

# Trabajo de Titulación

"Análisis de eficiencia energética de los sistemas de tracción eléctrica con tracción simple y con motor en rueda".

Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz

**Estudiante:** 

Jamil Sebastián Fernández Herrera.

Director de Tesis: Efrén Esteban Fernández Palomeque.

Junio 2021

# ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS SISTEMAS DE TRACCIÓN ELÉCTRICA CON TRACCIÓN SIMPLE Y CON MOTOR EN RUEDA.

# RESUMEN

*Resumen*— El presente estudio determinó mediante simulación, la eficiencia energética de la configuración interna de los sistemas de tracción eléctrica: tracción simple (caso 1) y con motor en rueda (caso 2), utilizando un motor síncrono de imanes permanentes (PMSM) con un control orientado por campo (FOC). El estudio propone un análisis en la topología VSI (Voltage Source Inverter) donde se explica el diseño de cada configuración y se presenta un análisis de eficiencia energética tomando en cuenta las pérdidas de potencia en cada configuración mediante la simulación en PSIM. Finalmente, los resultados de eficiencia del 91% para el caso 1 y 93% para el caso 2 obtenidos en PSIM se ponen a prueba en un modelo de sistema de tracción del software ADVISOR en el ciclo de conducción ECE para el caso 1 y en el ciclo UDDS para el caso 2. Mediante esta validación de los sistemas propuestos se obtuvo un porcentaje de eficiencia del 91% para el caso 1 y 93% para el caso 2.

Palabras Clave - Vehículo eléctrico, Control FOC, Eficiencia energética, Simulación, PSIM, ADVISOR.

Ing. Robert Rockwood Director de la escuela Ingeniería Mecánica Automotriz

Ing. Efrén Fernández PhD Director del trabajo de titulación

Sebastián Fernández Autor

# ENERGY EFFICIENCY ANALYSIS OF THE ELECTRIC TRACTION SYSTEMS WITH SIMPLE TRACTION DRIVE AND IN-WHEEL MOTOR.

## ABSTRACT

Abstract - The present study determined by simulation, the energy efficiency of the internal configuration of the electric traction systems: simple traction (case 1) and in-wheel system (case 2), using a permanent magnet synchronous machine (PMSM) with a oriented control field (FOC). The study proposes an analysis in the VSI (Voltage Source Inverter) topology where the design of each configuration is explained and an energy efficiency analysis is presented taking into account the power losses in each configuration through simulation in PSIM. Finally, the efficiency results of 91% for case 1 and 93% for case 2 obtained in PSIM are tested in a traction system model of the ADVISOR software in the ECE driving cycle for case 1 and in the UDDS cycle for case 2. Through this validation of the proposed systems, an efficiency percentage of 91% was obtained for case 1 and 93% for case 2.

Key Words- Electric Vehicle, Control FOC, energy efficiency, Simulation, PSIM, ADVISOR.

Ing. Robert Rockwood Headmaster

Ing. Efrén Fernández PhD Thesis Director

Translated by

Sebastián Fernández Author

# ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS SISTEMAS DE TRACCIÓN ELÉCTRICA CON TRACCIÓN SIMPLE Y CON MOTOR EN RUEDA.

Sebastián Fernández Universidad del Azuay Escuela de Mecánica Automotriz Cuenca, Ecuador sebastianfh@es.uazuay.edu.ec

Resumen- El presente estudio determinó mediante simulación, la eficiencia energética de la configuración interna de los sistemas de tracción eléctrica: tracción simple (caso 1) y con motor en rueda (caso 2), utilizando un motor síncrono de imanes permanentes (PMSM) con un control orientado por campo (FOC). El estudio propone un análisis en la topología VSI (Voltage Source Inverter) donde se explica el diseño de cada configuración y se presenta un análisis de eficiencia energética tomando en cuenta las pérdidas de potencia en cada configuración mediante la simulación en PSIM. Finalmente, los resultados de eficiencia del 91% para el caso 1 y 93% para el caso 2 obtenidos en PSIM se ponen a prueba en un modelo de sistema de tracción del software ADVISOR en el ciclo de conducción ECE para el caso 1 y en el ciclo UDDS para el caso 2. Mediante esta validación de los sistemas propuestos se obtuvo un porcentaje de eficiencia del 91% para el caso 1 y 93% para el caso 2.

Palabras Clave - Vehículo eléctrico, Control FOC, Eficiencia energética, Simulación, PSIM, ADVISOR.

*Abstract* - The present study determined by simulation, the energy efficiency of the internal configuration of the electric traction systems: simple traction (case 1) and in-wheel system (case 2), using a permanent magnet synchronous machine (PMSM) with a control field oriented (FOC). The study proposes an analysis in the VSI (Voltage Source Inverter) topology where the design of each configuration is explained and an energy efficiency analysis is presented taking into account the power losses in each configuration through simulation in PSIM. Finally, the efficiency results of 91% for case 1 and 93% for case 2 obtained in PSIM are tested in a traction system model of the ADVISOR software in the ECE driving cycle for case 1 and in the UDDS cycle for case 2. Through this validation of the proposed systems, an efficiency percentage of 91% was obtained for case 1 and 93% for case 2.

Key Words— Electric Vehicle, Control FOC, energy efficiency, Simulation, PSIM, ADVISOR.

#### I. INTRODUCCIÓN

Los vehículos eléctricos EV en la actualidad han superado las expectativas a nivel mundial. Varios fabricantes enfocan sus estudios en hacer sus vehículos más eficientes, considerando mejoras en los sistemas de baterías y sistemas de inversores de potencia. La tecnología en las baterías que garantiza una mayor eficiencia energética, densidad energética, autonomía, sin efecto memoria, entre otras características son las baterías de Iones de Litio [1]. En el bloque de potencia, estudios comprueban que la eficiencia Efrén Fernández Universidad del Azuay Escuela de Mecánica Automotriz Cuenca, Ecuador efernandez@uazuay.edu.ec

energética de un inversor trifásico pueden llegar hasta el 96.74% utilizando elementos semiconductores de carburo de silicio (SiC) [2].

Al igual que en [3] al poner a prueba el sistema de tracción eléctrica en el ciclo de conducción UDDS al usar elementos de Carburo de Silicio las pérdidas promedio se reducen en un factor de 4 comparadas a los elementos semiconductores de Silicio convencionales. En [4] se realiza un análisis de pérdidas de potencia en dos tipos de topologías, con resultados que demuestran que el bloque donde se puede optimizar tamaño, peso, entre otras características es bloque del inversor. Al tener inversores más pequeños, el sistema de refrigeración del inversor es menos robusto.

Dentro del estudio de los sistemas de tracción eléctrica existes varias configuraciones, entre ellas: configuración para motocicletas eléctricas, configuración para un vehículo híbrido, configuración para un vehículo eléctrico con celda de combustible, configuración con motor en rueda, configuración con sistema de tracción simple o convencional (un solo motor eléctrico). La configuración con tracción simple (Fig.1) es la configuración con mayor presencia en el mercado; el motor se encarga de suministrar la tracción en el vehículo (delantera o posterior), el mismo que es controlado por un solo inversor y depende del fabricante la disposición y material de la batería.



Fig. 1 Estructura interna Audi A3 e-tron tracción delantera Fuente: AUDI.com

La configuración con motor en las ruedas (Fig. 2) posee en su estructura interna un motor en cada rueda y para cada motor un convertidor DC/AC, adicional a esto el sistema incorpora un convertidor DC/DC para las cargas auxiliares (sistemas de iluminación, confort, aire acondicionado, entre otros) que trabajan a 12V, 24V o 48V.



Fig. 2 Estructura interna de un vehículo con sistema de tracción In-Wheel Fuente: AUDI.com

En este trabajo se presenta un análisis para determinar la eficiencia energética de dos configuraciones de sistemas de tracción eléctrica: configuración con tracción simple (caso 1) y configuración con motor en ruedas (caso 2) que es utilizada aplicaciones de autobuses eléctricos. en Ambas configuraciones serán simuladas en PSIM para determinar las pérdidas en el bloque de potencia (inversor), el diseño del control se lo va a realizar en Matlab-Simulink finalmente se validarán los resultados en ADVISOR utilizando un ciclo de conducción. El documento consta de las siguientes secciones: en la sección II se presenta una revisión de las topologías de inversores en los sistemas de tracción eléctrica. En la sección III se detalla el diseño del control FOC para las configuraciones seleccionadas en Matlab-Simulink. En la sección IV se presentan el análisis de pérdidas en el bloque de potencia para cada configuración realizadas en PSIM. En la sección V se muestran los resultados obtenidos de las simulaciones desarrolladas en ADVISOR. Finalmente, en la sección VI se presenta un análisis de los diferentes resultados obtenidos en las simulaciones.

## II. TOPOLOGÍAS DE CONVERTIDORES EN SISTEMAS DE TRACCIÓN ELÉCTRICA

#### A. Topologías en tracción eléctrica

Para los sistemas de tracción eléctrica existen varios tipos de topologías de inversores, siendo los principales:

VSI: La topología con fuente de Voltaje (Fig.3a) utiliza un condensador de gran tamaño en el bus de corriente continua con el fin de filtrar la corriente de entrada y mantener un nivel de tensión constante [5]. Es la topología de convertidor más utilizada en los sistemas de tracción eléctrica debido a que la principal fuente de entrega de energía es una batería de alta tensión.

**CSI**: La topología con fuente de Corriente (Fig.3b), tiene un inductor en su estructura con el fin de almacenar energía, no es muy utilizada en sistemas de tracción eléctrica debido a que no puede haber regeneración de energía.

**ZSI**: Es una topología emergente para inversores de potencia, debido a su capacidad de impulso o elevación, su principal inconveniente es el control ya que maneja elevadas tensiones y corrientes [6]. Además, tiene una relación de impulso limitada y menos fiabilidad en comparación con las otras topologías. Debido a estas desventajas, esta topología todavía está bajo investigación y desarrollo.



Fig. 3 Topologías, a) VSI, b) CSI.

La topología propuesta para el análisis es la VSI, nos suministra un voltaje y corriente trifásica para el control del motor, donde la amplitud, fase y frecuencia de la tensión están siempre controladas [7].

#### III. DISEÑO DEL CONTROL FOC

El sistema de control que le da forma al convertidor de potencia y motor eléctrico es el *Field Oriented Control* (FOC) por sus siglas en inglés, este algoritmo permite controlar la velocidad de un Motor Síncrono de Imán Permanente (PMSM) [8]. El control FOC se basa en la transformación del sistema trifásico estacionario constituido por las corrientes del estator IA, IB e IC, en un sistema bifásico rotatorio que se representa en un plano imaginario d y q (Fig.5), que gira a la frecuencia síncrona. El eje q es el eje del par del motor y es a lo largo del cual el campo magnético se debe desarrollar. Mientras que el eje d se refiere al eje directo del flujo del rotor [9]. En el control FOC para la topología VSI (Fig.6) la corriente y el voltaje vectoriales se calculan midiendo la velocidad del rotor, flujo de corriente y par.



Fig. 5 Transformaciones y ejes de referencia.



Fig. 6 Esquema general del control FOC. Fuente: Infineon.com

El inversor convierte el voltaje deseado en el dominio del tiempo y se los aplica al motor. Las salidas de los controladores PI se les aplica la transformada inversa de Park y Clarke y éste genera los voltajes de fase equivalentes. La corriente que demanda el motor se mide solo en dos fases, por ser un sistema balanceado la tercera se estima en función de las dos corrientes [10]. A las corrientes se les aplica las transformadas de Clarke y Park las mismas que se convertirán en entradas de los controladores PI (Fig.7).



Fig. 7 Transformaciones que se desarrollan dentro del control FOC. Fuente: Infineon.com

De este modo se consigue desacoplar las componentes del flujo de par, pudiendo controlar el motor como si fuera un motor DC. Las ventajas de usar un control FOC son:

- Mejor regulación de par a bajas velocidades.
- Mayor precisión en la regulación de velocidad.
- Control independiente de par y flujo.
- Respuesta dinámica rápida y buen rendimiento en estado estable y transitorio.

## A. Diseño del control FOC caso 1

El control FOC está diseñado para un motor de imanes permanentes con las características que se muestran en la tabla 1 y los parámetros de simulación se muestran en la tabla 2. Se utilizó este motor debido que, al tener un número fijo de polos, se mantiene la velocidad del motor constante con cualquier tipo de carga hasta llegar a la potencia máxima; permitiendo que el control del mismo sea más preciso y estable en comparación con otros tipos de motores eléctricos.

TABLA 1. PARÁMETROS DEL MOTOR PMSM

Parámetros del Motor				
<b>Resistencia del Estator</b>	0.0062	Ω		
Inductancia Ld	6.8e-5	Н		
Inductancia Lq	1.0e-3	Н		
Flujo constante de motor	0.00922701	V/rad/s		
Momento de inercia	0.00621217	Kgm2		
Número de polos	4			

TABLA 2. PARÁMETROS DE SIMULACIÓN

Parámetros de Simulación				
Voltaje Fuente 80 V				
Frecuencia	10	KHz		

#### Obtención de las funciones de transferencia

Para obtener las funciones de transferencia del control de corriente y velocidad se utilizó la herramienta *Linear Analysis* de la aplicación *Control Design* de Simulink.

Función de transferencia de velocidad ω

\_\_\_\_\_

Función de transferencia de corriente Id

s^7 + 1.72e4 s^6 + 3.569e7 s^5 + 2.25e9 s^4 + 6.515e9 s^3 + 6.441e9 s^2 + 2.139e9 s + 0.001403

Función de transferencia de corriente Iq

y3:----s^7 + 3.779e4 s^6 + 6.085e8 s^5 + 1.292e12 s^4 + 5.588e14 s^3 + 4.091e16s^2 + 4.035e16 s - 1.005e5

Obtención de las constantes kp y ki

Una vez obtenidas las funciones de transferencia, y realizado el suavizado de las curvas mediante la herramienta *PID Tuning* de Simulink, se obtienen los valores de las constantes kp y ki para los controles de velocidad y corrientes Id e Iq que se muestran en la tabla 3

TABLA 3. CONSTANTES KP Y KI

Constante	kp	ki
Velocidad	1.9	2.5
Corriente Iq	2.49	528.12
Corriente Id	0.02	2.41

Con los valores de kp y ki se puede finalmente simular nuestro circuito en Matlab, obteniendo como resultado de todo este proceso, el control para nuestro motor con las respuestas de: torque (Fig.10), corrientes de alimentación al motor (Fig.11) y velocidad del motor (Fig.12).





Fig. 11 Salidas controladas de corriente de alimentación.



Fig. 12 Salida controlada de velocidad del motor.

#### B. Diseño del control FOC caso 2

El control FOC está diseñado para cuatro motores de imanes permanentes debido a las características mencionadas en el caso 1. Los parámetros de simulación se muestran en la tabla 5.

TABLA 5. PARÁMETROS DE SIMULACIÓN

Parámetros de Simulación				
Voltaje Fuente 600 V				
Frecuencia	10	KHz		

#### Obtención de las funciones de transferencia

Para obtener las funciones de transferencia del control de corriente y velocidad se utilizó la herramienta *Linear Analysis* de la aplicación *Control Design* de Simulink.

Función de transferencia de velocidad ω

Función de transferencia de corriente Id

$$\begin{array}{r} 813.3 \text{ s}^{6} + 3.713 \text{ e5 s}^{5} + 1.029 \text{ e8 s}^{4} + 1.478 \text{ e10s}^{3} \\ + 4.057 \text{ e11 s}^{2} + 5.595 \text{ e11 s} + 3.049 \text{ e-5} \\ \text{y2:} \\ \hline \text{s}^{7} + 1270 \text{ s}^{6} + 4.978 \text{ e5 s}^{5} + 1.211 \text{ e8 s}^{4} \\ + 1.528 \text{ e10 s}^{3} + 4.064 \text{ e11 s}^{2} + 5.595 \text{ e11 s} + 0.000826 \end{array}$$

Función de transferencia de corriente Iq

s^7 + 1270 s^6 + 4.978e5 s^5 + 1.211e8 s^4 + 1.528e10 s^3 + 4.064e11 s^2 + 5.595e11 s + 0.000826 Obtención de las constantes kp y ki

Una vez obtenidas las funciones de transferencia, y realizado el suavizado de las curvas mediante la herramienta *PID Tuning* de Simulink, se obtienen los valores de las constantes kp y ki para los controles de velocidad y corrientes Id e Iq que se muestran en la tabla 6

TABLA 6	<b>CONSTANTES</b>	KP y KI
---------	-------------------	---------

Constante	kp	ki
Velocidad	2	2.8
Corriente Iq	5.36	1138.67
Corriente Id	0.016	3.47

Con los valores de kp y ki se puede finalmente simular nuestro circuito en Matlab, obteniendo como resultado de todo este proceso, el control para nuestro motor con las respuestas de: torque (Fig.13), corrientes de alimentación al motor (Fig.14) y de velocidad del motor (Fig.15).





Fig. 15 Salida controlada de velocidad del motor.

#### IV. ANÁLISIS DE PÉRDIDAS

Las pérdidas de potencia que se generan en la topología VSI son pérdidas por conducción y pérdidas por conmutación [7], [8]. Las pérdidas de potencia por conducción en el Mosfet y en el Diodo se pueden calcular mediante las siguientes expresiones (1) y (2) respectivamente [8]: Mosfet:

$$Pcon = R_{ON} \times i^2 \times \left(\frac{1}{8} + \frac{mcos\varphi}{3\pi}\right) \tag{1}$$

Diodo:

$$Pcon = \frac{1}{2} (V_D \times \frac{i}{\pi} \times R_{ON} \frac{i^2}{4}) - mcos\varphi V_D \frac{1}{8} + R_{ON} \frac{i}{\frac{2}{3}\pi}$$
(2)

Dónde: i es la corriente pico,  $R_{ON}$  es la resistencia de encendido,  $V_D$  es la caída de tensión en el diodo, m es el índice de modulación y cos $\varphi$  es el factor de potencia.

Las pérdidas de potencia por conmutación en el Mosfet y en el Diodo se pueden calcular mediante las expresiones (3) y (4) respectivamente [8].

Mosfet:

$$Psw = f_{sw} \times (E_{ON} + E_{OFF}) \times \frac{v \times i}{v_{Nom} \times i_{Nom}}$$
(3)

Diodo:

$$P_{SW} = f_{SW} \times E_{rr} \times \frac{V \times i}{V_{Nom} \times i_{Nom}}$$
(4)

Dónde:  $E_{ON}$  son las pérdidas de conmutación para el encendido del Mosfet y  $E_{OFF}$  son las pérdidas de conmutación para el apagado del Mosfet.

Un método para determinar las pérdidas de potencia en esta topología, es la simulación. Donde las pérdidas tanto de conducción como de conmutación se representan por gráficas. En la tabla 7 se presentan las características del dispositivo IGBT utilizado para las simulaciones en PSIM. Se utilizó este elemento semiconductor debido a que ajusta a nuestros casos de estudio, además que es bastante utilizado por fabricantes de inversores de potencia.

TABLA 7. PARÁMETROS IGBT				
	Valores			
VCE	1200	V		
IC	1000	Α		
Tstg MAX	125	°C		
PC	5800	W		
Número de parte	CM1000HA-24			

#### A. Pérdidas de potencia caso 1



Fig. 16 Pérdidas totales del sistema de tracción convencional a 10KHz y 80V, rms=19.19W

Este valor nos representa un 8.3% de la potencia total de salida del sistema, dándonos finalmente una eficiencia total de 92.3% de todo el sistema del inversor.

#### B. Pérdidas de potencia caso 2



Fig. 17 Pérdidas totales del sistema de tracción In-Wheel a 10KHz y 600V, rms=71.57W

Este valor nos representa un 4.3% de la potencia total de salida del sistema, dándonos finalmente una eficiencia total de 95.8% de todo el sistema del inversor.

# V. ADVISOR

El ciclo de conducción al que se va a poner a prueba ambas configuraciones es el *Urban Dynamometer Driving Cycle (UDDS)*.

#### A. Simulación caso 1

TABLA 8. PARÁMETROS DE SIMULACIÓN EN ADVISOR CASO 1

Configuración	EV	
Tipo de Vehículo	Urbano	
Batería	Plomo 80 V	
Motor	PMSM 5 KW	
Transmisión	A/T	
Regeneración	No	
Tracción	Delantera	
Peso Vehículo	1050 kg	
Ciclo de conducción	ECE o UDC	



Fig. 18 Resultados de eficiencia de la simulación Caso 1

#### B. Simulación caso 2

TABLA 9	. PARÁMETROS	DE SIMULA	CIÓN EN A	DVISOR CAS	o 2
---------	--------------	-----------	-----------	------------	-----

Configuración	EV	
Tipo de Vehículo	Autobús	
Batería	Plomo 300 V	
Motor	PMSM 150 KW x 4	
Transmisión	A/T	
Regeneración	Si	
Tracción	Cuatro Ruedas	
Peso Vehículo	12000 kg	
Ciclo de conducción	UDDS	



Fig. 19 Resultados de eficiencia de la simulación Caso 2

#### VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de las simulaciones obtenidas en el programa PSIM y las comparamos con los resultados obtenidos en ADVISOR tabla 10.

TABLA 10. RESULTADOS DE EFICIENCIA PROMEDIO

	PSIM		PSIM ADVI		ISOR
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	
Eficiencia promedio [%]	92,3	95,8	91	93	

En la figura 20, se observa la eficiencia energética en tiempo real durante el recorrido del ciclo de conducción de la parte del motor y controlador del sistema de tracción eléctrica convencional.



Fig. 20 Gráfica de eficiencia Motor/Controlador Caso 1

En la figura 21, se observa la eficiencia energética en tiempo real durante el recorrido del ciclo de conducción de la

parte del motor y controlador del sistema de tracción eléctrica con motor en las ruedas.



Fig. 21 Gráfica de eficiencia Motor/Controlador Caso 2

#### VII. CONCLUSIONES

Se analizó cada configuración y dividimos en dos casos de estudio: configuración con tracción simple (Caso 1) y configuración con motor en ruedas (Caso 2).

Se simularon ambas configuraciones en Matlab/Simulink, PSIM y finalmente en ADVISOR, con el fin de obtener los resultados de pérdidas de potencia y poder calcular la eficiencia energética de cada configuración. Al no poder poner a prueba las configuraciones en un ciclo de conducción real en el software PSIM se utilizó ADVISOR.

Al obtener las pérdidas de potencia en PSIM tanto para en el caso 1 como para el caso 2, se llegó a obtener la eficiencia energética real de cada configuración, un total de 92.3% para el caso 1 y un total del 95.8% para el caso 2.

Con los resultados de eficiencia de cada configuración llevamos nuestros modelos al software ADVISOR para ponerlos a prueba en los ciclos de conducción ECE y UDDS para el caso 1 y 2 respectivamente. Al simular obtuvimos que para el caso 1 la eficiencia energética fue del 91% y para el caso 2 del 92% estos valores validan nuestros modelos simulados tanto en Matlab/Simulink como en PSIM.

#### REFERENCIAS

- [1] Ramachandran, R., Ganeshaperumal, D., & Subathra, B. (2019). Parameter Estimation of Battery Pack in EV using Extended Kalman Filters. 2019 International Conference on Clean Energy and Energy Efficient Electronics Circuit for Sustainable Development, INCCES 2019. https://doi.org/10.1109/INCCES47820.2019.9167740
- [2] S. Ozdemir, F. Acar, and U. S. Selamogullari, "Comparison of silicon carbide MOSFET and IGBT based electric vehicle traction inverters," no. 113, pp. 1–4, 2016, doi: 10.1109/iceei.2015.7387215.
- [3] H. Kim, H. Chen, J. Zhu, and D. Maksimovi, "Impact of 1 . 2kV SiC-MOSFET EV Traction Inverter On Urban Driving," pp. 78–83, 2016.
- [4] Fernandez, E., & Coello, M. (2018). Dispositivos SiC en Sistemas de Tracción Eléctrica, Análisis de Eficiencia en Inversores Trifásicos. 2018 IEEE ANDESCON, ANDESCON 2018 - Conference Proceedings. https://doi.org/10.1109/ANDESCON.2018.8564693
- [5] Galindo, D. (2019). Control FOC de convertidor de energía VSI-SiC para un sistema de tracción eléctrica.
- [6] O. Hegazy, R. Barrero, J. Van Mierlo, P. Lataire, N. Omar, and T. Coosemans, "An Advanced Power Electronics Interface for Electric Vehicles Applications," vol. 28, no. 12, pp. 5508–5521, 2013.
- [7] García, F. (2014). Análisis de las configuraciones de electrónica de potencia empleadas en los sistemas de tracción de vehículos eléctricos. Universidad De Valladolid, 137.
- [8] Fernandez, E., Paredes, A., Romeral, L., & Sala, V. (2016). Analysis of power converters with devices of sic for applications in electric traction systems. Proceedings - 2016 IEEE International Power

lectronics and Motion Control Conference, PEMC 2016, 267–272. https://doi.org/10.1109/EPEPEMC.2016.7752009

- [9] CIFRE GREGORIO, S. (2020). Control Foc De Motores Bldc. 131.
- [10] Bevilaqua, M. A., Nied, A., & De Oliveira, J. (2014). Labview FPGA FOC implementation for synchronous Permanent Magnet Motor Speed Control. 2014 11th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications, IEEE INDUSCON 2014 - Electronic Proceedings. https://doi.org/10.1109/INDUSCON.2014.7059427