



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“IMPLEMENTACIÓN DE LA UNIDAD DE POTENCIA EN UN PROTOTIPO
SOLAR DE COMPETENCIA POR MEDIO DEL ESTUDIO Y SELECCIÓN DE
LOS COMPONENTES QUE CUMPLAN CON LOS REQUISITOS DE DISEÑO”**

**AVALOS HARO JOHAO CRISTIAN
ARÉVALO BARRAGÁN SANTIAGO ANDRÉS**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2019

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2018-05-04

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

JOHAO CRISTIAN AVALOS HARO

Titulado:

**“IMPLEMENTACIÓN DE LA UNIDAD DE POTENCIA EN UN PROTOTIPO
SOLAR DE COMPETENCIA POR MEDIO DEL ESTUDIO Y SELECCIÓN DE
LOS COMPONENTES QUE CUMPLAN CON LOS REQUISITOS DE DISEÑO”**

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

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos Santillán Mariño MSc.
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo
DIRECTOR

Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano
MIEMBRO

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2018-05-04

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

SANTIAGO ANDRÉS ARÉVALO BARRAGÁN

Titulado:

**“IMPLEMENTACIÓN DE LA UNIDAD DE POTENCIA EN UN PROTOTIPO
SOLAR DE COMPETENCIA POR MEDIO DEL ESTUDIO Y SELECCIÓN DE
LOS COMPONENTES QUE CUMPLAN CON LOS REQUISITOS DE DISEÑO”**

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

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos Santillán Mariño MSc.
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Ángulo
DIRECTOR

Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JOHAO CRISTIAN AVALOS HARO

TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “IMPLEMENTACIÓN DE LA UNIDAD DE POTENCIA EN UN PROTOTIPO SOLAR POR MEDIO DEL ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES QUE CUMPLAN CON LOS REQUISITOS DE DISEÑO.”

Fecha de examinación: 2019-01-22

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

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

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

RECOMENDACIONES: _____

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

Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: SANTIAGO ANDRÉS ARÉVALO BARRAGÁN

TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “IMPLEMENTACIÓN DE LA UNIDAD DE POTENCIA EN UN PROTOTIPO SOLAR POR MEDIO DEL ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES QUE CUMPLAN CON LOS REQUISITOS DE DISEÑO.”

Fecha de examinación: 2019-01-22

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

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

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

RECOMENDACIONES: _____

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

Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, AVALOS HARO JOHAO CRISTIAN y ARÉVALO BARRAGÁN SANTIAGO ANDRÉS, egresados de la Carrera de INGENIERÍA AUTOMOTRIZ de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, autores del trabajo de titulación denominado "**IMPLEMENTACIÓN DE LA UNIDAD DE POTENCIA EN UN PROTOTIPO SOLAR DE COMPETENCIA POR MEDIO DEL ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES QUE CUMPLAN CON LOS REQUISITOS DE DISEÑO**", nos responsabilizamos en su totalidad del contenido en su parte intelectual y técnica, y me someto a cualquier disposición legal en caso de no cumplir con este precepto.

Avalos Haro Johao Cristian

Cédula de Identidad: 060393698-0

Arévalo Barragán Santiago Andrés

Cédula de Identidad:010566967-5

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Avalos Haro Johao Cristian y Arévalo Barragán Santiago Andrés, declaramos somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Avalos Haro Johao Cristian

Cédula de Identidad: 060393698-0

Arévalo Barragán Santiago Andrés

Cédula de Identidad: 010566967-5

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mis padres, hermana, abuelitos, a mi familia y enamorada, quienes siempre me apoyaron y estuvieron en los momentos más difíciles, en especial y con mucho cariño para mi madre Silvia Haro por todo el sacrificio que ha hecho para educarnos y formarnos como personas de bien.

Avalos Haro Johao Cristian

Esta tesis se la dedico a mi esposa Daniela Granizo que ha sido mi motor desde que estamos juntos e hijas Doménica y Victoria Arévalo que son mi luz y fuerza para continuar adelante todos los días, así llegando a cumplir este objetivo que ha sido difícil y que anhelaba con todo mi corazón.

Arévalo Barragán Santiago Andrés

AGRADECIMIENTO

De igual forma, dedico esta tesis a Dios por haberme dado salud y fortaleza, a mis padres por su apoyo incondicional y por enseñarme a ser una buena persona y luchar por conseguir mis sueños y estar siempre a mi lado, a mis tutores que han sido una guía en este trabajo de titulación y finalmente quiero agradecer a todas y cada una de las personas que de una u otra forma estuvieron apoyándome siempre.

Avalos Haro Johao Cristian

Agradezco primero a Dios que ha dado trabajo y salud para seguir adelante en mis estudios, a mis papás y hermanos que no han perdido la fe en mí estando conmigo en todo momento, a mi esposa e hijas que me han dado ánimo, fuerza, fe y esperanza todos los días para seguir adelante y al Ing. Bolívar Cuaical e Ing. Luis Buenaño que ha sido la guía para este trabajo de Titulación.

Arévalo Barragán Santiago Andrés

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

Pág.

CAPÍTULO I

1.	MARCO REFERENCIAL	
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Planteamiento del problema.....	1
1.3	Metodología.....	2
1.3.1	Diseño metodológico.....	2
1.3.2	Procedimiento de diseño para la selección de la unidad de potencia.....	3
1.3.3	Analizar y comparar los distintos reglamentos de competencia.....	4
1.3.4	Determinar los parámetros que debe cumplir la unidad de potencia.....	4
1.3.5	Determinar la potencia necesaria del motor.....	4
1.3.6	Seleccionar el tipo de motor y controlador adecuado.....	4
1.3.7	Implementación de la unidad de potencia.....	4
1.3.8	Pruebas y comprobaciones.....	5
1.4	Justificación.....	5
1.4.1	Justificación teórica.....	5
1.4.2	Justificación metodológica.....	5
1.4.3	Justificación práctica.....	6
1.5	Objetivos.....	6
1.5.1	Objetivo General.....	6
1.5.2	Objetivos Específicos.....	6

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	
2.1	Categorías.....	7
2.1.2	Regulaciones Técnicas.....	7
2.1.3	Reversa.....	7
2.1.4	Clasificadoras.....	8
2.1.5	Remolcar.....	8
2.1.6	Neumáticos.....	9
2.1.7	Motores Eléctricos.....	10
2.2	Importancia del uso de motores eléctricos.....	10
2.3	Conceptos generales de los motores eléctricos.....	11
2.3.1	Corriente eléctrica.....	11
2.3.2	Corriente directa.....	11
2.3.3	Corriente alterna monofásica.....	12
2.3.4	Corriente alterna trifásica.....	12
2.4	Potencia y par de un motor eléctrico.....	13
2.5	Clasificación de motores eléctricos.....	14
2.6	Ventajas y Desventajas de los motores eléctricos.....	15
2.7	Comparación Motores C.C. y Motores C.A.....	16
2.8	Partes fundamentales de un motor eléctrico.....	16
2.8.1	Estator.....	17
2.8.2	Rotor.....	17
2.8.3	Carcasa.....	18
2.8.4	Base.....	18
2.8.5	Caja de conexiones.....	19
2.8.6	Tapas.....	19
2.8.7	Cojinetes.....	19
2.9	Revoluciones por minuto (rpm) o velocidad angular.....	20
2.10	Factor de potencia.....	21

2.11	Factor de servicio.....	22
2.12	Número de fases.....	22
2.13	Par.....	23
2.14	Frecuencia.....	24
2.15	Deslizamiento.....	24
2.16	Eficiencia.....	24
2.17	Motor Brushless D.C.....	25
2.17.1	Estator.....	25
2.17.2	Rotor.....	26
2.17.3	Sensores Hall.....	27
2.18	Resistencia a la rodadura.....	27

CAPÍTULO III

3.	SELECCIÓN DE LA UNIDAD DE POTENCIA	
3.1	Selección del motor eléctrico.....	31
3.2	Velocidad.....	31
3.3	Potencia.....	32
3.4	Sentido de giro.....	32
3.5	Pérdidas y Eficiencia.....	32
3.6	Características de instalación.....	33
3.6.1	Instalación.....	33
3.6.2	Condiciones Ambientales.....	33
3.6.3	Condiciones de alimentación.....	33
3.7	Cálculo de selección del motor.....	34
3.7.1	Fuerza de la resistencia a la rodadura.....	34
3.7.2	Cálculo de la fuerza.....	35
3.7.3	Cálculo para el torque.....	36
3.7.4	Cálculo de la potencia.....	37
3.7.5	Pendiente máxima.....	38

3.7.6	Resistencia aerodinámica.....	39
3.7.7	Potencia absorbida.....	40
3.7.8	Potencia Estimada.....	41
3.8	Selección del tipo de motor.....	42
3.8.1	Tipos de motores para automóviles eléctricos.....	42
3.8.2	Características de un motor BLDC.....	44
3.8.3	Comparación de motores BLDC con otros tipos de motores.....	44
3.9	Controlador HBL2360.....	52
3.9.1	Dimensiones Controlador HBL 2360.....	54
3.10	Mando analógico de aceleración.....	56
3.11	Cable ABCX2.....	56
3.12	Circuito de protección del controlador.....	57
3.13	Especificaciones del cableado.....	57

CAPÍTULO IV

4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA UNIDAD DE POTENCIA	
4.1	Esquemas eléctricos.....	58
4.1.1	Diagrama de conexión circuito de protección.....	58
4.1.2	Diagrama eléctrico de la unidad de potencia.....	59
4.2	Pruebas del prototipo inicial.....	60
4.2.1	Prueba 1: prueba de funcionamiento de los motores Brushless.....	60
4.2.2	Prueba 2: prueba de desempeño del motor con baterías Níquel metal.....	61
4.2.3	Prueba 3: Conexión y funcionamiento del controlador HBL 2360.....	62
4.3	Implementación de la unidad de potencia en el vehículo solar.....	66
4.3.1	Ensamblaje de la rueda motor.....	66
4.3.2	El controlador.....	67
4.3.3	Mando analógico de aceleración.....	68
4.4	Pruebas de campo.....	69
4.4.1	Configuración de parámetros.....	69

4.4.2	Prueba de campo 1: Desempeño de la unidad de potencia.....	69
4.4.3	Prueba de campo 2: Desempeño de la unidad de potencia.....	71
4.5	Comparación entre las pruebas de pista.....	73
4.6	Presupuesto.....	74
4.6.1	Costos directos.....	74
4.6.2	Costos Indirectos.....	75
4.6.3	Costos Totales.....	76
	CONCLUSIONES.....	77
	RECOMENDACIONES.....	79
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Diseño para la selección de la unidad de potencia.....	3
Figura 1-2	Motor Eléctrico.....	11
Figura 2-2	Generador de corriente directa.....	12
Figura 3-2	Esquema de un alternador trifásico.....	13
Figura 4-2	Clasificación de motores eléctricos.....	14
Figura 5-2	Tipos de estatores.....	17
Figura 6-2	Tipos de rotores.....	18
Figura 7-2	Cojinete de deslizamiento.....	19
Figura 8-2	Factor de potencia.....	21
Figura 9-2	Par o Torque.....	23
Figura 10-2	Estator de un motor BLDC.....	26
Figura 11-2	Secciones del rotor.....	26
Figura 12-2	Sección transversal del motor BLDC.....	27
Figura 13-2	Radio efectivo de rodadura del neumático.....	28
Figura 14-2	Descripción de las presiones de contacto y las fuerzas.....	29
Figura 15-2	Coeficiente de resistencia a la rodadura.....	30
Figura 1-3	Pérdidas y eficiencia.....	32
Figura 2-3	Coeficiente de resistencia a la rodadura versus la velocidad.....	34
Figura 3-3	Diagrama de cuerpo libre.....	35
Figura 4-3	Pendiente máxima.....	38
Figura 5-3	Comparación de las eficiencias (%) de los distintos tipos de motores..	43
Figura 6-3	Motores Brushless 48V-1500W.....	51
Figura 7-3	Controlador HBL2360.....	52
Figura 8-3	Vista Superior y Frontal del controlador y Dimensiones.....	55
Figura 9-3	Esquema de conexión motores brushless y controlador.....	55
Figura 10-3	Mando analógico de aceleración.....	56
Figura 11-3	Cable ABCX2.....	56

Figura 1-4	Diagrama de conexión del circuito de protección.....	58
Figura 2-4	Diagrama eléctrico de la Unidad de potencia.....	59
Figura 3-4	Conexión en serie de baterías convencionales de vehículo.....	60
Figura 4-4	Conexión del banco de baterías, controlador y motor Brushless.....	60
Figura 5-4	Pruebas con baterías Níquel metal hidruro.....	62
Figura 6-4	Pruebas de funcionamiento con el controlador HBL 2360.....	63
Figura 7-4	Conexión del controlador a los motores Brushless.....	63
Figura 8-4	Programa para el control del motor brushless.....	64
Figura 9-4	Sujeción motores Brushless.....	64
Figura 10-4	Pack de baterías.....	65
Figura 11-4	Prueba de avance y reversa de los motores Brushless.....	65
Figura 12-4	Prueba con carga a los motores brushless.....	66
Figura 13-4	Montaje de los motores Brushless al prototipo solar.....	67
Figura 14-4	Montaje del controlador HBL 2360 al prototipo solar.....	68
Figura 15-4	Mando analógico de aceración.....	68
Figura 16-4	Interfaz controlador HBL 2360.....	69
Figura 17-4	Conexión de baterías, controlador y motores Brushless.....	70
Figura 18-4	Medición del amperaje requerido por los motores.....	70
Figura 19-4	Gráfica de valores obtenidos durante la prueba.....	71
Figura 20-4	Pruebas con la batería de Ion Litio.....	72
Figura 21-4	Pruebas de pista.....	72
Figura 22-4	Medición de valores en las pruebas de pista.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Diseño metodológico.....	3
Tabla 1-2	Datos Nominales de los motores Eléctricos.....	13
Tabla 2-2	Ventajas y desventajas de los motores eléctricos.....	15
Tabla 3-2	Comparación Motores C.C. y Motores C.A.....	16
Tabla 1-3	Valores de coeficiente de resistencia a la rodadura.....	35
Tabla 2-3	Fuerza de empuje a diferentes velocidades.....	36
Tabla 3-3	Torque a diferentes velocidades.....	37
Tabla 4-3	Transformación de velocidades.....	38
Tabla 5-3	Valores de potencia a diferentes velocidades.....	38
Tabla 6-3	Valores del coeficiente aerodinámico.....	40
Tabla 7-3	Valores de resistencia aerodinámica a diferentes velocidades.....	40
Tabla 8-3	Potencia absorbida a diferentes velocidades.....	41
Tabla 9-3	Potencia estimada a diferentes velocidades.....	41
Tabla 10-3	Potencia y Torque necesarios para la selección de los motores.....	42
Tabla 11-3	Características Motor BLDC.....	44
Tabla 12-3	Comparación de un motor BLDC con un motor DC de escobillas.....	45
Tabla 13-3	Comparación de un motor BLDC con un motor de inducción.....	46
Tabla 14-3	Comparación entre los motores DC de Escobillas, BLDC y AC.....	47
Tabla 15-3	Valoración a los motores DC de Escobillas, BLDC y AC.....	49
Tabla 16-3	Especificaciones del Motor Brushless Voilamart 48V-1500W.....	51
Tabla 17-3	Especificaciones del controlador seleccionado Roboteq HBL2360.....	53
Tabla 18-3	Elementos del circuito de protección.....	57
Tabla 19-3	Tipos de cables y conexiones.....	57
Tabla 1-4	Datos obtenidos en las pruebas.....	73
Tabla 2-4	Costos de Materiales.....	74
Tabla 3-4	Costos de mano de obra.....	75
Tabla 4-4	Costos Indirectos.....	75
Tabla 5-4	Costos Totales.....	76

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo identificar los diferentes tipos de motores eléctricos, sus características, prestaciones y limitantes, así como su disponibilidad en el mercado para llegar a la selección del tipo de motor eléctrico adecuado para el prototipo solar, que cumpla con los requisitos de competencia de vehículos solares. La metodología aplicada es revisión bibliográfica documental mediante la cual se analizan y se comparan los distintos reglamentos de competencias de vehículos solares para determinar los parámetros que debe cumplir la unidad de potencia, posterior a esto utilizando la metodología de cálculo y empleando fórmulas establecidas para la selección de motores eléctricos se calculó la potencia del motor mínima de 3.23 HP y 23.35 Nm necesaria para impulsar el prototipo solar. Una vez seleccionada la unidad de potencia se implementó en el vehículo solar y se realizaron pruebas de pista con distintos tipos de baterías para verificar su desempeño, obteniendo los mejores resultados con las baterías de Ion litio con una carga de 48 voltios y 20 Ah llegando a la velocidad de 28 km/h debido a diferentes limitantes como son el peso del prototipo de 370 kg siendo superior al establecido en los cálculos, así como valores de amperaje de 90 A al arranque y 50 A en movimiento provocando una descarga inmediata de las baterías lo que no permite un buen desempeño de la unidad de potencia y una autonomía limitada del prototipo solar. Se identificó que los motores Brushless (BLDC) son los que brindan mejores prestaciones debido a su alta eficiencia, no necesitan un sistema de transmisión al estar acoplado directamente en la rueda motriz reduciéndose el peso del prototipo, así como también una gestión electrónica adecuada, por estas razones se seleccionó dos motores eléctricos Brushless de 48 V, 1500 W de potencia y un torque de 48 Nm cada uno. Se recomienda continuar con el estudio realizado de la unidad de potencia con el fin de mejorar el prototipo solar y obtener una mayor velocidad y autonomía.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <PROTOTIPO>, < POTENCIA>, <MOTOR>, <SELECCIÓN>, <DESEMPEÑO>.

ABSTRACT

The present study aims to identify different types of electric motors, their characteristics, presentations, limitations, and their availability in the market, in order to select the type of electric motor suitable for the solar prototype, therefore meeting the competition requirements for solar vehicles. The methodology used is the documentary bibliographic review through which the regulations of the stations of solar vehicles were analyzed and compared to determine the parameters that the power unit must meet. After this, using the calculation and the formulas used for the selection of electric motors, the minimum was calculated. It takes an engine power of 3.23 HP and 23.35 Nm to drive the solar prototype. Once selected, the power unit was implemented in the solar vehicle and runway tests were performed with different types of batteries to verify their performance. The best results were obtained by the Lithium Ion batteries with a charge of 48 volts and 20 Ah., With this battery, the prototype reached a speed of 28 km / h. due to different limitations, such as the weight of the prototype at 370 kg being greater than that established in the calculations, as well as the amperage values of 90 A at the start and 50 A in movement, an immediate discharge of the batteries was caused, furthering causing poor performance of the power unit and allowing for a limited autonomy of the solar prototype. It was identified that the Brushless motors (BLDC) are those that offer better presentations due to their high efficiency, they do not need a transmission system to be coupled directly to the drive wheel, which reduces the weight of the prototype, as well as provides an adequate electronic management. It is recommended to continue with the study carried out by the power unit in order to improve the solar prototype and obtain greater speed and autonomy.

Key words:< TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES >, < PROTOTYPE>, < POWER>, <MOTOR>, <SELECTION>, <PERFORMANCE>.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se desarrollan carreras con vehículos solares a nivel mundial, las cuales promueven el desarrollo de nuevas formas de movilización que pueden ser la respuesta a muchos problemas de índole mundial, uno de los más importantes es la contaminación ambiental. Mediante la utilización de energías renovables, como la energía solar la cual puede ser transformada en energía mecánica y utilizarla en aplicaciones de las cuales puede ser para proveer de energía a la unidad de potencia y de esta manera permitir el movimiento de vehículos solares.

Hoy en día se desarrollan prototipos de este tipo y los elevados costos de los mismos no han permitido que sean una buena alternativa para los usuarios a pesar de los beneficios que presenta el uso de energías renovables como medio de generación de energía para la propulsión de este tipo de vehículos.

A nivel mundial existen diferentes carreras de vehículos solares las cuales están regidas por la Federación Internacional de carros solares ISF, una de ellas es el World solar challenge que en 2017 fue la edición número 14 desarrollado en Australia y el aniversario número 30 de la competencia esta carrera se ha convertido en la competencia más importante de innovación a nivel mundial con equipos que luchan por convertirse en los primeros en desarrollar vehículos eléctricos propulsados con energía solar, con un recorrido de 3000 km desde Darwin hasta Adelaide contando con la participación de estudiantes de 30 países de alrededor del mundo. (Challenge, 2018)

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

La carrera solar Atacama (CSA), la cual es la primera carrera con vehículos solares de América Latina, se lleva a cabo en el desierto más árido del mundo el cual posee los niveles más altos de radiación solar, en este año 2018 se llevará a cabo la quinta edición de la carrera solar Atacama, que será la más larga y difícil de todas las carreras solares realizadas en Chile, con 2.500 km de recorrido desde Santiago a Arica y una altitud que llega hasta los 3400 msnm. además, esta versión de la competencia contará con diferentes subcategorías. La carrera solar de Atacama se ha convertido en una competencia de fama internacional en la que participan equipos de diferentes países y además es un evento reconocido por la Federación Internacional de carros solares ISF. (CSA, 2018)

El lanzamiento oficial de la primera carrera solar en América latina se realizó en Octubre de 2009 y el 30 de septiembre de 2011 se llevó a cabo la primera edición de esta competencia con un recorrido de 1060 kilómetros, la segunda se llevó a cabo en el año 2012 y desde entonces se ha llevado a cabo cada dos años, este año 2018 se realizará la quinta edición de la carrera solar Atacama, que será la más larga y difícil de todas las carreras solares realizadas en Chile, con 2.500 km de recorrido por los lugares más emblemáticos del norte de Chile.

El World solar challenge cumple el aniversario número 30 de la competencia, en 2017 se llevó a cabo la edición número 14 desarrollado en Australia con un recorrido de 3000 kilómetros, esta carrera se ha convertido en la competencia más importante de innovación a nivel mundial

1.2 Planteamiento del problema

Debido al alto índice de contaminación del aire que es producido por los vehículos de combustión interna y la eficiencia de los motores de combustión interna de ciclo Otto se encuentra entre el 20 y el 30 % y para el caso de los motores de ciclo Diésel viene a tener

una eficiencia de entre el 30 y el 40 % en el mejor de los casos lo que nos indica que los motores de combustión interna no son tan eficientes debido a que la mayoría de trabajo se pierde en la combustión.

La Escuela de Ingeniería Automotriz de la Espoch se encuentra desarrollando un vehículo solar ya que la falta de un prototipo solar ha sido un impedimento para que la Escuela participe en competencias de vehículos solares de igual manera la falta de práctica en el área de energías renovables y vehículos solares no son un impedimento para que nuestra escuela desarrolle este prototipo solar y así poder representarla a nivel internacional.

1.3 Metodología

1.3.1 Diseño metodológico

El tipo de estudio corresponde a un proyecto tecnológico, como un trabajo orientado a la discusión del conocimiento para sustentar una propuesta de solución a un problema relacionado con las áreas de formación de la carrera en este caso para la implementación de la unidad de potencia para el prototipo de vehículo solar.

Se analizarán y se compararán los distintos reglamentos de competencias de vehículos solares para determinar los parámetros que debe cumplir la unidad de potencia, posterior a esto se realizarán cálculos por medio de fórmulas establecidas para la selección de motores eléctricos y llegar a determinar la potencia del motor necesaria para impulsar el prototipo solar, seguido a esto se seleccionará el tipo de motor eléctrico, controlador y componentes adecuados, se procederá a la implementación de la unidad de potencia en la estructura y finalmente se realizarán pruebas para comprobar el consumo de energía del motor, donde se determinarán datos reales que ayuden a determinar la eficiencia del mismo y si cumplirá con los requerimientos de competencias de vehículos solares.

En cuanto a la modalidad de investigación, las técnicas e instrumentos a ser empleados, son detallados en la siguiente tabla.

Tabla 1-1: Diseño metodológico

MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN	TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN
Bibliográfica documental	Análisis documental y contenido	Documentos y registros
Tecnológico	Se designa la incorporación del conocimiento científico y tecnológico, propio o ajeno, con el objeto de crear o modificar un artefacto, una máquina, para cumplir un fin valioso para una sociedad.	Prototipos
Experimental	Los experimentos pueden ser llevados a cabo en el laboratorio o fuera de él.	Prototipo Unidad de Potencia

Realizado por: Autores, 2018

1.3.2 Procedimiento de diseño para la selección de la unidad de potencia

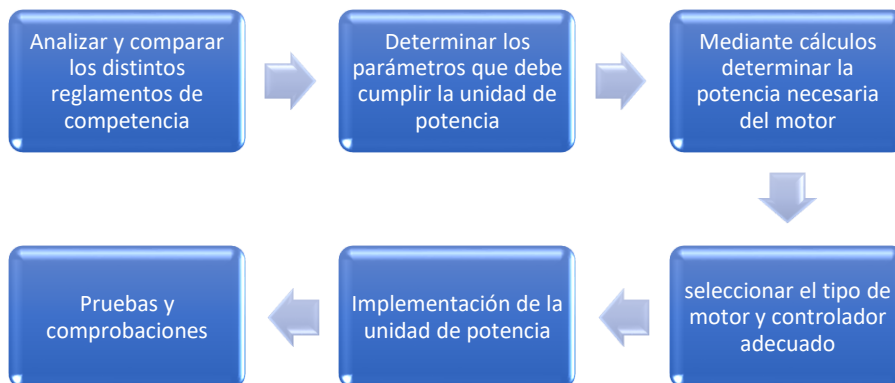


Figura 1-1: Diseño para la selección de la unidad de potencia

Fuente: Autores

1.3.3 Analizar y comparar los distintos reglamentos de competencia

Se toman como referencia los reglamentos del world solar challenge y el de la carrera solar de Atacama y se analizan y comparan ambos reglamentos para establecer diferencias y similitudes y desde allí partir con las bases para entender la competencia y sus regulaciones.

1.3.4 Determinar los parámetros que debe cumplir la unidad de potencia

Luego de haber analizado los reglamentos nos enfocamos en lo que respecta a las diferentes especificaciones respecto al funcionamiento y rendimiento que debe brindar la unidad de potencia

1.3.5 Determinar la potencia necesaria del motor

Mediante el uso de fórmulas ya establecidas para motores eléctricos y teniendo en cuenta todos los factores que influyen en el desplazamiento del vehículo se determinará la potencia necesaria que debe tener el motor eléctrico y con el cual cumpla las especificaciones de competencia.

1.3.6 Seleccionar el tipo de motor y controlador adecuado

Con los cálculos realizados y mediante una comparación de tipos de motores eléctricos se seleccionará el más adecuado para la unidad de potencia, así como un controlador que cumpla con todas las especificaciones.

1.3.7 Implementación de la unidad de potencia

Con los elementos de la unidad de potencia seleccionados se implementarán en el prototipo solar.

1.3.8 Pruebas y comprobaciones

Se realizarán pruebas de desempeño de la unidad de potencia en distintas condiciones y comprobaciones de funcionamiento.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación teórica

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en su afán de cumplir con el cambio de la matriz productiva basándose en el protocolo de Montreal de 1987 y el protocolo de Kioto de 1997 en los cuales se plantea reducir los gases contaminantes entre uno de ellos el dióxido de carbono encontrado principalmente en los gases de escape de los vehículos para lo cual se crearon las nuevas fuentes de energía eléctrica retomando el uso de los motores eléctricos como fuente de propulsión alternativa y la energía solar fotovoltaica como una de las fuentes de energía solar más desarrollada en la actualidad. La Escuela de Ingeniería Automotriz está desarrollando un prototipo para las competencias de vehículos con energía solar para lo cual se desarrolló una tesis proponiendo el diseño del prototipo para las carreras mencionadas y la cual servirá de base conjuntamente con las especificaciones de las competencias para la construcción e implementación de los diferentes sistemas que impulsarán a este prototipo siendo uno de estos la unidad de potencia, la cual estará encargada del desplazamiento del prototipo mediante la transformación de energía solar a energía mecánica.

1.4.2 Justificación metodológica

Con la implementación de la unidad de potencia se busca dotar de los elementos que permitan el movimiento del prototipo solar cumpliendo con los reglamentos de carreras de vehículos solare, el desarrollo de este prototipo va a servir de fuente de conocimientos técnicos en el campo de energías renovables y vehículos eléctricos para los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Automotriz.

1.4.3 Justificación práctica

El país ha tenido participación en algunas ediciones de esta carrera en la categoría híbrida con un prototipo desarrollado por un grupo de estudiantes y profesionales de la ESPOL habiendo obtenido el tercer lugar en el año 2014 (Universo, 2014) dejando muy en alto el nombre del país.

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en su afán de contribuir con nuevas fuentes de movilidad que no produzcan contaminación ambiental se ve en la responsabilidad de acoger estas competencias de vehículos solares para desarrollar competitividad en el graduado de su institución.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Implementar la unidad de potencia en un prototipo solar de competencia por medio del estudio y selección de los componentes que cumplan con los requisitos de diseño del vehículo.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Identificar los requerimientos y especificaciones de competencia de vehículos solares mediante la revisión del reglamento del evento para cumplir las condiciones establecidas por parte de los organizadores.
- Dimensionar la unidad de potencia mediante cálculos que permitan determinar la potencia necesaria para impulsar el prototipo.
- Seleccionar los elementos que constituyen la unidad de potencia para el prototipo solar.
- Implementar la unidad de potencia a través del ensamblaje de los elementos seleccionados para lograr que sea eficiente en las distintas condiciones de competición.
- Realizar pruebas de eficiencia con distintos tipos de baterías.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

Se ha tomado como referencia dos carreras de vehículos solares, la World solar challenge por ser la más importante a nivel mundial y la carrera solar de Atacama por encontrarse en Latinoamérica y también debido a que las dos carreras están homologadas se hará posible la participación de los vehículos en cualquiera de las dos competencias.

2.1 Categorías

En las categorías existen 2 para vehículos solares de mayor tamaño Cruiser (más de un ocupante) y challenger (monoplaza) y dos subcategorías para la categoría híbrida: urbana (biplaza) y clásica (monoplaza) (CSA, 2018)

2.1.2 Regulaciones Técnicas

Carrera Solar Atacama 2018 tendrá tres clases de vehículos solares:

La categoría Challenger: vehículo de cuatro ruedas, diseñado para un ocupante.

La categoría Cruiser: vehículo de cuatro ruedas, diseñado para más de un ocupante.

La categoría Adventure: es para vehículos diseñados para participar en eventos previos de Carrera Solar Atacama que no cumplen las regulaciones actuales de las categorías Challenger y Cruiser.

Esta categoría es no competitiva. (CSA, 2018)

2.1.3 Reversa

Los vehículos solares deben poder ser conducidos en reversa sin ayuda externa, y con el piloto sentado en posición normal. (CSA, 2018)

2.1.4 Clasificatorias

Clasificatorias es un evento previo a los días de competencia en el que se acredita a los equipos inscritos y los vehículos son sometidos a diversas pruebas técnicas, a fin de comprobar si cumplen con los requisitos técnicos y de seguridad de acuerdo a sus bases.

En Clasificatorias se realizarán tres etapas de evaluación: chequeos administrativos, pruebas de inspección técnica (estáticas, dinámicas y de seguridad).

Entre las pruebas dinámicas se incluyen pruebas de velocidad, estabilidad y capacidad de frenado del vehículo solar. Dentro de estas pruebas están incluidas, pero no limitadas a:

- Viraje.
- Reversa.
- Frenado corto.
- Frenado largo.
- Maniobrabilidad.
- Desempeño en pista.
- Verificación de velocidad mínima (60 km/h). (CSA, 2018)

2.1.5 Remolcar

Los equipos que no puedan mantener una velocidad mínima de 60 km/h en la carretera, o no sean capaces de llegar a la parada solar más próximo antes que este sea cerrado, deben detenerse y remolcar su vehículo solar hacia la siguiente parada solar abierta. En este punto el equipo recibirá instrucciones de los Jueces de la competencia.

El estudio previo realizado se basa en un prototipo para la categoría challenger, se ha revisado los reglamentos de ambas carreras y se han encontrado los diferentes parámetros y especificaciones que deben cumplir los vehículos solares y los datos más importantes que se ha encontrado referentes a la unidad de potencia del prototipo son las siguientes:

El prototipo solar debe alcanzar una velocidad mínima de 60 km/h, este dato forma parte de la variable de las fórmulas para seleccionar el motor adecuado para el prototipo y es el punto de partida de nuestro proyecto.

Otra especificación muy importante es que el prototipo debe ser capaz de dar reversa por si solo sin ayuda externa, también esto va a ser muy importante al momento de seleccionar el tipo de motor que vamos a utilizar. (CSA, 2018)

2.1.6 Neumáticos

Según el reglamento de las competencias de vehículos solares en lo que respecta a neumáticos se encuentran las siguientes especificaciones.

Los neumáticos deben ser aprobados por el ingeniero mecánico certificador del equipo.

Los vehículos solares deben utilizar neumáticos que cumplan con las siguientes normas:

- UNECE 30
- UNECE 75, o
- US FMVSS 571.109, indicado por una DOT o E en el neumático; o
- Los equipos que deseen utilizar neumáticos que no tienen las marcas descritas anteriormente deben enviar las especificaciones técnicas del neumático y la justificación de la elección y como cumple las regulaciones indicadas.

Los neumáticos deben ser aptos para uso en carretera, capaces de soportar las cargas o fuerzas impuestas por la masa del vehículo (incluyendo al ocupante), su velocidad y frenado.

No se permite el uso de neumáticos de fabricación para bicicletas.

Los neumáticos de ruedas que estén dispuestas en un mismo eje deben ser del mismo tipo.

La velocidad nominal de los neumáticos debe ser mayor que la velocidad máxima del vehículo solar. La capacidad de carga de los neumáticos debe ser mayor que la carga máxima estática impuesta por el vehículo solar con su máxima capacidad de ocupantes.

La utilización de los neumáticos debe realizarse de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

Los neumáticos deben estar libre de cualquier defecto aparente. (CSA, 2018)

2.1.7 Motores Eléctricos

Se identificó los requerimientos en los reglamentos de las carreras de vehículos solares y no existe una norma o especificación acerca del tipo de motor eléctrico o el número de motores que se deben usar, está a libre criterio de los equipos participantes.

2.2 Importancia del uso de motores eléctricos

Los avances en baterías de alta energía, combinados con el desarrollo de motores más pequeños y potentes, han abierto nuevos mercados para un amplio rango de nuevos productos, incluyendo aplicaciones portátiles, equipo de entretenimiento y vehículos eléctricos. Un nuevo énfasis en el diseño de motores se ha concentrado en un bajo consumo de energía para extender la vida útil de las baterías, proporcionando así más horas de duración. (Palafox, 2009)

La dimensión de un motor puede ser desde una pequeña fracción de Watt hasta varios kilowatts, dependiendo de su aplicación. Las técnicas de control han cambiado de análogas a digitales. Los avances tecnológicos en los semiconductores y esquemas de control pueden ser implementados por un avance en los circuitos integrados, incrementando así su eficiencia en los dispositivos de potencia. Los motores están cambiando debido a los nuevos materiales magnéticos, laminaciones y embobinados (Palafox, 2009)

Motores eléctricos

Transforma la energía eléctrica en mecánica. La operación se desarrolla introduciendo una corriente en el motor por medio de una fuente externa, que interacciona con el campo magnético produciendo un movimiento del motor; aparece entonces una f.e.m. inducida que

se opone a la corriente y que por ello se denomina fuerza contra electromotriz. En consecuencia, el motor necesita una energía eléctrica de entrada para producir la energía mecánica correspondiente. Los motores tienen un acceso mecánico y por ello son máquinas dotadas de movimiento, que normalmente es de rotación. (Mora, 2003)



Figura 1-2: Motor Electrico

Fuente: (comofuncionaque?, 2015)

2.3 Conceptos generales de los motores eléctricos

2.3.1 Corriente eléctrica

La corriente eléctrica es el flujo de carga eléctrica que circula a través de un circuito eléctrico cerrado que se mueven del polo negativo al polo positivo de la fuente de suministro.

2.3.2 Corriente directa

Es una corriente constante, no varía el voltaje, se mantiene con respecto a la dirección y el tiempo.

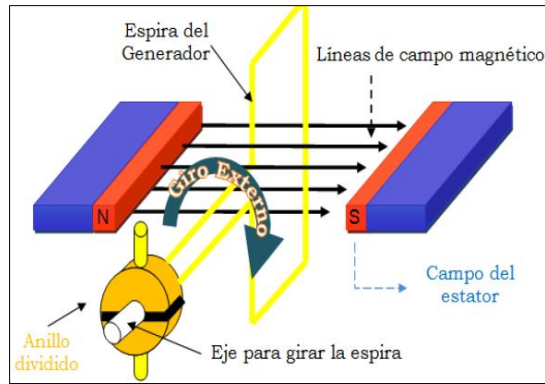


Figura 2-2: Generador de corriente directa

Fuente: (Contreras, 2010)

2.3.3 Corriente alterna monofásica

Un generador monofásico es usado para generar corriente A.C. monofásica mediante el giro del rotor en el generador (turbinas hidráulicas, turbinas de gas, etc.), este giro del devanado se muestra dentro de un campo magnético fijo en el estator del generador y debido a que durante el giro del devanado este corta las líneas de campo magnético, induce un voltaje en el mismo que varía con el tiempo debido a que existen puntos donde el devanado corta más líneas de flujo, además de que se invierte la dirección del mismo, alcanzando ser en medio periodo positivo y en el otro periodo negativo. (Contreras, 2010)

2.3.4 Corriente alterna trifásica

Un generador alterno trifásico es usado para generar corriente AC, los devanados que producen cada fase están desfasados 120° entre ellos dentro de la armadura, su configuración básica se muestra a continuación (Contreras, 2010)

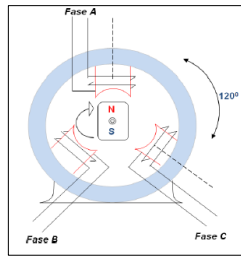


Figura 3-2: Esquema de un alternador trifásico

Fuente: (Contreras, 2010)

Tabla 1- 2: Datos Nominales de los motores Eléctricos

DATOS	UNIDADES
Potencia	KW o HP
Tensión de Servicio	KV o V
Frecuencia	Hz
Corriente Nominal	Amp.
Corriente de Arranque	Amp.
Factor de Potencia	Cos Φ
Eficiencia	%

Fuente: (Campos, 2014)

Realizado por: Autores, 2018

2.4 Potencia y par de un motor eléctrico

La potencia mecánica de los motores se expresa en caballos de fuerza (HP) o Kilowatts (KW), medidas que indican la cantidad de trabajo que un motor eléctrico es capaz de realizar en un periodo de tiempo. Dos factores importantes que determinan la potencia mecánica en los motores son: el par y la velocidad de rotación.

El par es una medida de la fuerza que tiende a producir la rotación, se mide en Libras-pie (lb.ft) o Newton-metro (Nm). La velocidad del motor se establece comúnmente en revoluciones por minuto (rpm). La relación entre la potencia, el par y la velocidad angular se da por la siguiente expresión: (Contreras, 2010)

$$P = W \times T \quad (1)$$

Donde:

$P = \text{Potencia}$

$W = \text{velocidad angular}$

$T = \text{Par}$

2.5 Clasificación de motores eléctricos

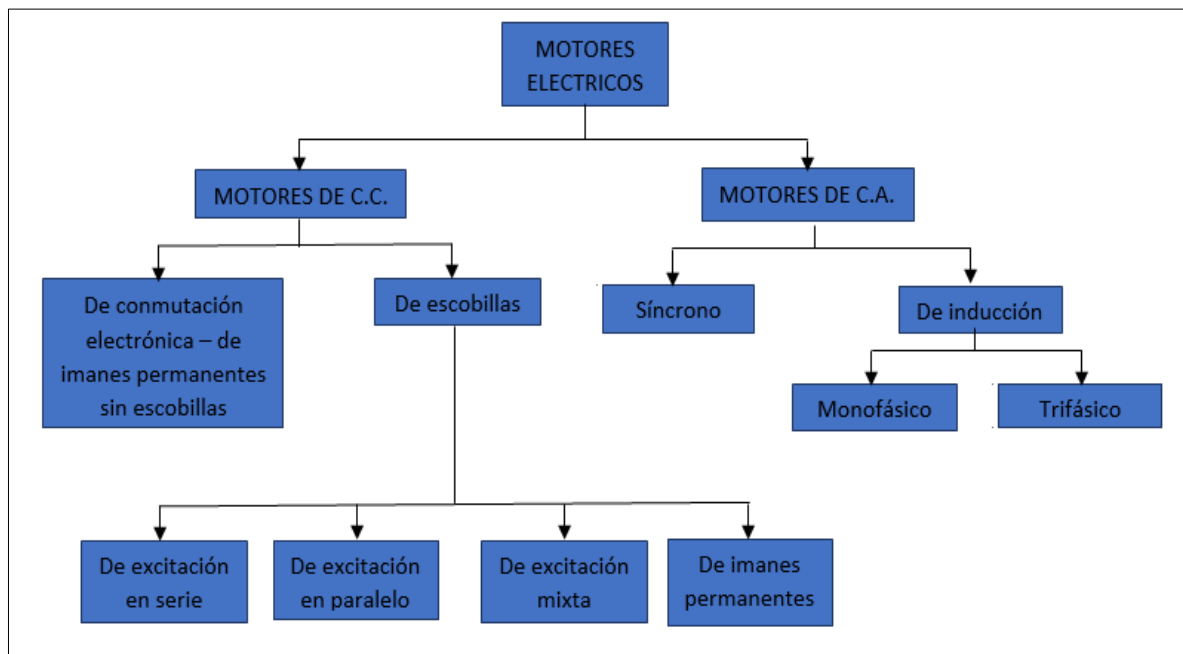


Figura 4-2: Clasificación de motores eléctricos

Realizado por: Autores

2.6 Ventajas y Desventajas de los motores eléctricos

Las ventajas y desventajas de los motores eléctricos se muestran en la tabla 2-2

Tabla 2-2: Ventajas y desventajas de los motores eléctricos

Ventajas	Desventajas
Ausencia de emisión de gases	Mantenimiento caro y laborioso
Poco ruidosos	Incapacidad de funcionar a velocidades bajas
Motor igual de potente y más barato	Los motores con imanes tienen limitaciones en cuanto a la potencia
No necesita marchas	El motor de rotor bobinado a diferencia de uno de imán, tiene el problema en que el embobinado necesita una corriente circulando a través de él para que se genere un campo magnético, con lo cual se provoca un desgaste tanto en el embobinado como en el aislamiento.
Distribución de espacio	Alto precio de la batería
Se puede construir de cualquier tamaño	Red de recarga inexistente
Rendimiento típicamente en torno al 80%	Poca autonomía
Son máquinas reversibles pudiendo operar como generadores	Dependiendo el consumo en motores trifásicos se debe revisar la configuración sea delta o estrella
Par de giro elevado	
Tienen intervalo de velocidad de rotación mayor que los motores de combustión interna	

Realizado por: Autores, 2018

2.7 Comparación Motores C.C. y Motores C.A.

La comparación de los motores C.C. y motores C.A. se muestra en la tabla 3-2

Tabla 3-2: Comparación Motores C.C. y Motores C.A.

Motores C.C.	Motores C.A.
Aplicar C.C. en el inducido y en el inductor	Funciona mediante la aplicación de C.A.
Formado por un circuito magnético y circuito de la armadura	El rotor recibe una corriente inducida alterna El estator es un campo magnético inducido
Su velocidad aumenta con la tensión aplicada	Se utiliza variadores electrónicos de frecuencia para regular su velocidad
La velocidad es variable	Funciona a velocidades fijas
Motores monofásicos	Pueden ser monofásicos o trifásicos
Se utilizan en aplicaciones donde la velocidad debe ser controlada externamente	Se utilizan en aplicaciones que requieren potencia durante largos periodos de tiempo
Inicio rápido, parada, inversión de giro y aceleración	Baja demanda de energía al inicio
Alto par de arranque	Aceleración controlada
Curva de par lineal de velocidad	Límite de par ajustable

Realizado por: Autores, 2018

2.8 Partes fundamentales de un motor eléctrico

Estos se hallan formados por varios elementos, sin embargo, las partes principales son: el estator, la carcasa, la base, el rotor, la caja de conexiones, las tapas y los cojinetes. No obstante, un motor puede funcionar solo con el estator y rotor.

2.8.1 Estator

El estator es el elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. El estator no se mueve mecánicamente, pero si magnéticamente. Existen dos tipos de estatores

- a) Estator de polos salientes
- b) Estator rasurado (Videla, 2012)

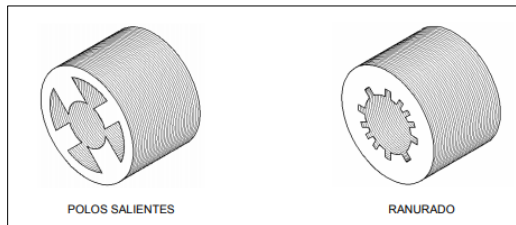


Figura 5-2: Tipos de estatores

Fuente: (Videla, 2012)

2.8.2 Rotor

El rotor es el elemento de transferencia mecánica, ya que de él depende la transformación de energía eléctrica a mecánica. Los rotores, son un conjunto de láminas de acero al silicio que forman un paquete, y pueden ser básicamente de tres tipos:

- a) Rotor ranurado
- b) Rotor de polos salientes
- c) Rotor jaula de ardilla (Videla, 2012)

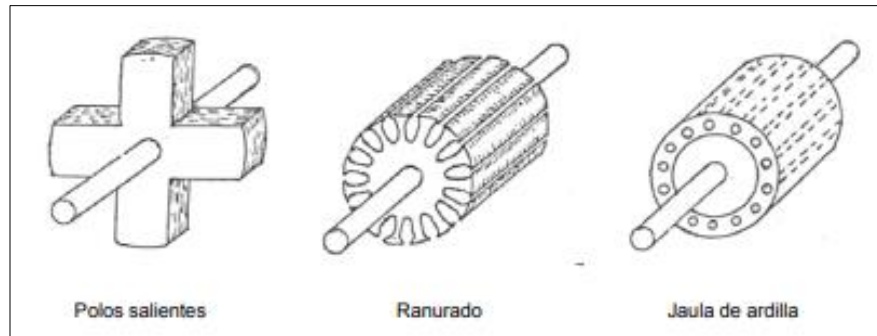


Figura 6-2: Tipos de rotores

Fuente: (Videla, 2012)

2.8.3 Carcasa

La carcasa es la parte que protege al estator y rotor, el material empleado para su fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación. Así pues, la carcasa puede ser:

- a) Totalmente cerrada
- b) Abierta
- c) A prueba de goteo
- d) A prueba de explosiones
- e) De tipo sumergible (Videla, 2012)

2.8.4 Base

La base es el elemento en donde se soporta toda la fuerza mecánica de operación del motor, puede ser de dos tipos:

- a) Base frontal
- b) Base lateral (Videla, 2012)

2.8.5 Caja de conexiones

Por lo general, en la mayoría de los casos los motores eléctricos cuentan con caja de conexiones. La caja de conexiones es un elemento que protege a los conductores que alimentan al motor, resguardándolos de la operación mecánica del mismo, y contra cualquier elemento que pudiera dañarlos. (Videla, 2012)

2.8.6 Tapas

Son los elementos que sostiene la gran mayoría de los casos a los cojinetes que soportan la acción del rotor. (Videla, 2012)

2.8.7 Cojinetes

También conocidos como rodamientos, contribuyen a la óptima operación de las partes giratorias del motor. Se utilizan para sostener y fijar ejes mecánicos, y para reducir la fricción, lo que contribuye a lograr que se consuma menos potencia. Los cojinetes pueden dividirse en:

- Cojinetes de deslizamiento: Operan la base al principio de la película de aceite, esto es, que existe una delgada capa de lubricante entre la barra del eje y la superficie de apoyo. (Videla, 2012)



Figura 7-2: Cojinete de deslizamiento

Fuente: (Videla, 2012)

- Cojinetes de rodamiento

Se utilizan con preferencia en vez de los cojinetes de deslizamiento por varias razones:

- Tienen un menor coeficiente de fricción, especialmente en el arranque.
- Son compactos en su diseño
- Tienen una alta precisión de operación.
- No se desgastan tanto como los cojinetes de tipo deslizante.
- Se remplazan fácilmente debido a sus tamaños estándares

Los motores eléctricos emplean distintos tipos de corriente, que fundamentalmente son: corriente nominal, corriente de vacío, corriente de arranque y corriente a rotor bloqueado. (Videla, 2012)

- **Corriente nominal:** En un motor, el valor de la corriente nominal es la cantidad de corriente que consumirá el motor en condiciones normales de operación.
- **Corriente de vacío:** Es la corriente que consumirá el motor cuando no se encuentre operando con carga y es aproximadamente del 20% al 30% de su corriente nominal.
- **Corriente de arranque:** Todos los motores eléctricos para operar consumen un excedente de corriente, mayor que su corriente nominal, que es aproximadamente de dos a ocho veces superior.
- **Corriente a rotor bloqueado:** Es la corriente máxima que soportara el motor cuando su rotor esté totalmente detenido. (Videla, 2012)

2.9 Revoluciones por minuto (rpm) o velocidad angular:

Se define como la cantidad de vueltas completas que da el rotor en un minuto; el símbolo de la velocidad angular es omega [Ω], no obstante, en la industria se utilizan también para referirse, la letra: “N” o simplemente las siglas rpm. (Videla, 2012)

$$N = 2\pi F \quad (2)$$

$$F = \frac{1}{t} \quad (3)$$

Donde:

N = Revoluciones por minuto o velocidad angular

Π = constante

$F = \text{Frecuencia}$

$t = \text{tiempo}$

Las unidades de la velocidad son los radianes por segundo (rad/s), sin embargo, la velocidad también se mide en metros por segundo (m/s) y en revoluciones por minuto [rpm]. Para calcular las rpm de un motor se utiliza la ecuación: (Videla, 2012)

$$rpm = \frac{120 F}{\# \text{ Polos}} = \frac{60 F}{\# \text{ ParesPolares}} \quad (4)$$

Donde:

$rpm = \text{revoluciones por minuto}$

$F = \text{Frecuencia}$

2.10 Factor de potencia

La razón que existe entre la Potencia Real y la Potencia Aparente, siendo la potencia aparente el producto de los valores eficaces de la tensión y corriente, nunca puede ser mayor que la unidad, oscila entre 0.8 y 0.85, se expresa generalmente en porcentaje. (Videla, 2012)

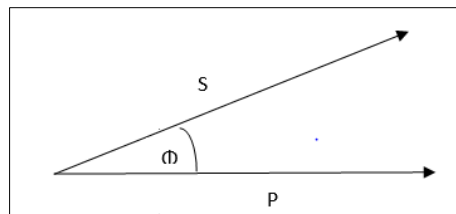


Figura 8-2: Factor de potencia

Fuente: Autores

$$\text{Cos } \Phi = \frac{P}{S} \quad (5)$$

Donde:

$P = \text{Potencia Real}$

$S = \text{Potencia Aparente}$

2.11 Factor de servicio

Se obtiene considerando la aplicación del motor, para más o menos potencia, y depende directamente del tipo de maquinaria impulsada: (Videla, 2012)

$$P = [\#F(E)I(\eta)F.P.] \quad (6)$$

Donde:

$P = \text{Potencia}$

$\#F = \text{Número de fases}$

$E = \text{Tensión}$

$I = \text{Corriente}$

$\eta = \text{Eficiencia}$

$F.P = \text{Factor de potencia}$

Para el número de fase se utilizará 1 para sistemas monofásicos, 2 para sistemas bifásicos, y para sistemas trifásicos se utilizará $\sqrt{3}$

2.12 Número de fases

Depende directamente del motor y del lugar de instalación, por ejemplo: Para motores con potencia menor o igual a 1 HP se alimentan a corriente monofásica (127 V.), cuando la potencia del motor varía entre 1 y 5 HP se alimenta con corriente bifásica o trifásica (220 V.), y para motores con una potencia de 5 HP o más, se utilizan sistemas trifásicos o polifásicos. (Videla, 2012)

2.13 Par

Un par de fuerzas es un conjunto de dos magnitudes iguales, pero de sentido contrario. El momento del par de fuerzas o torque, se representa por un vector perpendicular al plano del par.

Par Nominal: Es el par que se produce en un motor eléctrico para que pueda desarrollar sus condiciones de diseño.

Par de arranque: Es el par que va a desarrollar el motor para romper sus condiciones iniciales de inercia y pueda comenzar a operar.

Par máximo: También llamado par pico, es el par que puede desarrollar el motor sin perder sus condiciones de diseño, es decir, que es el límite en el que trabaja el motor sin consumir más corriente y voltaje, asimismo de que sus revoluciones son constantes, y conjuntamente está relacionado con el factor de servicio.

Par de aceleración: Es el par que desarrolla el motor hasta que alcanza su velocidad nominal.

Par de desaceleración: Es el par en sentido inverso que debe emplearse para que el motor se detenga.

Par a rotor bloqueado: Se considera como el par máximo que desarrolla un motor cuando se detiene su rotor. (Videla, 2012)

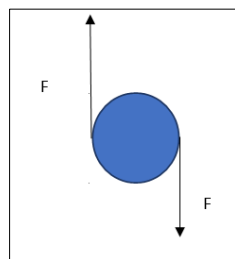


Figura 9-2: Par oTorque

Fuente: Autores

2.14 Frecuencia

Es el número de ciclos del mismo movimiento durante un segundo, su unidad es el s^{-1} que corresponde a un Hertz [Hz] también se llama ciclo. La frecuencia y el período están relacionados. (Videla, 2012)

$$T = \frac{1}{f} \quad (7)$$

Donde:

$T =$ *Tiempo o periodo*

$F =$ *Frecuencia*

2.15 Deslizamiento

Es la relación que existe entre la velocidad de los campos del estator y la velocidad de giro del rotor. (Videla, 2012)

$$z = \frac{V_c}{V_r} \quad (8)$$

Donde:

$z =$ *Deslizamiento*

$V_c =$ *Velocidad de los campos del estator*

$V_r =$ *Velocidad de giro del rotor*

2.16 Eficiencia

Indica el grado de pérdida de energía, trabajo o potencia de cualquier aparato eléctrico o mecánico. La eficiencia de una maquina se define como la relación del trabajo de salida entre el trabajo de entrada, en términos de potencia, la eficiencia es igual al cociente de la potencia de salida entre la potencia de entrada: (Videla, 2012)

$$\eta = \frac{T_s}{T_e} = \frac{P_s}{P_e} \quad (9)$$

Donde:

$\eta = \text{Eficiencia}$

$T_s = \text{Trabajo de Salida}$

$T_e = \text{Trabajo de entrada}$

$P_s = \text{Potencia de Salida}$

$P_e = \text{Potencia de Entrada}$

La eficiencia se expresa en porcentaje, por lo tanto, se le multiplicará por 100.

2.17 Motor Brushless D.C.

Los motores BLDC son de tipo de motor síncrono. Esto significa que el campo magnético generado por el estator y el campo magnético generado por el rotor gira en la misma frecuencia. (Padmaraja, 2003)

2.17.1 Estator

El estator de un motor BLDC consta de láminas de acero apiladas, tradicionalmente, el estator se asemeja a la de un motor de inducción; sin embargo, los devanados están distribuidos de una manera diferente.

Los devanados están distribuidos sobre la periferia del estator para formar un número par de polos. Hay dos tipos de bobinados del estator: trapezoidal y motores sinusoidales. Esta diferenciación se hace sobre la base de la interconexión de las bobinas. (Padmaraja, 2003)

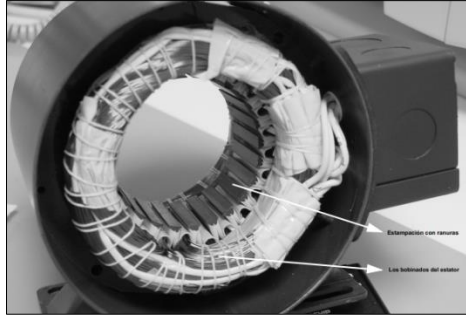


Figura 10-2: Estator de un motor BLDC

Fuente: (Padmaraja, 2003)

2.17.2 Rotor

El rotor está hecho de imán permanente y puede variar de dos a ocho pares de polos con el norte (N) y sur (S). Los imanes de ferrita se utilizan tradicionalmente para hacer imanes permanentes.

Los imanes de ferrita son menos costosos, pero tienen la desventaja de una baja densidad de flujo para un volumen dado. Por el contrario, el material de aleación tiene una densidad de flujo de alto volumen, además, estos imanes de aleación mejoran la relación tamaño-peso y dan un mayor par para el mismo tamaño de motor usando imanes de ferrita. (Padmaraja, 2003)

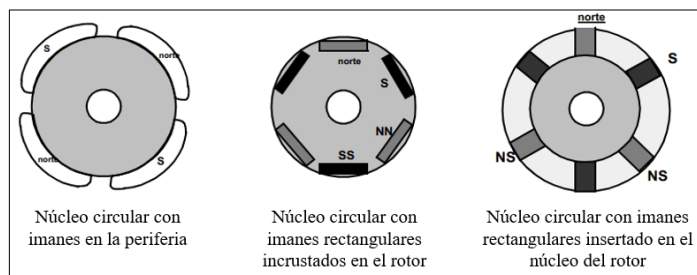


Figura 11-2: Secciones del rotor

Fuente: (Padmaraja, 2003)

2.17.3 Sensores Hall

Para girar el motor BLDC, los devanados del estator deben ser energizados en una secuencia. Es importante conocer la posición del rotor, la posición del rotor se detecta mediante sensores de efecto Hall incrustados en el estator. La mayoría de los motores BLDC tienen tres sensores Hall integrados en el estator en el lado opuesto al de accionamiento del motor. Siempre que los polos magnéticos del rotor pasan cerca de los sensores Hall, dan una señal alta o baja, que indica el N o S de donde se encuentra el rotor. En base a la combinación de estas tres señales de los sensores Hall la secuencia de conmutación se puede determinar. (Padmaraja, 2003)

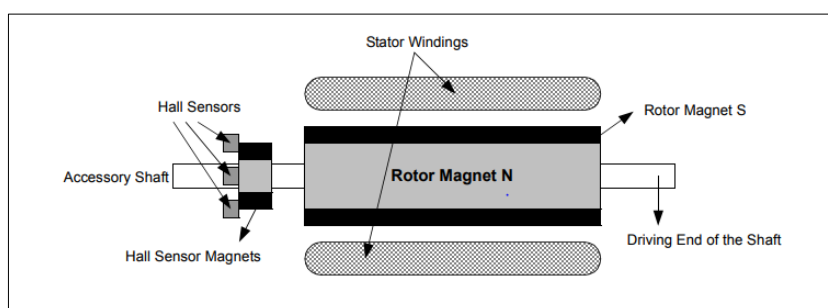


Figura 12-2: Sección transversal del motor BLDC

Fuente: (Padmaraja, 2003)

La figura 12-2 muestra una sección transversal de un motor BLDC con un rotor que tiene alternos los imanes permanentes. Los sensores Hall se incrustan en la parte estacionaria del motor, la incorporación de los sensores Hall en el estator es un proceso complejo, ya que cualquier desalineación de los sensores Hall, con respecto a los imanes del rotor, se generará un error en la determinación de la posición del rotor. (Padmaraja, 2003)

2.18 Resistencia a la rodadura

Considerando a una rueda que gira sin deslizamiento sobre una superficie plana. El radio de rodadura es definido por el radio de la velocidad de giro para su velocidad angular.

El radio efectivo de rodadura en movimiento libre es más pequeño que el radio de una llanta sin carga debido a la deformación del neumático. Este valor depende en el tipo de neumático

de su rigidez radial, la carga, la presión de inflado y la velocidad de avance. Esto puede ser demostrado que este valor en movimiento libre es más pequeño que el radio de un neumático sin carga, pero mejor que la distancia desde el centro de la llanta al plano de la carretera. (Cossalter, 2006)

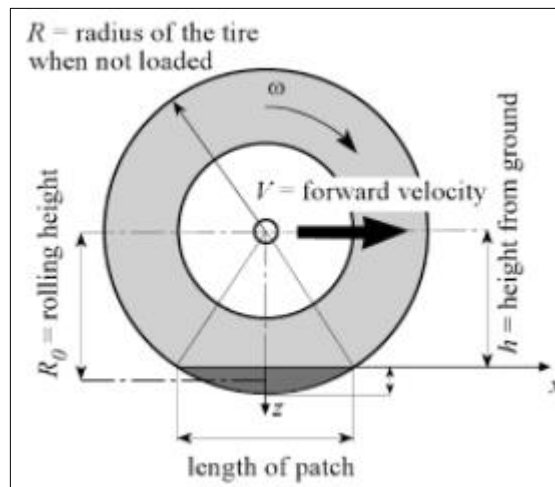


Figura 13-2: Radio efectivo de rodadura del neumático

Fuente: (Cossalter, 2006)

Durante el giro del neumático, la porción de la circunferencia que pasa sobre el camino sufre una deflexión. En el área de contacto se generan tensiones las cuales son normales (debido a la carga) y flexión debido a la diferencia del arco de circunferencia y su superficie de labrado (que representa la longitud de contacto). Debido a la histéresis del material del neumático, parte de la energía que es gastada en deformar el neumático no es recuperada en la siguiente fase de la relajación, o es recuperada tarde, esto causa un cambio en la distribución de las presiones de contacto, las cuales por lo tanto no son simétricas, pero son mayores en las áreas al frente del eje del neumático.

Como se muestra en la figura 13-2 la resultante de las presiones de contacto normal es desplazada hacia adelante con respecto al centro de la llanta por la distancia d . (Cossalter, 2006)

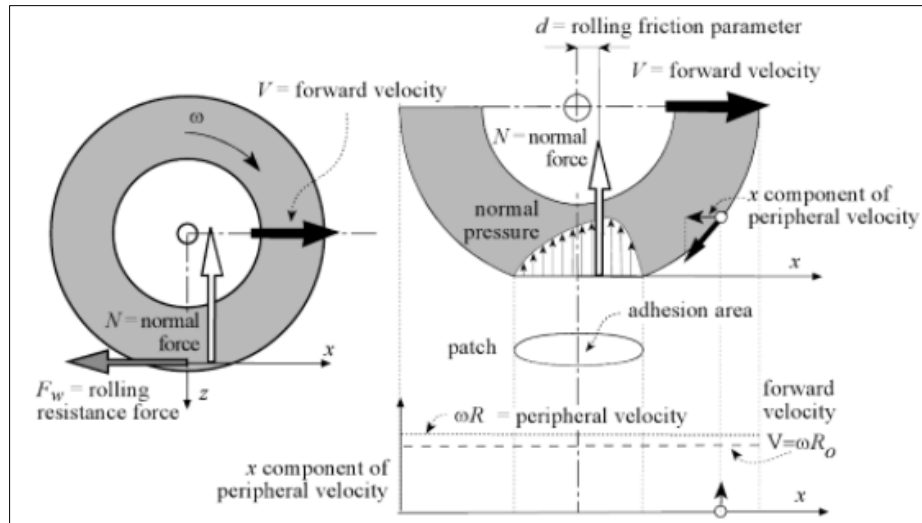


Figura 14-2: Descripción de las presiones de contacto y las fuerzas que actúan en una llanta rodando

Fuente: (Cossalter, 2006)

El desplazamiento hacia adelante es llamado el coeficiente de fricción de rodadura, por lo tanto, para mover la rueda con una velocidad constante hacia adelante es necesario vencer el momento de resistencia a la rodadura igual a:

$$M_w = dN \quad (10)$$

La Resistencia a rodar es expresada por una fuerza de resistencia que se opone al movimiento hacia adelante, y que su valor es dado por el producto del coeficiente de resistencia a la rodadura f_w y la carga vertical.

Además del tipo de neumático, sus dimensiones, las características del neumático, la temperatura y las condiciones de uso, el coeficiente de resistencia a la rodadura depende principalmente de la velocidad y de la presión de inflado. El coeficiente de resistencia a la rodadura incrementa con el ángulo camber.

Valores típicos están en el orden de 0.02

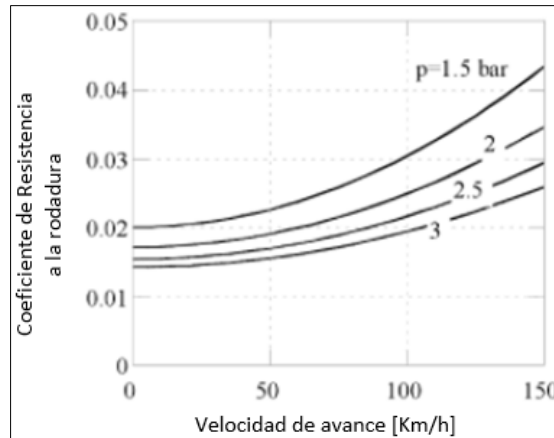


Figura 15-2. Coeficiente de resistencia a la rodadura versus la velocidad de avance para varios valores de presión del neumático

Fuente: (Cossalter, 2006)

Considerando el vehículo como un todo, la resistencia total de la rodadura es la suma de las resistencias de todas las llantas.

$$R_X = R_{XF} + R_{xr} = f_r W \quad (11)$$

R_X = Resistencia a la rodadura

R_{XF} = Resistencia a la rodadura en las llantas frontales

R_{xr} = Resistencia a la rodadura en las llantas traseras

f_r = Coeficiente de resistencia a la rodadura

W = Peso del vehículo (Gillespie, 1992)

CAPÍTULO III

3. SELECCIÓN DE LA UNIDAD DE POTENCIA

3.1 Selección del motor eléctrico

La selección de un motor eléctrico depende de:

- La fuente de alimentación
- La velocidad de rotación
- Tipo de motor
- Tipo de carcasa
- Mantenimiento
- Vida útil
- Conmutación
- Acoplamiento de la carga

También es importante considerar las condiciones de servicio

- Exposición a una temperatura ambiente
- Instalación en partes cerradas o abiertas
- Operación en una oscilación de voltaje del 1% o menos (Videla, 2012)

3.2 Velocidad

En un motor la velocidad se define como la cantidad de vueltas completas que da el rotor en el lapso de un minuto, en los reglamentos de carreras de vehículos solares indica que la velocidad mínima a la que tiene que llegar los motores es de 60 Km/h la que se tomará como referencia para los cálculos.

3.3 Potencia

Potencia es la rapidez con que se lleva a cabo un trabajo por lo que es necesario definir la potencia que se le va a demandar al motor eléctrico.

3.4 Sentido de giro

Los reglamentos de carreras de vehículos solares establecen que el vehículo debe ser capaz de avanzar y retroceder por sí solo por lo tanto el motor que se seleccione debe ser capaz de girar en ambos sentidos.

3.5 Pérdidas y Eficiencia

La eficiencia de la potencia se ve afectada por las pérdidas mecánicas y las perdidas eléctricas, así que la potencia real es el producto de la tensión por la corriente, menos la potencia de pérdidas. (Videla, 2012)

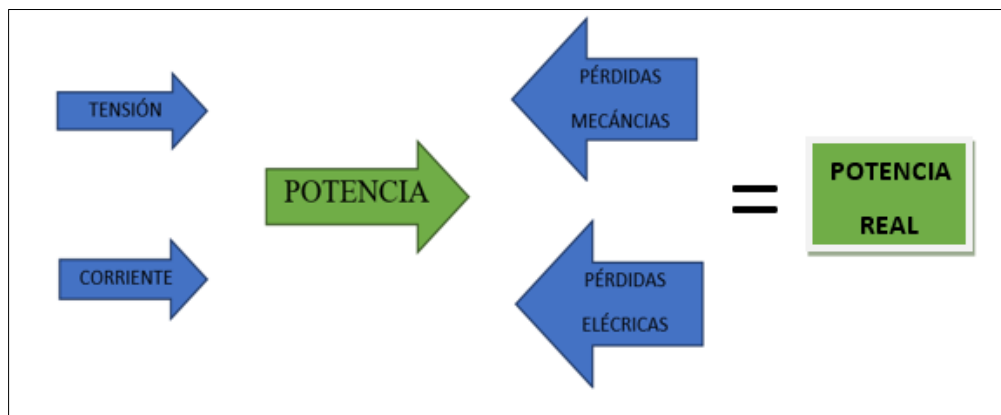


Figura 1-3: Pérdidas y eficiencia

Fuente: Autores

$$P_r = E * I - P_p \quad (12)$$

Donde:

$P_r = \text{Potencia real}$

$E = \text{Tensión}$

$I = \text{Corriente}$

$P_p = \text{Potencia de pérdidas}$

3.6 Características de instalación

Está formado por elementos que sirven para dotar de las mejores condiciones a un motor eléctrico para su funcionamiento, pudiendo ser:

3.6.1 Instalación

- Posición y cimentación: los reglamentos de carreras de vehículos solares disponen que el vehículo debe tener cuatro ruedas, en base a esto se verá el número de motores eléctricos necesarios y la posición idónea para cada motor.

3.6.2 Condiciones Ambientales

- Temperatura y Ambiente: los ambientes en que se desarrollan las carreras de vehículos solares son zonas en donde la radiación del sol es alta, por ende, la temperatura va a ser alta y los motores deben soportar estas condiciones.

3.6.3 Condiciones de alimentación

Dependerá del tipo de motor que se escoja y la alimentación que necesite pudiendo ser:

Corriente Directa

- Voltaje
- Frecuencia

Corriente Alterna

- Número de fases
- Frecuencia

- Factor de potencia
- Voltaje

3.7 Cálculo de selección del motor

3.7.1 Fuerza de la resistencia a la rodadura

En la figura 2-3 se muestra la variación del coeficiente de resistencia a la rodadura versus la variación de la velocidad a valores específicos de la presión del neumático, se puede observar que un incremento de la presión disminuye la resistencia a la rodadura.

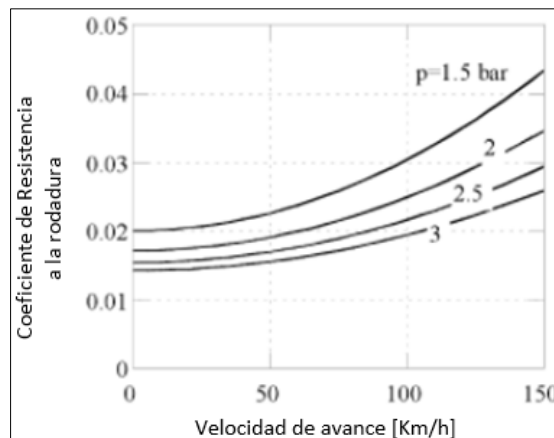


Figura 2-3: Coeficiente de resistencia a la rodadura versus la velocidad de avance para varios valores de presión del neumático

Fuente: (Cossalter, 2006)

Los reglamentos de carreras de vehículos solares establecen que la velocidad mínima del vehículo en competición es de 60 km/h por lo cual se va a realizar los cálculos para velocidades de 60, 70 y 100 km/h debido a que las simulaciones aerodinámicas del vehículo solar están realizadas a estas velocidades y van a servir para conocer con más exactitud la potencia necesaria a diferentes velocidades.

Tomando en cuenta las velocidades y una presión del neumático de 3 bares basado en la figura 2-3 se tiene que los coeficientes de resistencia a la rodadura son los siguientes:

Tabla1-3: Valores de coeficiente de resistencia a la rodadura en diferentes velocidades

Velocidad Km/h	Coefficiente de resistencia a la rodadura (f_r)
60	0.015
70	0.016
100	0.019

Realizado por: Autores, 2018

Este dato es necesario para poder calcular la fuerza para mover el vehículo solar.

3.7.2 Cálculo de la fuerza

Las siguientes ecuaciones se utilizan para realizar los cálculos a la velocidad de 60 km/h que es la velocidad mínima establecida en los reglamentos de carreras solares de igual forma se hicieron a una velocidad de 70 km/h la cual es una velocidad media y 100 km/h como velocidad máxima, los valores de los cálculos de estas dos últimas se encuentran expresados en las tablas.

Para el cálculo de la fuerza para mover el prototipo solar se utilizarán las siguientes ecuaciones (Becerril, 2014)

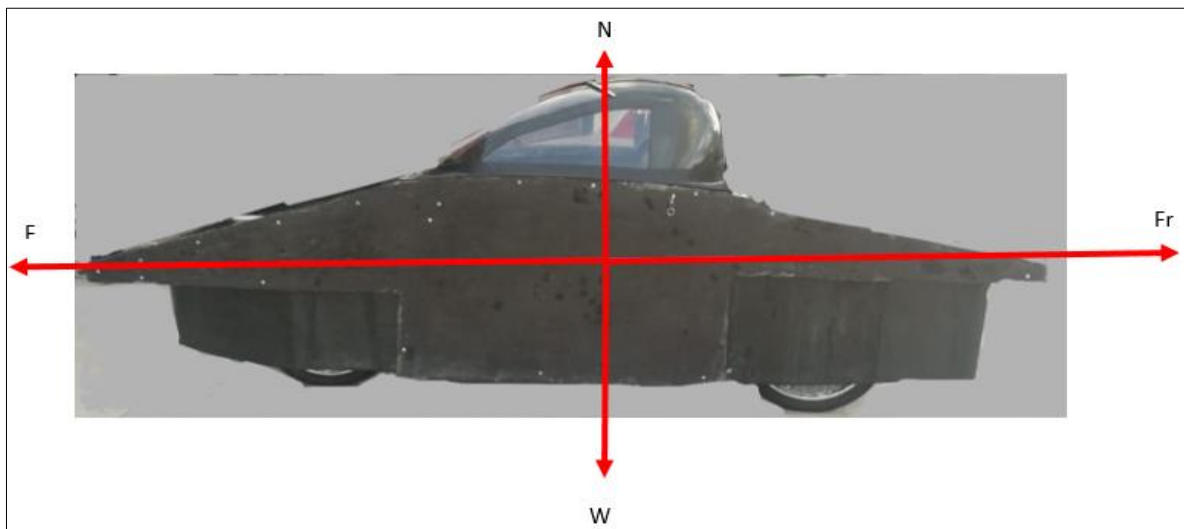


Figura 3-3: Diagrama de cuerpo libre

Fuente: autores

$$F = f_r N \quad (13)$$

$$N = mg \quad (14)$$

Donde:

F = Fuerza para mover el prototipo solar

f_r = Coeficiente de resistencia a la rodadura

N = fuerza normal,

m = masa del objeto a mover

g = Gravedad

Para los cálculos se necesita el peso, lo que se estima que será de 300 Kg.

Sustituyendo los valores, se tiene

$$F = (0.015)(300 \text{ Kg})(9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$F = 44.14 \text{ N}$$

Tabla 2-3: Fuerza de empuje a diferentes velocidades

Velocidad (Km/h)	Fuerza de empuje [N]
60	44.14
70	47.08
100	55.91

Realizado por: Autores, 2018

3.7.3 Cálculo para el torque

Depende del radio de las ruedas y de la fuerza de empuje (Becerril, 2014)

$$T_n = R * F \quad (15)$$

Donde:

T_n = Torque necesario

R = Radio de la llanta

F = Fuerza de empuje

Para cumplir con el reglamento de carreras de vehículos solares se ve la necesidad de utilizar neumáticos de motocicleta homologados generalmente en el mercado nacional se encuentran neumáticos para motocicleta con la norma US FMVSS 571.109 es decir que vienen con una homologación DOT, teniendo en cuenta esto se ha escogido neumáticos de motocicleta 90/90-21, el cual su radio es de 0.53 m.

Sustituyendo valores, se tiene:

$$T_n = (0.53m)(44.14N)$$

$$T_n = 23.39 Nm$$

Tabla 3-3: Torque a diferentes velocidades

Velocidad (Km/h)	Torque [T_n]
60	23.39
70	24.95
100	29.63

Realizado por: Autores, 2018

3.7.4 Cálculo de la potencia

Para llegar a la velocidad deseada se calcula el valor de la potencia (Becerril, 2014)

$$P = F * V \tag{16}$$

Donde:

P = Potencia

F = Fuerza de empuje

V= Velocidad

La velocidad para utilizar en la fórmula debe estar expresada en m/s siendo:

Tabla 4-3: Transformación de velocidades

Velocidad (Km/h)	Velocidad [m/s]
60	16.66
70	19.44
100	27.77

Realizado por: Autores, 2018

Sustituyendo valores, se tiene

$$P = (44.14N)(16.66 \text{ m/s})$$

$$P = 735.37 \text{ watts} = 0.98 \text{ HP}$$

Tabla5-3: Valores de potencia a diferentes velocidades

Velocidad (km/h)	Velocidad (m/s)	Potencia (W)	Potencia (HP)
60	16.66	735.37	0.98
70	19.44	915.23	1.22
100	27.77	1552.62	2.08

Realizado por: Autores, 2018

3.7.5 Pendiente máxima

La unidad de potencia debe tener la capacidad de superar pendientes, aunque no está definido en los reglamentos, se calculó para un porcentaje de inclinación de 14 %.

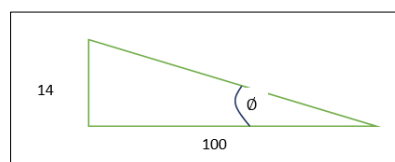


Figura 4-3: Pendiente máxima

Fuente: Autores

Se calcula el ángulo:

$$\phi = \text{Tan}^{-1} \frac{14}{100} = 7.97^\circ \quad (17)$$

3.7.6 Resistencia aerodinámica

Se necesita conocer la densidad de aire dependiendo la altura sobre el nivel del mar, se toma como referencia el desierto de Atacama que está a una altitud promedio de 3000 m.s.n.m. con una densidad del aire $0.9467 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

Los reglamentos de carreras de vehículos solares establecen que el alto y ancho del vehículo sea como máximo 1.8 m entonces, el área frontal del vehículo solar será:

$$A_f = 1.87 \text{ m}^2$$

$A_f = \text{Área frontal}$

Este valor fue tomado de la estructura del prototipo solar.

Los coeficientes aerodinámicos se obtienen de calcular mediante simulaciones computacionales del prototipo con el programa ANSYS.

Se calcula el valor de la resistencia aerodinámica (Izquierdo, 1995)

$$F_d = C_x * \frac{1}{2} * \rho * A_f * v^2 \quad (18)$$

Donde:

$F_d = \text{Resistencia aerodinámica}$

$C_x = \text{Coeficiente aerodinámico (calculado en ANSYS)}$

$\rho = \text{Densidad del aire}$

$A_f = \text{Área frontal}$

$v = \text{velocidad}$

Coeficientes aerodinámicos calculados en el programa:

Tabla 6-3: Valores del coeficiente aerodinámico

Velocidad (km/h)	Velocidad (m/s)	Coficiente aerodinámico (Cx)
60	16.66	0.41
70	19.44	0.33
100	27.77	0.28

Realizado por: Autores, 2018

Sustituyendo valores, tenemos:

$$Fd = (0.41) \frac{1}{2} (0.9467 \text{ Kg}/\text{m}^3) * (1.87\text{m}^2) * (16.66 \text{ m/s})^2$$

$$Fd = 100.72 \text{ N}$$

Tabla 7-3: Valores de resistencia aerodinámica a diferentes velocidades

Velocidad (km/h)	Velocidad (m/s)	Resistencia aerodinámica (N)
60	16.66	100.72
70	19.44	110.39
100	27.77	191.13

Realizado por: Autores, 2018

3.7.7 Potencia absorbida

Es la potencia necesaria para vencer la resistencia aerodinámica del prototipo solar a una determinada velocidad.

$$P_a = Fd * V \quad (19)$$

$$P_a = 100.72 \text{ N} * 16.66(\text{m/s})$$

$$P_a = 1677.99 \text{ watts} = 2.25 \text{ HP}$$

Tabla 8-3: Potencia absorbida a diferentes velocidades

Velocidad (km/h)	Velocidad (m/s)	Potencia absorbida (HP)
60	16.66	2.25
70	19.44	2.87
100	27.77	7.11

Realizado por: Autores, 2018

3.7.8 Potencia Estimada

Es la suma de las potencias que se necesitan para vencer la resistencia al movimiento debido a la resistencia mecánica y aerodinámica.

$$P_e = P + P_a \quad (20)$$

$$P_e = 735.37 \text{ watts} + 1677.99 \text{ watts}$$

$$P_e = 2413.36 \text{ watts} = 3.23 \text{ HP}$$

Tabla 9-3: Potencia estimada a diferentes velocidades

Velocidad (km/h)	Velocidad (m/s)	Potencia estimada (HP)
60	16.66	3.23
70	19.44	4.10
100	27.77	9.19

Realizado por: Autores, 2018

Con los valores calculados se procede a la selección de los motores para lo cual se tomarán en cuenta los valores de la potencia obtenidos a velocidades a 60 y 70 km/h, el primero que es la velocidad mínima a la cual debe moverse el prototipo solar y el segundo que permitirá tener un rango mayor de potencia que el mínimo, en base a esto se selecciona la unidad de potencia de las siguientes características.

Tabla10-3: Potencia y Torque necesarios para la selección de los motores eléctricos

POTENCIA (HP)	TORQUE (Nm)
3.23 a 5	>23.39

Realizado por: Autores, 2018

3.8 Selección del tipo de motor

3.8.1 Tipos de motores para automóviles eléctricos

Existen diferentes tipos de motores que podrían adaptarse a las necesidades de un vehículo eléctrico entre los que están:

Corriente continua:

- Motor serie
- Motor C.C. de excitación independiente

Corriente Alterna:

- Motor asíncrono (de inducción)
- Motor síncrono
- Motor de reluctancia conmutada

La figura 5-1 permite realizar una comparación en cuanto a la eficiencia que ofrecen los distintos tipos de motores, así como la electrónica asociada a ellos. (Carreño, 2012)

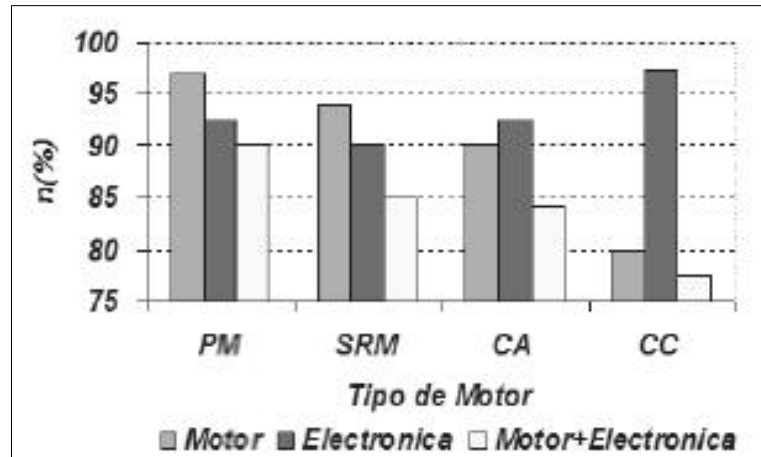


Figura 5-3: Comparación de las eficiencias (%) de los distintos tipos de motores

Fuente: (Carreño, 2012)

El tipo de motor eléctrico más empleado en tracción de automóviles eléctricos es el de corriente continua, ya que es de fácil regulación, la regulación puede ser clásica con resistencias, o por puente rectificador controlado, esta última es electrónica y se emplea según el tipo de alimentación. La mayor desventaja de los motores de corriente continua es su elevado costo de mantenimiento. Dentro de los motores de corriente alterna, el más usado es el asíncrono, trifásico y monofásico. Actualmente se controlan electrónicamente regulando la tensión y la frecuencia de la alimentación por medio de onduladores semicontrolados.

Los motores más empleados en vehículos solares son de tipo Brushless y su disponibilidad en el mercado es inmediata por lo que se realizará una comparación con los distintos tipos de motores eléctricos.

3.8.2 Características de un motor BLDC

La tabla 11-3 presenta las características de los motores BLDC

Tabla 11-3: Características Motor BLDC

Característica	Motor BLDC
Fuente de alimentación	Corriente directa
Conmutación	Conmutación electrónica basada en sensores.
Mantenimiento	Menos requerido por la ausencia de las escobillas
Vida útil	Mayor
Eficiencia	No hay caída de voltaje
Inercia del motor	Baja
Ruido	Bajo
Rango de velocidad	Superior ya que tiene imanes permanentes
Controlador	Un controlador siempre se requiere para mantener el motor funcionando.
Conexión de bobinados	Conexión Triangulo-Estrella
Tipo de carcasa	cerrado
Acoplamiento de la carga	directo
Reversa	Cambiando la lógica

Realizado por: Autores, 2018

3.8.3 Comparación de motores BLDC con otros tipos de motores

La tabla 12-3 muestra una comparación entre los motores BLDC y los motores D.C. de escobillas

Tabla 12-3: Comparación de un motor BLDC con un motor DC de escobillas

Característica	Motor BLDC	Motor D.C. de escobillas
Fuente de alimentación	Corriente continua	Corriente continua
Conmutación	Conmutación electrónica basada en sensores.	Conmutación por escobillas
Mantenimiento	Menos requerido por la ausencia de las escobillas	Mantenimiento periódico
Vida útil	Mayor	Menor
Eficiencia	No hay caída de voltaje	Moderada
Inercia del motor	Baja	Alta
Velocidad de rotación	Baja	Alta
Ruido	Bajo	Alta
Rango de velocidad	Superior ya que tiene imanes permanentes	Bajo, limitaciones mecánicas
Controlador	Un controlador siempre se requiere para mantener el motor funcionando.	No se requiere un controlador para mantener funcionando el motor
Conexión de bobinados	Conexión Triangulo-Estrella	Conexión Triangulo
Tipo de carcasa	Cerrado	Cerrado
Acoplamiento de la carga	Directo	Sistema de transmisión de movimiento
Reversa	Cambiando la lógica	Cambiando la polaridad del voltaje.

Realizado: Autores, 2018

La tabla 13-3 muestra una comparación entre los motores BLDC y los motores de inducción A.C.

Tabla 13-3: Comparación de un motor BLDC con un motor de inducción

Característica	Motor BLDC	Motor de inducción A.C.
Fuente de alimentación	Corriente continua	Corriente alterna
Corriente de arranque	No requiere un circuito especial de arranque	Normalmente se utiliza un motor de arranque.
Inercia del rotor	Mejor características dinámicas.	Características dinámicas pobres
Deslizamiento	No existe deslizamiento	El rotor funciona a una frecuencia inferior a la del estator.
Controlador	Un controlador siempre se requiere para mantener el motor funcionando.	No se requiere un controlador
Tipo de carcasa	Cerrado	Abierto
Acoplamiento de la carga	Directo	Sistema de transmisión de movimiento
Velocidad de rotación	Baja	Alta
Velocidad/par	Lineal	No lineal

Realizado por: Autores

En la siguiente tabla 14-3 se realiza una valoración cualitativa de los distintos tipos de motores eléctricos (Motor BLDC, Motor DC de escobillas, Motor de Inducción AC)

Tabla 14-3: Comparación entre los motores DC de Escobillas, BLDC y AC de inducción

	Superior	Aceptable	Insuficiente
Fuente de alimentación	Motor BLDC: corriente continua regulado por el controlador.	Motor DC de Escobillas: corriente continua	Motor AC de inducción: corriente alterna
Inercia	Motor DC de Escobillas: Alta Inercia	Motor BLDC: mejores características dinámicas.	Motor AC de inducción: Características dinámicas pobres.
Deslizamiento	Motor BLDC: no existe deslizamiento.	Motor DC de Escobillas: Deslizamiento aceptable.	Motor AC de inducción: el rotor funciona a una frecuencia inferior a la del estator.
Mantenimiento	Motor BLDC: No requiere mantenimiento periódico.	Motor de Inducción AC: Mantenimiento periódico.	Motor DC de escobillas: Mantenimiento periódico
Velocidad/par	Motor BLDC: Superior ya que posee imanes permanentes.	Motor de Inducción AC: No es lineal.	Motor DC de escobillas: Baja velocidad por que tiene limitaciones mecánicas.

Vida útil	Motor BLDC: Mayor	Motor AC de inducción: Menor	Motor DC de Escobillas: Menor por la presencia de las escobillas
Ruido	Motor BLDC: bajo ruido	Motor de Inducción AC: Ruido moderado	Motor DC de escobillas: Alto ruido por la presencia de escobillas
Acoplamiento de la carga	Motor BLDC: directo	Motor DC de escobillas: sistema de transmisión de movimiento	Motor de Inducción AC: sistema de transmisión de movimiento
Tipo de carcasa	Motor BLDC: totalmente cerrado	Motor DC de escobillas: cerrado	Motor de Inducción AC: carcasa abierta
Velocidad de rotación	Motor de Inducción AC: mayor velocidad de rotación	Motor DC de escobillas: menor velocidad de rotación	Motor BLDC: velocidad baja de rotación
Controlador	Motor de Inducción AC: No requiere controlador	Motor DC de escobillas: no se requiere un controlador para mantener funcionando el motor.	Motor BLDC: se requiere un controlador siempre para mantener el motor funcionando.

Realizado por: Autores, 2018

En la siguiente tabla 15-3 se realiza una valoración cuantitativa de acuerdo a las características mencionadas en la tabla 14-3 de los distintos tipos de motores eléctricos (Motor BLDC, Motor DC de escobillas, Motor de Inducción AC), siendo el valor de 10 la mejor puntuación.

Tabla 15-3: Valoración a los motores DC de Escobillas, BLDC y AC de inducción

	Motor BLDC	Motor DC de Escobillas	Motor AC de Inducción
Fuente de alimentación	9	7	7
Inercia	7	10	2
Deslizamiento	10	6	3
Mantenimiento	10	3	6
Velocidad/par	10	7	4
Vida útil	8	3	7
Ruido	9	4	7
Acoplamiento de la carga	9	6	6
Tipo de carcasa	8	7	5
Controlador	2	8	10
Velocidad de rotación	5	7	9
TOTAL	87	68	66

Realizado por: Autores, 2018

Con las comparaciones y valoraciones realizadas se opta por usar motores eléctricos tipo Brushless ya que este tipo de motores presenta mayores ventajas para el prototipo Solar.

Se usará dos motores Brushless Voilamart 48V-1500W ya que se encuentran disponibles en el mercado y cumplen con los requerimientos calculados de torque y potencia.

Es un motor desarrollado para vehículos eléctricos livianos, entre sus ventajas tenemos:

- Posee un rotor de imanes permanentes
- Poco peso en relación a otros motores de igual potencia
- Sistema de refrigeración que consta con aperturas para que circule aire.
- Alta eficiencia.
- Larga vida de operación y alta confiabilidad
- Requiere mínimo mantenimiento, debido a la eliminación de conmutador mecánico y escobillas
- Alto poder de torque.
- La no utilización de escobillas elimina la necesidad de la alta inercia de motor.
- Las restricciones de velocidad debido a la conmutación mecánica tradicional son eliminadas

Además, cabe destacar que el motor en sí es la misma rueda, por lo tanto, no hay sistemas mecánicos de conversión de torque, ya que esto se desarrolla de manera electrónica, ideal para aplicaciones en donde la energía a utilizar es un factor prioritario. La rueda motor es una solución para la construcción de autos solares, ya que presenta cualidades como una alta eficiencia es decir que del 100% de la energía utilizada el 90 % tiene una utilización directa a la fuerza que genera. Por otra parte, la incorporación del motor en la rueda disminuye el peso, lo que también ayuda a aumentar la velocidad. La idea del motor, al igual que el concepto general del auto, es disminuir peso en todos los materiales que no sean requeridos. (Commons, 2012)

Tabla 16-3: Especificaciones del Motor Brushless Voilamart 48V-1500W

ESPECIFICACIÓN	TIPO/UNIDAD
Motor	BLDC Brushless C.C.
Voltaje	48 V
Torque máximo	48 Nm.
Capacidad máxima de carga	551 lb / 250 kg
Eficiencia	85-90%
Peso	22 lb/ 10 kg
Refrigeración	Por aire
Diámetro	23 cm
rpm	800-1200

Realizado por: Autores, 2018



Figura 6-3: Motores Brushless 48V-1500W

Fuente (Autores)

Se usarán dos de estos motores, se les ubicará en las dos ruedas traseras del vehículo solar por las siguientes razones: el vehículo solar tendrá un peso estimado de 300 Kg y un solo motor no es capaz de soportar este peso, no es factible poner un solo motor en la parte trasera por que generará problemas en la dirección y estabilidad, se les ubicará en la parte posterior para poder tener una mayor tracción.

3.9 Controlador HBL2360

Para el control de los motores Brushless se usará el controlador HBL2360 el cual se describe a continuación:



Figura 7-3: Controlador HBL2360

Fuente: (Roboteq, 2017)

El controlador Roboteq HBL2360 es un controlador de alta corriente y de doble canal capaz de controlar 2 motores DC del tipo Brushless equipados con sensores Hall de hasta 60 voltios y 75 amperios por canal. El controlador usa la información de posición de los sensores Hall para la secuencia de energía en los 3 bobinados del motor para generar una suave rotación continua.

El controlador HBL2360 acepta comandos recibidos de RC radiocontrol, joystick análogo, módem inalámbrico o microcomputadora. Usando CAN bus hasta 127 controladores pueden ser conectados en un simple par trenzado. Numerosas características de seguridad son incorporadas dentro del controlador para asegurar confianza y una operación segura. Para aplicaciones de robot móviles, el controlador de 2 canales de motor puede ser operado independientemente o mezclados para cambiar la dirección y la rotación del vehículo mediante coordinación del movimiento de cada motor.

La operación del controlador puede ser ampliamente automatizado y personalizado usando código de lenguaje básico. El controlador puede ser configurado, monitoreado y ajustado en tiempo real utilizando una utilidad de PC. El controlador puede también ser reprogramado en el campo con las últimas características descargando el nuevo software de operación de Roboteq. (Roboteq, 2017)

Se seleccionó el controlador HBL2360 debido a que posee características idóneas para implementar en el prototipo solar destinado a competencias de vehículos solares, debido a que posee 2 canales con lo cual permitirá controlar ambos motores a la vez y viene con un software para PC mediante el cual se puede ajustar diferentes parámetros de los motores como son regular el voltaje y amperaje a las necesidades de los motores ya seleccionados, controlar los rpm de cada motor independientemente, invertir el giro del motor los cuales son requerimientos importantes que están especificados en el reglamento de competencias de vehículos solares.

La refrigeración es por aire y su carcasa está diseñada para este fin, otra característica importante del controlador es que posee la opción de frenado regenerativo con lo cual se aprovecha esta energía para cargar las baterías. (Roboteq, 2017)

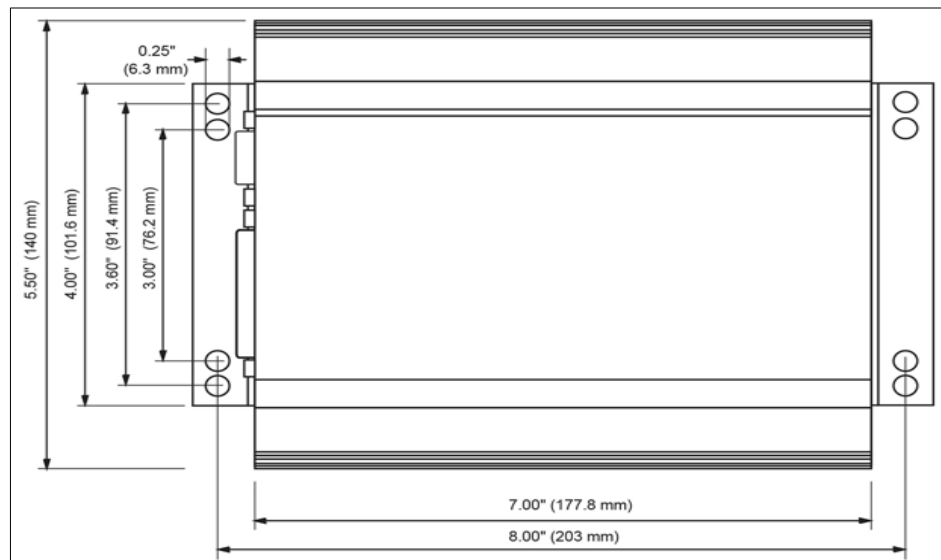
Tabla 17-3: Especificaciones del controlador seleccionado Roboteq HBL2360

Tipo de motor	Brushless DC
Voltaje máximo	60
Número de canales	2
Dirección	Adelante/ reversa
Amperios máximos por canal	75
Amperios continuos por canal	50
ON resistencia (mOhm)	6
Conexiones de energía	Cables
Habilitado control trapezoidal sin sensores	No
Análogo	Si
RS232	Si
USB	Si
CANbus	Si
Pulso RC	Si
Código Micro básico	Si
Control del lazo (ms)	1

Frenado Regenerativo	Si
Entradas análogas máximas	11
Entradas máximas digitales	19
Salidas Digitales	8
Entradas de pulso máximo	4
Encoder	Si
Refrigeración	Heatsink extrusión
Dimensiones	228 mm x 140 mm x 40 mm
Peso	1500 g

Realizado por: Autores, 2018

3.9.1 Dimensiones Controlador HBL 2360



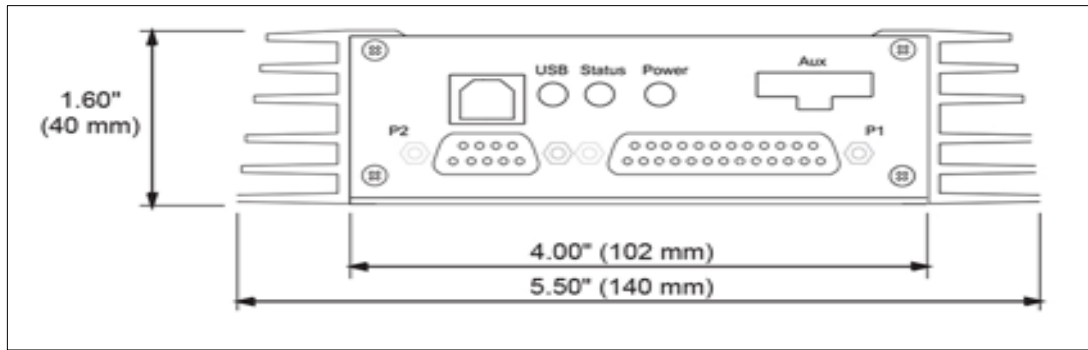


Figura 8-3: Vista Superior y Frontal del controlador y Dimensiones

Fuente (Roboteq, 2017)

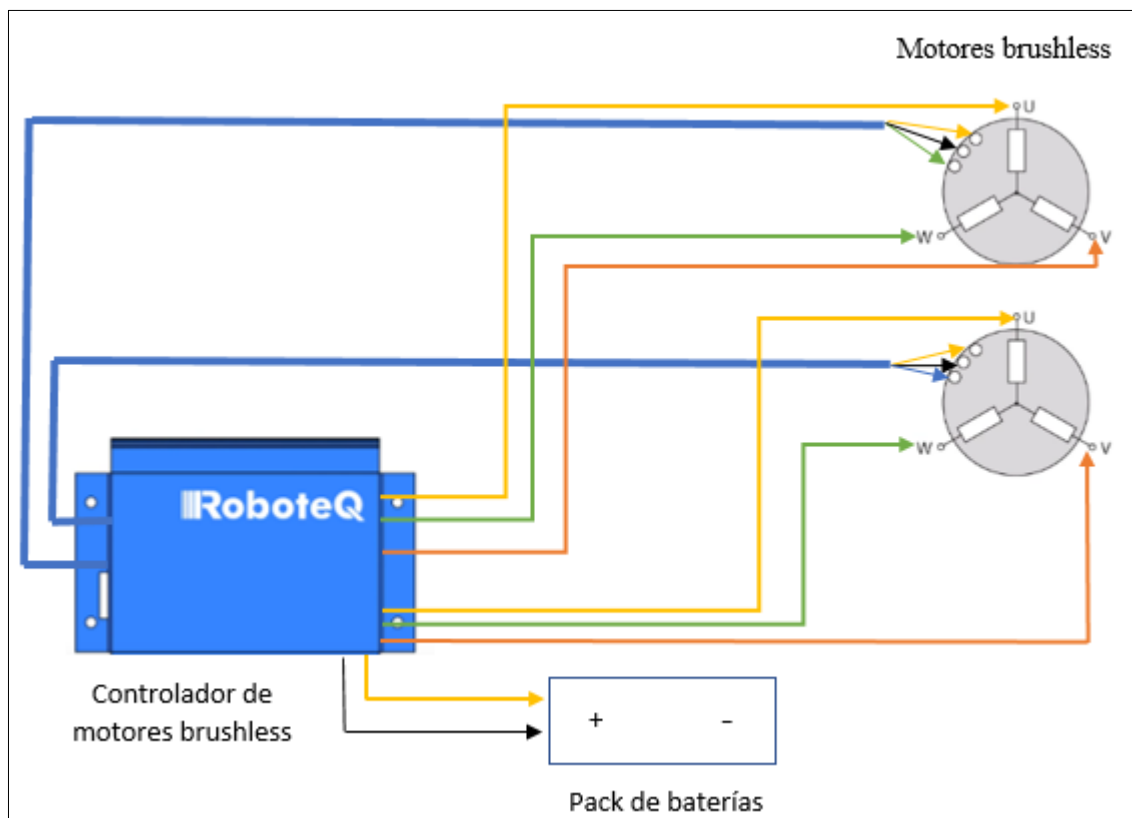


Figura 9-3: Esquema de conexión motores brushless y controlador

Fuente: Autores

3.10 Mando analógico de aceleración

El controlador permite la entrada de señales analógicas y digitales para comandar los motores Brushless por lo cual se decidió usar un acelerador electrónico tipo potenciómetro el cual esta alimentado con 5 V, convirtiendo la posición angular del pedal en una señal analógica de 0 a 5 V que será procesada por el controlador para regular la velocidad de los motores Brushless. Se escogió este tipo de mando debido a que es adecuado para su acople al pedal de aceleración y comodidad del piloto al momento de conducir.

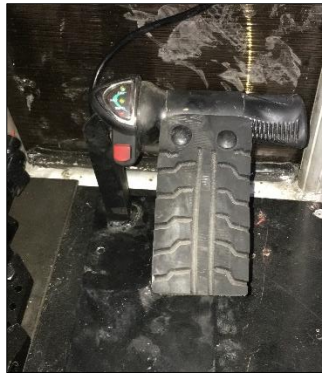


Figura 10-3: Mando analógico de aceleración

Fuente: Autores

3.11 Cable ABCX2

Para conectar el controlador HBL2360 a los motores Brushless, se conecta los sensores de efecto hall de cada uno de los motores al controlador mediante el CABLE-ABCX2 (Cable ABC Hall con conector Molex de dos filas y placa de transición para controladores de motor sin escobillas de dos canales).



Figura 11-3: Cable ABCX2

Fuente: Autores

3.12 Circuito de protección del controlador

Se sigue las recomendaciones del manual del controlador, el cual especifica un circuito de protección que consta de los siguientes elementos:

Tabla 18-3: Elementos del circuito de protección

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Fusible	58 V – 60 A
Resistencia	1K Ω
Switch principal	Switch de 3 posiciones
Switch de emergencia	Switch master
Diodo rectificador	10A

Realizado por: Autores, 2018

3.13 Especificaciones del cableado

Para realizar las conexiones eléctricas se debe tener en cuenta las siguientes especificaciones:

Tabla 19-3: Tipos de cables y conexiones

CONEXIÓN	DESCRIPCIÓN	CALIBRE DEL CABLE (AWG)	COLOR
CONTROLADOR – BATERIAS	Positivo	8	rojo
	Negativo	8	negro
CONTROLADOR – MOTOR 1	Fase U1	10	blanco
	Fase V1	10	verde
	Fase W1	10	azul
CONTROLADOR – MOTOR 2	Fase U2	10	café
	Fase V2	10	naranja
	Fase W2	10	morado
CABLE ABCX2 – MOTORES	Positivo	22	rojo
	Negativo	22	negro
	Sensor Hall HA	22	amarillo
	Sensor Hall HB	22	verde
	Sensor Hall HC	22	azul
MANDO ANALÓGICO DE ACELERACIÓN – CONTROLADOR	Alimentación	22	amarillo
	Masa	22	negro
	Señal	22	gris

Realizado por: Autores, 2018

CAPITULO IV

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA UNIDAD DE POTENCIA

Para la implementación de la unidad de potencia se seguirá los diagramas de conexión mostrados a continuación:

4.1 Esquemas eléctricos

4.1.1 Diagrama de conexión circuito de protección.

La figura 1-4 muestra el diagrama de conexión del circuito de protección del controlador, el cual es una conexión obligatoria antes de realizar las pruebas, así como la conexión del controlador hacia los motores Brushless.

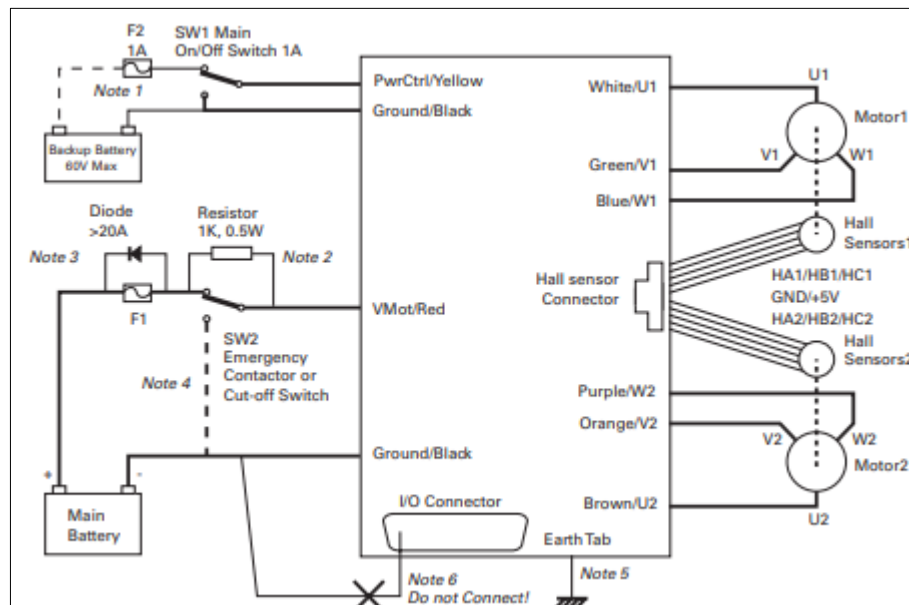


Figura 1-4: Diagrama de conexión del circuito de protección

Fuente: (Roboteq, 2017)

4.1.2 Diagrama eléctrico de la unidad de potencia

A continuación, se muestra el diagrama de conexiones eléctricas del conjunto de elementos de la unidad de potencia, en la posición en la que se encuentran en el prototipo solar.

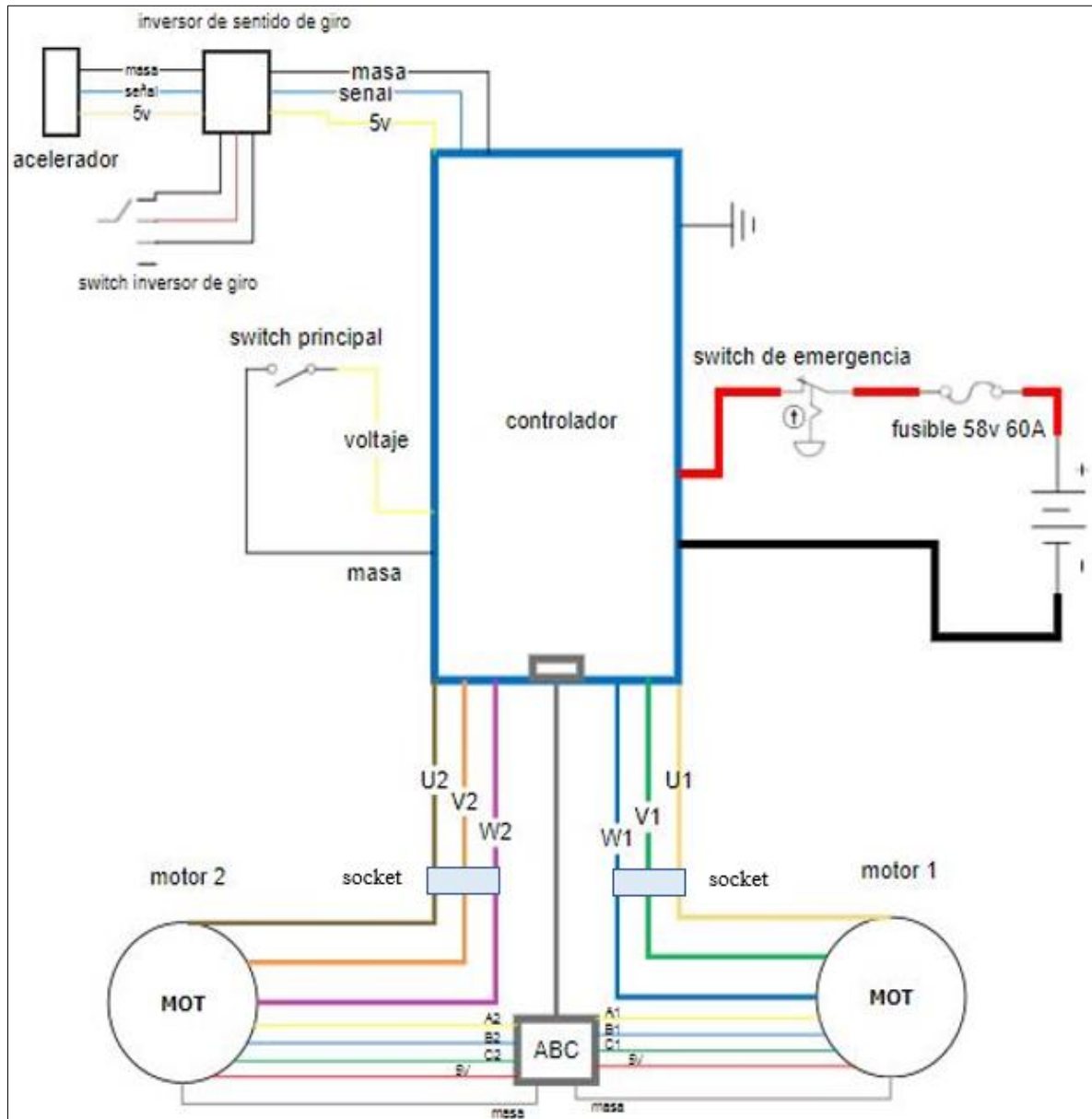


Figura 2-4: Diagrama eléctrico de la Unidad de potencia

Fuente: Autores

4.2 Pruebas del prototipo inicial

Se ejecutará un plan de pruebas para lo cual se propone realizar 3 pruebas las cuales son:

4.2.1 Prueba 1: prueba de funcionamiento de los motores Brushless

Esta prueba es para familiarizarse con el funcionamiento de los motores Brushless y reconocimiento de sus componentes.

Procedimiento:

Se realizó la prueba de funcionamiento de los motores Brushless con el controlador que viene de fábrica en la cual se emplearon baterías convencionales de vehículo conectadas en serie para llegar al voltaje de 48 voltios requeridos para el funcionamiento de los motores.



Figura 3-4: Conexión en serie de baterías convencionales de vehículo

Fuente: Autores

Una vez conectadas las baterías y comprobado el voltaje necesario para el funcionamiento de los motores se procedió a conectar el controlador, motores y baterías.



Figura 4-4: Conexión del banco de baterías, controlador y motor Brushless

Fuente: Autores

Resultados:

En la prueba se comprobó que el controlador de fábrica solo permite girar los motores en un solo sentido de giro lo cual fue una limitante debido a que el reglamento de carrera de vehículos solares indica que el vehículo solar debe ser capaz de moverse hacia adelante y de reversa, también en las pruebas que se realizó se llegó a constatar que si el voltaje es menor a 48 v el controlador no acciona los motores por ende se necesita que las baterías se mantengan en un voltaje mínimo de 48 voltios y un mayor amperaje debido a que su descarga fue inmediata.

4.2.2 Prueba 2: prueba de desempeño del motor con baterías Níquel metal hidruro

Esta prueba se realizó con un banco de baterías conectado en serie y paralelo con un voltaje de 51 voltios y 20 amperios con la finalidad de comprobar que la fuente de alimentación infliere en el desempeño de los motores.

Procedimiento:

Una vez que el banco de baterías está conectado se procedió a medir el voltaje teniendo un valor de 51 voltios, se procedió a asegurar el motor Brushless en una base, se conectó el acelerador electrónico al controlador y se realizaron las conexiones de todos los elementos, se registraron valores de amperaje con una pinza amperimétrica en el arranque para determinar el consumo del motor.

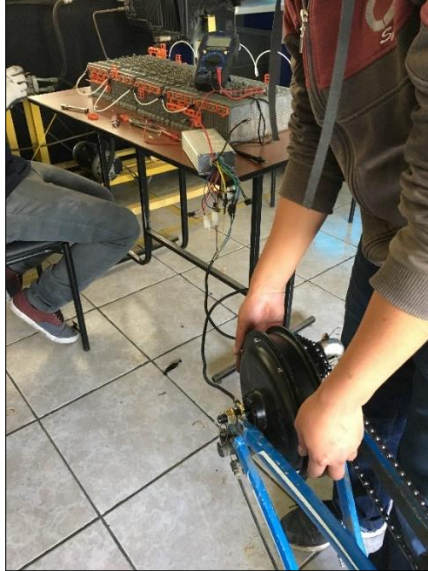


Figura 5-4: pruebas con baterías Níquel metal hidruro

Fuente: Autores

Resultados:

Las mediciones que se obtuvieron al momento del arranque fueron de 3.7 A, y se obtuvo una mayor velocidad de rotación del motor, así como una mejor autonomía de las baterías y se comprobó que el controlador puede trabajar con un voltaje mayor a 48 V.

4.2.3 Prueba 3: Conexión y funcionamiento del controlador HBL 2360 con los motores Brushless

Esta prueba es para familiarizarse con las funciones que brinda el controlador, manejo del software y configuración de parámetros de funcionamiento, conectar el controlador a los motores, realizar la prueba de inversión de giro y control de ambos motores al mismo tiempo de igual forma establecer que el controlador es apto para la unidad de potencia.

Procedimiento:

Se conectó el controlador a la fuente de alimentación que en este caso a las baterías de Níquel metal hidruro utilizadas en la prueba anterior.

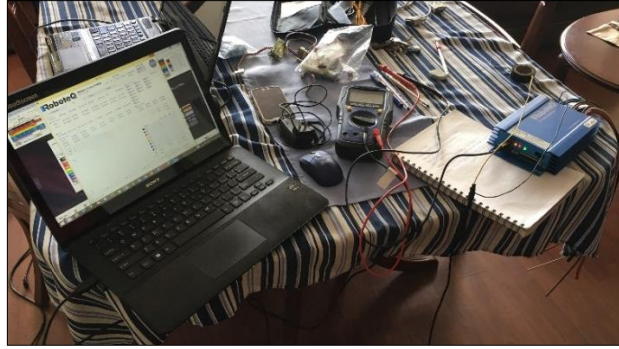


Figura 6-4: Pruebas de funcionamiento con el controlador HBL 2360

Fuente: Autores

Se procede a conectar la computadora al controlador mediante el cable USB tipo B, la computadora reconoce al controlador y lee los datos almacenados en el controlador.

Con el cable ABCX2 se conecta los sensores Hall de los motores al controlador, así como las fases U, V y W de cada motor.

Las conexiones de los devanados se conectan directamente al controlador por medio de las entradas que posee como se observa en la siguiente imagen basándonos en el manual del controlador se conectaron los motores a cada canal.

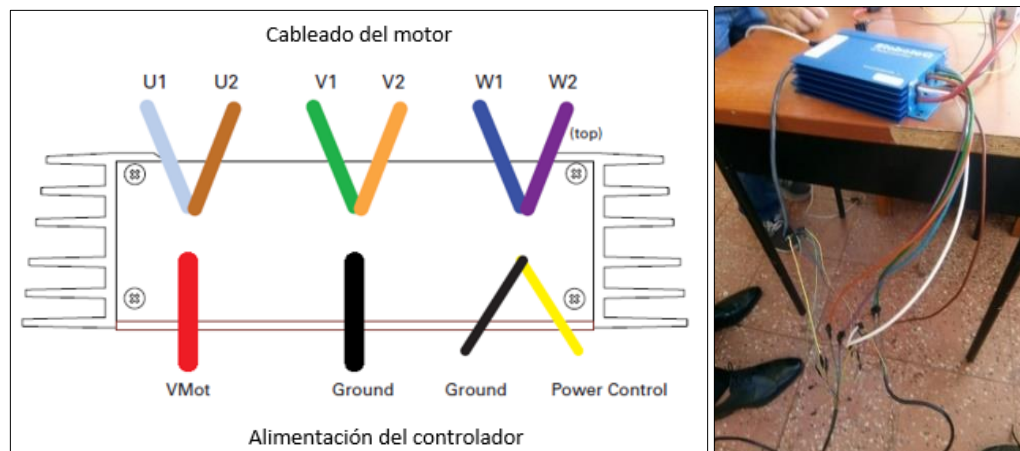


Figura 7-4: Conexión del controlador a los motores Brushless

Fuente:(Autores)

Para configurar las entradas y salidas del controlador se lo realiza mediante el programa Roborun+PC-Utility

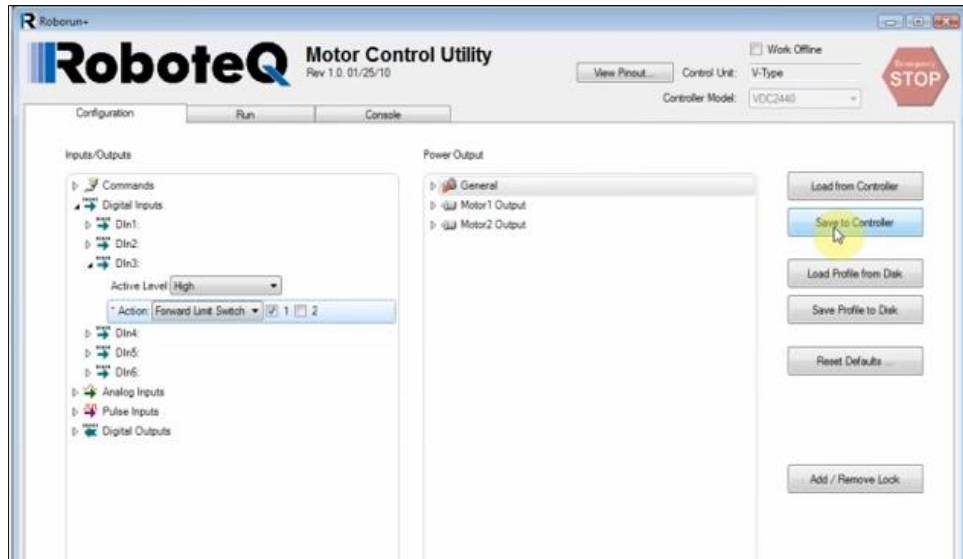


Figura 8-4: Programa para el control del motor brushless

Fuente: (Autores)

El programa empieza eligiendo la numeración del controlador en este caso HBL2360 y se despliega los íconos tal como se observa en la figura 8-4, en el lado izquierdo (Commands) se configura las entradas al controlador pudiendo ser digitales o analógicas, al otro lado en General están las salidas a los motores y da la posibilidad de configurar distintos parámetros a los dos motores como el voltaje, intensidad, sentido de giro, rpm.

Para realizar la prueba a los motores se los colocaron en dos soportes fijos.



Figura 9-4: Sujeción motores Brushless

Fuente: Autores

Para la alimentación del circuito se lo realizó con las baterías de Níquel Metal Hidruro como se muestran en la imagen:



Figura 10-4: Pack de baterías

Fuente: Autores

Para el comando de ambos motores se usó el programa en el cual da la opción de girar los motores en ambos sentidos.

Se verificó las conexiones de todos los elementos de la unidad de potencia y se accionó los motores, la primera prueba se realizó con los siguientes datos para el avance:

- Voltaje: 48 V.
- Intensidad: 10 A.
- RPM: 1000
- Para la reversa se configuró las rpm a 100

Se inició la prueba de avance y reversa en la cual los motores se accionaron al mismo tiempo tanto en avance como reversa.



Figura 11-4: Prueba de avance y reversa de los motores Brushless

Fuente: (Autores)

Se simuló una carga en cada motor para lo cual se montó un sistema de frenos de disco como se ve en la imagen 11-4, se accionó los motores y se les aplicó los frenos.



Figura 12-4: Prueba con carga a los motores brushless

Fuente:(Autores)

Resultados:

Se verificó que el controlador tiene la capacidad de controlar los dos motores al mismo tiempo, la interfaz del controlador permite ajustar los parámetros como es velocidad, rpm, limitación de corriente hacia los motores, inversión de giro debido a todo esto el controlador HBL 2360 es apto para el control de la unidad de potencia cumpliendo las especificaciones de carreras de vehículos solares.

Al accionar los motores sin carga se registró un consumo de corriente de 3.7 A, al aplicarles carga se registró un valor máximo de consumo de corriente de 5.2 A.

4.3 Implementación de la unidad de potencia en el vehículo solar

4.3.1 Ensamblaje de la rueda motor

Una vez seleccionado el aro de motocicleta de 21 pulgadas se realizó el montaje de la rueda, radios y neumático al motor para tener el conjunto motriz completo en cada una de las ruedas traseras.

Se procede a montar el conjunto motriz en la suspensión trasera del prototipo solar.



Figura 13-4: Montaje de los motores Brushless al prototipo solar

Fuente: Autores

4.3.2 El controlador

Para la implementación del controlador en el prototipo solar se tomó en cuenta los siguientes factores

- Ventilación
- Aislamiento de factores externos
- Protección contra el agua
- Facilidad de conexión con los motores
- Seguridad en caso de colisión
- Fácil desmontaje

Tomando en cuenta todos los factores mencionados anteriormente se optó por ubicarlo en la parte central posterior del prototipo solar construyendo la estructura que va soportar el controlador precautelando que el mismo se encuentre aislado de elementos que puedan afectar su funcionamiento, protegiéndole del agua, teniendo una ventilación necesaria para su operación, brindándole seguridad en caso de colisión, conveniencia a la hora de realizar las conexiones tanto con la batería, así como los motores y la unidad de mando análoga.



Figura 14-4: Montaje del controlador HBL 2360 al prototipo solar

Fuente: Autores

4.3.3 Mando analógico de aceleración

Para comodidad del piloto y mejor operación de la unidad de potencia el mando analógico de aceleración se montó en el piso del habitáculo, el circuito de control tiene un switch que permite controlar la inversión de giro de los motores teniendo tres posiciones el cual está ubicado en el tablero de habitáculo.



Figura 15-4: Mando analógico de aceleración

Fuente: Autores

4.4 PRUEBAS DE CAMPO

4.4.1 Configuración de parámetros

Se procedió a realizar los ajustes de funcionamiento del controlador con los motores, para realizar las pruebas de pista.

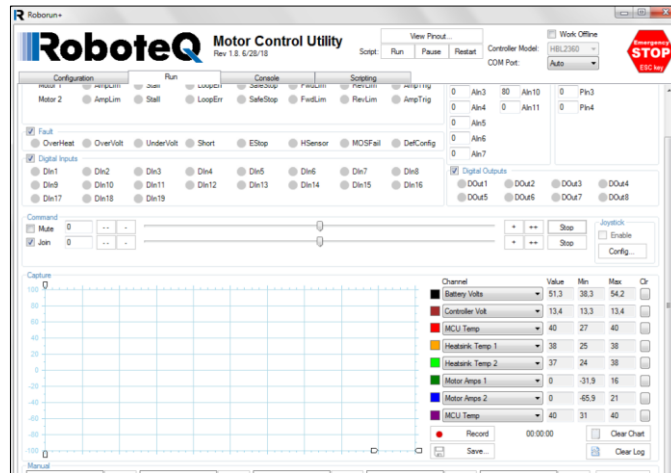


Figura16-4: Interfaz controlador HBL 2360

Fuente: Autores

Se realizaron todas las conexiones eléctricas asegurando que estén aislados los cables para que no se produzca ningún tipo de cortocircuito ni contacto con ninguna parte móvil que pueda producir el deterioro de los mismos.

Una vez completado esto y verificado que todo está conectado de forma adecuada se procedió a realizar las pruebas de campo.

4.4.2 Prueba de campo 1: Desempeño de la unidad de potencia con baterías Ion Litio con 53 V y 10Ah

En esta prueba se verificó el desempeño de la unidad de potencia en conjunto tanto en avance como reversa, se midió el consumo de corriente, autonomía del prototipo solar.

Procedimiento:

La prueba se realizó con el banco de baterías de Ion Litio con una carga de 53 V y 10 A, se conectó a la unidad de potencia, se puso en movimiento el prototipo solar realizando pruebas de avance y reversa en las cuales se realizaron mediciones de consumo de corriente y velocidad que alcanza el prototipo.

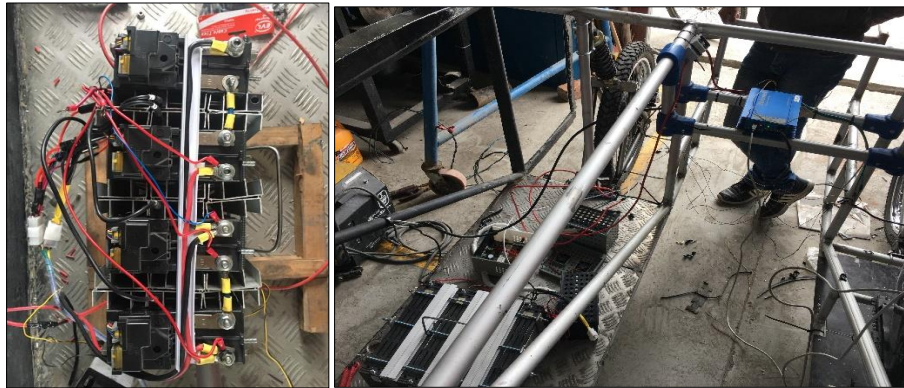


Figura 17-4: Conexión de baterías, controlador y motores Brushless en el prototipo solar

Fuente: Autores



Figura 18-4: Medición del amperaje requerido por los motores

Fuente: Autores

Resultados:

Se hicieron pruebas de pista del vehículo solar en un recorrido de 1.5 km en el cual el tiempo de duración de las baterías fue unos 5 minutos aproximadamente debido al alto consumo de energía que los motores demandan al momento de la partida y debido al peso de la estructura, se realizaron diferentes mediciones como es el amperaje consumido al arranque, en avance y en reversa.

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

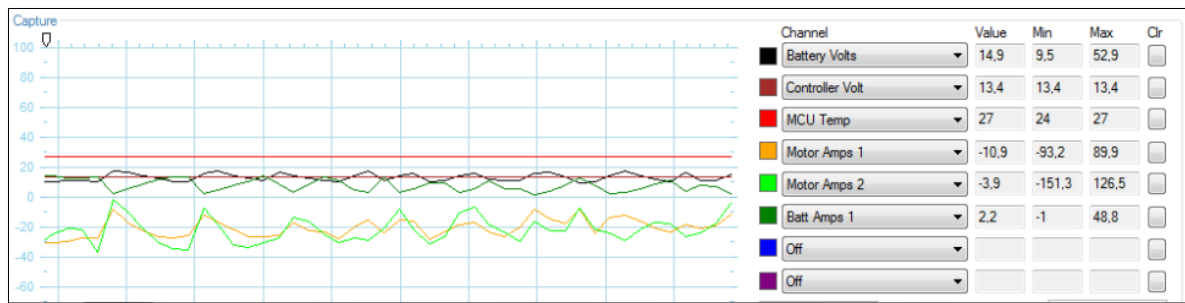


Figura 19-4: Gráfica de valores obtenidos durante la prueba

Fuente: Autores

La gráfica muestra distintos parámetros como son la temperatura del controlador expresada en color rojo la cual se encontró durante toda la prueba en un rango de 24 a 27 grados centígrados así como el voltaje de alimentación del mismo de 13.4V, la carga de la batería en color negro al empezar la prueba era de 52.9 V y el valor mínimo registrado fue de 9.5 V donde la unidad de potencia ya no fue capaz de mover el prototipo solar y donde se observó que al dejar de acelerar el valor de voltaje se recuperaba. El motor 1 en color naranja consumió una corriente de 93.2 A y el motor 2 en color verde de 126.5 A, esta diferencia de consumo de corriente se debe a que el lado del habitáculo es más pesado, debido al alto consumo de corriente que registran los motores la carga del batería duró 5 minutos lo que no permitió que la unidad de potencia se desempeñe de la mejor manera, la velocidad máxima registrada fue de 14 km/h.

4.4.3 Prueba de campo 2: Desempeño de la unidad de potencia con baterías Ion Litio con 48V y 20Ah

La siguiente prueba se realizó con baterías de Ion litio la cual está concebida para este tipo de motores puesto que es la que el fabricante recomienda teniendo una carga de 48 V y 20 Ah.

Procedimiento:

Se conectó la batería a la unidad de potencia, se puso en movimiento el prototipo solar, en esta prueba se tomaron mediciones mediante el software del controlador que presenta datos y gráficas en vivo por lo cual se tomó esto para el análisis, observando el comportamiento y demanda de amperaje, así como monitorear el voltaje de la batería tanto al arranque como en la prueba en pista lo cual también se confirmó mediante la toma de mediciones de amperaje con la pinza amperimétrica en la pruebas de avance, reversa, partida en pendiente y la velocidad máxima que alcanza el prototipo.



Figura 20-4: Pruebas con la batería de Ion Litio

Fuente: Autores



Figura 21-4: pruebas de pista

Fuente: Autores

La prueba de partida de pendiente se realizó con un ángulo de 8 grados.

Resultados:

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

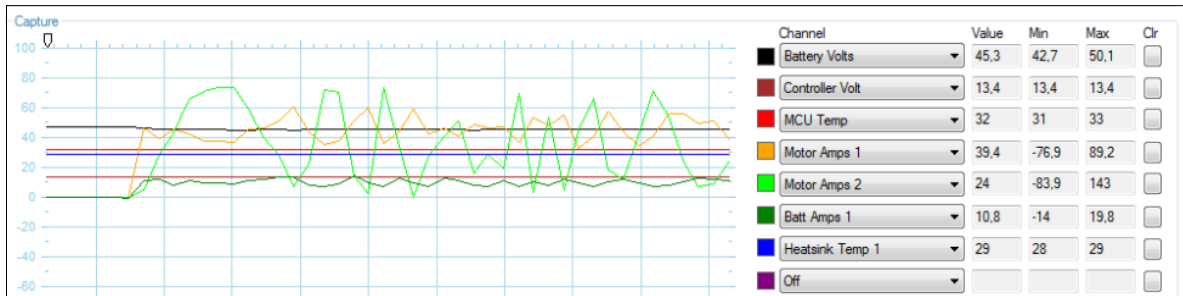


Figura 22-4: Medición de valores en las pruebas de pista

Fuente: Autores

La gráfica 22-4 muestra distintos parámetros como son la temperatura del controlador expresada en color rojo la cual se encontró durante toda la prueba en un rango de 31 a 33 grados centígrados así como el voltaje de alimentación del mismo de 13.4V, la carga de la batería en color negro al empezar la prueba era de 48 V y el valor mínimo registrado fue de 42.7 V en donde se observó que al dejar de acelerar el valor de voltaje se recuperaba , el motor 1 en color naranja consumió una corriente de 89.2 A y el motor 2 en color verde de 143 A, la carga de la batería duro 10 minutos y la velocidad máxima registrada fue de 28 km/h con una distancia recorrida de 4 Km.

4.5 Comparación entre las pruebas de pista

Tabla 1-4: datos obtenidos en las pruebas

PARÁMETROS	PRUEBA 1	PRUEBA 2
Velocidad máxima (km/h)	14	28
Tiempo de duración de baterías (min)	5	10
Pico máximo consumo de corriente (A)	90	90
Distancia recorrida (km)	1.5	4

Realizado por: Autores, 2018

En todas las pruebas realizadas se observó que en el momento del arranque es cuando se produce una mayor demanda de energía debido a que se debe vencer la inercia del vehículo solar, llegando a registrarse valores de amperaje de 90 amperios o más.

El prototipo solar fue capaz de superar una pendiente de inclinación de 8° con ambos tipos de baterías.

Después de realizar las pruebas en pista y mediante las mediciones de corriente en los motores se llegó a determinar que los motores Brushless tienen mayor consumo de corriente en un sentido de giro por lo cual el sentido de giro que consume menos está dispuesto para el avance del vehículo.

Los mejores resultados de pruebas en pista se obtuvieron con las baterías de Ion litio con 48 V y 20 Ah con las cuales se obtuvo una mayor autonomía del prototipo solar.

4.6 Presupuesto

Los costos es el conjunto de gastos que genera una persona o grupo de personas y son de dos tipos: directos e indirectos.

4.6.1 Costos directos

Estos se generan en la adquisición de un bien o servicio, en este trabajo de titulación, los costos directos son ocasionados por la adquisición de los motores brushless y el controlador HBL 2360.

4.6.1.1 Costos de materiales

Se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 2-4. Costos de Materiales

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR POR UNIDAD	VALOR TOTAL
2	Motores Brushless 48V-1500W	300	600
1	Controlador Motores Brushless HBL 2360	790	790
1	Cable ABCX2	60	60
2	Disco de freno	15	30
2	Aceleradores Electrónicos	30	60

1	Cautín	20	20
1	Rollo de cable \varnothing 5.1 mm	20	20
2	Cinta Aislante Negra	2	4
	Pernos + Tuercas varias medidas		10
TOTAL			1594

Realizado por: Autores, 2018

4.6.1.2 Costo de mano de obra

Fue necesaria la ayuda de profesionales a la hora de realizar ciertos trabajos como la implementación del circuito de protección al controlador HBL 2360, el mando analógico, etc.

Tabla 3-4. Costos de mano de /obra

Descripción	Salario Real Hora	Hora - Hombre	Valor Total
Ingeniero Electrónico	5	10	50
TOTAL			50

Realizado por: Autores, 2018

4.6.2 Costos Indirectos

Los costos indirectos representan el 20 % de los costos directos y se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 4-4. Costos Indirectos

DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL
20 % Costos directos	318.8
Documentación	120
TOTAL	438.8

Realizado por: Autores, 2018

4.6.3 Costos Totales

Representa la suma de los costos directos e indirectos, se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 5-4. Costos Totales

DESCRIPCIÓN	VALOR
Costos Directos	1644
Costos Indirectos	438.8
Total	2082.8

Realizado por: Autores, 2018

CONCLUSIONES

Se identificó los requerimientos y especificaciones de competencias de vehículos solares, lográndose determinar que tanto la carrera solar Atacama y el World Solar Challenge de Australia poseen los mismos requerimientos al estar homologados.

De acuerdo a los cálculos realizados para que el prototipo solar alcance la velocidad mínima establecida en los reglamentos de carrera se logró determinar que para una velocidad de 60 km/h y un peso de 300 Kg la potencia requerida es de 3.23 HP y el torque mínimo necesario es de 23.39 Nm.

Se identificó que los motores Brushless (BLDC) son los que brindan mejores prestaciones debido a su alta eficiencia, no necesitan un sistema de transmisión al estar acoplado directamente en la rueda motriz reduciéndose el peso del prototipo, así como también una gestión electrónica adecuada, por estas razones se seleccionó dos motores eléctricos Brushless de 48 V, 1500 W de potencia y un torque de 48 Nm cada uno.

Se determinó que el controlador incluido en el kit de los motores no satisfacía las condiciones de carrera que debe cumplir la unidad de potencia por lo que se implementó el controlador HBL 2360 el cual satisface adecuadamente todas las necesidades de control de los motores como son el sentido de giro y las rpm permitiendo al vehículo solar avanzar y retroceder por sí solo.

Se determinó las características de funcionamiento del controlador HBL 2360 las cuales son un voltaje máximo de 60V y mínimo de 10V en funcionamiento, al igual que 7V para mantenerse encendido, con la posibilidad de entregar hasta 50 amperios continuos a cada motor.

Una característica del controlador es la lectura de la carga de la batería, con estos valores el controlador limita automáticamente los picos máximos de control de amperaje en los motores por tanto se concluye que si el amperaje de la batería no es suficiente para el vehículo este no tendrá un funcionamiento adecuado debido a que al acelerar se va a llegar al límite de amperaje y el controlador procederá a cortar la energía como medida de protección.

Las pruebas en el prototipo solar se realizaron con un peso real de 370 kg y baterías de Ion Litio de 48 V y 20 Ah las que permitieron un mejor desempeño de la unidad de potencia obteniendo una velocidad máxima de 28 km/h, se tuvo esta velocidad debido a que el peso del prototipo final es superior al de los cálculos y se produce un mayor consumo de energía con lo cual se tiene una autonomía limitada.

Los motores en el prototipo presentaron un consumo de alrededor de 50 amperios en movimiento y en el arranque puede llegar hasta 90 amperios, las baterías tienen un amperaje máximo de 20 Ah, razón por la cual no abasteció esta demanda alta de corriente y se sacrifica el voltaje de la batería al mismo tiempo que el controlador regula la entrega de corriente hacia los motores.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda verificar el sentido de giro de los motores realizando pruebas en ambos sentidos de giro y tomar mediciones de amperaje para determinar cuál es el que presenta un consumo menor y ubicar en este sentido la marcha hacia adelante.
- Se recomienda reducir el peso del prototipo solar para obtener un mayor desempeño de la unidad de potencia.
- La fuente de alimentación debe tener mejores prestaciones tanto en voltaje como en corriente, de esta manera se evita la interrupción de corriente hacia los motores y el desempeño de la unidad de potencia será mejor alcanzando una mayor velocidad al igual que brindando una mejor autonomía.
- Se recomienda utilizar la indumentaria adecuada y equipo de protección personal al momento de realizar las conexiones debido a que la unidad de potencia y sus elementos manejan altos valores de corriente.
- Se recomienda continuar con el estudio realizado de la unidad de potencia con el fin de mejorar el prototipo solar y obtener una mayor velocidad y autonomía.

BIBLIOGRAFÍA

BECERRIL, S. *Diseño de etapa de potencia y control para un motor brushless de CD con frenado regenerativo aplicado a una moto deportiva eléctrica [en línea]. Unam. Mexico D.F. 2014 pp 10-50, [Consulta: 2018-04-10]. Disponible en: www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/3489?show=full*

CAMPOS. Eficiencia energética en motores eléctricos. (Tesis) Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia 2014. pp. 2-5.

CSA. 2018. Carrera Solar de Atacama.[En línea] 2017.[Consulta: 16 de Abril 2018] Disponible en: <http://www.carrerasolar.com/es/carrera/>

CARREÑO AGUILLON, Elsy del Pilar & VACCA MELO, Edwin Alfonso & ARIZA, Ingrid Lugo. Diseño y fabricación de un vehículo autónomo impulsado por energía solar, [en línea] (Tesis) Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá-Colombia, 2011 pp. 8 [Consulta 2018-04-11]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2012000200009#fig8.

CONTRERAS & SANCHEZ. Diseño y construcción de un banco de prácticas en motores eléctricos como apoyo a la asignatura Diseño de máquinas II. [en línea](Tesis) Universidad Industrial de Santander, Santander, Colombia, 2010. pp. 59-69. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>

Cossalter, V, *Motorcycle Dynamic*. [en línea] Segunda edición. USA. 2006. [Consulta: 18 de Agosto del 2018]. Disponible en:

https://books.google.com.ec/books?id=rJTQxITnkgC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

GILLESPIE, T. *Fundamentals of Vehicle dynamics*. [en línea]. Warrendale. USA. 1992. [Consulta: 18 de agosto 2018]. Disponible en: <https://instantebook.club/downloads/fundamentals-of-vehicle-dynamics-thomas-d-gillespie#>

MORA, J. *Máquinas Eléctricas*. [en línea]. Quinta Edición. Madrid. España, 2003. [Consulta: 12 de Julio 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/221612221/Maquinas-Electricas-Jesus-Fraile-Mora-5ta-Edicion>

YEDAMALE, P. Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals. [en línea].2003. Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00885a.pdf>

PALAFIX, G. Diseño y construcción de un vehículo eléctrico con variador de velocidad mediante un convertidor CD-CD. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Tecnológica de la Mixteca. Oaxaca, México, 2009. pp 14 [Consulta: 2018-06-22]. Disponible en: http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/10990.pdf

Roboteq. HBL2360 High Performance Brushless DC motor Controller with USB, and CAN Interface. [En línea]. USA, 2018 [Consulta: 2018-07-15] pp. 1-8. Disponible en: <https://www.roboteq.com/index.php/docman/motor-controllers-documents-and-files/documentation/datasheets/hbl23xx/59-hbl23xx-datasheet/file>

GUZMÁN, J. Espol prepara vehículo híbrido para competir, 2014. *EL Universo*. [En línea]. 6 de agosto. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/vida-estilo/2014/08/06/nota/3325456/espil-prepara-vehiculo-hibrido-competir>

VIDELA, A. Manual de Motores Eléctricos. [En línea] (Tesis) Arica, Chile, 2012. pp. 5-22. [Consulta: 2018-05-07]. Disponible en: <https://docplayer.es/14523956-Manual-de-motores-electricos.html>

WORLD SOLAR CHALLENGE. [En línea]. 2017. [Consulta: 17 de abril 2018]. Disponible en: <https://www.worldsolarchallenge.org/>