



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Implementación de un sistema de propulsión eléctrica de un buggy para la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Sarango Sarango, Pedro Ignacio

Departamento de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz

Monografía, previo a la obtención del título de Tecnólogo en Mecánica Automotriz

Ing. Sánchez Mosquera, Carlos Rafael

03 de febrero del 2022

Latacunga



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que la monografía, **Implementación de un sistema de propulsión eléctrica de un buggy para la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE**, fue realizado por el señor **Sarango Sarango Pedro Ignacio** la cual ha sido revisada y analizada en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 03 de febrero del 2022

Firma

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Carlos Rafael Sánchez Mosquera', written over a horizontal line.

Ing. Sánchez Mosquera Carlos Rafael
C.C: 1803232113

Reporte de verificación de contenido



Sarango Pedro.docx

Scanned on: 21:28 February 21, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	692
Words with Minor Changes	115
Paraphrased Words	452
Omitted Words	0

CARLOS RAFAEL
SANCHEZ MOSQUERA

Ing. Sánchez Mosquera Carlos Rafael
C.C: 1803232113



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGIA Y MECANICA
CARRERA DE TECNOLOGIA SUPERIOR EN MECANICA AUTOMOTRIZ

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Sarango Sarango, Pedro Ignacio**, con cédula de ciudadanía n°0107157422, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **Implementación de un sistema de propulsión eléctrica de un buggy para la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE** es de mí autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 03 de febrero del 2022

Firma

Sarango Sarango Pedro Ignacio

C.C.: 0107157422



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGIA Y MECANICA
CARRERA DE TECNOLOGIA SUPERIOR EN MECANICA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Sarango Sarango, Pedro Ignacio** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **Implementación de un sistema de propulsión eléctrica de un buggy para la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 03 de febrero del 2022

Firma

Sarango Sarango Pedro Ignacio

C.C.: 0107157422

Dedicatoria

Dedicatoria a mis padres, hermano, y hermanas que estuvieron y están prestos a ayudarme y guiarme en los momentos en los que más los necesite. La persistencia de continuar con mis estudios es gracias a ellos, confiando en Dios y apegándome a sus enseñanzas se logró alcanzar una meta importante, de ellos aprendí que cada día suele ser una oportunidad de ser mejor que el día anterior, que las metas se trabajan día a día y con pequeños pasos se construyen grandes cosas. La paciencia tiene su recompensa.

Gracias.

Agradecimiento

Primero agradecer a Dios, me ha bendecido al tener a las personas que estuvieron a mi lado durante estos años.

A mi madre por ser la persona que me guía y es un apoyo moral cuando más lo necesito.

Mi padre por ser el hombre que con su esfuerzo, sacrificio y tenacidad me ha enseñado que todo en la vida se debe ganar con el sudor de la frente.

Mis hermanos que son el combustible de aliento para superar los obstáculos que se presentan en la vida.

Gracias

Tabla de Contenido	
Carátula.....	1
Certificación	2
Reporte de verificación de contenido	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Tabla de Contenido	8
Índice de figuras	12
Índice de tablas	14
Resumen	15
Abstract.....	16
Planteamiento del Problema.....	17
Antecedentes	17
Planteamiento del problema	18
Justificación	19
Objetivos	21
<i>Objetivo General</i>	21
<i>Objetivos Específicos</i>	21
Alcance	22

Marco Teórico	23
Propulsión Eléctrica	23
Vehículos Híbridos	25
<i>Componentes del sistema híbrido.....</i>	28
Motor térmico.....	28
Motor Eléctrico	30
Motores de corriente alterna	31
<i>Motor síncrono.....</i>	31
<i>Motor Asíncrono</i>	32
<i>Motor de reluctancia.....</i>	32
Motor de corriente continua	33
<i>Motor con escobillas</i>	33
<i>Motor Brushless o sin escobillas</i>	34
Inversor – Conversor	35
Batería de alto voltaje.....	36
Transmisión de vehículos híbridos y eléctricos.....	37
<i>Power Split Device®.....</i>	37
<i>Transmisión CVT.....</i>	39
<i>Motor en las ruedas (In wheel electric motor).....</i>	40
Control electrónico de motorización	41

<i>Transformadores de corriente continua a corriente alterna</i>	42
<i>Transformadores de corriente alterna a corriente continua</i>	44
<i>Transformadores de corriente continua a corriente continua</i>	45
<i>Funcionamiento del motor BLDC</i>	46
Aditamentos de control – Pedal	50
<i>Sensores magnéticos e inductivos</i>	51
<i>Sensores de efecto Hall</i>	51
<i>Sensores Resistivos</i>	52
Cálculos del motor	53
Resistencia a la rodadura	54
Resistencia aerodinámica	56
Resistencia por la pendiente de la carretera	58
<i>Deslizamiento y Adherencia</i>	58
<i>Ángulo de inclinación</i>	60
Implementación de los motores en el prototipo	62
Motor	62
Controlador	66
Acelerador	70
Comprobaciones	72
Aceleración máxima	72

Consumo de corriente	73
<i>Pruebas en vacío</i>	73
<i>Pruebas con carga</i>	76
Marco Administrativo	79
Recursos Humanos	79
Recursos Materiales	79
Recursos Tecnológicos	80
Presupuesto.....	81
Conclusiones y Recomendaciones.....	82
Conclusiones.....	82
Recomendaciones.....	83
Bibliografía.....	84
Anexos	87

Índice de figuras

Figura 1 <i>Automovil híbrido Toyota Prius</i>	24
Figura 2 <i>Sistema microhíbrido con elementos separados</i>	26
Figura 3 <i>Configuración en serie de un vehículo híbrido</i>	26
Figura 4 <i>Configuración en paralelo de un vehículo híbrido</i>	27
Figura 5 <i>Comparación de ciclos térmicos Otto y Atkinson</i>	29
Figura 6 <i>Clasificación de los motores eléctricos</i>	30
Figura 7 <i>Motor síncrono</i>	31
Figura 8 <i>Motor asíncrono de corriente alterna</i>	32
Figura 9 <i>Motor de reluctancia variable</i>	33
Figura 10 <i>Motor de corriente continua con escobillas</i>	34
Figura 11 <i>Ondas para un motor brushless</i>	34
Figura 12 <i>Partes de un inversor de un Toyota Prius</i>	36
Figura 13 <i>Ubicación de batería de alto voltaje</i>	37
Figura 14 <i>Transmisión de un vehículo híbrido</i>	38
Figura 15 <i>Configuración de tren epicicloidal</i>	39
Figura 16 <i>Poleas tipo CVT</i>	39
Figura 17 <i>Motor tipo In Wheel Electric motor</i>	40
Figura 18 <i>Tipos de transformadores</i>	41
Figura 19 <i>Transformador de corriente continua a corriente alterna</i>	42
Figura 20 <i>Generación de corriente alterna trifásica</i>	43
Figura 21 <i>Curvas generadas por transformación CC a CA</i>	43
Figura 22 <i>Curvas generadas por un generador trifásico</i>	44
Figura 23 <i>Circuito electrónico de transformador DC-DC</i>	45
Figura 24 <i>Tipos de motores BLDC de acuerdo con la ubicación del rotor</i>	46
Figura 25 <i>Etapas de activación de un motor BLDC</i>	47
Figura 26 <i>Conexión de controlador - motor</i>	49

Figura 27 <i>Pedal de aceleración</i>	50
Figura 28 <i>Sensor de tipo magnético e inductivo</i>	51
Figura 29 <i>Sensor de posición de efecto hall</i>	52
Figura 30 <i>Sensor APP</i>	52
Figura 31 <i>Descomposición de fuerzas que afectan al automóvil</i>	53
Figura 32 <i>Formación de pendiente</i>	60
Figura 33 <i>Componentes polares del peso de un vehículo en pendiente</i>	60
Figura 34 <i>Motor de 2000W</i>	63
Figura 35 <i>Arnés de sensores hall</i>	64
Figura 36 <i>Fases de motor</i>	64
Figura 37 <i>Trapezio de soporte de motores</i>	65
Figura 38 <i>Disposición de controlador</i>	66
Figura 39 <i>Cables de conexión de alimentación y control de motor</i>	67
Figura 40 <i>Conector de acelerador con señal simétrica</i>	69
Figura 41 <i>Modelo de acelerador</i>	70
Figura 42 <i>Acelerador de "citycoco"</i>	71
Figura 43 <i>Pruebas de aceleración</i>	72
Figura 44 <i>Pruebas de consumo</i>	73
Figura 45 <i>Amperaje consumido por el encendido del módulo</i>	74
Figura 46 <i>Consumo de corriente del motor en su primera velocidad</i>	75
Figura 47 <i>Consumo de corriente en segunda velocidad</i>	75
Figura 48 <i>Medición de corriente tope</i>	76
Figura 49 <i>Ruta de prueba</i>	77
Figura 50 <i>Prototipo en pruebas varias</i>	78

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Momentos de activación de las fases de un motor BLDC</i>	48
Tabla 2 <i>Valores medios para el coeficiente de rodadura</i>	55
Tabla 3 <i>Coeficientes aerodinámicos</i>	58
Tabla 4 <i>Recursos Humanos</i>	59
Tabla 5 <i>Recursos Materiales</i>	80
Tabla 6 <i>Recursos Tecnológicos</i>	80
Tabla 7 <i>Presupuesto</i>	81

Resumen

El presente proyecto tiene como propósito implementar motores eléctricos a un buggy biplaza, esto con la intención de conocer la tecnología eléctrica en la movilización y en el campo automotriz, la mejor forma de hacer esto es con la construcción de un vehículo ligero de recreación. Para esto se usaron motores eléctricos, módulos de control para dichos motores, aceleradores, switches y una variedad de materiales eléctricos, por tema económico no se utilizaron módulos programables o configurables. La elección de utilizar una tracción con el motor en la rueda se da porque la tracción por cadena de arrastre ya existe y el para el fin académico la innovación juega un papel importante. Para los motores con tracción directa el diseñar una suspensión resulta un tanto más complejo por el tipo de sujeción que debe tener el motor dado que es del tipo eje inamovible. Al tener motores de tipo outrunner se debe sujetar el eje central o estator (Lahood, 2011). Esto representa invertir más tiempo en los programas CAD y en la fabricación de los basculantes, al igual que las trabas de estos. Por último, los materiales de los que está constituido el buggy también toman importancia en el cálculo de los motores por lo que la carrocería del prototipo se la realizó en fibra de vidrio.

Palabras Clave:

- **MOTOR BLDC**
- **PROPULSIÓN ELÉCTRICA**
- **CONTROL PWM**

Abstract

The purpose of this project is to implement electric motors to a two-seater buggy, this with the intention of knowing the electric technology in the mobilization and in the automotive field, the best way to do this is with the construction of a light recreational vehicle. For this we used electric motors, control modules for these motors, accelerators, switches, and a variety of electrical materials, for economic reasons we did not use programmable or configurable modules. The choice to use a traction with the motor in the wheel is given because the traction by drag chain already exists and for the academic purpose innovation plays an important role. For motors with direct drive, the design of a suspension is somewhat more complex because of the type of fastening that the motor must have, given that it is of the immovable axle type. When having outrunner type motors, the central shaft or stator must be attached (Lahood, 2011). This means investing more time in the CAD programs and in the manufacture of the tilts, as well as the locks of the tilts. Finally, the materials of which the buggy is made also take importance in the calculation of the engines, so the body of the prototype was made of fiberglass.

Key words:

- **BLDC ENGINE**
- **ELECTRIC PROPULSION**
- **PWM CONTROL**

Capítulo I

1. Planteamiento del Problema

“Implementación de un sistema de propulsión eléctrica de un buggy para la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.”

1.1 Antecedentes

El uso de combustibles fósiles ha sido una constante desde la creación del motor ciclo Otto, pero esto ha generado una problemática con la que actualmente se lucha constantemente, la contaminación ambiental. “La combustión de hidrocarburos en los motores térmicos produce vapor de agua y dióxido de carbono directamente, aunque en menor medida también produce compuestos tóxicos como: monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, hidrocarburos” (Ros Marín & Barrera Doblado, 2017).

Este tipo de contaminación no varía entre motores Otto y Diesel, aunque lo que, si varía es la cantidad de los residuos emitidos a la atmosfera esto gracias a catalizadores y sistemas de recirculación de gases, pero en disciplinas como la competición y el entretenimiento no es muy viable este tipo de aditamentos para reducir la contaminación. En ese caso se buscan opciones como reducir el peso de la estructura para utilizar motores de cilindrada menor, por ejemplo.

El tren de propulsión de los buggys desde sus inicios ha tenido como propulsor un motor de combustión interna lo que sigue produciendo cierta cantidad de contaminación, pero considerando esta problemática proyectos académicos y profesionales han optado por motorizaciones eléctricas más amigables con el medio ambiente, aunque mucho más lentas. Uno de esos proyectos es el titulado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

ELÉCTRICA Y SUSPENSIÓN DELANTERA DEL VEHÍCULO HÍBRIDO TIPO BUGGY 4*4 PARA LA CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH” (Gavilanez & Yumbo Iza, 2019). En este proyecto se implementa un motor eléctrico a un buggy, teniendo resultados optimistas con este tipo de propulsión con una velocidad punta de 20Km/h teniendo que necesitar 286,7 Nm para vencer las diferentes resistencias a la rodadura. El proyecto muestra los análisis que se hacen respectivamente al motor y controlador eléctrico que se emplean en el buggy por lo que concluyen y utilizan tecnología china ya que por sus características son la mejor opción.

De acuerdo con (Ortiz Medrano, 2017) en su proyecto “ADAPTACIÓN DE UN BUGGY CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A UN SISTEMA ELÉCTRICO” la motorización eléctrica aporta un valor muy importante a la reducción de contaminantes además de poseer un funcionamiento silencioso y progresivo que evidentemente son ventajas frente a un motor de combustión interna. A lo largo del proyecto recalca los pesos que posee el buggy y el centro de gravedad que en ese caso ha sido calculado con un programa CAD para una precisión idónea, esto influye en la propulsión del buggy de manera importante porque el peso y ubicación del motor, controlador y aditamentos extras influyen en estos puntos importantes de seguridad.

1.2 Planteamiento del problema

En el entretenimiento automotor y en general se lleva tratando, desde hace una década, conseguir una sinergia entre motores de combustión interna y motores eléctricos esto con el fin de reducir la contaminación ambiental con respecto a los residuos de combustiones no perfectas generadas a lo largo de toda existencia de los motores térmicos. Este proyecto presenta una solución ideal, creando un vehículo autosustentable y con tracción amigable con el

medioambiente para una vida útil permisible y con el uso de energías renovables que se traducen en reducción de costos en general.

1.3 Justificación

El automovilismo cada día busca formas para no depender tanto de combustibles fósiles que se están terminando y que contaminan excesivamente, esto acompañado de investigación y desarrollo puede ser muy provechoso. Pero la investigación viene desde la educación, por lo que este tipo de proyectos dan pautas a siguientes generaciones de estudiantes para que optimicen procesos, resultados, métodos y presupuestos en busca de que sea ecológico, eficiente y rentable el uso de este tipo de propulsión en vehículos ligeros.

Existe una sinergia en la construcción y estudio de este buggy, ya que va desde la soldadura como proceso de unión de estructuras tubulares hasta la autonomía de las baterías eléctricas como fuente de energía para la tracción, incluyendo la parte estética basada en fibra de vidrio y con acabados de pintura automotriz. El área de estudio es diversa y los campos que se deben manejar también son muchos entre los que se destacan la mecánica de patio, procesos de manufactura, electricidad y electrónica del automóvil e híbridos.

Los vehículos híbridos y eléctricos actualmente tienen mucha importancia dado su poco impacto ambiental al momento de su funcionamiento, este gran beneficio se puede utilizar en el deporte automovilístico y en la recreación como en el caso de los buggys. El utilizar un vehículo propulsado por energía eléctrica disminuye la contaminación por restos de combustiones no perfectas, además de tratar de conseguir energía de una forma más limpia con el uso de celdas fotovoltaicas creando una sinergia entre la utilización de nuevas tecnologías en vehículos ligeros y un rendimiento adecuado para su mercado objetivo. El constante avance de las tecnologías

extranjeras que dominan los mercados ecuatorianos hace que los técnicos se capaciten y tengan conocimientos sólidos en electricidad y electrónica de vehículos híbridos y eléctricos. Esto es difícil de conseguir sin una práctica constante y de calidad, ya sea en construcción o mantenimiento de estos sistemas, lo que orilla a muchos técnicos crear métodos de enseñanza – aprendizajes propios para que la capacitación sea la más adecuada.

Con el paso del tiempo se ha evidenciado que la electricidad puede ser la mayor fuente de propulsión en los vehículos por lo que hay que conocer cómo funcionan estos sistemas, ello implica que se deben realizar conversiones de propulsión con motores térmicos a propulsión eléctrica ya sea parcial o total, también se puede fabricar prototipos de vehículos ligeros como buggys, kart, bicicletas con este tipo de tecnología para mejorar la movilidad en recreación, turismo, competencias y transporte a nivel local y regional.

El proyecto permitirá que los estudiantes tengan medios para conocer de manera cercana sistemas de propulsión eléctrica innovadora puesto que se utilizan sistemas actualizados con respecto a los antecedentes académicos de proyectos ya realizados.

El uso de materiales compuestos como parte del aligeramiento de pesos hace que el proyecto sea una base de estudio tanto en la influencia que tiene el peso como la aerodinámica de la carrocería en materiales compuestos sobre la potencia necesaria de los motores eléctricos para movilizar dichos pesos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Instalar el sistema de propulsión eléctrica en un buggy para la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Compilar información acerca de los motores eléctricos empleados en los vehículos ligeros.
- Analizar la ubicación del motor eléctrico, sistema de control, y baterías para el mejor manejo de pesos y estabilidad del buggy.
- Montar el sistema de propulsión eléctrica en el buggy respetando el espacio destinado para este sistema y teniendo en cuenta los componentes adicionales como el controlador, acelerador y demás.
- Estudiar los resultados con la ayuda de pruebas en carretera para conocer la fiabilidad y eficiencia del sistema de propulsión.

1.5 Alcance

Con este proyecto se investigará los diferentes tipos de motores eléctricos que se suelen emplear en los vehículos tanto eléctricos como híbridos, con una investigación conceptual de estos motores, se buscará proveedores en línea de motores eléctricos que cumplan con las características necesarias para la propulsión del buggy que se desarrolla, se tratará de economizar lo que más se pueda en componente sin arriesgar calidad que al final se traduce en seguridad del piloto y copiloto del vehículo.

Se analizará la construcción del espacio para el motor eléctrico y su transmisión, teniendo en cuenta los pesos del conjunto no deben disminuir la capacidad de arrastre final del buggy. En la parte del controlador se indagará la compatibilidad de controladores del mercado con el motor que se haya elegido previamente y su viabilidad para una compra individual o en conjunto con los componentes para la carga y descarga de las baterías, la optimización del diseño de transmisión no se dará en este proyecto. El estudio de cargas a optimizar ya sea para ganar potencia final o velocidad relativa no se realizará como parte del mismo proyecto.

El o los motores a utilizar en el proyecto serán de acuerdo con el mercado y al uso que se le planea dar al buggy. Para esto se deben tener en cuenta varias opciones como lo son los motores DC sin escobillas, DC con escobillas, AC síncronos, AC asíncronos.

En lo que respecta a parte económica, se tiene proyectado tener un gasto cercano a 1400 dólares americanos para la propulsión del buggy, ese presupuesto es únicamente en gastos directos.

Capítulo II

2. Marco Teórico

2.1 Propulsión Eléctrica

El protagonismo que tiene la propulsión eléctrica en la actualidad no es el mismo que hace una década, ya no son opciones los medios de transporte eléctricos, son obligatorios, esto por razones como el precio del combustible, la contaminación, la ergonomía e incluso su apariencia.

Los vehículos que utilizan la energía eléctrica como fuente de propulsión son variados y cada vez mejoran capacidad, autonomía, velocidad y aspecto, en este sentido no solo se habla de automotores eléctricos sino de motocicletas, bicicletas, triciclos, monopatines, etc. En todos estos vehículos priman componentes que de grande o pequeña escala están para que funcione correctamente el vehículo; el motor eléctrico, el controlador – inversor y las baterías.

Como parte importante de estos avances en pro de una ecología sostenible están los automotores híbridos y eléctricos que desde hace décadas se han desarrollado de manera constante, aunque muy poco atendida por las personas amantes del automovilismo. Actualmente el mercado de los automóviles eléctricos e híbridos sigue creciendo, según (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2021) en su publicación mensual de “Sector Automotor en cifras” durante el año 2020 hubo una venta de 1130 vehículos híbridos mientras que en el mercado de eléctricos puros se vendieron 130 vehículos, lo que da una cuenta final de 1260 vehículos que son eco amigables. Con cifras reales y poco optimistas por ser un año con pandemia por Covid-19 se puede notar que existe la utilización de vehículos con energía limpia, y no solo en el ámbito automotor sino también en la recreación y deporte automovilístico. El deporte automovilístico también ha sido modernizado con propulsión eléctrica ya desde hace años, un ejemplo de ello es que en el 2012 se llevó a cabo el EV Cup Mazda Raceway Laguna

seca en Estados Unidos, una competencia que involucra únicamente a vehículos propulsados por motores eléctricos (Lahood, 2011). En la actualidad muchas marcas de vehículos están prestando atención a este tipo de tecnología por lo que modernizan a sus versiones de vehículos ya sea haciéndolos híbridos o eléctricos, como se aprecia en la Figura 1, Toyota es una de las marcas que es pionera en la hibridación de vehículos, que con sus generaciones de Prius encabeza ventas a nivel mundial.

Figura 1

Automóvil Híbrido Toyota Prius



Nota. Tomado de Toyota Prius, Toyota, 2020.

En el ámbito de la recreación o diversión los vehículos automotores también son utilizados continuamente, en general los Kart, buggy, cuadrones son los que se utilizan más, pero si se recuerda estos vehículos normalmente utilizan motores térmicos, lo que no los hace eficientes aun siendo un uso ligero y corto. Esta es la razón que la electrificación de estos vehículos también resulta novedosa y útil teniendo en cuenta que en la parte pedagógica este tipo de proyectos fomentan la investigación y desarrollo en la parte eléctrica de la movilidad y más importante aún en el conocimiento de mantenimiento y creación de nuevos diseños u diseños optimizados en lo referente a propulsión.

2.2 Vehículos Híbridos

Un vehículo híbrido tiene la característica principal de que puede utilizar dos sistemas que consumen diferentes fuentes de energía para la propulsión del automóvil (García Alcivar, 2006). Este tipo de vehículos pueden utilizar un combustible basado en petróleo como la gasolina, diesel y un motor eléctrico que consume energía desde una batería. También puede darse una hibridación con gas natural o con otro tipo de combustible.

En general, en Ecuador la hibridación que ha ganado bastante terreno y mercado es la que utiliza electricidad como segunda fuente de energía para la propulsión de los automotores, con esto también llega una parte importante como lo es el mantenimiento y reparación de estos sistemas que se actualizan de manera constante.

Los vehículos híbridos también existen varias configuraciones en el sistema de tracción en estas configuraciones están (Ros Marín & Barrera Doblado, 2017):

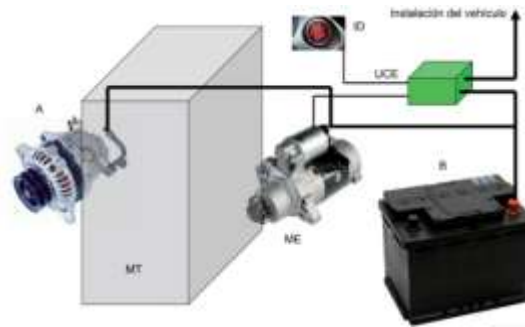
- Sistema de parada arranque (Star / Stop)

Este sistema de hibridación se apoya en el apagado y encendido del motor térmico de manera intermitente, esto gracias a que el alternador sirve de motor, es decir es una máquina eléctrica reversible que empuja el motor el cigüeñal del motor térmico para encenderlo de manera rápida y oportuna de acuerdo con la situación, ahorrando combustible cuando se encuentra el automotor parado por un tiempo determinado, en la Figura 2 se muestra la conexión del alternador con el sistema eléctrico para el funcionamiento reversible del alternador.

Es por esto por lo que también se conoce como un sistema microhíbrido.

Figura 2

Sistema microhíbrido con elementos separados



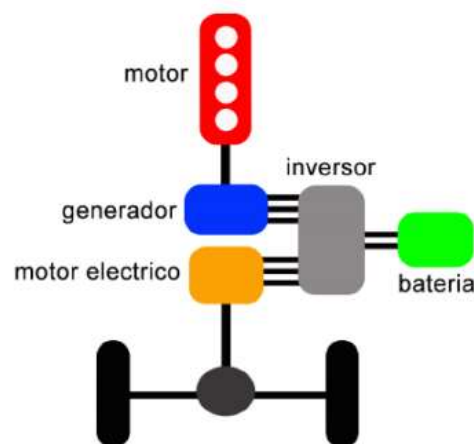
Nota. Tomado Vehículos eléctricos e híbridos, (Ros Marín & Barrera Doblado, 2017)

- Híbrido en serie

En este tipo de configuración, el motor que proporciona movimiento a las ruedas es uno o varios motores eléctricos que utilizan energía de un banco de baterías, como se muestra en la Figura 3, mismas que son cargadas por un generador que está conectado al MCI (Motor de Combustión Interna) (Roig Solé, n.d.).

Figura 3

Configuración en serie de un vehículo híbrido



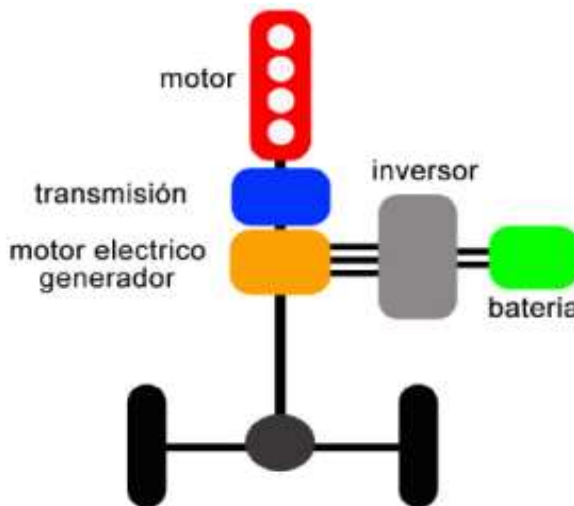
Nota. Tomado de Estudio paramétrico sobre los esquemas de potencia en sistemas propulsores para vehículos en condiciones de uso urbano, (Roig Solé, n.d.), 2020.

- Híbrido el paralelo

En esta configuración los dos motores son capaces de entregar potencia a las ruedas, es decir el flujo cinemático es en paralelo, en la Figura 4 se denota la conexión del motor de combustión con el motor eléctrico pudiendo ambos entregar la energía hacia el árbol de transmisión, lo que permite optimizar las máquinas eléctricas para reducir tamaño y peso dado que la exigencia es repartida entre el motor térmico y el eléctrico (Roig Solé, n.d.).

Figura 4

Configuración en paralelo de un vehículo híbrido



Nota. Tomado de Estudio paramétrico sobre los esquemas de potencia en sistemas propulsores para vehículos en condiciones de uso urbano,(Roig Solé, n.d.), 2020.

Las principales configuraciones son las indicadas anteriormente, de estas se pueden subdividir más configuraciones como combinación de par en la transmisión, combinación de fuerzas de tracción, combinación de par en el eje, combinación de velocidades, etc.

La utilización de dos motores para generar movimiento del automotor es relativamente ventajosa, pero en vehículos ligeros de poco recorrido es significativamente un inconveniente, esto por el peso que supone dotar de dos motorizaciones y la transmisión que debe acoplar a los dos motores.

2.2.1 Componentes del sistema híbrido

La tecnología híbrida supone un gran aporte a la ecología del planeta, pero en términos técnicos también supone un gran trabajo de ingeniería mecánica, estudio de la termodinámica y aplicación de fundamentos eléctricos para que sea altamente fiable y rentable utilizar la hibridación en vehículos de calle y que se desempeñen en carreteras y zonas urbanas de manera ideal.

Los dispositivos que forman parte de estos automóviles se describen a continuación.

2.2.1.1 Motor térmico

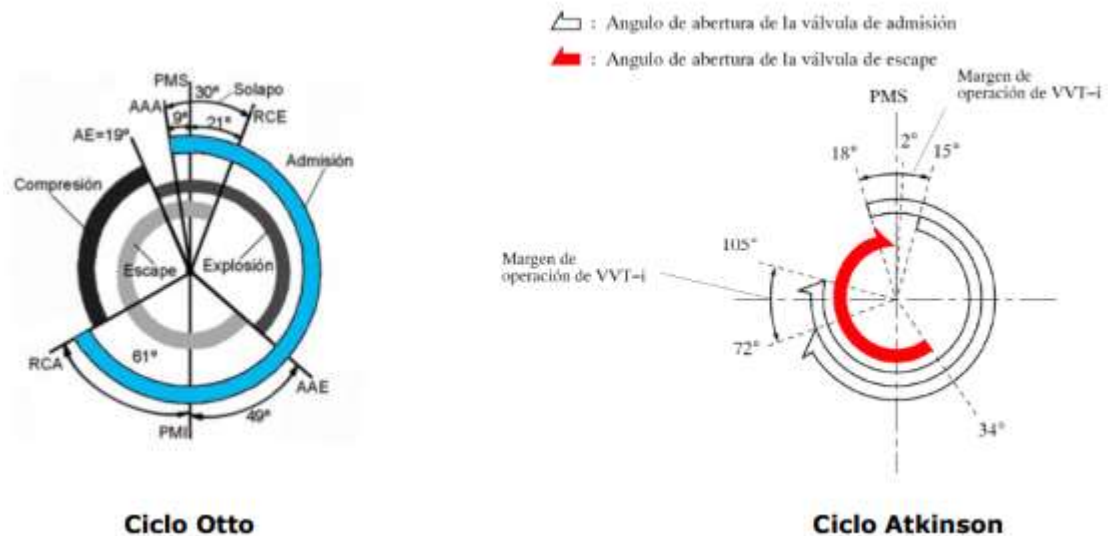
Definiciones de un motor térmico son muy variadas, pero en general se podría decir que son máquinas térmicas que convierten la energía de un combustible en potencia utilizable (Crouse, 2007).

En el vehículo híbrido el motor de combustión interna en la configuración en serie genera la electricidad que recarga las baterías, en la configuración en paralelo, aporta potencia y torque a las ruedas del automóvil. Pero existe una gran variante de un motor “común” y un motor empleado en híbridos, y es el ciclo térmico.

Los motores que utilizan la mayoría de los vehículos híbridos no consumen la misma cantidad de combustible que sus homogéneos no híbridos, esto es porque el ciclo térmico no es Otto sino Atkinson, y entre estos ciclos existen variaciones importantes, Figura 5, con lo que el consumo y potencia generada también varia.

Figura 5

Comparativa de ciclos térmicos Otto y Atkinson



Nota. Tomado de Estudio paramétrico sobre los esquemas de potencia en sistemas propulsores para vehículos en condiciones de uso urbano, (Roig Solé, n.d.), 2020.

En el ciclo termodinámico Atkinson lo que sucede es que, la válvula de admisión se retrasa en su cierre permitiendo que exista un reflujo de mezcla estratificada hacia el múltiple de admisión, ese retraso se puede evidenciar en la Figura 5, en la que el margen de operación de retraso de la válvula de admisión es mayor, mientras en el adelanto de apertura en la válvula de escape también es alto en comparación con un motor ciclo Otto. Este tipo de sistemas ya han incorporado varias marcas en distintos motores, inicialmente este tipo de sistemas ayudan notablemente en el consumo de combustible, aunque pierde potencia porque al tener menor masa de aire y por ende gasolina, la compresión del cilindro es muy alta, pero con poca energía calorífica, lo que disminuye la posibilidad de detonaciones y de emisiones contaminantes también.

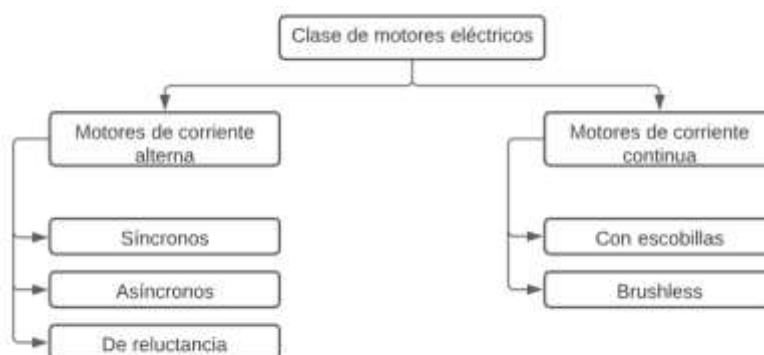
2.2.1.2 Motor Eléctrico

Un motor eléctrico es una máquina que aprovecha el suministro de energía eléctrica para producir un movimiento en su eje, transformando así, energía eléctrica a energía cinética (Peragallo, n.d.)

En los vehículos híbridos el motor eléctrico resulta una parte vital para su reducido consumo de combustible y bajas emisiones de contaminantes. Como se ha visto anteriormente depende mucho de la configuración del híbrido para saber cuál es el protagonismo que tiene el motor eléctrico pero para un estudio detallado de este se pueden dividir en dos conjuntos, Figura 6, motores de corriente continua y de corriente alterna (Peragallo, n.d.).

Figura 6

Clasificación de los motores eléctricos



Nota. Adaptado de Vehículos eléctricos e híbridos, (Ros Marín & Barrera Doblado, 2017).

Parainfo.

Para los vehículos eléctricos e híbridos se utilizaron motores de corriente continua y corriente alterna dependiendo de la empresa que los desarrollan. Para tener una idea clara del motor que se utilice en el proyecto se analizan los motores de manera individual.

2.2.1.3 Motores de corriente alterna

2.2.1.3.1 Motor síncrono

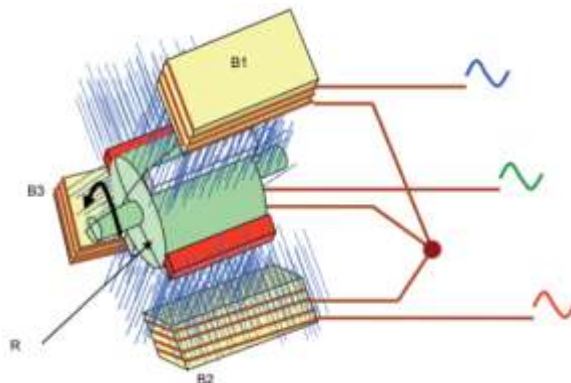
Es un motor en el que su principal característica es que en una amplia gama de variaciones mantiene una velocidad constante que solo depende de la frecuencia de la corriente alterna (c.a) de la red de alimentación (Peragallo, n.d.). Las variantes a las que se hace referencia pueden ser el peso de la carga que sustenta el motor en su funcionamiento.

Las partes de este motor son:

- El *rotor*, es la parte móvil del motor, la base del rotor es un eje que esta forrado de un material ferromagnético que sirve de soporte de los imanes permanentes, en la Figura 7, se muestra con la letra R (Ros Marín & Barrera Doblado, 2017).
- El *estator*, es la parte estática del motor, en esta parte se diferencia la carcasa y las bobinas mismas que recibirán la corriente proveniente del controlador del sistema híbrido para generar un movimiento en el rotor (Ros Marín & Barrera Doblado, 2017).

Figura 7

Motor síncrono



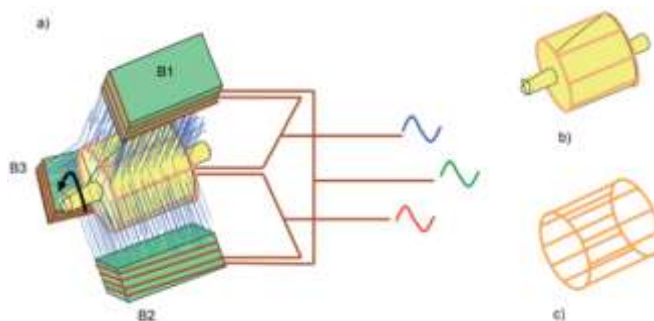
Nota. Tomado de Vehículos eléctricos e híbridos, (Ros Marín & Barrera Doblado, 2017). Paraninfo.

2.2.1.3.2 Motor Asíncrono

Es un motor eléctrico que posee un deslizamiento importante, la configuración de este motor difiere un poco del síncrono al no poseer imanes permanentes el rotor es devanado con un conjunto de conductores en una disposición tipo “jaula”, Figura 8, al recibir corriente eléctrica en el estator, las bobinas del mismo generan un campo magnético que induce una corriente eléctrica en el devanado del rotor generando así otro campo magnético que interactúa con el del estator produciendo el movimiento asíncrono (Ros Marín & Barrera Doblado, 2017).

Figura 8

Motor asíncrono de corriente alterna



Nota. Tomado de Vehículos eléctricos e híbridos, (Ros Marín & Barrera Doblado, 2017). Paraninfo.

2.2.1.3.3 Motor de reluctancia

Es otro tipo de motor de corriente alterna, para definir la reluctancia en los motores se puede utilizar la analogía de la resistencia eléctrica, la resistencia eléctrica es para la corriente lo que la reluctancia para los campos magnéticos (Ros Marín & Barrera Doblado, 2017), a menor reluctancia mejor fluye el magnetismo de un polo a otro. Utilizando esta definición se puede analizar los motores de reluctancia, en el rotor de estos motores existe un material de baja reluctancia que permite que fluya magnetismo a través de él, al estar alineado con el flujo magnético de los polos A,-A, Figura 9, los otros polos fluyen otra vez a través del rotor pero en otra dirección B,-B logrando así que el eje este en constante movimiento, para que este

movimiento no se alinee existen en el estator un número de salientes que facilitan el flujo magnético, mientras que en el estator existe un número distinto de bobinas.

Figura 9

Motor de reluctancia variable



Nota. Tomado de Vehículos eléctricos e híbridos, (Ros Marín & Barrera Doblado, 2017). Paraninfo

2.2.1.4 Motor de corriente continua

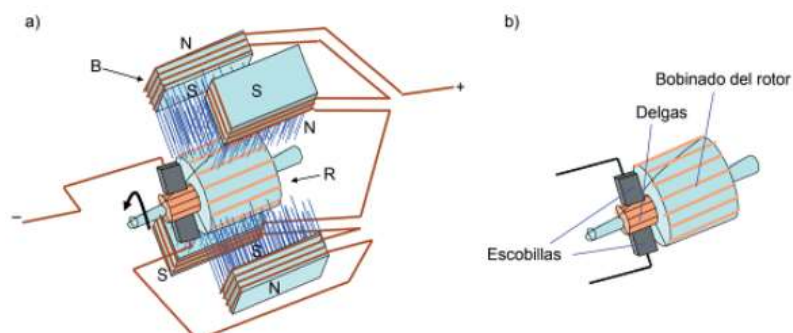
2.2.1.4.1 Motor con escobillas

Son motores que presentan un bobinado en el estator y un bobinado en el rotor, el bobinado del rotor es alimentado por una pieza denominada colector, el colector está compuesto por unas “escobillas” que friccionan con unas láminas denominadas “delgas” permitiendo así el paso de corriente hacia el rotor, al tener alimentación el rotor genera un campo magnético que a su vez interactúa con el campo magnético del estator generando el movimiento del eje rotor, en ese momento las delgas han girado cierto ángulo y para continuar el movimiento las escobillas intercambian la polaridad de la alimentación y el rotor continúa girando (Ros Marín & Barrera Doblado, 2017).

El proceso se repite sucesivamente de manera indefinida, las conexiones de ese motor se aprecian en la Figura 10, aunque puede haber otro tipo de conexiones.

Figura 10

Motor de corriente continua con escobillas



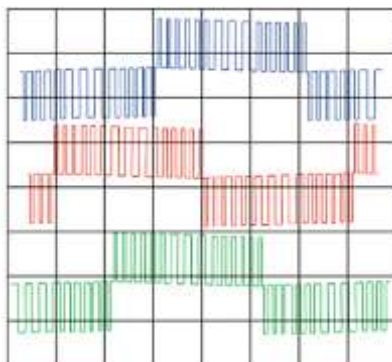
Nota. Tomado de Vehículos eléctricos e híbridos, (Ros Marín & Barrera Doblado, 2017). Paraninfo.

2.2.1.4.2 Motor Brushless o sin escobillas

Son motores muy parecidos a los síncronos de corriente alterna, pero en este tipo de motores la principal variante es que el tipo de señal que excita las bobinas del estator, en los motores síncronos de corriente alterna su señal es sinusoidal, mientras que en los motores brushless son excitados por una señal cuadrática que varía su ancho de pulso (PWM), Figura 11, por sus siglas en inglés, con esto se logra tener una eficiencia alta con el uso de controladores de corriente continua que disminuye el trabajo de invertir la corriente para el manejo desde las baterías hasta el motor, pero con un gran problema, el costo.

Figura 11

Ondas para un motor brushless



Nota. Tomado de Vehículos eléctricos e híbridos, (Ros Marín & Barrera Doblado, 2017). Paraninfo

2.2.1.5 Inversor – Conversor

En las configuraciones de los vehículos híbridos y eléctricos se encuentra un inversor, que en ciertos casos también cumple la función de conversor, en los modelos híbridos este componente tiene la función de invertir el voltaje del banco de baterías para el motor de corriente alterna, en modo de conversor este componente tiene la función de transformador de corriente continua (CC-CC) que serviría para un motor de tracción de corriente continua, como cargador de la batería de 12V, entre otras funciones.

La base de este tipo de sistemas son los transistores tipo IGBT (Isolated Ground Bipolar Transistor o transistores bipolares de base aislada) (Ros Marín & Barrera Doblado, 2017).

Las características de estos transistores, a continuación:

- Soportan voltajes de 300V. Lo que permite controlar los 600V máximo, que utilizan los híbridos hoy en día, con un par de estos transistores.
- Pueden controlar elevadas corrientes, lo que los convierte en ideales para controlar los motores empleados en híbridos y eléctricos.
- Alcanzan una velocidad de conmutación de 20 KHz.
- Su eficiencia está alrededor del 98%.
- Son elementos muy fiables, trabajan en condiciones fuertes por un tiempo muy prolongado (Ros Marín & Barrera Doblado, 2017).

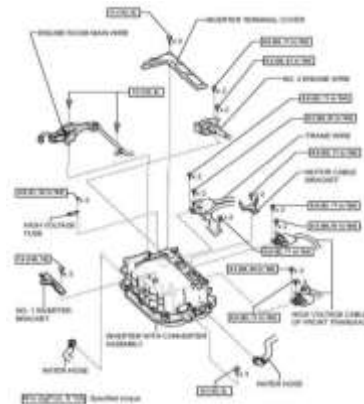
Las etapas se pueden delimitar dependiendo del tipo de motorización que cuente el automotor, pero en general se pueden hablar de las siguientes:

- Etapa de control de moto generadores. – en esta etapa el inversor transforma los 201.6 V DC del banco de baterías a 201.6 V AC para el motor, también eleva ese voltaje hasta 500 V AC para que los motores funcionen correctamente.

- Control de A/C y batería auxiliar. – al no poseer un motor de combustión (eléctricos puros) se hace necesario que para el compresor de aire acondicionado exista un motor eléctrico, es por ello que el inversor transforma o regula la tensión de la batería de alto voltaje al voltaje requerido para el aire acondicionado, Figura 12, en esta misma etapa se encuentra el regulador de voltaje que permite que la batería de alto voltaje recargue la batería de 12 voltios para los accesorios del vehículo (Barros Calderón, 2015).

Figura 12

Partes del inversor de un Toyota Prius



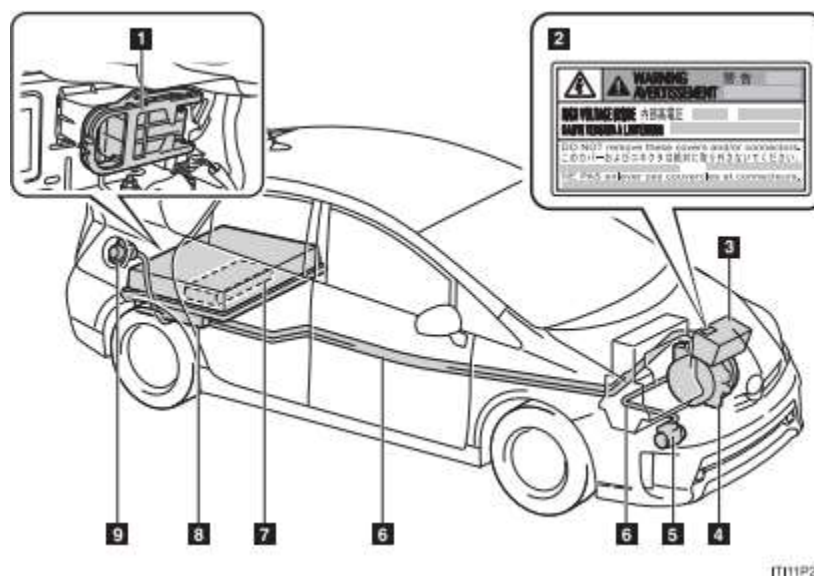
Nota. Tomado de Manual de Fabricante Toyota Prius, Toyota, 2015

2.2.1.6 Batería de alto voltaje

La tensión y corriente que los motores eléctricos necesitan para propulsar el automotor se encuentra en una batería de alto voltaje, esta batería que suele ser de Litio o Hidruro metálico suele estar dividida en bancos de pares de celdas, en la mitad del conjunto se encuentra un disyuntor de seguridad, Figura 13, para mantenimiento, en total y a plena carga esta batería puede suministrar 201.6 V DC.

Figura 13

Ubicación de batería de alto voltaje



Nota. Tomado de Manual de usuario Toyota, Toyota, 2015

2.2.1.7 Transmisión de vehículos híbridos y eléctricos

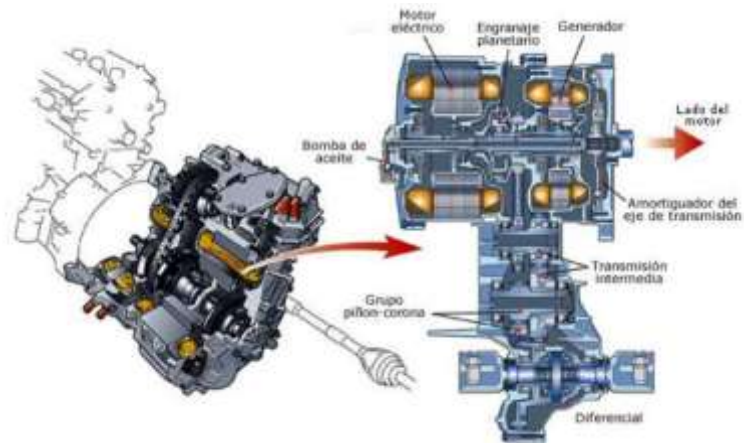
La transmisión de los vehículos híbridos varía de acuerdo a fabricante, en el mercado Toyota ha marcado diferencia, en estos vehículos se utiliza la *Power Split Device*[®], pero también existen fabricantes como Honda que presentan buenas opciones como la CVT (Roig Solé, n.d.).

2.2.1.7.1 *Power Split Device*[®]

Es un sistema de engranajes planetarios que permite la interacción entre el motor de combustión interna, los motogeneradores y las ruedas, Figura 14, este arreglo puede reducir espacio, peso y rozamiento en comparación con la transmisión manual.

Figura 14

Transmisión de un vehículo híbrido



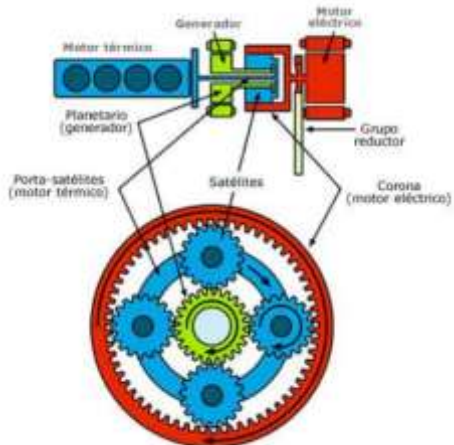
Nota. Tomado de Estudio paramétrico sobre los esquemas de potencia en sistemas propulsores para vehículos en condiciones de uso urbano, (Roig Solé, n.d.).

El tren epicicloidal está conectado de la siguiente manera, Figura 15, a los motores tanto térmico como eléctrico-tracción y eléctrico-generator:

- Engranaje planetario, unido al motogenerador de arranque y carga.
- Los satélites unidos al motor térmico
- La corona unida al motor térmico, engrando a los satélites (Roig Solé, n.d.).

Figura 15

Configuración del tren epicycloidal



Nota. Tomado de Estudio paramétrico sobre los esquemas de potencia en sistemas propulsores para vehículos en condiciones de uso urbano, (Roig Solé, n.d.).

2.2.1.7.2 Transmisión CVT

La transmisión de Honda CVT es también una buena elección para los vehículos híbridos – eléctricos. El funcionamiento de este tipo de transmisión es sencillo, poseen dos poleas, una conductora y otra conducida, que transmiten el movimiento con la ayuda de una cadena como se ve en la Figura 16. Las relaciones de transmisión, en este tipo de arreglos, son infinitas por lo que logran ser muy suaves y confortables para el conductor.

Figura 16

Transmisión tipo CVT



Nota. Adaptado de CVT – Poleas de Diámetro Variable. Tomado de (Navas et al., 2015).

2.2.1.7.3 Motor en las ruedas (*In wheel electric motor*)

Las transmisiones que se han descrito anteriormente suelen ser muy eficientes, pero tienen pérdidas por fricción, temperatura, es necesario un árbol de transmisión para transmitir el movimiento a las ruedas lo que aumenta el peso y reduce la autonomía de las baterías. Para solucionar este problema existe una transmisión directa que básicamente se compone de un motor montado directamente en el rin de la rueda, Figura 17, Esto reduce todos los aditamentos mecánicos de una transmisión automática tipo epicicloidal o CVT.

Figura 17

Motor eléctrico en la rueda



Nota. Adaptado de In Wheel Drive Motor. Tomado de (Vijayenthiran, 2013).

La composición de este arreglo de motor y rueda se puede apreciar en la Figura 17, el estator está compuesto por imanes permanentes que a su vez están estáticos en el centro del eje de la rueda, por el contrario el rotor es el que se une a través de pernos a la rueda para que mientras gire el rotor gire la rueda. El motor es de corriente continua que depende el fabricante puede entregar potencia de 80KW con picos de torque de 1250 Nm en cada motor, las configuraciones también pueden diferir dependiendo del fabricante (Protean, 2020). En este caso para mostrar las características se utilizará como ejemplo un motor de Protean®.

Características

- Integrado en un rin de 18 pulgadas

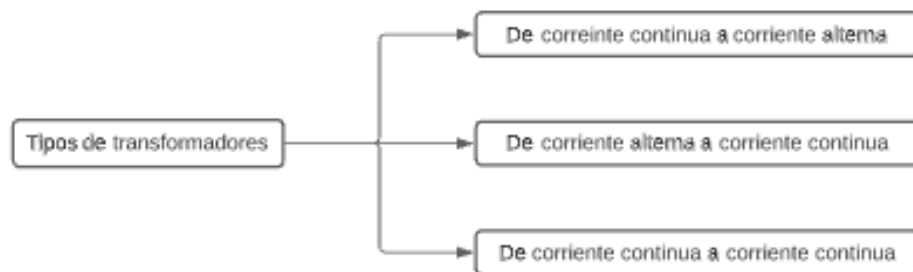
- Control de troque por red tipo CAN
- Sin transmisión, transmisión de torque de manera más eficiente.
- Diseñado para una vida útil de 300,000 Km o 15 años con los mantenimientos respectivos.
- Freno de fricción integrado
- Inversor y convertidor integrado en una arquitectura distribuida
- Desarrollado de acuerdo con los estándares ISO 26262 de seguridad en su funcionamiento (Protean, 2020).

2.3 Control electrónico de motorización

El control electrónico de la tracción para los vehículos eléctricos e híbridos está basado en transistores IGBT, en cuestiones de tipo de corriente se mantiene un límite de transformadores que de acuerdo con (Ros Marín & Barrera Doblado) se dividen de la siguiente manera:

Figura 18

Tipos de transformadores



Nota. Adaptado de Ros Marín & Barrera Doblado, 2017.

Los transformadores que son mostrados en la Figura 18 son utilizados de acuerdo con el tipo de vehículo y de su precio en el mercado.

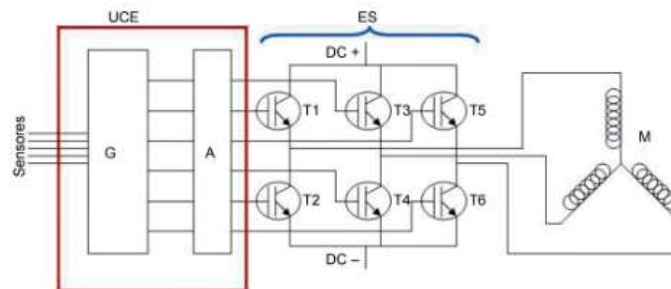
2.3.1 Transformadores de corriente continua a corriente alterna

Son los transformadores que se utilizan cuando se necesitan accionar, normalmente, un motor AC con energía almacenada en acumuladores ya sean baterías o banco de supercondensadores que poseen corriente continua (Ros Marín & Barrera Doblado, 2017).

Para lograr el control del motor eléctrico se tienen etapas como en todo sistema de control electrónico, la primera etapa está en la unidad de control electrónico o ECU por sus siglas en inglés, Figura 19, en esta computadora llegan las señales de los sensores que monitorean el funcionamiento del automóvil en general y principalmente la tracción (aumento de par, velocidad, etc.) una vez que ha sido analizada toda esa información la ECU genera señales de actuación para el motor estas señales al ser electrónicas necesitan ser amplificadas, esta función la realiza el amplificador (A) una vez están listas estas señales pasan a la etapa final que es la de salida, en esta etapa se encuentran los transistores IGBT que generan calor que debe refrigerarse de manera constante para conservar los transistores de manera íntegra.

Figura 19

Transformador de corriente continua a corriente alterna



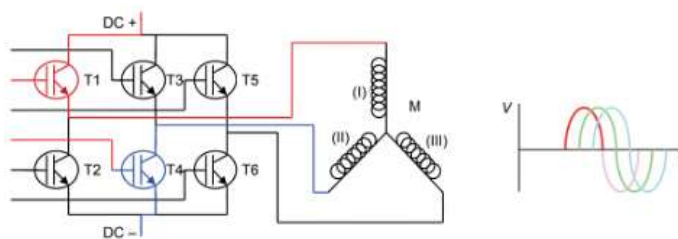
Nota. Tomado de Ros Marín & Barrera Doblado, 2017.

La generación de corriente alterna se describe a continuación:

En la figura 20 se muestra la conexión de los transistores para el control de las fases.

Figura 20

Generación de corriente alterna trifásica

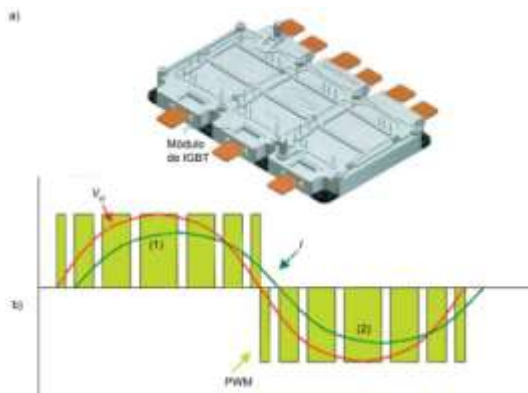


Nota. Tomado de Ros Marín & Barrera Doblado, 2017.

Al tener transistores, para generar la corriente alterna la mejor opción es crear ondas de amplitud variable, (PWM) por sus siglas en inglés, y en base a esas oscilaciones el voltaje eficiente crece y decrece formando las ondas sinusoidales de corriente alterna. Para ello se deben activar o excitar la base de dos transistores para crear una parte positiva y otra negativa, como se aprecia en la Figura 19 se activan los transistores T1 con DC+ y T4 con DC- lo que activa las bobinas I y II del motor eléctrico. En la figura 21 se muestra la forma en la interactúan las ondas PWM para que el voltaje eficaz del conjunto de transistores vaya variando en forma sinusoidal.

Figura 21

Curvas generadas por transformación CC a CA



Nota. Tomado de Ros Marín & Barrera Doblado, 2017.

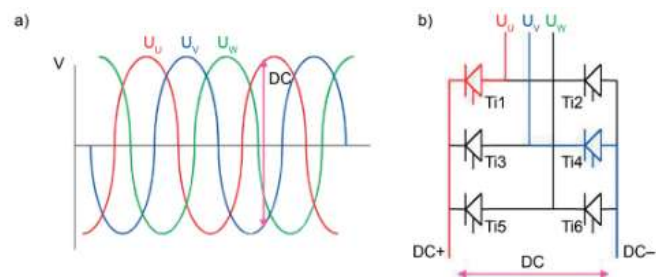
La curva roja indica la variación del voltaje en coordinación con la amplitud de las ondas cuadráticas, la curva verde indica la variación de la corriente que se genera por autoinducción en las bobinas del motor eléctrico, también se puede visualizar el módulo de manera física, se aprecian las salidas de corriente para el motor y la entrada de voltaje de las baterías eléctricas.

2.3.2 Transformadores de corriente alterna a corriente continua

En los vehículos híbridos y eléctricos se suele tener motores eléctricos con frenos regenerativos esto con la finalidad de cargar las baterías, dado que los motores utilizados son máquinas eléctricas reversibles al dejar de acelerar, por la inercia del movimiento el rotor sigue creando electromagnetismo que a su vez genera corriente en las bobinas del estator, lo que hace que el motor actúe como generador. Para que este voltaje sea útil para cargar las baterías debe convertirse ese voltaje alterno a un voltaje continuo, es ahí que se utilizan los transformadores de corriente alterna a corriente continua, en los circuitos del vehículo se puede necesitar activar un motor de corriente continua.

Figura 22

Curvas generadas por un generador trifásico



Nota. Tomado de Ros Marín & Barrera Doblado, 2017.

Un transformador de corriente alterna a corriente continua utiliza tiristores para transformar la corriente, estos tiristores aprovechan los picos de tensión que existen en las ondas sinusoidales de corriente alterna, activándose uno T11, Figura 22, para el pico positivo y el T14 para el pico negativo, lo que aprovecha los picos de ambas ondas, algo importante es que los

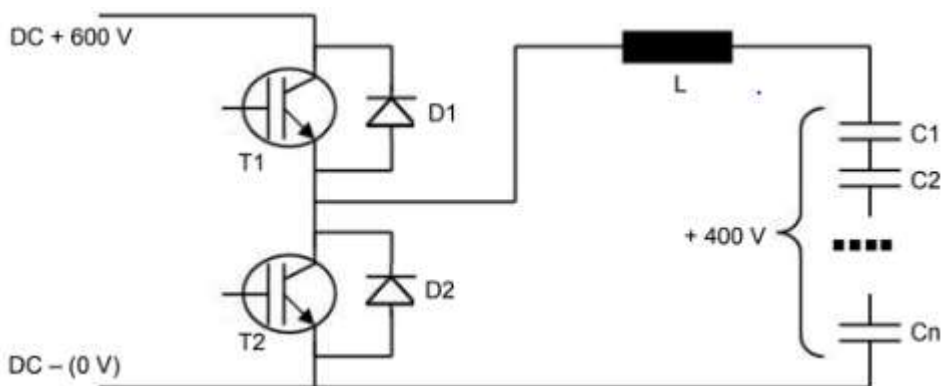
tiristores deben ser activados de manera alternada, es decir no activar los tiristores Ti1 y Ti2 al mismo tiempo (Ros Marín & Barrera Doblado, 2017).

2.3.3 Transformadores de corriente continua a corriente continua

Este tipo de transformadores reducen o aumentan el voltaje en corriente continua. Esta transformación es importante porque con un voltaje “reducido” de 400 V de las baterías se pueden accionar los motores que utilizan 600V. Para transformar este voltaje se utilizan componentes semiconductores discretos, específicamente dos transistores IGBT, una inductancia y dos diodos (Ros Marín & Barrera Doblado, 2017).

Figura 23

Circuito electrónico de transformador DC-DC



Nota. Tomado de Ros Marín & Barrera Doblado, 2017

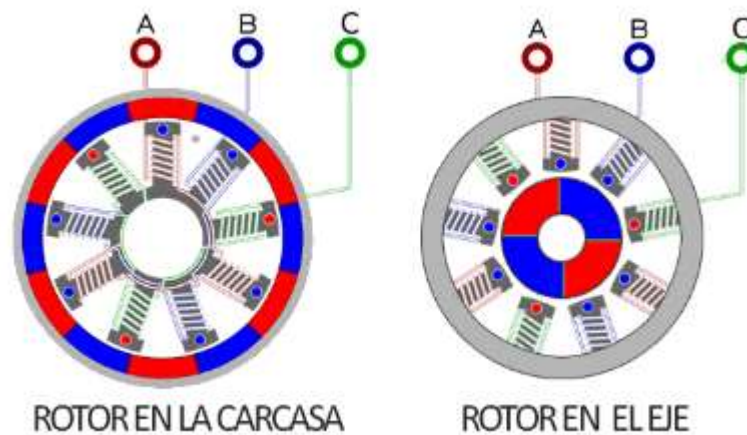
Para transformar de baja a alta tensión se activa un transistor T2, Figura 23, lo que hace que por la inductancia circule corriente eléctrica que genera un campo magnético esta etapa se conoce como carga, al desactivarse el transistor T2 la energía acumulada en la inductancia se transforma en voltaje +200V (ley de Lenz) teniendo un voltaje final de 600V (Ros Marín & Barrera Doblado, 2017).

2.3.4 Funcionamiento del motor BLDC

Para conocer el tipo específico de control del motor, se debe conocer qué tipo de motor se tiene. En este aspecto se pueden diferenciar de manera clara por la ubicación del rotor, cuando el rotor está en la carcasa al motor se lo conoce como *outrunner*, Figura 24, si por el contrario el rotor está en el eje del motor este se denomina *inrunner* (Castillo, 2017).

Figura 24

Tipos de motor BLDC de acuerdo con la ubicación del rotor



Nota. Tomado de *Esquema de motores brushless outrunner e inrunner* [Imagen], por Castillo, 2017, Universidad Politécnica de Valencia (<https://core.ac.uk/reader/288501439>)

En el caso de los motores tipo *inrunner* las velocidades que alcanzan son superiores a las de los motores *outrunner*, pero a su vez el torque que entregan es limitado en esa misma comparativa por ende se debe analizar bien la aplicación de cada motor para su elección. Entre las diferencias más significativas se tienen las siguientes:

- Mayor par en motores outrunner
- Frecuencia de conmutación más alta en motores outrunner
- Velocidades (rpm) mayores en motores inrunner

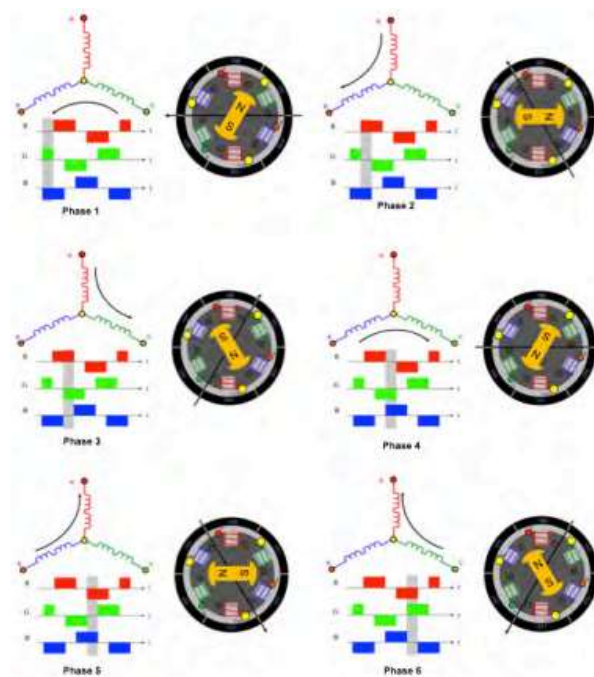
- Mayor diámetro de rodamientos en outrunner, pueden ser mucho más resistentes. En el caso de inrunner, los rodamientos están limitados por el tamaño del eje y del estator.
- Los motores inrunner son más seguros ya que solo gira el eje central y no toda la carcasa (Castillo, 2017).

En los dos tipos de motores se tiene otra variable que son los sensores de efecto hall, los motores que no poseen estos sensores se los llama *sensorless* por el contrario los también están los motores que si poseen estos sensores.

La secuencia de activación de las fases y por ende las bobinas del motor lleva cierto sincronismo la una con la otra y con la frecuencia con la que se activan.

Figura 25

Etapas de activación de un motor BLDC



Nota. Tomado de *Commutation sequence of coils* [Imagen], por, Carver & Carney, 2015,

Universidad Pontifica de Comillas (<http://hdl.handle.net/11531/5951>)

Para el giro del rotor se activan dos fases y una queda des energizada, esto porque los polos que actúan sobre el rotor solo son dos (norte y sur) por ende las fases utilizadas son únicamente dos, en la Figura 25 muestra forma como estas fases son accionadas. Para mayor entendimiento (Carver & Carney, 2015) proporciona la Tabla 1 que complementada con la figura anterior muestran los puntos exactos de activación de las bobinas.

Tabla 1

Momentos de activación de las fases de un motor BLDC

Switching Interval	Seq. Number	Pos. Sensors			Switch Closed		Phase Current		
		H1	H2	H3			A	B	C
0° - 60°	0	1	0	0	S1	S4	+	-	Off
60° - 120°	1	1	1	0	S1	S6	+	Off	-
120° - 180°	2	0	1	0	S3	S6	Off	+	-
180° - 240°	3	0	1	1	S3	S2	-	+	Off
240° - 300°	4	0	0	1	S5	S2	-	Off	+
300° - 360°	5	1	0	1	S5	S4	Off	-	+

Nota. Recuperado Swithching sequence por Carney Scott Universidad Pontificia de Comillas, Madrid. Los sensores (H1, H2, H3) indican la posición de las bobinas para que los transistores activen las fases (A, B, C) respectivas.

La posición del rotor inicia en 0° con el sensor Hall detectan un polo magnético del rotor, mientras que para avanzar a los primeros 60° se deben activar los transistores 1 y 4 polarizando la fase A con un polo positivo y la fase B con un polo negativo, mientras mantiene la fase C sin polarización.

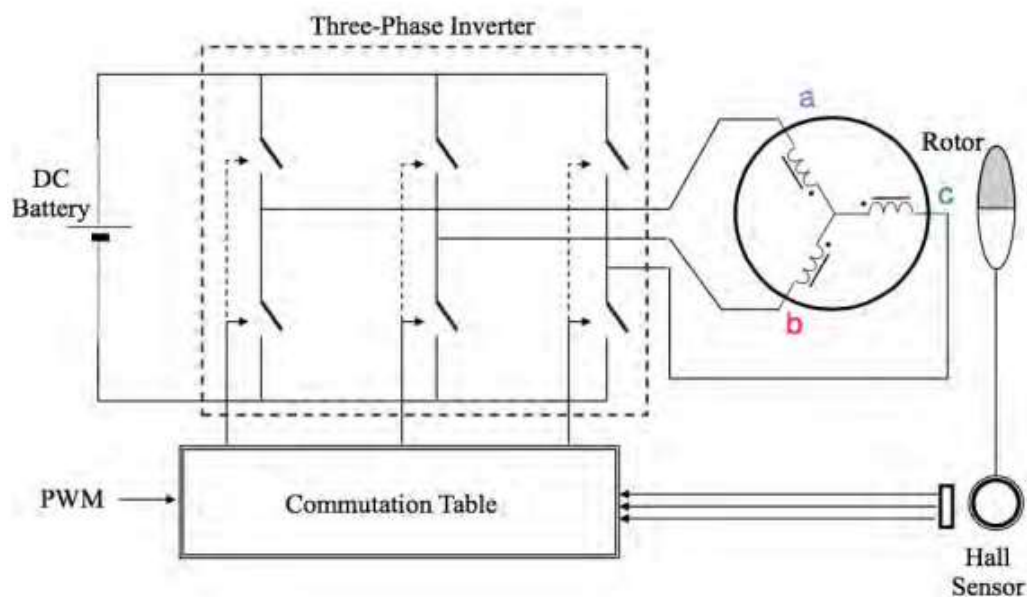
Cuando el rotor llega a los 60° el segundo sensor hall detecta esta posición cambiando su señal a un uno lógico con lo que el controlador cambia de transistor 4 por el transistor 6 logrando que el microprocesador mantenga la fase A polarizada con el polo positivo mientras que la fase B

se deshabilita y se polariza de manera negativa la fase C. Con estas variaciones se llega a los 120° (Carver & Carney, 2015).

En ese momento el rotor ha girado 120° y necesita llegar a los 180° , es esta posición el sensor hall número dos detecta el polo que lo activa lo que indica que los otros dos sensores estos con ceros lógicos, e indica que el controlador debe activar dos transistores diferentes para que avance la activación de las fases y así el rotor, esos dos transistores a activarse son el S3 y S6 dejando la fase A sin señal, la fase B polarizada positiva, y la fase C polarizada negativa. Con este movimiento se logra la mitad del recorrido total. Para el completar el giro se sigue la secuencia que se muestra en la tabla 1. El esquemático de conexión entre el motor y el controlador se muestra en la Figura 26 en la que se tiene el controlador, el motor, los sensores hall, la batería en un ciclo cerrado para la retroalimentación de posición y velocidad (Carver & Carney, 2015).

Figura 26

Conexión controlador - motor



Nota. Tomado de *Schematic of connection* [Imagen], por, Carver & Carney, 2015, Universidad Pontificia de Comillas (<http://hdl.handle.net/11531/5951>)

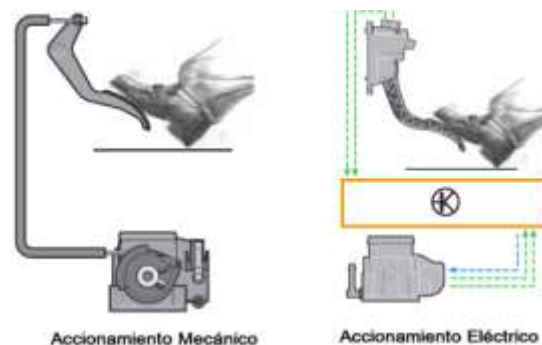
2.4 Aditamentos de control – Pedal

Una de las optimizaciones más importantes de la hibridación o electrificación frente a vehículos a gasolina (relativamente antiguos) es que se deben utilizar pedales netamente electrónicos, es decir que la señal que envía para controlar la velocidad es una señal eléctrica. Este tipo de pedales se llevan utilizando durante varios años en los vehículos a gasolina, diésel e híbridos por su alta fiabilidad en el manejo de consumo y potencia.

“El pedal de aceleración es un mecanismo de barra pivotante sobre un eje fijo” (Colcha Maldonado & Miranda Reyes, 2011) ese concepto es aplicable en todos los pedales pero en los pedales electrónicos se añade el que estos controlan unos potenciómetros que varían su resistencia de acuerdo con la posición del pedal.

Figura 27

Pedal de aceleración



Nota. Tomado de *Tipos de accionamiento del Pedal de Aceleración*, Electrónica Avanzada.

Adaptado por (Chucuyan Perez, 2016), (p.35), Universidad Internacional del Ecuador (<https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/1445/1/T-UIDE-087.pdf>)

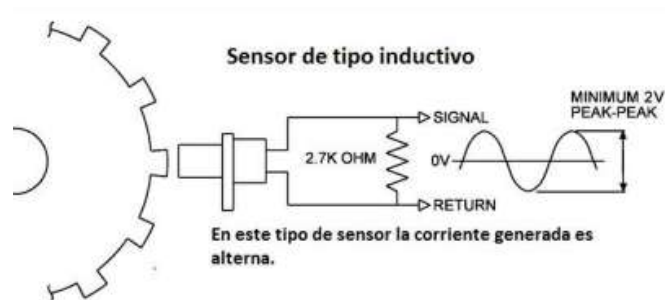
Para el pedal con accionamiento eléctrico se utilizan sensores, un tipo de estos se mencionó previamente, pero existen varios tipos que se describen a continuación.

2.4.1 Sensores magnéticos e inductivos

Utilizan el principio electromagnético, algo parecido al principio de los sensores electromagnético CKP o CMP, se compone de un imán permanente y una bobina, la señal se genera cuando el campo electromagnético del imán es interrumpido por una parte metálica que suele ser una rueda fónica, pero en el caso del pedal puede ser una parte metálica específica para este fin (Chucuyan Perez, 2016).

Figura 28

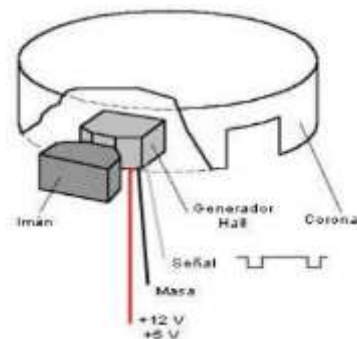
Sensor tipo magnético e inductivo



Nota. Tomado de (Espinosa Román, 2014).

2.4.2 Sensores de efecto Hall

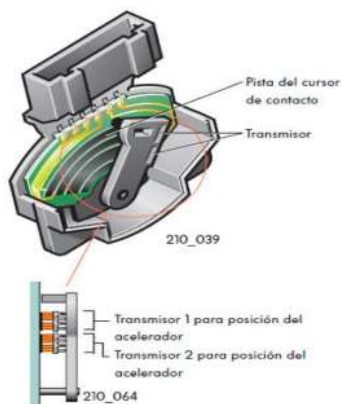
Este tipo de sensores tienen como principio al efecto hall que consiste en un imán y el sensor que reacciona al campo magnético del imán, cuando no existe una interferencia entre el sensor y el imán se dispara una señal de voltaje en el sensor, esa señal se anula cuando se interpone algún tipo de "pared" entre los elementos, depende del sensor para que esta señal sea tipo *On-Off* o de tipo *analógica*, la función analógica se da cuando el imán se acerca o se aleja, en ese contexto el voltaje varía con la distancia del imán.

Figura 29*Sensor de posición efecto Hall*

Nota. Adaptado de Sensor de posición efecto Hall, de (Espinosa Román, 2014), 2012, Fuente <http://se2amm.blogspot.com/2012/05/sensor-de-efecto-hall.html>

2.4.3 Sensores Resistivos

Utilizan potenciómetros para generar las señales que serán analizadas por el procesador en el caso automotriz ECU (Electronic Control Unit), en el acelerador electrónico normalmente se tienen dos potenciómetros como señales redundantes para conocer con exactitud la posición del acelerador y de la mariposa de aceleración con el sensor TPS.

Figura 30*Sensor APP*

Nota. Tomado de Interior del módulo del APP, Libro de motor a Gasolina, Sistema de Alimentación, Editado por (Espinosa Román, 2014)

Capítulo III

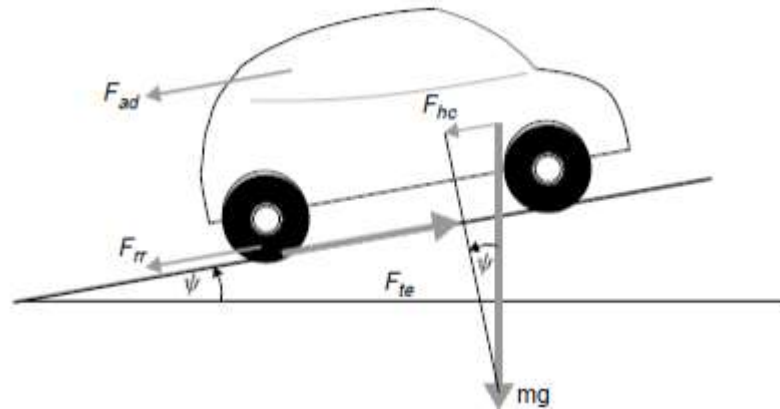
3. Cálculos del motor

En los manuales de los automóviles suelen mencionarse *potencia* y *torque* estos términos están fuertemente ligados al rendimiento del motor, y el arreglo del árbol de transmisión, en el caso de construir un vehículo como un buggy, se deben tomar en cuenta las fuerzas a las que estará sometido el motor como las fuerzas que tiene que vencer para poder mover el vehículo.

Para analizar las fuerzas que afectan a un vehículo en un contexto normal, se puede suponer al vehículo en una pendiente de “ x ” grados de inclinación y descomponer las fuerzas en sus correspondientes equivalentes polares como se indica en la Figura 31, de esa forma se puede analizar todas las fuerzas que afectan de manera simultánea al automóvil y calcular la potencia aproximada necesaria para los motores eléctricos.

Figura 31

Fuerzas que actúan en el vehículo



Nota. Tomado de *Fuerzas que actúan sobre un vehículo ascendiendo por una pendiente*, de (Escudero Martínez, 2017).

El objetivo del motor eléctrico en el proyecto es de mover hacia adelante el vehículo, para ello la fuerza de tracción debe ser superior a la suma de las siguientes fuerzas.

- Resistencia a la rodadura
- Resistencia aerodinámica
- Componente del peso del vehículo en la dirección de la pendiente.

En caso de que la velocidad del vehículo no sea constante, el motor deberá tener la capacidad de acelerar el vehículo y sus órganos giratorios (Escudero Martínez, 2017).

3.1 Resistencia a la rodadura

La resistencia a la rodadura hace referencia a la fuerza que se genera por la fricción del neumático con la carretera, esta fuerza es proporcional al peso del vehículo y se calcula con la ecuación (1) a esta resistencia no le afecta la velocidad del vehículo pero si el peso del mismo (Escudero Martínez, 2017).

$$F_{rr} = \mu * m * g \quad (1)$$

En donde:

μ = coeficiente de resistencia a la rodadura

m = masa del vehículo

g = valor de la gravedad 9.8 m/s^2

El buggy en el que se está trabajando tiene un peso aproximado de 400kg, los neumáticos tienen un coeficiente de adherencia que se obtiene de la tabla 2 en la que se muestran diferentes valores de adherencia de acuerdo con diferentes terrenos de circulación.

Tabla 2

Valores medios para el coeficiente de rodadura (μ_r)

Superficie	Valor máximo $\mu_{\text{máx}}$
Carretera de cemento	0,0125
Empedrado seco	0,015
Carretera asfaltada	0,02 a 0,03
Terreno natural duro	0,08
Terreno de consistencia media	0,11
Terreno arenoso	0,15 a 0,30

Nota. Recuperado de valores promedio de K y F para diferentes tipos de vehículos por Dipotet Guillermo. Los valores poseen incertidumbre, es por ello que se trata de utilizar los valores más cercanos a la situación.

El factor que es aplicable para el prototipo que se elabora es el de asfalto, las llantas son para asfalto por lo que la adherencia es óptima.

$$F_{rr} = \mu * m * g$$

$$F_{rr} = 0,03 * 400\text{kg} * 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{rr} = 117.6 \text{ N}$$

Esa fuerza sería la que el tren de potencia tiene que vencer para generar el empuje necesario para que el buggy ruede a una velocidad constante.

La potencia que es necesaria para vencer este tipo de resistencia depende mucho de la velocidad a la que se desee avanzar, en este caso se supone una trayectoria rectilínea para un avance de 8,3 m/s o 30Km/h.

Para este cálculo se aplica la ecuación (2) en la que se denota la importancia de la velocidad para analizar la potencia requerida.

$$P_r(W) = \mu_r * Q_T * v \quad (3)$$

- P es la potencia del motor en Watos
- v es la velocidad del vehículo en m/s
- Q_T es el peso del automóvil (masa de automotor + masa vehículo)

$$P_r(W) = 0.03 * \left(400 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) * 8,33 \text{ m/s}$$

$$P_r(W) = 979.608 \text{ W}$$

Toda potencia requerida desde el motor tiene un déficit que tienen que ver con el conjunto de transmisión, ya sea en la transmisión, embrague, árbol de transmision, palieres, etc. En este caso al ser motores en las ruedas o “electric hub wheel” se omite este tipo de pérdidas, pero por cuestiones de seguridad en los cálculos se reducirá un 4% del rendimiento ideal que se supone que poseen estos motores.

$$P_{r,m} = \frac{P_r}{\eta_t} \quad (4)$$

$$P_{r,m} = \frac{979,608W}{0,98}$$

$$P_{r,m} = 999,6 \cong 1000W$$

3.2 Resistencia aerodinámica

Entre las resistencias que tiene que vencer, la resistencia aerodinámica es una de las más estudiadas, esto porque el rendimiento dinámico de los componentes de suspensión, carrocería y motor se ve afectado directamente por esta resistencia que se mantiene de manera constante mientras el vehículo tenga un movimiento.

La resistencia aerodinámica depende del área frontal, de la forma del vehículo, de las partes salientes como espejos, en el caso del buggy el panel solar, spoilers, conductos, pasajes, luces entre otros (Escudero Martínez, 2017). La ecuación 5 muestra las variables que permiten conocer la fuerza que opondría el aire hacia el vehículo para que este avance a una velocidad x .

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \rho A C_d v^2 \quad (6)$$

En donde:

ρ = densidad del aire que en condiciones de ambiente normales esta en el valor de

$$\rho = 1.225 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \text{ entre } 15 \text{ y } 27 \text{ }^\circ\text{C}.$$

A = área frontal perpendicular al sentido de marcha del vehículo expresada en m^2

C_d = coeficiente de penetración aerodinámica

v = velocidad de marcha del vehículo en m/s

En la tabla 3 se muestran los coeficientes de resistencia aerodinámica en diferentes tipos de vehículos (Roig Solé, n.d.).

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

$$F_{ad} = \frac{1}{2} * 1.225 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 1,44\text{m}^2 * 0,35 * \left(8,33 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$F_{ad} = 21,42 \text{ N}$$

Tabla 3*Coeficientes aerodinámicos*

Tipo de vehículo	Coeficiente aerodinámico C_a
Camiones	0,50
Vehículos articulados y trenes de carretera	0,95
Autobuses y autocares	0,38
Autobuses con perfil aerodinámico	0,19
Turismos normales	0,22 a 0,35
Turismos con perfil aerodinámico	0,10 a 0,19

3.3 Resistencia por la pendiente de la carretera

En este caso se analiza la situación en la que el vehículo tenga que superar una pendiente con una inclinación x , para esto se deben conocer las fuerzas que interactúan en el momento en el que el automotor se encuentra en la pendiente. Una referencia clara de estas fuerzas se indica en la Figura 32, en la que se puede apreciar que tanto la fuerza de rodadura que se opone al avance del vehículo como la fuerza aerodinámica son muy inferiores a la fuerza generada por el ángulo de la pendiente y el peso, esto se debe a que esa fuerza depende mucho de la masa que tenga dicho vehículo. Al ser directamente proporcional a la masa el peso como fuerza tiene un valor alto en relación con el ángulo de inclinación.

3.3.1 Deslizamiento y Adherencia

Un vehículo al encontrarse en una pendiente es propenso a ser arrastrado o “resbalarse” la fuerza que se opone a este deslizamiento es la fuerza de adherencia entre el neumático y la superficie en la que está apoyado. En el caso del buggy serían los cuatro puntos de apoyo de las ruedas (Roig Solé, n.d.)

Tabla 4

Coefficientes de adherencia de acuerdo con el terreno

Superficie	Valor máximo $\mu_{\text{máx}}$
Carretera de cemento	0,8
Empedrado seco	0,7
Asfalto seco	0,6 a 0,75
Carretera Húmeda	0,3 a 0,4
Carretera mojada	0,25
Carretera alquitranada y grasienta	0,15 a 0,20
Carretera con barro	0,15
Carretera con hielo	0,08 a 0,1

Nota. La adherencia que posean los neumáticos es relativa, pero se puede hacer aproximaciones con los valores de la tabla.

El valor de la fuerza de adherencia viene dado por la siguiente ecuación:

$$F_a = \mu_a * Q_T * \cos\alpha \quad (7)$$

- Q_T es el peso total del vehículo, tomando en cuenta la normal en el diagrama de cuerpo libre.
- α : es el ángulo que forma el plano inclinado de la carretera con la horizontal.
- μ_a : es un coeficiente adimensional, llamado coeficiente de adherencia.

$$F_a = \mu_a * Q_T * \cos\alpha$$

$$F_a = 0.6 * (400kg * 9.8 \frac{m}{s^2}) * \cos 30^\circ$$

$$F_a = 2036 \text{ N}$$

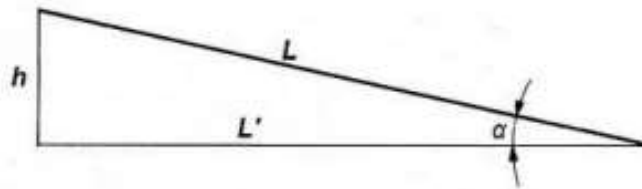
3.3.2 Ángulo de inclinación

El ángulo de inclinación de la pendiente que se pretende que el buggy supere es importante al igual que la velocidad a la que el automotor supere la misma.

Es por ello por lo que se debe entender de donde sale matemáticamente la pendiente nominal para estar en concordancia con las prestaciones del buggy.

Figura 32

Formación de pendiente

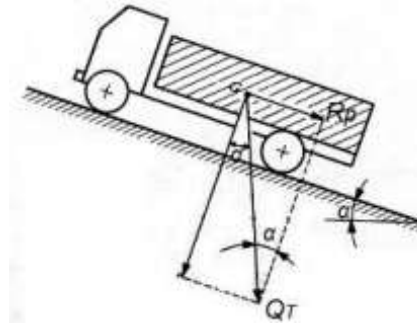


Nota. Adaptado de *Esquema pendiente*, de (Roig Solé, n.d.).

“Se denomina pendiente de la carretera (i) a la tangente del ángulo inclinado que forma el piso de la carretera con la horizontal, es decir, $i = \operatorname{tg}\alpha = h/L$ ” (Roig Solé, n.d.).

Figura 33

Componentes polares del peso de un vehículo en pendiente



Nota. Adaptado de *Fuerzas existentes en un vehículo en pendiente*, de (Roig Solé, n.d.).

Para calcular el valor de resistencia debido a la pendiente (R_p) se tiene la siguiente ecuación:

$$R_p(N) = Q_T * \operatorname{sen}\alpha = Q_T * i \quad (8)$$

$$R_p(N) = \left(400kg * 9.8 \frac{m}{s^2}\right) * tg 15^\circ$$

$$R_p(N) = 1050,36 N$$

Esa sería la fuerza de resistencia que tiene que superar el vehículo en una pendiente con una inclinación de 15°, para conocer la potencia que debe tener el tren motriz para superar esta pendiente se tiene la siguiente ecuación:

$$P_p(W) = v * Q_T * i \quad (9)$$

- P_p es la potencia del motor en W
- v es la velocidad de marcha del vehículo en m/s
- R_p es la resistencia de rodadura en N

$$P_p(W) = 3,33 \frac{m}{s} * 1050,36N$$

$$P_p(W) = 3501,2 W$$

Esa es la potencia necesaria para superar la una pendiente de 15°, con una velocidad de 12 Km/h y con 400 Kg de peso en conjunto de todo el buggy. En un automotor también se tiene en cuenta el rendimiento del conjunto de transmisión, este rendimiento también aumenta la necesidad de potencia por pérdidas por fricción, arrastre y demás, la expresión que ayuda a encontrar la potencia final que necesita en motor para mover de manera constante el vehículo es la siguiente:

$$P_{p,m} = \frac{P_p}{\eta_t} \quad (10)$$

$$P_{p,m} = \frac{3501,2}{0,96}$$

$$P_{p,m} = 3647.08 W$$

Capítulo IV

4. Implementación de los motores en el prototipo

De acuerdo al diseño del prototipo se ha quedado de acuerdo en utilizar motores de 2000W en cada rueda trasera, dando una suma de 4000 W de potencia de tracción, lo que resulta en términos teóricos, suficiente para el peso y la velocidad máxima a la que se planea llegar.

Para comenzar con la implementación del sistema se debe tener en cuenta las características de los componentes.

4.1 Motor

Características:

Voltaje: 60V DC

Potencia: 2000W

Tipo: Brushless (Sin escobillas)

In-wheel-hub (motor en la rueda)

Velocidad máxima: 30-45Km/h

Torque: 12,4 N.m

En este proyecto se utilizaron dos motores de las denominadas “citycoco” de 2000W, estos motores al ser integrados a la rueda, Figura 34, no poseen un sistema de transmisión como caja de cambios, cardan, piñon-cadena – catalina, cono – corona, etc.

Estas características permite disminuir pérdidas por rozamiento y por temperatura en el sistema de tracción, lo que en el rendimiento general del sistema se traduce en una alta eficiencia que complementada con el alto rendimiento del motor eléctrico se vuelve una excelente opción para cualquier tipo de proyectos.

Figura 34

Motor de 2000W



Nota. Motor eléctrico con carcasa de aluminio.

El material de fabricación es el aluminio, el tamaño es de 12". Los neumáticos para este rin tienen la siguiente relación, 215/40-12. La alimentación y control de este motor se lo hace con tres fases y con sensores Hall respectivamente, por lo que se tienen tres conectores con terminales tipo orificio, para los sensores se tiene un conector de 6 pines de los cuales únicamente se utilizan 5 que se muestran en la Figura 36.

La estructura interna del motor es muy compacta, Figura 35, dentro de su composición se puede notar las bobinas y los imanes, la disposición de estos está sincronizada para no tener contacto entre sí, los sensores hall están colocados en una baquelita en esta se muestra el desfase angular que tiene uno respecto del otro.

Los sensores que se muestran en el interior del motor poseen un conector en el cableado que se distribuye

Figura 35

Arnés de sensores hall



Nota. Conector con alimentación (rojo), masa (negro), y señales (azul, verde, amarillo).

En la figura 36 se muestran las fases que actúan los bobinados del motor, esto de forma sincronizada gracias al controlador que hace la función de cerebro para manejar las señales de los sensores y actuar los bobinados del estator para hacer girar el rotor.

Figura 36

Fases del motor



Nota. Los cables de las tres fases identificados por los colores, cada fase un color.

La disposición del motor, es algo particular. El rotor de este motor está embobinado, lo que impide o hace poco probable que los fabricantes puedan elaborar un aro de rueda con disposición para una mangueta y los respectivos agujeros para un montaje “común”, en su defecto para las scooter manejan la disposición de sujeciones laterales, es decir que por cada lado se debe asegurar con un perno. En el proyecto se tuvo inconvenientes por esta disposición, el manejo del motor al no tener un perno pasador, hace que se modifique desde los sistemas auxiliares como suspensión y frenos hasta los sistemas eléctricos (cableado).

El tipo de motor que se utiliza es un tanto complicado, al ser del tipo outrunner se debe asegurar el eje del estator, para esto se debe fabricar un trapecio basculante, Figura 38, que ayude a la sujeción de ambos lados, es importante que esté bien sujeto el motor, en caso contrario se puede causar daños en el cableado y por ende en los controladores de los motores.

Figura 37

Trapezio de soporte de los motores



Nota. Trapecio basculante para sustentación del motor y de sistemas auxiliares

4.2 Controlador

El controlador es proporcionado por una empresa china, no contiene un manual de uso o modo de conexión por lo que las conexiones se deben realizar con asesoría técnica de la empresa proveedora de los controladores.

La electrónica interior del dispositivo no es explorada de manera invasiva, pero se basa en el manejo de frecuencia para controlar los motores que ya se ha explicado en el marco teórico del presente proyecto.

Este tipo de controladores no poseen marcha inversa por lo tanto no se puede revertir los motores, si se desea invertir el giro de los motores se deben conseguir o construir controladores que permitan el manejo de fases de manera sincronizada y reversible para el propósito, de otra manera también es viable que se construya un módulo aparte por contactos que permita la inversión del giro.

Figura 38

Disposición de controlador



Nota. Los controladores deben estar refrigerados constantemente al igual que las baterías.

El controlador en su uso continuo va a adquirir temperatura de los transistores de potencia de los circuitos internos, por lo que se hace necesario colocar un ventilador para que

exista flujo de aire que trate de refrigerar algo de la temperatura generada. Para las baterías también se necesitará esa refrigeración.

El controlador posee varias conexiones de las que se harán uso únicamente las necesarias, entre las conexiones están las siguientes:

- Conexión de las 3 fases del motor

Figura 39

Cables de conexión de alimentación y control del motor



La conexión del controlador con el motor se la hace por medio de dos conectores, uno de ellos es el de las fases del motor, el otro conecta los sensores de dicho motor. Las fases que se conectan como se mencionó previamente controlan el movimiento del rotor. Las fases que controlan el motor son conectadas de manera individual, con la probabilidad de conectar o desconectar para diagnóstico o revisión de manera fácil y efectiva.

- Conexión de alimentación de batería

Las baterías de alto voltaje proporcionan un voltaje de 60-65V de corriente continua para que el controlador maneje y gestione este voltaje para el motor, tablero analógico, inversor de 60-12VDC, las conexiones del controlador para las baterías son de tipo “ojo” para conectar en regletas o se puede modificar el tipo de conector esto para poder manipular de mejor

manera el momento de conectar y desconectar puesto que para la carga de las baterías se debe desconectar de manera manual el controlador del motor.

- Conexión de encendido del módulo

La conexión del encendido del módulo es un simple interruptor que maneja el voltaje de batería hacia para que el módulo funcione, es decir cumple la función de On- Off.

- Conexión de Selección de velocidades (2 en realidad)

El controlador y acelerador de este tipo de motores están diseñados para manejar 3 velocidades que en realidad son únicamente 2. Para esto utilizan un switch de 3 posiciones en las que la posición central o de reposo es una velocidad nominal (media) y al cambiar la posición hacia arriba el límite de velocidad se vuelve un poco extendido y al cambiar hacia abajo el límite se reduce al de la velocidad nominal este tipo de control se vuelve importante cuando se tiene poco control o “tacto” al momento de acelerar, esto ya sea por sensibilidad del acelerador o por manejo de señal por parte del controlador.

- Conexión del acelerador

Esta es una conexión importante, la aceleración debe ser simultánea es por lo que las señales de los aceleradores van individuales, un acelerador por cada controlador, la dificultad de este tipo de conexiones es que se deben sincronizar el tiempo y forma de accionar de los aceleradores. Para ello se coloca un solo pedal para los dos aceleradores.

Figura 40

Conexión de dos aceleradores



Nota. Conexión de aceleradores para el control de cada módulo.

- Conexión de señal de freno

Esta conexión se la hace con un solo cable, esta señal proviene del switch de freno que indica que se ha accionado el pedal de freno es una señal de masa (-) para que el controlador deje de mandar energía hacia el motor.

- Conexión del tablero analógico

El tablero analógico muestra información acerca de la velocidad, nivel de batería, ultimo recorrido. Esta información es básica y es por ello que el conector que se utiliza para este aditamento únicamente posee 4 cables, 2 de alimentación y 2 de datos. Además de utilizar una derivación de los cables de alimentación para un reductor de voltaje que proporciona los 12 V para las luces y demás accesorios del buggy que pueden incorporarse para un prototipo más completo.

- Conexión de los sensores de tipo efecto hall

El conector de los sensores hall posee una alimentación, positivo, negativo, y tres cables de señales de cada uno de los tres sensores hall, estos sensores aportan la posición de las bobinas y con ello la velocidad de rotación del motor.

4.3 Acelerador

El acelerador que se utiliza en el scooter eléctrico son de tipo manillar, pero se puede adaptar uno de esos aceleradores al pedal que se implementa en el buggy, el funcionamiento de este acelerador es por el efecto hall y en la adaptación se trata de mantener la mayoría de su integridad estándar para evitar conflictos de sensibilidad.

Figura 41

Modelo de acelerador



Nota. Adaptado de Puño de acelerador repuesto patín eléctrico CR-BYKE, (Gran, n.d.), Fuente: <https://www.gran-scooter.com/repuestos-repuestos-cr-byke-puno-de-aelerador-repuesto-patin-eletrio-byke-p-30.html>

El montaje del acelerador es de una moto eléctrica normal, a esta manigueta se adaptara un pedal con un acople tipo brazo que realice el movimiento natural de la manigueta, como se aprecia en la Figura 43, .esto con el objetivo de no interferir en la sensibilidad del sensor que posee este componente.

La señal que envíe este acelerador hacia el controlador es una señal analógica que varia desde 0,5V a 4,5V de manera constante, es decir de acuerdo a como se acerque o se aleje el sensor de efecto hall hacia el imán, la resistencia del sensor variará lo que a su vez modifica la

señal de salida que en este caso es compartida de manera simétrica entre los dos controladores que se están usando.

Figura 42

Acelerador de scooter "citycoco"



Nota. Aceleradores, sincronizados para accionar los motores de manera simultánea.

El control de velocidades del manillar en el acelerador queda en una posición muy incómoda por lo tanto ese switch queda deshabilitado, para este control de velocidad se coloca otro switch en la parte superior.

Capítulo V

5. Comprobaciones

5.1 Aceleración máxima

Los motores instalados en el buggy tienen ciertas características tanto de potencia, velocidad y torque como eléctricas. Es muy importante tener en cuenta que las principales limitaciones del motor están en el controlador y la batería.

La velocidad punta a la que llega el buggy es de 33Km/h algo que resulta suficiente para ser un vehículo de tipo recreacional y eléctrico. Esta velocidad alcanza con un tiempo de 15 s, lo que refiere a una aceleración de $0,73 \text{ m/s}^2$ esto en una pista nivelada.

La aceleración máxima varía con el peso de los ocupantes, la velocidad que alcanza el buggy con dos personas es inversamente proporcional al peso. Con dos personas el buggy denota una reducción de aceleración.

Figura 43

Pruebas de aceleración



5.2 Consumo de corriente

El consumo de corriente es limitado por la capacidad de las baterías, y en función de la carga que se exija a los motores se tendrá el consumo.

Las pruebas de consumo de los motores se realizan en dos etapas, una de estas es en vacío y otra con carga, la diferencia entre las dos circunstancias puede ser importante para calcular las pérdidas.

5.2.1 Pruebas en vacío

Con la ayuda de un elevador hidráulico se eleva la rueda a la que se le realizarán las pruebas, esto para que no tenga carga alguna el motor para mover, nótese en la Figura 44, en esa prueba se conmutan las velocidades (1, 2, 3). El consumo que se mide es del circuito completo, es decir, lo que consume la electrónica del controlador y el motor en sí.

Figura 44

Comprobación de consumo



Nota. Para las pruebas en vacío basta con un multímetro porque se esperan picos máximos de 9A.

La prueba comienza con el encendido del módulo o controlador en este momento al estar revisando los sensores hall si existe un consumo de corriente, pero resulta mínimo, el valor es de 170mA o 0,17A, en la figura 45 se muestra esta evidencia.

Figura 45

Amperaje consumido por el encendido de módulo



Nota. Al medir una corriente el signo es relativamente despreciable.

La segunda medición se la hace con la primera velocidad seleccionada, en ese caso el consumo se eleva respecto al anterior porque el motor comienza a trabajar.

Lo que se menciona como velocidad en realidad es un limitador de corriente para el motor lo que permite tener una velocidad “cruce” para que de acuerdo con la comodidad de conducción se seleccione la velocidad máxima a la que se quiere llegar.

El incremento es notable, Figura 46, los bobinados del motor consumen, pero no para elevar la temperatura de los transistores empleados en el control de dicho motor.

Figura 46

Consumo de corriente del motor en su primera velocidad



Nota. El consumo se ha elevado de manera exponencial

En la siguiente velocidad aumenta progresivamente el consumo de corriente, pero al estar en vacío el esfuerzo no difiere, solo para lograr una velocidad final mayor. La corriente que consume el motor es de aproximadamente 20% más que la anterior, Figura 47, con ello se nota que el elevar la velocidad requiere aumento de consumo, lo que también se traduce en reducción de autonomía.

Figura 47

Consumo de corriente segunda velocidad



Por último, se analizó el consumo de corriente en la última y más permisiva velocidad, en esta velocidad el motor tiene el mayor consumo, pero logrando velocidades mayores, en la figura 48 se muestra que sube apenas 250mA, pero se logra una velocidad notablemente más alta.

Figura 48

Medición de corriente tope



Nota. El consumo no ha sido elevado, o exagerado durante las pruebas.

Cabe mencionar que durante las pruebas existió ciertos picos de amperaje que son generados en situaciones puntuales. El arrancar el motor eléctrico genera un consumo pico mayor, esto porque obligatoriamente debe vencer la inercia y el peso del conjunto motriz. Los picos de amperaje llegaron a valores de 2,90A, 5A, incluso 9A.

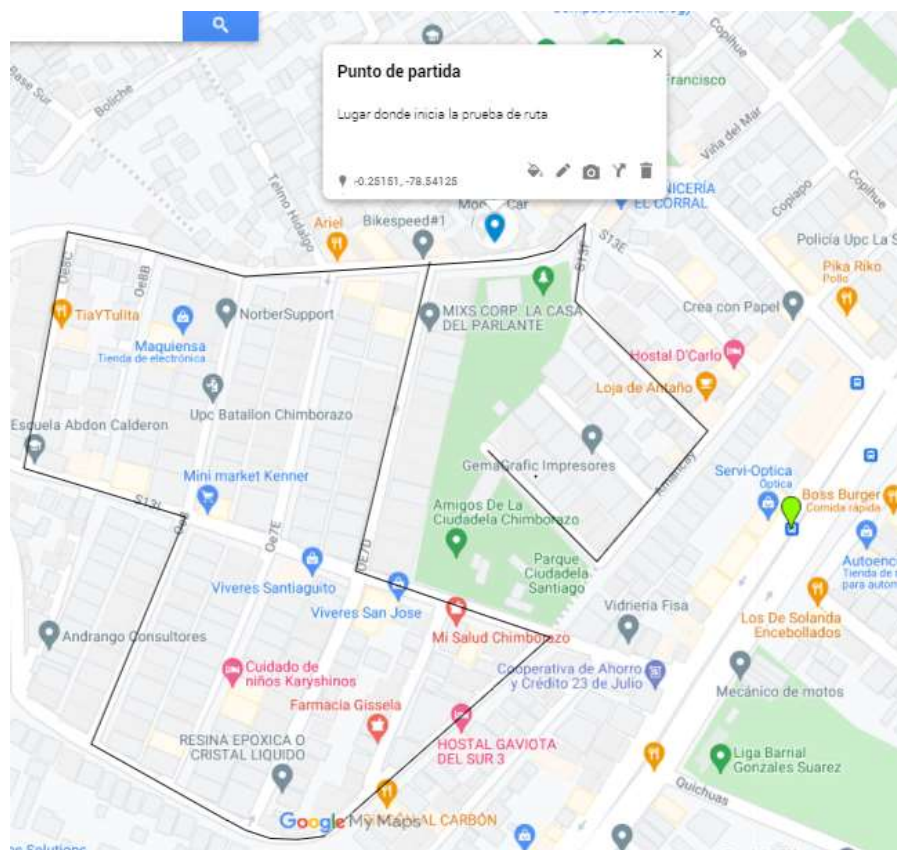
5.2.2 Pruebas con carga

Las pruebas que se realizan para comprobar el funcionamiento del prototipo se las realizan con carga, en este caso con dos personas.

Las circunstancias de manejo dependen de la geografía de la ruta elegida para las pruebas en la Figura 49 se muestra la ruta de prueba, ese circuito fue transitado en repetidas ocasiones con el fin de comprobar temperatura, consumo y autonomía de los motores.

Figura 49

Ruta de prueba



Nota. Por seguridad del personal como la integridad del proyecto se realizó un recorrido corto pero redundante.

Contrariamente a los vehículos que utilizan combustible fósil, el vehículo eléctrico tipo buggy no genera ruido, es algo que se debe recalcar, dado que el comportamiento en la ruta es bueno, se puede mejorar, las velocidades alcanzadas varían dependiendo de la carga de la batería, la velocidad punta seleccionada en el controlador y por el peso que los motores estén moviendo.

El recorrido en distancia por una sola vuelta es de 1,63 Km, pero el recorrido se realizó de manera redundante, como suma del recorrido se rodaron 6 km aproximadamente, después de esta distancia se verificó que la temperatura de los controladores fuese permisible, es decir, la

temperatura no debe exceder los 40°C, si llegase a suceder, es posible que los transistores puedan verse afectados.

Figura 50

Prototipo en pruebas varias



Nota. Las pruebas se realizaron en asfalto ya que el terreno óptimo para este prototipo es ese.

El consumo máximo de los motores con carga es de 13,5 A que se acerca al amperaje máximo que puede entregar cada una de las baterías.

Capítulo VI

6. Marco Administrativo

6.1 Recursos Humanos

Para la implementación, reparación, diagnóstico y pruebas de los motores eléctricos se tuvo la participación de las siguientes personas, Tabla 4, cabe aclarar que la participación de terceras personas fue en medida que hubo necesidad de manuales y/o transporte de material.

Tabla 2

Recursos Humanos

Nombres	Aporte
Sarango Pedro	Implementación de Motores eléctricos
Sánchez Carlos	Asesor del proyecto en General

6.2 Recursos Materiales

Los recursos materiales que se necesitaron para la implementación de los motores en el prototipo son los que se muestran en la Tabla 5, con este tipo de motorizaciones es un poco más costoso que si se utilizase una tracción por arrastre.

Los recursos materiales que se describen en la tabla son implícitos, el que los elaboradores del proyecto no tengan experiencia en el manejo de tracción eléctrica repercute en el uso de materiales de manera redundante, el tener que realizar diagnóstico y mantenimiento de ciertos componentes como los controladores hace que se utilicen más recursos.

Tabla 3*Recursos materiales*

Ítem	Recurso material	Cantidad	Valor Unitario	Valor Final
1	Motores eléctricos 2000W	2	\$ 380,00	\$ 760,00
2	Controlador 2000W	2	\$ 75,00	\$ 150,00
3	Llanta de 12 pulgadas	2	\$ 85,00	\$ 170,00
4	Cable de poder	2	\$ 47,00	\$ 94,00
5	Acelerador	2	\$ 20,00	\$ 40,00
6	Cable UTP	2	\$ 2,00	\$ 4,00
7	Conectores	6	\$ 6,00	\$ 36,00
8	Cable #18	9	\$ 0,50	\$ 4,50
9	Fusibles	3	\$ 1,50	\$ 4,50
10	Switches	4	\$ 1,80	\$ 7,20
11	Capacitor 2200	1	\$ 1,20	\$ 1,20
12	Pasta térmica	1	\$ 5,00	\$ 5,00
			Total:	\$ 1.276,40

6.3 Recursos Tecnológicos

Los recursos tecnológicos empleados en este tipo de proyectos resultan muy importantes ya que al ser nuevas tecnologías incursionando en la academia del país se necesitan de fuentes de consulta, comprobación e incluso diagnóstico que son de tecnología costosa. Los recursos tecnológicos que se emplearon en el desarrollo del proyecto se describen en la tabla 6, a continuación.

Tabla 4*Recursos Tecnológicos*

ítem	Recurso Tecnológico	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
1	Microsoft Office	1	\$ 120,00	\$ 120,00
2	Multímetro Automotriz	1	\$ 80,00	\$ 80,00
3	Comprobador de fases y sensores	1	\$ 150,00	\$ 150,00
4	Libro Vehículos eléctricos e híbridos	1	\$ 60,00	\$ 60,00
			Total	\$ 410,00

6.4 Presupuesto

Con la descripción antes mostrada se puede realizar el presupuesto general de la implementación de la tracción en el buggy, en este punto se añade la categoría “imprevistos”, que es muy importante, suelen haber gastos significativos en esta categoría, en la tabla 7 se muestra el presupuesto final.

Tabla 5

Presupuesto

ítem	Recursos	Total
1	Recursos Materiales	\$ 1.276,40
2	Recursos Tecnológicos	\$ 410,00
3	Imprevistos	\$ 560,50
	Total	\$ 2.246,90

Capítulo VII

7. Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

- Se implementó motores eléctricos a un buggy biplaza con carrocería de fibra de vidrio, con la ayuda de información existente acerca de este tipo de tecnología.
- Con diferentes métodos de investigación se logró conocer el funcionamiento puntual de cada motor, controlador, acelerador y marchas de vehículos eléctricos ligeros.
- La selección de motores para el prototipo fue la ideal, teniendo en cuenta el costo, peso, objetivo del prototipo y las baterías de las que se dispondrá en el vehículo.
- Las pruebas realizadas muestran que los motores son suficientes, más si se decide optimizar el vehículo, las opciones son bastas e implican un cambio significativo tanto en la velocidad como en la autonomía y el mantenimiento que se realiza a los sistemas del buggy.
- Los espacios ocupados por los controladores de los motores en el buggy son mínimos lo que da mayores opciones para colocar sistemas adicionales, en este caso paneles solares y sus respectivas pilas de almacenamiento.
- No existen emisiones contaminantes, es un vehículo con una tecnología “verde” y con los paneles se vuelve autosustentable hasta cierto punto. El ruido que emite este vehículo es muy poco o nulo así que resulta cómodo tanto para un paseo corto como para una mañana completa de recreación.

7.2 Recomendaciones

- Para hacer un uso correcto del prototipo se recomienda no sobrepasar los límites de peso de arrastre y el tiempo de uso del vehículo. En ambos casos, se puede ir monitoreando la temperatura de los controladores para conocer cuando se puede parar por la temperatura que alcancen los transistores.
- El mantenimiento de los motores es muy sencillo, cuando se los realice se puede aprovechar para aprender de manera muy cercana sobre componentes como sensores, bobinados y conexiones de motores BLDC.
- Las baterías deben estar cargadas para poder utilizar el vehículo sin perjudicar la vida útil de los controladores, baterías y motores.
- En el costo de los componentes, con el tiempo es posible conseguir mejores opciones con un precio igual o menor, el importe de este tipo de motores resulta mejor que adquirirlos en el país, algo que también ayudaría fuese el cambiar de tipo de tracción.

Bibliografía

- Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, A.-. (2021). *Sector Automotor en cifras*.
<https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2021/05/Sector-en-Cifras-55-Resumen.pdf>
- Barros Calderón, A. V. (2015). *Estudio y análisis de la operación del inversor del vehículo Híbrido Toyota Prius A*. [UIDE]. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/841>
- Carver, N. T., & Carney, P. S. (2015). *MODULAR ELECTRIC LONGBOARD*.
<https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/5951/TFG001443.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castillo, A. (2017). *Diseño y fabricación de un longboard eléctrico - CORE Reader* [Universidad Carlos III de Madrid]. <https://core.ac.uk/reader/288501439>
- Chucuyan Perez, C. A. (2016). *Análisis de funcionamiento del sistema de acelerador electrónico del motor S4A del vehículo Chevrolet Sail*. [Universidad Internacional del Ecuador].
<https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/1445/1/T-UIDE-087.pdf>
- Colcha Maldonado, J. P., & Miranda Reyes, O. V. (2011). *Diseño e implementación de un acelerador electrónico controlable en un vehículo a carburador*.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/942>
- Crouse. (2007). *Motores* (Alfaomega (ed.); Primera). Universidad Politécnica de Valencia.
- Escudero Martínez, A. M. (2017). *Propulsión en vehículos eléctricos* [Universidad de Valladolid].
<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/25504/TFG-P-630.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Espinosa Román, L. S. (2014). *Diseño de mando electrónico del acelerador para el vehículo Chevrolet Luv 2.2* [Universidad del Azuay].
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/3620/1/10301.pdf>
- García Alcivar, J. E. (2006). *Diseño, implementación y análisis de proptotipo de vehículo híbrido*.

- Gavilanez, B. D., & Yumbo Iza, W. F. (2019). *“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA Y SUSPENSIÓN DELANTERA DEL VEHÍCULO HIBRIDO TIPO BUGGY 4X4 PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH.”*
- Gran, S. (n.d.). *PUÑO DE ACELERADOR REPUESTO PATIN ELÉCTRICO CR-BYKE > Repuestos > Repuestos CR-Byke*. Retrieved December 13, 2021, from <https://www.gran-scooter.com/repuestos-repuestos-cr-byke-puno-de-aelerador-repuesto-patin-eletrio-byke-p-30.html>
- Lahood, G. (2011). *Electric racing: EV Cup will premiere in the United States rather than in the United Kingdom*. <https://www.autoweek.com/news/green-cars/a1983916/electric-racing-ev-cup-will-premiere-united-states-rather-united-kingdom/>
- Navas, H., Carlos, J., Rizo, J., & Alejandro, J. (2015). *“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE VELOCIDAD DE VARIABLE CONTINUA PARA EL LABORATORIO DE MECANISMOS DEL DECEM.”*
- Ortiz Medrano, E. D. (2017). *ADAPTACIÓN DE UN BUGGY CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A UN SISTEMA ELÉCTRICO*.
- Peragallo, R. (n.d.). *Manual Básico de Motores Electricos (Segunda)*. Paraninfo.
- Protean. (2020). *Protean Motor* . <https://www.proteanelectric.com/f/2020/02/ProteanDrive®-Pd18-Product-Data-Sheet-2020.pdf>
- Roig Solé, M. (n.d.). *Estudio paramétrico sobre los esquemas de potencia en sistemas propulsores para vehículos en condiciones de uso urbano*.
- Ros Marín, J. A., & Barrera Doblado, Ó. (2017). *Vehículos eléctricos e híbridos (1°)*. <https://play.google.com/books/reader?id=3LwrDwAAQBAJ&hl=es&lr=&printsec=frontcover&pg=GBS.PR14>
- Vijayenthiran, V. (2013, April 16). *Protean in-wheel electric motor to enter production in 2014*.

https://www.motorauthority.com/news/1083563_protean-in-wheel-electric-motor-to-enter-production-in-2014

Anexos