



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
AUTOMOTRIZ

Diseño y simulación de un sistema de tracción eléctrica para
un vehículo eléctrico biplaza

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO EN MECANICA AUTOMOTRIZ

Autores

Juan José López Loja
Luis Anthony Morillo Ochoa

Director

Ing. Efrén Fernández PhD.

CUENCA – ECUADOR

2021

Dedicatoria

Quiero agradecer primero a Dios y la Virgen del Cisne por haberme dado la fortaleza y la bendición para concluir mi carrera universitaria, quiero agradecer a mis padres José, Sara y mi hermana Ma. dolores por haberme dado el apoyo para cumplir esta meta tan anhelada, ya que, sin su apoyo, cariño y amor no lo hubiese logrado.

Juan José López Loja

Dedicatoria

Quiero agradecer a Dios y al Divino Niño Jesús por darme la fuerza, salud y valentía para seguir siempre adelante, a mis padres Luis Y Sandra por el apoyo incondicional y ese inmenso amor que me tienen, a mi abuelo Santos y mis dos abuelas Rosas que estuvieron velando siempre por mi bienestar, a mis hermanos Jennifer y Leiver por su compañía y motivación constante y a toda mi familia que me impulsaron a luchar por mis sueños. También quiero agradecer a todos mis amigos que estuvieron en las buenas y en las malas durante toda esta etapa universitaria.

Luis Anthony Morillo Ochoa

Agradecimientos

En primera instancia agradecemos a Dios por estar siempre con nosotros y permitirnos culminar una de nuestras metas que tanto hemos anhelado, de igual manera agradecemos a nuestros padres por la confianza y las fuerza que nos brindaron para perseguir nuestras metas planteadas, de igual manera a la universidad, a la escuela de Ingeniería Automotriz y a sus docentes por compartir sus conocimientos con cada uno de nosotros, finalmente agradecemos al Ing. Robert Rockwood director del proyecto y al Ing. Efrén Fernández director de nuestro proyecto, quienes con su experiencia nos supieron guiar de forma adecuada para culminar nuestro proyecto de titulación.

Juan José López Loja

Luis Anthony Morillo Ochoa

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE TRACCIÓN ELÉCTRICA PARA UN VEHICULO ELÉCTRICO BIPLAZA

RESUMEN

Resumen— El presente estudio tiene como finalidad el diseño y simulación de un sistema de tracción eléctrica para un vehículo eléctrico (VE) biplaza de estructura tubular. En la primera parte se realizó la revisión y recopilación de información de distintas fuentes para llevar a cabo el proyecto. Se diseñó un control FOC (Field Oriented Control) que será implementado para el control de un motor IM. Mediante el software Psim se indicará el funcionamiento y control del motor. Para el desarrollo del estudio se tomó como referencia el vehículo eléctrico Chok G2. Los resultados obtenidos en Psim, se indican mediante gráficas de corriente, torque y velocidad del sistema. Finalmente, se realizó el esquema eléctrico del vehículo antes mencionado.

Palabras clave— vehículo eléctrico, control por campo orientado (FOC), motor eléctrico.



Ing. Efrén Fernández PhD

Director del trabajo de titulación



Ing. Robert Rockwood Iglesias

Director del trabajo de titulación



Juan José López Loja

Autor



Luis Anthony Morillo Ochoa

Autor

DESIGN AND SIMULATION OF AN ELECTRIC TRACTION SYSTEM FOR A TWO SEAT ELECTRIC VEHICLE

ABSTRACT

Abstract— The present study aims to design and simulate an electric traction system for a two-seater EV (electric vehicle) with a tubular structure. Initially, the review and compilation of information from different sources was carried out to carry out the project. A FOC (Field Oriented Control) control was designed to be implemented to control an IM motor. Assisted by the Psim software the operation and control of the motor is indicated. For the development of the study, the electric vehicle Chok G2 was taken as a reference. The results obtained in Psim are indicated by graphs of current, torque and system speed. Finally, the electrical diagram of the aforementioned vehicle was made.

Keywords— electric vehicle, field-oriented control (FOC), electric motor.

Ing. Efrén Fernández PhD

Thesis Director

Ing. Robert Rockwood Iglesias

Faculty Director

Translated by

Juan José López Loja

Author

Luis Anthony Morillo Ochoa

Author

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE TRACCIÓN ELÉCTRICA PARA UN EV BIPLAZA

Juan López Loja
Universidad del Azuay
Ingeniería Mecánica Automotriz
Cuenca, Ecuador
juanjo1792@es.uazuay.edu.ec

Luis Morillo Ochoa
Universidad del Azuay
Ingeniería Mecánica Automotriz
Cuenca, Ecuador
luismorillo@es.uazuay.edu.ec

Resumen— El presente estudio tiene como finalidad el diseño y simulación de un sistema de tracción eléctrica para un vehículo eléctrico (VE) biplaza de estructura tubular. En la primera parte se realizó la revisión y recopilación de información de distintas fuentes para llevar a cabo el proyecto. Se diseñó un control FOC (Field Oriented Control) que será implementado para el control de un motor IM. Mediante el software Psim se indicará el funcionamiento y control del motor. Para el desarrollo del estudio se tomó como referencia el vehículo eléctrico Chok G2. Los resultados obtenidos en Psim, se indican mediante gráficas de corriente, torque y velocidad del sistema. Finalmente, se realizó el esquema eléctrico del vehículo antes mencionado.

Palabras clave— *vehículo eléctrico, control por campo orientado (FOC), motor eléctrico.*

Abstract— The present study aims to design and simulate an electric traction system for a two-seater EV (electric vehicle) with a tubular structure. Initially, the review and compilation of information from different sources was carried out to carry out the project. A FOC (Field Oriented Control) control was designed to be implemented to control an IM motor. Assisted by the Psim software the operation and control of the motor is indicated. For the development of the study, the electric vehicle Chok G2 was taken as a reference. The results obtained in Psim are indicated by graphs of current, torque and system speed. Finally, the electrical diagram of the aforementioned vehicle was made.

Keywords— *electric vehicle, field-oriented control (FOC), electric motor.*

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la electrónica aplicada al campo automotriz ha permitido que los fabricantes obtengan mejores resultados en cuanto a eficiencia y reducción de emisiones contaminantes. El campo automotriz está comprometido con el medio ambiente, es por eso que la implementación de vehículos eléctricos ha tomado protagonismo como un medio de transporte alternativo.

El funcionamiento de un vehículo eléctrico (Fig. 1) parte del accionamiento de un motor eléctrico trifásico. La energía es suministrada por una batería de corriente directa la cual ingresará al inversor de DC/AC este suministrará corriente al motor eléctrico en base al funcionamiento del acelerador [1]. En el siguiente artículo se presenta el desarrollo de un sistema de tracción eléctrica y los elementos que conforman el mismo. Se describe el diseño y simulación de un control FOC o control vectorial para el motor IM.

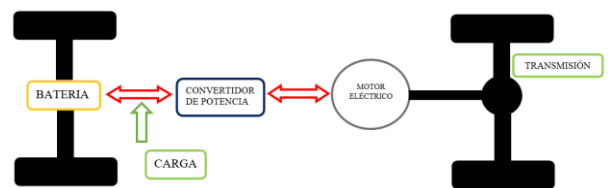


Fig. 1. Esquema vehículo eléctrico.

II. PARTES DEL SISTEMA DE TRACCIÓN ELÉCTRICA

A continuación, se describen las partes que conforman el sistema de tracción eléctrica.

A. Batería

La batería que se recomienda para la implementación y posible construcción es una batería de Li-ion (Fig. 2), este tipo de baterías tiene un número aproximado de 1200 ciclos [2]. Las baterías de Li-ion tienen una alta densidad de energía, un buen rendimiento a altas temperaturas y son reciclables. Las principales ventajas son un bajo efecto de memoria, una alta potencia específica (W/kg), elevada energía específica (Wh/kg) y una larga vida útil [3]. Por sus grandes ventajas son óptimas para ser implementadas en vehículos híbridos (HVs) y vehículos eléctricos (EVs).



Fig. 2. Batería Ion-Litio [4].

B. Motor IM

El motor eléctrico que se implementará es un motor eléctrico asíncrono o motor de inducción conocido como motor brushed (Fig. 3). Está conformado por bobinas (trifásicas) situado en el estator o carcasa, cada una desfasada 120° [5]. Ya que el rotor no conseguirá alinearse por completo con el campo magnético de las bobinas quedando desfasado permanentemente con respecto a estas, lleva la denominación de asíncrono. Es un motor en el que el rotor gira a una velocidad diferente del estator, la

corriente eléctrica necesaria para producir torsión es por inducción electromagnética por parte de la bobina del estator. Al aplicar corriente alterna trifásica, se produce un campo magnético giratorio, conocido como campo rotante cuya frecuencia será igual a la de la corriente alterna con la que se alimenta al motor. Este campo al girar alrededor del rotor inducirá corrientes en el mismo, estas producirán a su vez un campo magnético que seguirá el movimiento del campo estático, produciendo un par motor que hace que el motor gire [6].

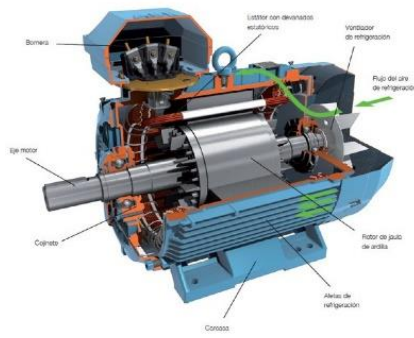


Fig. 3. Motor de Inducción Asíncrono (brushed) [7].

C. Inversor

Los circuitos de conversión se clasifican como inversores con fuente de voltaje (VSI) e inversores con fuente de corriente (CSI). Los CSI se usan para sistemas de alta potencia, los VSI son utilizados para aplicaciones en baja y media potencia. Existen varias configuraciones de convertidores que dependerá de la aplicación en la cual se implementará. Para sistemas con motores de baja y mediana potencia, la topología utilizada está formada por seis elementos de conmutación Mosfet's o seis Transistores Bipolares de Compuerta Aislada IGBT (Fig.4). Debemos considerar la técnica de modulación la cuál será la encargada de activar los elementos de conmutación en nuestro caso IGBT's. La técnica de modulación será la encargada de dar la forma de la onda de la señal de salida, su nivel de tensión y su frecuencia. Las técnicas de modulación se clasifican en escalares o PWM (Pulse Width Modulation) y vectoriales o SVM (Space Vector Modulation). [8]

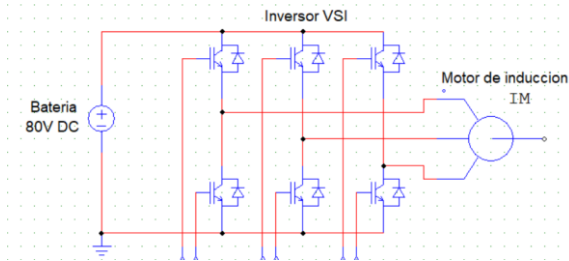


Fig. 4. Inversor trifásico con transistores IGBT.

III. CONTROL FOC PARA EL IM

El control FOC permite modelar un motor AC como un motor DC. El objetivo es mantener el campo estator y el campo rotor perpendiculares entre sí para obtener el par máximo. Así se puede controlar el par y el flujo del motor por separado.

A. Técnica de Modulación

Para controlar la ganancia y el voltaje de salida se implementó la modulación por ancho de pulso PWM. La modulación PWM controla la amplitud de la tensión de salida utilizando diferentes formas de onda. Al implementar un PWM tenemos la ventaja de reducir los requerimientos de filtrado y el control de la amplitud [9]. Esta técnica generalmente es usada en inversores monofásicos y trifásicos. Su funcionamiento es básicamente comparar una señal de referencia moduladora y una señal portadora de forma triangular (Fig. 5).

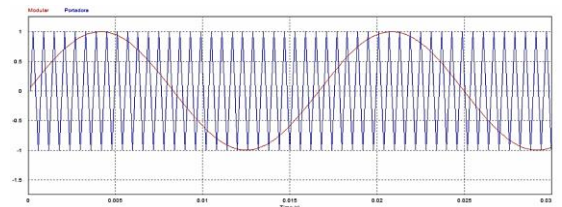


Fig. 5. Modulada PWM

B. Control por Campo Orientado FOC

En la (Fig. 6) se muestra el esquema del control FOC en Psim, el voltaje es calculado al obtener el valor de la velocidad del rotor, el valor de referencia del flujo y el torque. El control PI regula la velocidad, este nos entrega un valor I_q de referencia el cual se basa en un valor de velocidad de referencia que ingresa al PI, esta señal que se obtiene del control PI es comparada con el valor I_q real que se obtiene de la transformada. Al obtener las dos corrientes se genera una señal de error que ingresará a un PI del cual obtendremos V_q . De la misma manera, para el control de flujo se calcula el error de las dos señales de I_d de referencia e I_d real, estas ingresarán al control PI y obtendremos V_d . Al obtener V_d y V_q estas ingresarán a la transformada inversa y finalmente al PWM, quien será el encargado de enviar la señal por ancho de pulso a inversor VSI.

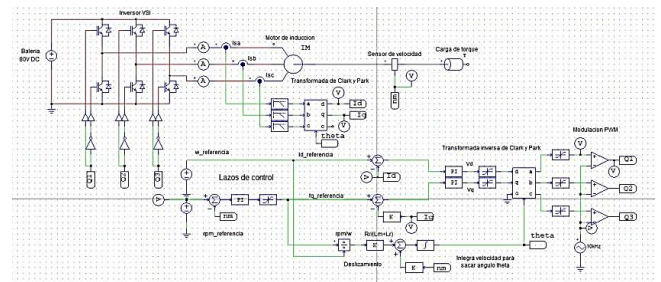


Fig. 6. Esquema completo FOC

Para el control del motor, es necesario obtener las ecuaciones en base a sus ejes de referencias ($\alpha - \beta$), las ecuaciones de voltaje del estator y rotor viene dada por:

Estator:

$$V_{\alpha s} = i_{\alpha s} R_s + \frac{d}{dt} \psi_{\alpha s} \quad (1)$$

$$V_{\beta s} = i_{\beta s} R_s + \frac{d}{dt} \psi_{\beta s} \quad (2)$$

Rotor:

$$V_{\alpha r} = i_{\alpha r} R_s + \frac{d}{dt} \psi_{\alpha s} \quad (3)$$

$$V_{\beta r} = i_{\beta r} R_s + \frac{d}{dt} \psi_{\beta s} \quad (4)$$

Ecuaciones de tensión en el marco de referencia (d-q):

$$V_{ds} = i_{ds} R_s + \sigma L_s \frac{di_{ds}}{dt} - \sigma L_s \omega_r i_{qs} \quad (5)$$

$$V_{qs} = i_{qs} R_s + \sigma L_s \frac{di_{qs}}{dt} + \sigma L_s \omega_r i_{ds} + \omega_r \frac{L_o}{L_r} \psi_{dr} \quad (6)$$

Donde ω_r es la velocidad mecánica del rotor.

La expresión del torque es:

$$T_e = \frac{3P}{2} (i_{qs} \lambda_{ds} - i_{ds} \lambda_{qs}) \quad (7)$$

Donde P son los pares de polos.

La potencia viene expresada por:

$$P_{ot} = T_e \omega_r \quad (8)$$

Las ecuaciones de diseño de la maquina en el controlador FOC con referencia a (d-q) son:

$$V_{ds} = i_{ds} R_s + \sigma L_s \frac{di_{ds}}{dt} - \sigma L_s \omega_r i_{qs} + V_{1d} \quad (9)$$

$$V_{qs} = i_{qs} R_s + \sigma L_s \frac{di_{qs}}{dt} + \sigma L_s \omega_r i_{ds} + \omega_r \frac{L_o}{L_r} \psi_{dr} + V_{1q} \quad (10)$$

C. Control de velocidad

El lazo de control (Fig. 7) es un proporcional integral (PI), este controlador tiene dos constantes K es del proporcional (P) y Ki es de la integral (I). Para que el controlador funcione tiene que estar ajustadas las dos constantes, estas constantes varían dependiendo la necesidad de respuesta que requiera nuestro sistema. En esas respuestas se observa el tiempo de establecimiento del sistema, el máximo sobresalto y el error en estado estacionario. La constante K determina que tan rápido es

nuestro sistema y la constante Ki determina el error en estado estacionario. El valor de salida del PI varía en razón proporcional al tiempo en que ha permanecido el error y la magnitud del mismo. Ambos valores se pueden ajustar en Psim.

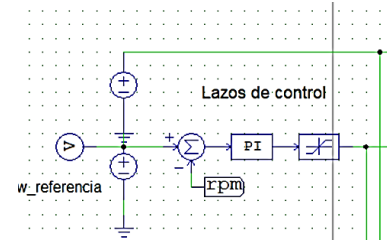


Fig. 7. Lazo de control de velocidad

D. Control de corrientes

Para el control de las corrientes estos se diseñan utilizando el mismo concepto del control PI. En este caso el control PI regula las corrientes Id e Iq (Fig. 8). Este controla las corrientes y el desacople de los ejes d-q. De tal manera que controlamos torque y flujo independientemente.

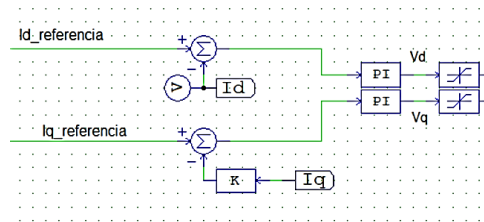


Fig. 8. Control de corrientes

IV. SIMULACIONES Y RESULTADOS

A continuación se muestra los resultados de las simulaciones del controlador en Psim. En la tabla 1 se observa los datos previos a la simulación de nuestro sistema. Se muestra el resultado de la técnica de modulación PWM. Luego se indica los resultados de la implementación del control FOC.

Tabla 1. Datos para la simulación

Motor IM	
Rs	0.2425 Ω
Ls	0.00139 H
Rr	0.855 Ω
Lr	0.00074 H
Lm	0.0041 H
P	2 pares
Inercia	0.002 kg/m ²
Datos adicionales	
Vdc	80 V
Amplitud	10 KHz

Se muestra en la (Fig. 9). Los resultados de la técnica de modulación para la activación de los IGBT del inversor VSI.

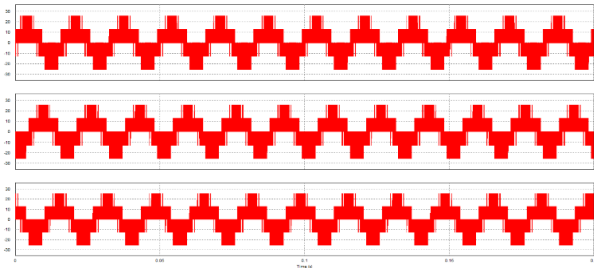
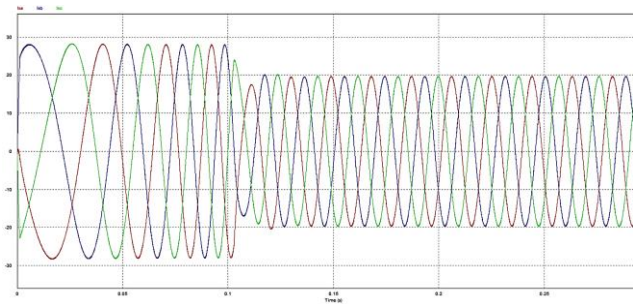


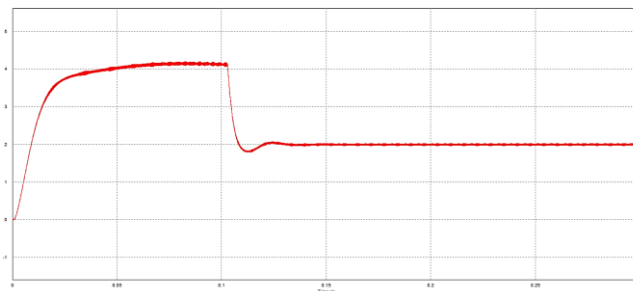
Fig. 9. Simulación de la técnica de modulación

En la (Fig. 10) se indica las corrientes del estator (a), el torque (b) y la velocidad del motor MI (c).

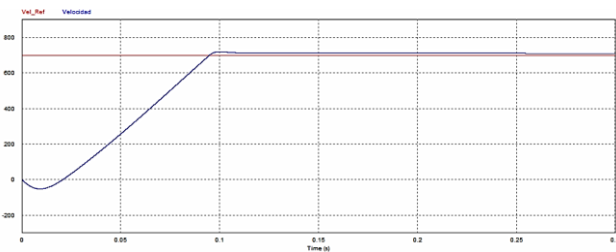
Fig. 10 Resultados de la simulación en Psim



(a) Corrientes del Estator



(b) Torque



(c) Velocidad

V. CIRCUITOS ELECTRICOS LUCES Y AUXILIARES.

Los vehículos eléctricos disponen de una red de alta tensión que se emplea para alimentar el motor eléctrico

trifásico utilizado para la propulsión. El resto de los componentes eléctricos se alimenta de la red de baja tensión a 12V como un vehículo normal. Los circuitos eléctricos por donde circula la corriente están compuestos por los siguientes componentes (Fig. 11): batería, fusibles, conectores, cableado, terminales, interruptores, relés, módulos de gestión [2].

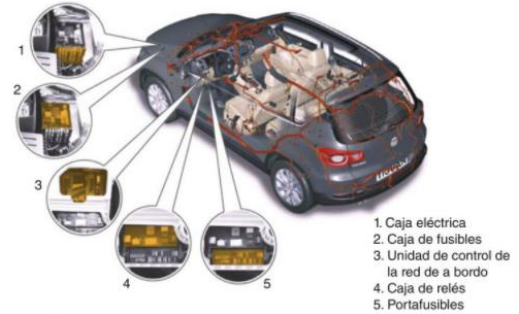


Fig. 11. Componentes eléctricos [10]

A. Circuito eléctrico luces

Nuestro estudio se complementa con el diseño del circuito eléctrico en el software Proteus en el cual consta de un sistema de luces (Fig. 12): direccionales, luces principales, retro y freno.

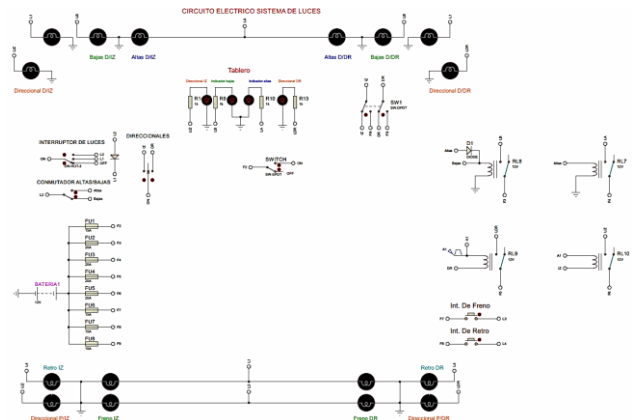


Fig. 12. Circuito eléctrico luces.

B. Circuito eléctrico accesorios

De la misma forma se realizó el esquema eléctrico de un sistema de calefacción y aire acondicionado (Fig. 13). Lo que se refiere al A/C y calefacción se utilizó un chip 555. El chip 555 es utilizado para la activación y desactivación de los componentes auxiliares del vehículo. La activación del relé lo hace mediante la aplicación del touchpad, cuya función es asimilar el táctil de una pantalla, la desactivación de la misma lo realiza por medio del reset del circuito integrado. La activación del relé, permite la alimentación del compresor y electro ventilador por medio de las baterías, de esta manera el gas R134 es comprimido y dirigido al condensador donde es enfriado para posterior ser dirigido al evaporador. El ventilador ubicado en el interior del habitáculo del vehículo, está controlado por 4 chips 555, de manera independiente los 3 chips, controlan las velocidades 1, 2 y 3 a las siguientes revoluciones 151, 275 y 357, el cuarto permite la desactivación del ventilador. De esta manera el ventilador permite ingresar el aire por las paredes del evaporador. Para la salida del aire hacia el habitáculo

consta de cuatro posiciones, la posición se da con la activación del chip 555 por medio del touchpad que permite activar la alimentación para la parte de control del motor. La parte de control de posición del motor está realizada por medio de amplificadores que nos permite variar el voltaje con respecto al voltaje del sensor del motor y a la ganancia del controlador.

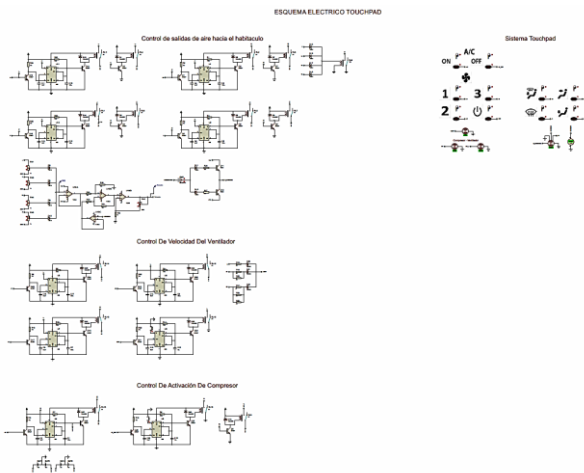


Fig. 13. Circuito eléctrico accesorios

VI. CONCLUSIONES.

Se presenta el diseño de un sistema de tracción para un EV aplicando la técnica de control FOC par un motor de inducción. En los resultados de nuestra simulación se demostró que el diseño es óptimo, ya que, obtenemos un sistema, con corrientes, velocidad y torque estables. Es por eso que concluimos que es un sistema eficiente y óptimo. Con el propósito de que sea construido e implementado en proyectos futuros.

REFERENCIAS

[1] E. Fernandez Palomeque, M. Coello, P. Ochoa, y V. Salamea, «Diseño e Implementación de un Prototipo de Motocicleta Eléctrica, para movilidad de Estudiantes.», 2016.

[2] A. X. Cabrera Paredes y C. R. Calle Pérez, «Selección del motor eléctrico, controlador y batería para el vehículo Formula SAE de la Universidad Politécnica Salesiana», B.S. thesis, 2016.

[3] R. Iglesias *et al.*, «Modelado y simulación de una batería de ion-litio comercial multicelda», *Semin. Anu. Automática Electrónica Ind. E Instrum.*, vol. 19, 2012.

[4] S. Meyer, «Der verwendete Akku - Panasonic NCR18650B», *Battech*, dic. 09, 2017. <https://www.battech.de/2017/07/09/18650-ncr18650b-3-7v-3400mah-akku-test-zyklen-150-erreicht/>.

[5] G. Cuesta Capellan, «Caracterización del power train de un vehiculo electrico de categoria L7 tipo SMART», Master's Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 2017.

[6] «Máquinas eléctrica», *Máquinas eléctricas*. <https://maquinaselectricasblog.wordpress.com/contacto/>.

[7] «Motor de Inducción», *Máquinas eléctricas*. <https://maquinaselectricasblog.wordpress.com/motor-de-induccion/>.

[8] J. P., «Modulación por ancho de pulso (PWM) y modulación vectorial (SVM). Una introducción a las técnicas de modulación», *El Hombre Máquina*, pp. 70-83, 2005.

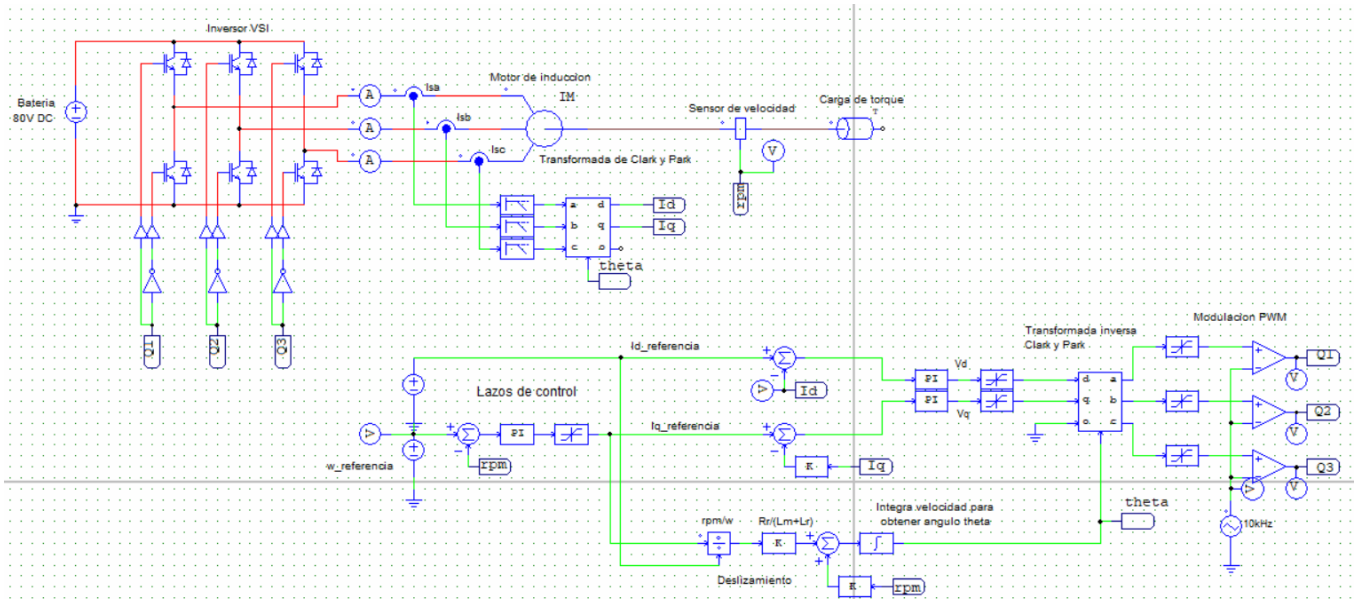
[9] W. M. González Gallegos, «Análisis de las técnicas modernas de modulación aplicadas a los sistemas CD/CA», B.S. thesis, 2012.

[10] J. Dominguez y J. Ferrer, *Circuitos eléctricos auxiliares del vehículo*. Edítex, S. A.

ANEXOS.

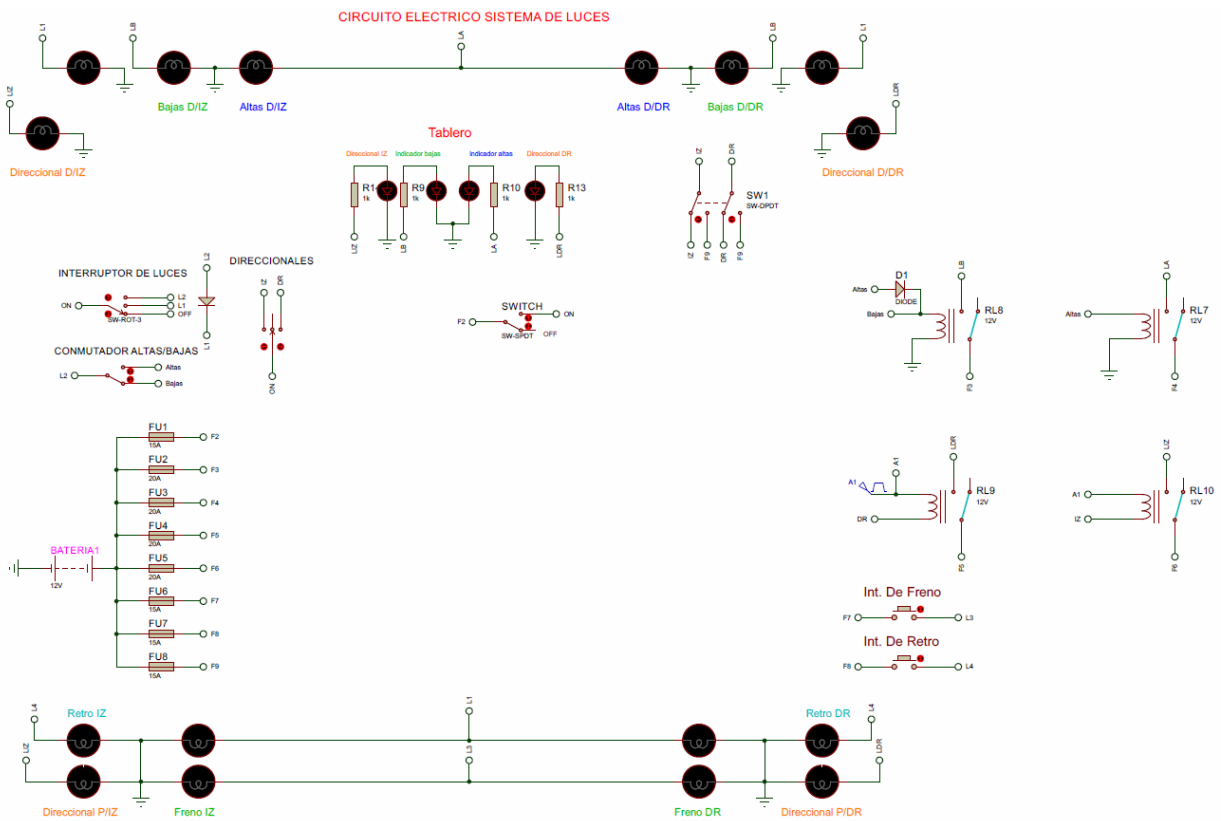
Anexo 1

Control FOC Psim



Anexo 2

Circuito eléctrico luces

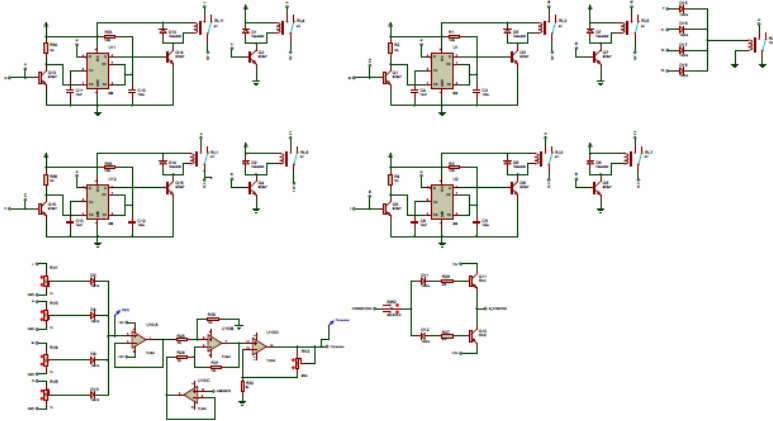


Anexo 3

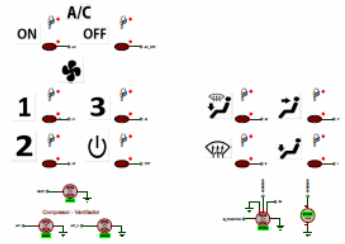
Circuito eléctrico auxiliares

ESQUEMA ELECTRICO TOUCHPAD

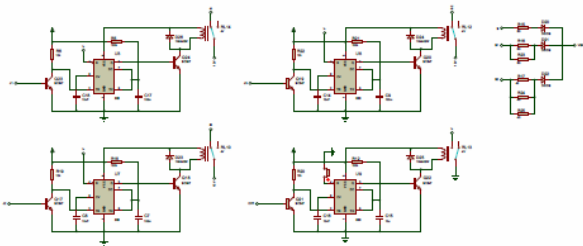
Control de salidas de aire hacia el habitaculo



Sistema Touchpad



Control De Velocidad Del Ventilador



Control De Activación De Compresor

