



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

**UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
TRACCIÓN ELÉCTRICA PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO BI-
PLAZA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención de título de:
INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

Autores:

**Josué David Vanegas Delgado
Ricardo Antonio Carangui Delgado**

Director:

Efrén Fernández Palomeque PhD

CUENCA – ECUADOR

2022

Dedicatoria:

A mi familia por ayudarme a cumplir este objetivo, por incentivar me a no rendirme ante las adversidades, por sus consejos y su apoyo incondicional, además de ser la motivación para seguir adelante.

Este logro lo dedico a la memoria de mi padre, quien fue la razón principal por la cual, gracias a sus consejos, sacrificio y apoyo incondicional, logré cumplir con esta meta.

Josué David Vanegas Delgado

Dedicatoria:

A mi padre que está en el cielo espero que esté viendo a su hijo seguir parte de sus pasos y que seguro está feliz por eso.

A mi madre que con sus oraciones y motivación siempre fue un gran pilar y a mis hermanos que fueron un gran apoyo.

A mi novia Lena quien me apoyó mucho para seguir en la universidad aún en la distancia y a su distinguida familia.

Ricardo Antonio Carangui Delgado

Agradecimiento:

Agradecemos a la Universidad del Azuay por la acogida durante todos estos años, a los docentes que nos transmitieron sus conocimientos a lo largo de nuestra formación académica; al coordinador de este proyecto, Ing. Robert Rockwood Iglesias por su confianza depositada en nosotros para realizar el mismo, y al director del trabajo de titulación, Ing. Efrén Fernández Palomeque por su guía y apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

Josué David Vanegas Delgado

Ricardo Antonio Carangui Delgado

Resumen

El presente documento describe el diseño e implementación del sistema de tracción eléctrica de un vehículo eléctrico bi-plaza, y el sistema eléctrico del mismo. Se estudia el funcionamiento de los elementos que conforman el sistema de propulsión eléctrica como, las baterías, el inversor, el transformador y el motor. Como también, con ayuda de programas de computadora como proteus y PSIM, se realiza el diseño del sistema de propulsión y el sistema eléctrico con el objetivo de obtener una correcta distribución de los mismos en el vehículo bi-plaza. Se realizó pruebas en el banco dinamométrico de rodillos; con esto se obtienen las curvas de torque y potencia del vehículo bi-plaza. De igual manera se realizó medición de consumo eléctrico con osciloscopio y pinza amperimétrica.

Palabras claves – Vehículo, eléctrico, bi-plaza, propulsión, banco dinamométrico, Psim.



Ing. Efrén Fernández Palomeque

Director del trabajo de titulación



Ing. Robert Rockwood Iglesias

Coordinador de escuela



Josué David Vanegas Delgado

Autor



Ricardo Antonio Carangui Delgado

Autor

Abstract

This paper describes the design and implementation of the electric traction system of a two-seater electric vehicle and its electrical system. The operation of the elements that make up the electric propulsion system, such as the batteries, the inverter, the transformer and the motor, is studied. Also, with the help of computer programs such as proteus and PSIM, the design of the propulsion system and the electrical system is carried out in order to obtain a correct distribution of the same in the two-seater vehicle. Tests were carried out on the roller dynamometric bench; with which the torque and power curves of the two-seater vehicle are obtained. In the same way, electrical consumption was measured with an oscilloscope and clamp meter.

Keywords – *Vehicle, electric, two-seater, propulsion, dynamometric bench, Psim.*



Ing. Efrén Fernández Palomeque

Thesis Director



Ing. Robert Rockwood Iglesias

Faculty Coordinator



Josué David Vanegas Delgado

Author



Ricardo Antonio Carangui Delgado

Author

Translated by



Josué Vanegas and Ricardo Carangui



SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRACCIÓN ELÉCTRICA PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO BI-PLAZA

Josué Vanegas Delgado
Universidad del Azuay
Facultad de Ciencia y Tecnología
Ingeniería Mecánica Automotriz
Cuenca, Ecuador
jdvaneegas@es.uazuay.edu.ec

Ricardo Carangui Delgado
Universidad del Azuay
Facultad de Ciencia y Tecnología
Ingeniería Mecánica Automotriz
Cuenca, Ecuador
tuc32636@es.uazuay.edu.ec

Resumen – El presente documento describe el diseño e implementación del sistema de tracción eléctrica de un vehículo eléctrico biplaza, y el sistema eléctrico del mismo. Se estudia el funcionamiento de los elementos que conforman el sistema de propulsión eléctrica como, las baterías, el inversor, el transformador y el motor. Como también, con ayuda de programas de computadora como proteus y PSIM, se realiza el diseño del sistema de propulsión y el sistema eléctrico con el objetivo de obtener una correcta distribución de los mismos en el vehículo biplaza. Se realizó pruebas en el banco dinamométrico de rodillos; con esto se obtienen las curvas de torque y potencia del vehículo biplaza. De igual manera se realizó medición de consumo eléctrico con osciloscopio y pinza amperimétrica.

Palabras claves – Vehículo, eléctrico, biplaza, propulsión, banco dinamométrico, Psim.

Abstract – This paper describes the design and implementation of the electric traction system of a two-seater electric vehicle and its electrical system. The operation of the elements that make up the electric propulsion system, such as the batteries, the inverter, the transformer and the motor, is studied. Also, with the help of computer programs such as proteus and PSIM, the design of the propulsion system and the electrical system is carried out in order to obtain a correct distribution of the same in the two-seater vehicle. Tests were carried out on the roller dynamometric bench; with which the torque and power curves of the two-seater vehicle are obtained. In the same way, electrical consumption was measured with an oscilloscope and clamp meter.

Keywords – Vehicle, electric, two-seater, propulsion, dynamometric bench, Psim.

1. INTRODUCCION

Para reducir la contaminación del medio ambiente y estimular el uso de vehículos eléctricos, los gobiernos de los países latinoamericanos

hicieron una exención de aranceles a los vehículos eléctricos. Los países exentos de aranceles desde 2017 en Latinoamérica son Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, México, Paraguay y Uruguay. Gracias a esto en estos países las importaciones de vehículos eléctricos aumentaron en 304% de 2017 a 2018 [1].

Durante los últimos años la preocupación por el cambio climático debido a las emisiones de gases de vehículos propulsados por motores de combustión interna, ha motivado al desarrollo de alternativas de movilidad propulsada por motores eléctricos para frenar este fenómeno [2]. En la actualidad existen varias marcas de vehículos que fabrican vehículos eléctricos e híbridos. Esto se da gracias al desarrollo que se ha dado en la parte de electrónica de potencia lo que ha permitido evolucionar hacia este tipo de movilidad. Según varias fuentes para el año 2030 la mayoría de vehículos fabricados serán eléctricos e híbridos [3].

La ventaja de los vehículos eléctricos sobre los de combustión interna, a parte de las relacionadas con el medio ambiente, está relacionado con la eficiencia, que tiene un alto par motor desde las 0 RPM. También la ausencia de caja de cambios en estos vehículos, aporta una mejor respuesta en la aceleración [4].

Se considera el uso de un sistema eléctrico de un vehículo biplaza para ser implementado en un chasis diseñado por estudiantes que son parte del proyecto general en donde se debía considerar la ubicación de los componentes eléctricos y electrónicos, el trazado del cableado y funcionamiento general del sistema en el nuevo vehículo (panel de instrumentos y transmisión).

Se enfoca en implementar al mercado y a la sociedad un modelo de vehículo que cumpla con las necesidades de los usuarios como ahorro de dinero anual y a largo plazo, menor ruido y emisiones contaminantes, y que sea de beneficio para dejar el uso de combustibles fósiles y de fomentar el uso de fuentes de energía renovable.

2. ESTADO DEL ARTE

La tecnología de los vehículos eléctricos disponible y su mejora es vital para que estos coches penetren en el mercado. Los vehículos eléctricos actuales son fruto de tecnologías muy desarrolladas, pero no sucede lo mismo con sus baterías, que al ser un componente decisivo en los vehículos eléctricos al ser el que da la autonomía de este, su alto costo de fabricación y baja densidad energética hace que las personas descarten al vehículo eléctrico al momento de comprar un vehículo [5].

Según un estudio realizado en el 2017, por Omara Ahmed, sobre configuración de accionamiento de tracción eléctrica eficiente para vehículos eléctricos de batería, en donde se diseña y simula un sistema de tren motriz de un vehículo eléctrico (EV) alimentado por una batería utilizando la plataforma de simulación. Los resultados demostraron que, dicho sistema eléctrico logra satisfacer el rendimiento óptimo necesario para que el vehículo cumpla con un rango de viaje largo en donde la batería demostró que las características son las apropiadas para un uso óptimo, demostrando que el sistema de tracción propuesto cumplen con la hipótesis propuesta logrando una operación eficiente de la batería del vehículo, siendo así, una validación en donde se cumple el supuesto de que el uso eficiente de baterías son un medio necesario para la utilización y elección de vehículos eléctricos [6].

Otra investigación experimental, publicada en el Journals The Institution of engineering and technology, realizada en el 2016; los autores proponen la comparación de dos métodos on road versus off road para demostrar la caracterización de la propulsión eléctrica; en donde la simulación y el modelado nuevamente son el sustento para demostrar la eficiencia energética de los vehículos, el estudio propone demostrar que la propulsión eléctrica generado a través de un accionamiento de tracción eléctrica puede ser la solución para el transporte de bajas emisiones. En este estudio los autores aplican una metodología en donde comparan experimentalmente el método todoterreno independiente y un nuevo método llamado en carretera y a través de estos determinan el mapa de eficiencia de la tracción eléctrica en los vehículos. Se demostró que, en cuanto al tema energético, los dos métodos arrojan resultados similares [7].

El inversor del vehículo eléctrico al ser un dispositivo que toma la corriente alterna de una fuente de corriente continua y la convierte en corriente alterna, y funcionar como un convertidor elevador, es decir el voltaje DC de la fuente

(baterías) será mayor que el voltaje AC de la entrada al motor eléctrico. Permitiendo así, manejar potencia activa y reactiva, permitiendo controlar el factor de potencia y también reduce la inyección de armónicos a la red [8].

3. PARTES QUE FORMAN EL SISTEMA DE TRACCIÓN ELÉCTRICA

Las partes que conforman el sistema de tracción eléctrica del vehículo biplaza, consta de las partes del vehículo Dayang Chok G2, es decir, inversor DC/AC, convertidor AC/DC, baterías y motor.

3.1. Batería

Las baterías del auto eléctrico son una parte fundamental del mismo, ya que son las encargadas de almacenar la energía que requiere el vehículo para desplazarse. El vehículo eléctrico biplaza cuenta con 6 baterías de plomo-ácido de 150 Ah y 12 V cada una; conectadas en serie dando un total de 72 V (fig. 1). El peso de cada una es de 60 kg. Aunque estas baterías cuentan con la ventaja de tener un bajo coste y una buena respuesta en frío; tienen bajo ciclo de vida que está entre los 500 y 800 ciclos de carga y descarga, son muy pesadas, el plomo es tóxico y la carga de estas baterías es lenta [9].

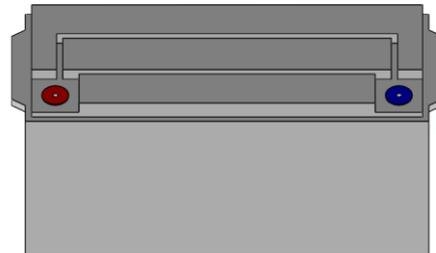


Figura 1. Batería

3.2. Motor

El motor usado en este proyecto, es un motor síncrono de imanes permanentes (MSIP) con una potencia de 6000 W, velocidad máxima de 5500 RPM y torque máximo de 90 Nm y mínimo de 19 Nm (fig. 2). Estos motores, para crear campo magnético, en lugar de utilizar electrodos, utilizan imanes permanentes ya que estos son capaces de crear su propio campo magnético. Estos motores tienen muchas ventajas, ya que proporcionan una dinámica rápida, un funcionamiento eficiente y una buena compatibilidad en sus funciones [10].

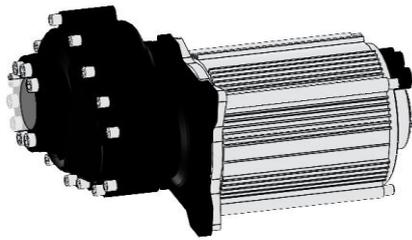


Figura 2. Motor Eléctrico

3.3. Inversor DC/AC

El inversor que se implementó en el vehículo eléctrico biplaza, es un inversor trifásico convencional de 3 niveles; su función principal es convertir el voltaje de corriente directa de las baterías a voltaje de corriente alterna (fig. 4). En la figura 3 se muestra un esquema del inversor realizado en el programa de computadora PSIM el mismo que nos permite realizar circuitos y la simulación de los mismos para entender el funcionamiento de los semiconductores y técnicas de modulación, está compuesto por 6 IGBT's (Insulated Gate Bipolar Transistor), estos transistores funcionan como interruptores que producen una señal de voltaje trifásica, y esto se da conmutando de forma controlada [11].

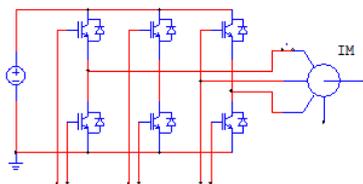


Figura 3. Esquema del inversor trifásico de tres niveles

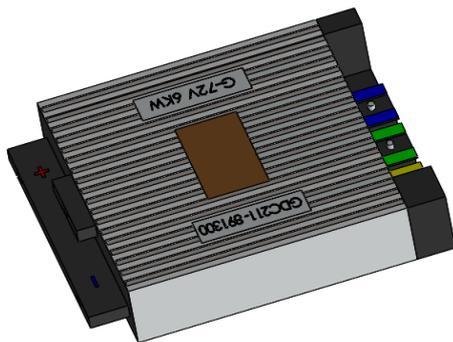


Figura 4. Inversor trifásico de tres niveles

3.4. Convertidor AC/DC

El convertidor es aquel dispositivo que recibe la corriente alterna de la red y la transforma en corriente continua para cargar las baterías del vehículo (fig. 5). El convertidor usado en este proyecto es un transformador AC/DC con entrada de 110 y 220 VAC y una salida de 72 VDC y 25 A; dando una carga completa de las 6 baterías entre 8 a 10 horas [12].

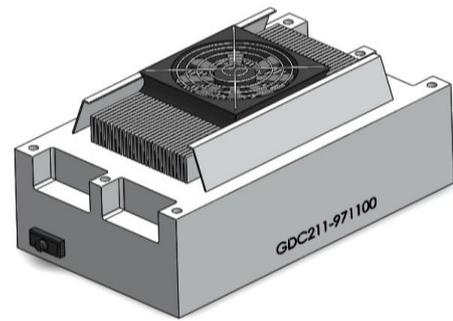
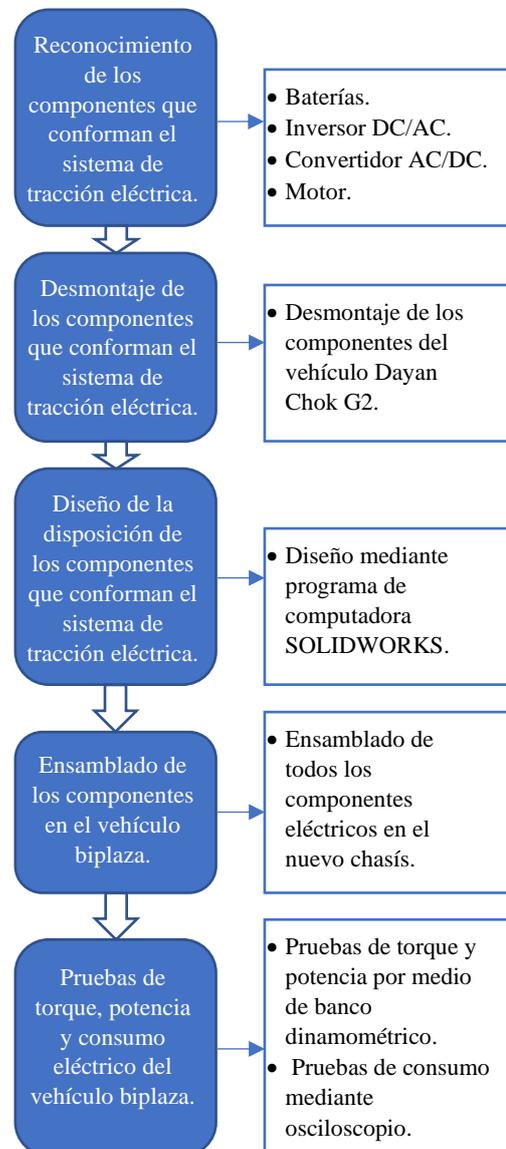


Figura 5. Convertidor AC/DC

4. METODOLOGÍA

El presente trabajo tiene como objetivo el reconocimiento de los componentes eléctricos, así como el diseño de su disposición en el vehículo biplaza. Así como hacer pruebas de torque y potencia en banco dinamométrico; y obtener su consumo de corriente mediante osciloscopio.



4.1. Desarmado del vehículo eléctrico

Como se mencionó antes, los componentes que conforman el sistema de tracción del vehículo eléctrico biplaza, constan de los componentes que conforman dicho sistema en el vehículo Dayan Chok G2. Como se muestra en la figura 6, se procedió al desarmado de estos componentes del vehículo antes mencionado.



Figura 6. Desarmado de los componentes eléctricos

4.2. Diseño de la disposición de los componentes eléctricos

Para el diseño de la disposición de los componentes eléctricos, así como la ruta del cableado de los mismos, se usó el programa de computadora SOLIDWORKS el cual nos permite anticiparnos al proceso real, obteniendo así una mejor configuración. Como se puede observar en las figuras 7 y 8, se muestra la ubicación de los componentes y la ruta del cableado respectivamente.

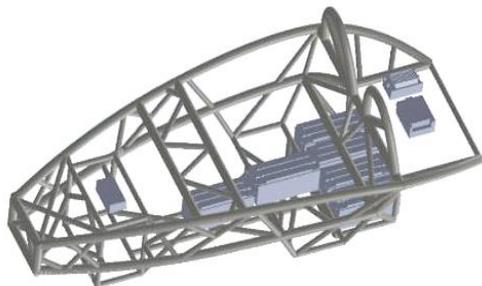


Figura 7. Diseño de disposición de los componentes eléctricos

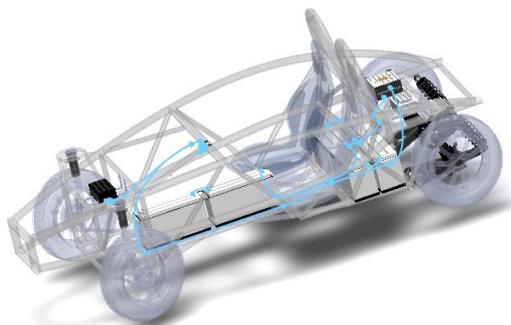


Figura 8. Ruta del arnés de cables

4.3. Ensamblado en el vehículo biplaza

Una vez realizado la simulación del diseño de los componentes eléctricos, se colocaron los mismos en el nuevo chasis como se muestra en la figura 9.

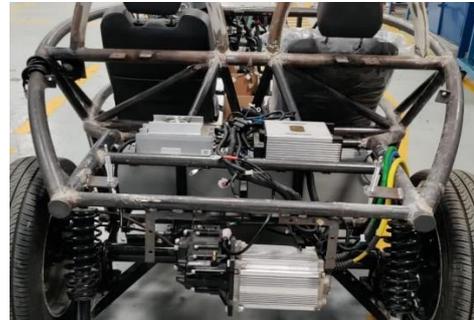


Figura 9. Montaje de los componentes eléctricos

4.4. Pruebas de torque, potencia y consumo

Estas pruebas y sus procedimientos se mencionan en el siguiente apartado.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se muestra los resultados que corresponden a las pruebas de torque y potencia en el banco dinamométrico, la prueba de consumo, el circuito eléctrico y de tracción del vehículo, así como la disposición de los componentes y la ruta del arnés de cables.

5.1. Circuito eléctrico de tracción eléctrica

Así como los componentes de tracción eléctrica del vehículo biplaza, el circuito eléctrico de accesorios correspondientes a los equipados en el sistema eléctrico del vehículo Dayang Chok G2, es decir el cableado, caja de fusibles e inversor DC/DC.

El cableado eléctrico usado en este proyecto, está integrado el cableado de la parte del circuito de tracción eléctrica. Esta comienza con la alimentación de 72 V de las 6 baterías al inversor, el cual cuenta con un módulo interno, el cual recibe señales eléctricas de diferentes mandos como se muestra en anexo 1, y según estas señales, las envía al motor eléctrico para su funcionamiento.

5.2. Circuito eléctrico luces

Para el circuito de luces de vehículo, contamos con un inversor DC/DC (fig. 10) el cual regula los 72 V que nos entrega las 6 baterías, a 12 V para alimentar las luces del vehículo. Para el circuito eléctrico de las luces contamos con luces altas, bajas, direccionales, freno, posición y retro como se muestra en el esquema eléctrico realizado en el programa de computadora Proteus, como se muestra en anexo 2.



Figura 10. Inversor DC/DC

5.3. Disposición de los componentes eléctricos en el vehículo eléctrico biplaza

Los componentes eléctricos del vehículo biplaza, están dispuestos en el modelo realizado en el programa SOLIDWORKS, como se muestra en la figura 9. Tenemos que, el inversor DC/AC, el convertidor DC/AC y el motor, están colocados en la parte posterior del vehículo; el inversor DC/AC en la parte delantera y de las 6 baterías, 4 están colocadas detrás de los asientos del piloto y copiloto, y 2 están colocadas entre el piloto y copiloto (fig. 11).

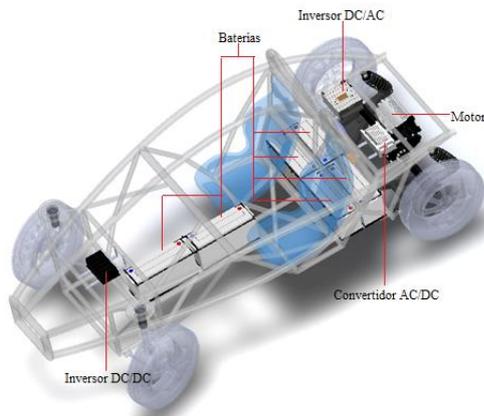


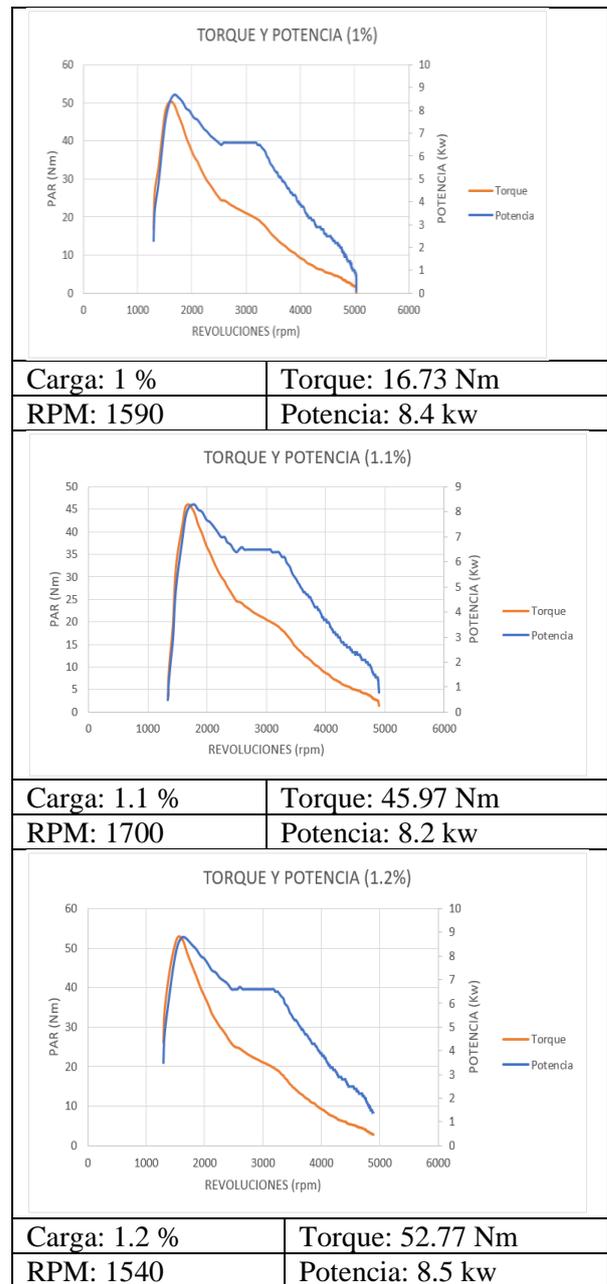
Figura 11. Disposición de los componentes de tracción eléctrica en el vehículo biplaza

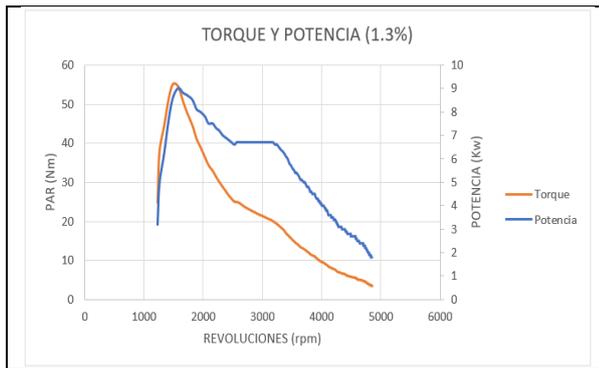
5.4. Pruebas de torque y potencia en banco dinamométrico

Para las pruebas de torque y potencia se utilizó el banco dinamométrico Superflow 220 AutoDyn 30 de la universidad. Estas pruebas se realizaron con las baterías del vehículo eléctrico con el 100% de su capacidad de carga eléctrica. Se colocó diferentes cargas en el banco dinamométrico, las cuales son generadas a través de la fuerza aplicada en el freno hidráulico del mismo, el cual contiene una celda hidráulica que presuriza el líquido dependiendo de la carga que se le aplica [13]; en nuestro caso se aplicó cargas de 1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2, 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4 %; para obtener toques y

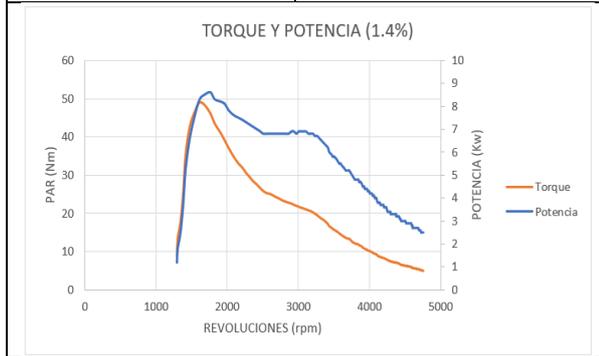
potencias máximas de cada carga o condiciones operativas del motor, así como sus gráficas. Los torques y potencias máximos obtenidos de cada carga se da a las RPM que se muestra en la tabla 1; en la cual tenemos la carga, el torque y potencia máximo, las RPM a las que se alcanzó dichos valores, y sus respectivas gráficas.

Tabla 1. Pruebas de torque y potencia

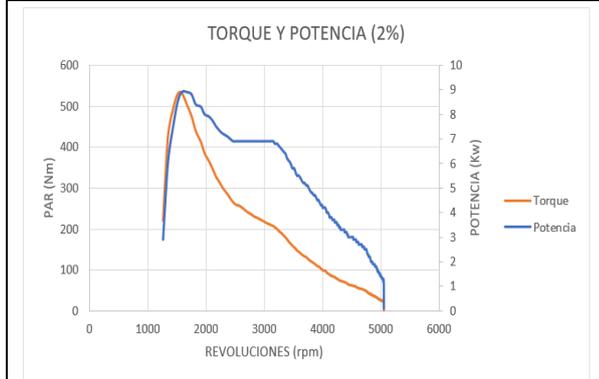




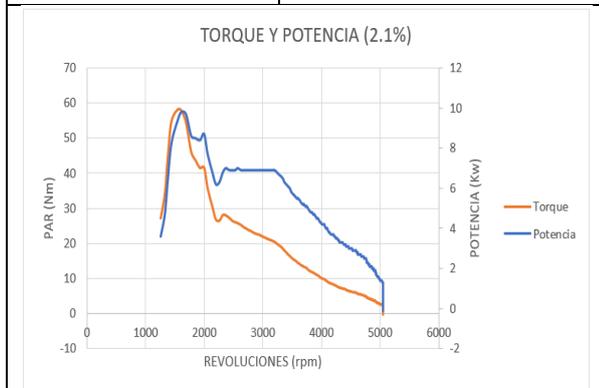
Carga: 1.3 %	Torque: 55.17 Nm
RPM: 1490	Potencia: 8.6 kw



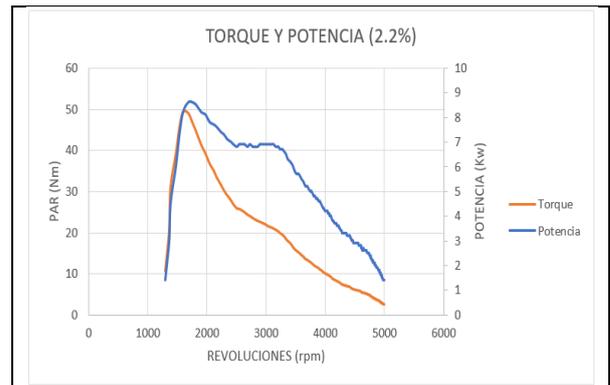
Carga: 1.4 %	Torque: 48.99 Nm
RPM: 1620	Potencia: 8.3 kw



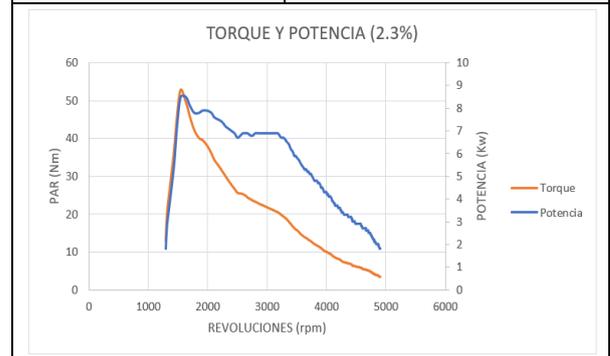
Carga: 2 %	Torque: 53.25 Nm
RPM: 1590	Potencia: 8.9 kw



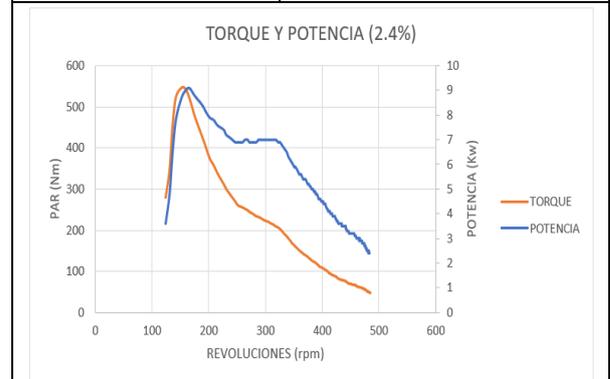
Carga: 2.1 %	Torque: 57.97 Nm
RPM: 1540	Potencia: 9.3 kw



Carga: 2.2 %	Torque: 49.28 Nm
RPM: 1580	Potencia: 8.2 kw



Carga: 2.3 %	Torque: 59.65 Nm
RPM: 1630	Potencia: 8.5 kw



Carga: 2.4 %	Torque: 54.59 Nm
RPM: 1520	Potencia: 8.7 kw

5.5. Prueba de consumo eléctrico con osciloscopio

Se realizó una prueba de consumo eléctrico en el vehículo con osciloscopio y pinza amperimétrica. Para esta prueba se realizó con las baterías del vehículo cargadas al 100% de su capacidad. Con la parte posterior del vehículo embancada (ruedas propulsoras elevadas), la pinza amperimétrica en el valor de 1mV/100mA, y conectado al cable negativo de la batería; se procedió a prender el vehículo y todos los accesorios y a acelerar al 100%, obteniendo una señal en el osciloscopio entre 900 y 1000 mV como se muestra en la figura 12 en la cual tenemos

divisiones verticales con valores 500 mV cada una y divisiones horizontales de 2 ms cada una. Esta señal nos indica el consumo eléctrico máximo que el vehículo genera en las condiciones operacionales antes mencionadas, es decir, con todos los accesorios prendidos, con aceleración del 100%.

Como se mencionó el valor colocado en la pinza amperimétrica, 1mV/100mA, por lo tanto 900 y 1000 mV, haciendo regla de tres con estos valores, nos da un valor de 90000 y 100000 mA respectivamente como se muestra en la ecuación 1, siendo este el consumo eléctrico máximo.

$$\begin{aligned} & \frac{1mV}{100mA} \quad (ec.1) \\ & \frac{900mV}{x} \\ & x = \frac{100mA * 900mV}{1mV} \\ & x = 90000 \text{ mA} \end{aligned}$$



Figura 12. Señal del consumo de corriente

6. CONCLUSIONES

El uso del programa SOLIDWORKS, al momento de diseñar la disposición de los elementos en el vehículo biplaza, permitió visualizar la realidad dando una gran ventaja a la hora de ensamblar, debido a que se evitó errores.

En este documento se logró desarrollar una explicación de los componentes que conforman el vehículo eléctrico, los cuales pertenecen al sistema de propulsión. Sin embargo, para obtener mejores resultados de estos elementos en el vehículo eléctrico biplaza, es necesario partir de los datos de los mismos y construir el chasis en el que serán ensamblados.

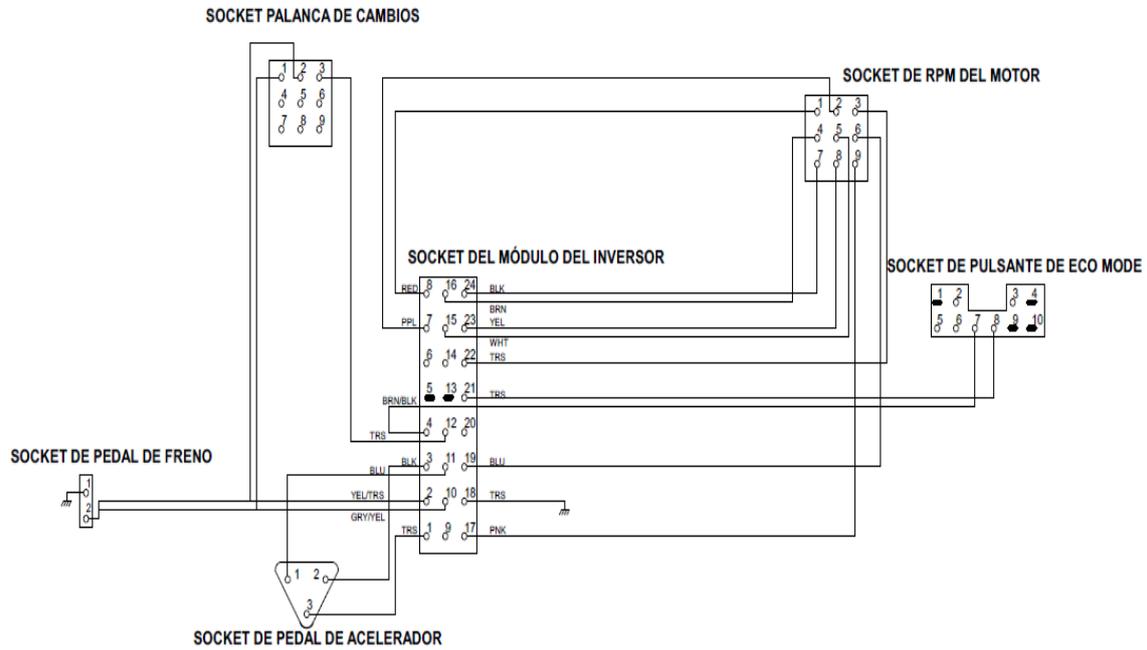
El consumo eléctrico del vehículo biplaza y el torque y potencia que entrega, son óptimos para este diseño de vehículo ya que, respecto a la capacidad de las seis baterías, tenemos una buena autonomía.

7. REFERENCIAS

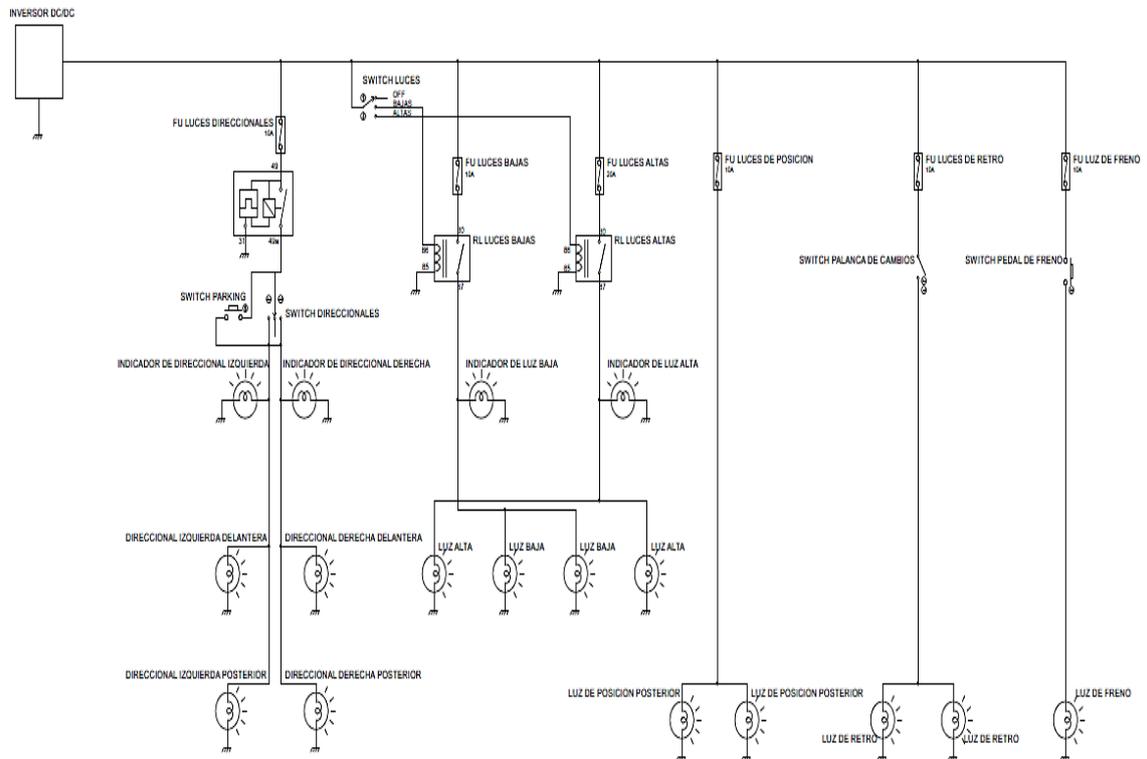
- [1] O. Ugarteche y C. de León, Vehículos eléctricos en América latina, Ciudad de México: s/n, 2020.
- [2] H. Valdez, Análisis y diseño de un sistema de propulsión de motores de CA para vehículos eléctricos, Irapuato: s/n, 2020.
- [3] P. Frías y J. Román, Vehículo eléctrico: Situación actual y perspectivas futuras, Madrid: s/n, 2019.
- [4] J. Miranda y G. Iglesias, Las infraestructuras de recarga y el despegue del vehículo eléctrico, Sevilla: s/n, 2015.
- [5] I. Sanz, Análisis de la evolución y el impacto de los vehículos eléctricos en la economía Europea, Madrid: s/n, 2015.
- [6] A. Omara y A. Sleptsov, Efficient electric traction drive configuration for battery electric vehicles, Moscow: s/n, 2017.
- [7] C. Dépature, W. Lhomme, A. Bouscayrol, L. Boulon, P. Sicard y J. Tommi, Characterisation of the electric drive of EV: on-road versus off-road method, Lille: s/n, 2016.
- [8] G. Palafox, Diseño y construcción de un vehículo eléctrico con variador de velocidad mediante un convertidos CD-CD., Oaxaca: s/n, 2009.
- [9] M. Escudero y M. Alejandro, Propulsión en vehículos eléctricos, Valladolid: s/n, 2017.
- [10] M. Roberto, M. German, P. Allan, H. Emmanuel y V. Arturo, Diseño de un Inversor Trifásico e Implementación del Control Escalar para Accionar una Máquina de Inducción con Aplicaciones en Vehículos Eléctricos, Guanajuato: s/n, 2016.
- [11] C. Sánchez, Análisis de datos de un motor de imanes permanentes usando un algoritmo de optimización evolutiva, Apisaco: s/n, 2018.
- [12] A. Rodríguez, G. Rigoberto, B. Aguas y J. Rolando, Estudio de factibilidad del uso de un auto eléctrico con baterías de plomo ácido en el distrito metropolitano de Quito, Quito: s/n, 2017.
- [13] D. Castro y R. Pizarro, Aplicación de la capacidad de la toma de datos en el banco dinamométrico marca ARMFIEL modelo CM11, Cuenca: s/n, 2017.

8. ANEXOS

Anexo 1. Circuito del módulo del inversor



Anexo 2. Circuito de luces



Anexo 3. Pruebas de torque y potencia en el banco dinamométrico



Anexo 4. Pruebas de consumo mediante osciloscopio

