrid España: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.
- Ogata, K. (203). Ingeniería de Control Moderna. México D.F.: PRENTICE-HALL.
- Palafox, I. G. (2009). Electrónica de Potencia. México D.F.: Huajuapán De León OAX México.
- Mott, R. (2006). Propiedades de los aceros estructurales. México D.F.: Cámara Nacional De la Industria Mexicana.

NETGRAFÍA

- Tutillo Taipe, J. O. (08 de 2014). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL TREN MOTRIZ CON MOTOR ELÉCTRICO Y TRANSMISIÓN CVT, EN UNA MOTOCICLETA ELÉCTRICA PLEGABLE. Obtenido de Repositorio ESPE Latacunga: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8862/1/T-ESPEL-MAI-0473.pdf> (Recuperado 21/05/2014)
- Abatta Jácome, L. R., & Moya Llano , P. S. (07 de 2013). Diseño, Adaptación Y Conversión De Una Motocicleta De 100 C.C. A Gasolina En Eléctrica. Obtenido de Repositorio ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6885/1/T-ESPE-047278.pdf> (Recuperado 21/05/2014)
- Acurio , M. A. (17 de 07 de 2013). Obtenido de BIBLIOTECA UTPL: http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/8020/1/Acurio_Recalde_Monica_Anabelly.pdf (Recuperado 21/05/2014)
- AHMSA. (22 de 07 de 2010). Normas y características a las que se sujetan los aceros. Obtenido de Manual de Diseño para la Construcción con Acero: http://www.ahmsa.com/Acero/Complem/Manual_Construccion_2013/Capitulo_1.pdf (Recuperado 21/05/2014)
- Araujo, A. (09 de 03 de 2015). La gasolina bordea el precio internacional. Obtenido de El comercio: <http://www.elcomercio.com/actualidad/gasolina-precio-internacional-combustibles-ecuador.html> (Recuperado 21/05/2014)
- Bastidas Arroyo, C. D., & Cabrera Díaz, D. E. (06 de 2014). Conversión de una moto de combustión interna a eléctrica con alimentación de energía solar y con carga de energía eléctrica. Obtenido de Tesis de pregrado ESPE LATACUNGA: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8803/1/T-ESPEL-MAI-0468.pdf>. (Recuperado 21/05/2014)
- BateríasTotal. (2015). Diferencia entre baterías de GEL y baterías AGM. Obtenido de BateríasTotal.com: <http://bateriastotal.com/bat/es/content/9-diferentes-tipos-de-baterias> (Recuperado 21/05/2014)
- Becerril Sandoval, J. A. (12 de 07 de 2014). Diseño de etapa de potencia y control para un motor brushless de CD con frenado regenerativo

aplicado a una moto deportiva eléctrica. Obtenido de Tesis de pregrado, México:

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3489/Tesis.pdf?sequence=1> (Recuperado 21/05/2014)

- Benavente, R. (09 de 19 de 2014). Evolucion historica del coche eléctrico. Obtenido de El Confidencial: http://www.elconfidencial.com/tecnologia/2014-09-19/la-evolucion-historica-del-coche-electrico-dos-siglos-de-luces-y-sombras_202694/ (Recuperado 21/05/2014)
- Bosch, R. (2015). Sistemas para vehículos eléctricos con autonomía extendida. Obtenido de Bosch: http://www.bosch-mobility-solutions.es/es/es/powertrain_8/powertrain_systems_for_passenger_cars_9/systems_for_electric_vehicles_with_range_extender_8/systems_for_electric_vehicles_with_range_extender_1.html (Recuperado 21/05/2014)
- Brushless, K. E. (2014). Manual de usuario del controlador. Obtenido de Kelly Controls, LLC: <http://kellycontroller.com/mot/downloads/KellyKEBUserManual.pdf> (Recuperado 21/05/2014)
- Camacho Cañizares, Á. S., & Guevara Barros, E. X. (06 de 2014). VEHÍCULOS ELÉCTRICOS TRANSPORTE TURÍSTICO ECOLÓGICO. Obtenido de Tesis ESPE-I Pregrado: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8619> (Recuperado 21/05/2014)
- Cevallos, J. (15 de 05 de 2015). Estimación del consumo de combustibles en el transporte terrestre en el Ecuador. Obtenido de Centro de Prospectiva Estratégica (CEPROEC): [http://ceproec.iaen.edu.ec/download/wps\(2\)/2015_05.pdf](http://ceproec.iaen.edu.ec/download/wps(2)/2015_05.pdf) (Recuperado 21/05/2014)
- CONADIS, M. (2015). Consejo Nacional Para la Igualdad de Discapacidades. Obtenido de Estadísticas de personas con discapacidad de Cotopaxi: https://public.tableau.com/profile/javier.gaona#!/vizhome/DICAPACIDAD_ESECUADOR/Discapacidades (Recuperado 21/05/2014)
- CONAE. (03 de 07 de 2015). Calculos para motores electricos. Obtenido de CONAE: http://www.cnpml.org.sv/UCATEE/ee/docs/Motores_02.pdf

- CONELEC. (01 de 08 de 2015). Cálculo de tarifas residenciales. Obtenido de CONELEC: http://www.conelec.gob.ec/tarifa_residencial.php (Recuperado 21/05/2014)
- Copyright Controlador Kelly. (2008). Obtenido de Kelly Controls Llc: <http://kellycontroller.com/Electric-Scooter-Controller.php> (Recuperado 21/05/2014)
- Copyright Controlador Kelly. (2008). KEB Electric Motorcycle BLDC Motor Speed Controller. Obtenido de Kelly Controls,LLC: <http://kellycontroller.com/keb4860124v-48v350a6kw-bike-brushless-controller-regen-p-565.html> (Recuperado 21/05/2014)
- Copyright Endesa S.A. (2013). Vehículo eléctrico . Obtenido de Vehículo eléctrico : <https://www.endesavehiculoelectrico.com/vehiculo-electrico/el-vehiculo/tipos> (Recuperado 21/05/2014)
- El comercio. (07 de 03 de 2015). Los autos eléctricos. Obtenido de El Comercio: <http://www.elcomercio.com/deportes/gobierno-automoviles-autos-electricos.html> (Recuperado 21/05/2014)
- MegaConcesionario. (22 de 07 de 2015). Especificaciones y características del aveo family. Obtenido de MegaConcesionario: <http://megaconcesionario.com/showroom/chevrolet/item/aveo-family> (Recuperado 21/05/2014)
- Meganeboy, D. (2014). Accesorios electricos . Obtenido de Aficionados a la Mecánica: <http://www.aficionadosalamecanica.net/instrumentos-cuadro.htm> (Recuperado 21/05/2014)
- Moreira, D. (07 de 06 de 2010). Tipos de vehículoa eléctricos. Obtenido de HIGHMOTOR: <http://www.highmotor.com/tipos-vehiculos-electricos-hibridos-electricos-autonomia-extendida.html> (Recuperado 21/05/2014)
- Navarrete Chang, J. P., & Vega Trujillo, M. A. (06 de 2012). Diseño y construcción de un sistema de regeneración de energía. Obtenido de Tesis Escuela Politécnica Nacional: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4582> (Recuperado 21/05/2014)
- Nergiza. (03 de 24 de 2014). Vehículos eficientes. Obtenido de Nergiza: <http://nergiza.com/pima-aire-3-ayudas-a-la-compra-vehiculos-eficientes-2014/> (Recuperado 21/05/2014)

- Regrabables. (24 de 06 de 2011). Pasar pendientes en grados a porcentaje y al revés. Obtenido de Regrabables: <https://regrabables.wordpress.com/2011/06/24/pasar-pendientes-en-grados-a-porcentaje-y-al-reves/> (Recuperado 21/05/2014)
- RENOVAENERGÍA, S. A. (28 de 06 de 2015). Baterías de ciclo profundo. Obtenido de RENOVAENERGÍA, S. A.: http://www.renova-energia.com/productos_baterias/index.html. (Recuperado 21/05/2014)
- REPUESTOSCHINOS . (2014). Motores-electricos-con-rueda. Obtenido de Repuestos Chinos: <http://repuestochino.com/motores-electricos-con-rueda.html> (Recuperado 21/05/2014)
- Sandoval, V. E. (04 de 06 de 2013). Sistema electronico del automovil. Obtenido de Conductores eléctricos: <http://victorefren1.blogspot.com/> (Recuperado 21/05/2014)
- SEED. (22 de ABRIL de 2015). Vehículos completamente eléctricos. Obtenido de Schlumberger excelencia en el desarrollo de la educación: <http://www.planetseed.com/es/node/102355> (Recuperado 21/05/2014)
- SOLUCIONSOLAR. (2015). Baterias para almacenar energia. Obtenido de Solucion Solar: <http://www.solucionsolar.cl/web/index.php/productos/baterias> (Recuperado 21/05/2014)
- TECMOVIA. (30 de 06 de 2015). Historia del coche electrico. Obtenido de TECMOVIA: <http://www.diariomotor.com/tecmovia/2011/07/19/la-historia-del-coche-electrico-un-largo-proceso-de-desarrollo/> (Recuperado 21/05/2014)
- Tirado R., S. (2009). Calibre de cables eléctricos y carga máxima. (Recuperado 21/05/2014)
- Varta. (05 de 11 de 2010). Blog especializado en de baterías de arranque. Obtenido de Innovadoras baterías start-stop de Varta: <https://asturbaterias.wordpress.com/>(Recuperado 21/05/2014)
- Yumbo, D., & Reyes, P. (09 de 2012). Implementación de un motor eléctrico sobre el chasis de una motocicleta Yamaha TTR125. Obtenido de Repositorio Universidad Politécnica Salesiana: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2915/1/UPS-CT002474.pdf> (Recuperado 21/05/2014)

ANEXOS



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor o señorita:
WILSON MAURICIO VARGAS SHIGUANGO

En la ciudad de Latacunga, a los **20 días del mes de agosto del 2015.**

Ing. William Bonilla

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

Ing. Danilo Zambrano

DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Freddy Jaramillo Checa

SECRETARIO ACADÉMICO