

# Fundamentos de vehículos eléctricos y estrategias de control para motores: Enfoques tradicionales

Jesús Alfonso  
Medrano Hermosillo  
Abraham E.  
Rodríguez Mata.  
Víctor Alejandro  
González Huitron.

Recibido:  
1 de junio de 2025  
Aceptado:  
25 de junio de 2025

## Resumen

La transición hacia una movilidad sustentable no sólo implica el uso de nuevas fuentes de energía, sino también la optimización de los sistemas que impulsan los vehículos eléctricos. En este contexto, el control de motores eléctricos juega un papel fundamental, ya que permite un manejo más eficiente de la energía, una respuesta dinámica precisa y una reducción significativa en el desgaste de los componentes. Este artículo presenta de forma accesible los componentes claves de un vehículo eléctrico, además de cómo funcionan los sistemas de control en los motores eléctricos, desde los conceptos básicos hasta sus aplicaciones en vehículos modernos con inteligencia artificial. Las palabras clave de este estudio: Movilidad sustentable, control de motores eléctricos, eficiencia energética, tecnología vehicular.

## 1.- Introducción

La demanda global por transporte más eficiente y sostenible está transformando la industria automotriz. La transición de los motores de combustión interna a los vehículos eléctricos (VE) ya no es sólo una alternativa, sino una necesidad estratégica ante los desafíos ambientales y energéticos (Lopes et al., 2009). En México, Sosa et al. (2025) señalan que la Zona Metropolitana del Valle de México enfrenta un deterioro en la calidad del aire por las emisiones de vehículos e industrias. Su estudio proyecta las emisiones contaminantes derivadas del incremento de VEs para 2026–2050, destacando CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, VOC, PM<sub>10</sub>, NH<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub>. Así, los VEs controlados electrónicamente son clave para mitigar gases de efecto invernadero y la dependencia de combustibles fósiles, mejorando la calidad del aire y ayudando a combatir el cambio climático (Farajnejhad et al., 2024). Conscientes de la importancia de la movilidad sostenible, México ha visto un aumento en las ventas de vehículos eléctricos en los últimos años. Como se observa en la Figura 1, las ventas anuales han crecido rápidamente, reflejando la adopción creciente por parte de la población y la respuesta del mercado ante las demandas medioambientales (INEGI, 2024).

Los motores DC, de inducción (IM), sin escobillas (BLDC) y síncronos de imanes permanentes (PMSM) son ampliamente usados en el sector automotriz por su eficiencia, densidad de potencia y respuesta dinámica (Yildirim et al., 2014). Para optimizar su desempeño, se requieren técnicas de control avanzadas que regulen par, velocidad y posición en tiempo real. Algoritmos como FOC y DTC, junto con electrónica de potencia de alta frecuencia, han mejorado su eficiencia y dinámica (Vas, 1998; Ehsani et al., 2018). También se incorporan técnicas de inteligencia artificial (Qiu et al., 2024), sensores inteligentes y plataformas digitales para funciones como el frenado regenerativo. Dominar estas estrategias es clave para el desarrollo de los vehículos eléctricos.

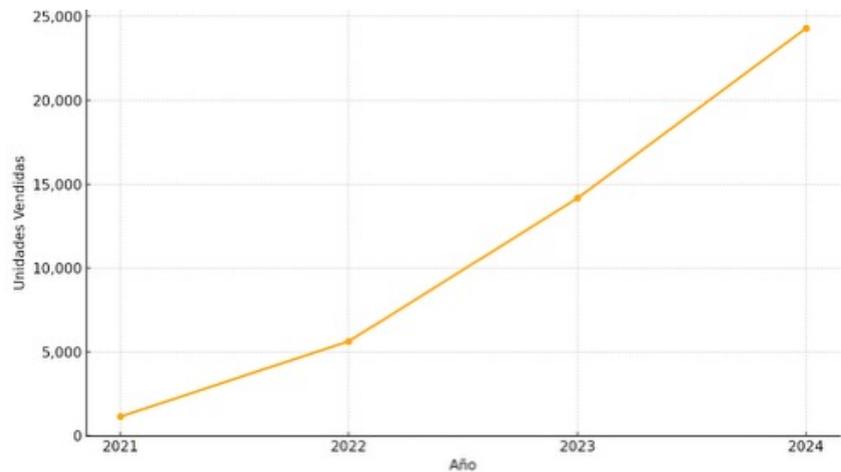


Figura 1. Ventas anuales de vehículos eléctricos en México (INEGI, 2025)

## 2.- Componentes de un vehículo eléctrico

Antes de abordar los controladores en vehículos eléctricos, es clave conocer sus principales componentes: motor eléctrico, cargador a bordo (OBC), sistema de baterías con BMS, convertidor DC/DC e inversor (Valente et al., 2021). Cada uno tiene un papel fundamental en el tren motriz eléctrico, y su correcta integración garantiza un funcionamiento seguro y eficiente. Por ejemplo, en la Figura 2 se aprecian los diferentes elementos de un VE, donde destacan el motor, el inversor, el cargador a bordo, etc.

A continuación, se presenta una descripción de los componentes generales previamente mencionados (Lundmark et al., 2013):

### Motor eléctrico

- Convierte la energía eléctrica en energía mecánica para propulsar las ruedas del vehículo.
- Su funcionamiento puede basarse en diferentes tecnologías como motores de inducción, sin escobillas (BLDC) o síncronos de imanes permanentes (PMSM).
- Funciona en coordinación con un controlador que regula su velocidad, par y dirección de giro.

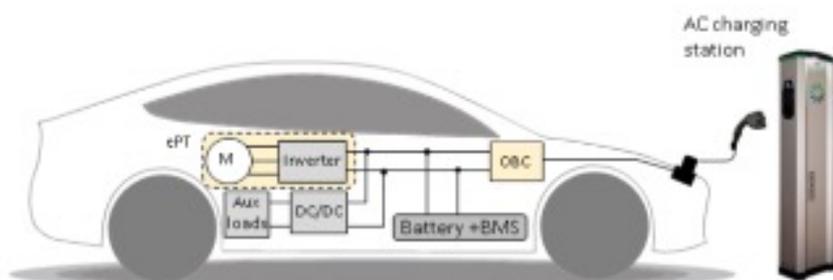


Figura 2 Diagrama de componentes básicos en un vehículo eléctrico (Valente et al., 2021)

**Cargador a bordo (On-Board Charger, OBC)**

- Se encarga de convertir la corriente alterna (CA) de la red eléctrica en corriente directa (CD) para cargar la batería del vehículo.
- Se encuentra integrado dentro del automóvil, de ahí su nombre.
- Puede incorporar funciones de carga inteligente, regulando voltaje y corriente según el estado de la batería.

**Sistema de baterías y unidad de gestión (Battery Management System, BMS)**

- Almacena la energía eléctrica utilizada por el motor y otros sistemas del vehículo.
- El BMS supervisa parámetros críticos como temperatura, voltaje, corriente y estado de carga (SoC).
- Protege la batería contra condiciones de operación inseguras y prolonga su vida útil mediante estrategias de balanceo de celdas.

**Convertidor de energía DC/DC**

- Transforma el voltaje de la batería principal en un nivel más bajo (típicamente 12V) para alimentar accesorios del vehículo como luces, sistema multimedia o controladores auxiliares.
- Asegura una distribución estable de energía hacia los sistemas de baja potencia.

**Controlador del motor**

- Regula el funcionamiento del motor eléctrico convirtiendo la corriente directa (CD) de la batería en corriente alterna (CA), modulada en frecuencia y amplitud.
- Ejecuta algoritmos de control avanzados para garantizar que el motor siga con precisión las órdenes de velocidad y par requeridas por el sistema.
- Monitorea en tiempo real variables como la velocidad del rotor y la posición para ajustar dinámicamente el desempeño del motor.

**3.- Motores utilizados en vehículos eléctricos**

Identificados los componentes de un vehículo eléctrico, destaca la importancia del motor eléctrico. Por ello, esta sección se centra en describir los motores más relevantes, sus características, ventajas y aplicaciones.

**3.1. Motor de corriente directa**

El motor de corriente continua (DC), el cual se observa en la Figura 3, es uno de los más antiguos en la industria eléctrica, convierte la energía eléctrica en mecánica mediante la interacción entre un campo magnético y una corriente en un conduc-

tor móvil. Su versión tradicional usa escobillas y un conmutador para invertir la polaridad del rotor y mantener el giro. Aunque su diseño es sencillo y su control directo (velocidad y par regulados con el voltaje), el desgaste de las escobillas requiere mantenimiento constante.

Actualmente su uso se limita a aplicaciones de baja potencia, como scooters económicos y sistemas auxiliares de baja potencia. En vehículos eléctricos modernos, su adopción es poco viable debido a su alto mantenimiento y limitada eficiencia.

### 3.2. Motor de inducción

El motor de inducción (IM) o también llamado motor asíncrono que se aprecia en la Figura 4, funciona sin escobillas ni conmutadores, lo que reduce significativamente el mantenimiento requerido. Su operación se basa en la inducción electromagnética: al aplicar corriente alterna al estator, se genera un campo magnético giratorio que induce corriente en el rotor, produciendo el par mecánico necesario para el movimiento. Gracias a su diseño robusto y a la ausencia de contacto eléctrico directo entre el estator y el rotor, ofrece alta fiabilidad, bajo costo y durabilidad (Bitar et al., 2015).

Existen versiones monofásicas de estos motores que operan con una sola fase de corriente alterna y necesitan condensadores para el arranque y una bobina auxiliar para iniciar el giro. Aunque son más económicos, su eficiencia es baja, especialmente en aplicaciones como los vehículos eléctricos donde la relación torque-consumo energético es clave.

### 3.3. Motor BLDC

El motor de corriente continua sin escobillas (BLDC), también denominado motor conmutado electrónicamente, opera sin escobillas en el rotor, ya que la conmutación se realiza de manera electrónica en posiciones específicas del rotor. Se trata de un motor síncrono de imán permanente cuya forma de onda de la fuerza contraelectromotriz le permite comportarse de manera similar a un motor de corriente continua con escobillas. Sin embargo, a diferencia de estos últimos, un motor BLDC no puede funcionar directamente con una fuente de tensión de corriente continua, aunque su principio operativo es análogo. Un ejemplo de un motor se ve en la Figura 5, para más información ver (Yedamale et al., 2003).

#### 3.3.1 ¿Cómo se controla un motor BLDC?

Para controlar un motor BLDC, se emplea un circuito de conmutación electrónica o controlador BLDC que activa las bobinas del estator. Para ello, es necesario medir la posición del rotor. A continuación, se presenta cómo se realiza este proceso y la gestión de pulsos en las bobinas (Mohanraj et al., 2022).



Figura 3 Motor eléctrico de corriente directa (Fitzgerald, A. E., & Kingsley, C., 2013)



Figura 4 Motor asíncrono trifásico (Henzel Motor, 2025)



Figura 5 Motor BLDC convencional

Para una conmutación correcta de las fases, es esencial conocer la posición del rotor, lo cual se puede hacer mediante dos métodos:

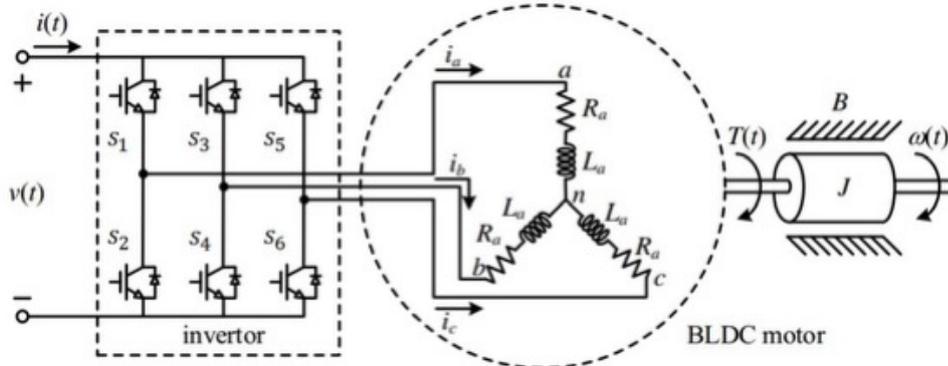
**Sensores de efecto Hall:** El sensor Hall detecta la posición de los polos magnéticos del rotor y envía esta señal al controlador, que ajusta la corriente en los devanados del estator para asegurar un movimiento continuo del rotor. Cada cambio en la señal representa un momento clave para invertir la dirección de la corriente. Además, la frecuencia de esta señal permite estimar la velocidad de giro y controlar con precisión la operación del motor.

**Control sensorless (sin sensores):** En motores BLDC sin sensores, la posición del rotor se determina usando la fuerza contraelectromotriz (Back-EMF) inducida en las bobinas del estator. Para lograr una detección precisa, se utilizan algoritmos avanzados como el control orientado al campo (FOC) o el control trapezoidal, que calculan la posición y gestionan la conmutación de forma eficiente.

Para ser controlado y medido, un motor BLDC tiene por lo general tres fases (A, B y C), con devanados conectados en estrella o delta. A diferencia de los motores de corriente continua con escobillas, los motores BLDC requieren un control electrónico para la conmutación de las fases, de dicha acción es la que

se encarga el control. Un ejemplo del diagrama eléctrico del motor se ve en la Figura 6, donde se aprecian los transistores relacionados para controlar cada fase del motor.

Figura 6 Diagrama electrónico para un motor BLDC (Mejia et al., 2018)



### 3.4 Motor PMSM

Un motor eléctrico síncrono que se aprecia en Figura 7, es un motor de corriente alterna (CA) que, en estado estable, mantiene la rotación de su eje sincronizada con la frecuencia de la corriente de alimentación, sin desfase. Usa electroimanes en el estator que generan un campo magnético giratorio sincronizado con la corriente, mientras que el rotor, con imanes permanentes o electroimanes, gira al mismo ritmo, generando así un segundo campo magnético sincronizado.

Son ampliamente usados junto a los motores de inducción. A diferencia de estos últimos, que requieren un pequeño deslizamiento para inducir corriente en el rotor, los motores sín-



Figura 7 Motor síncrono de imanes permanentes (Mitchel T., 2016)

cronos giran a la misma velocidad que la frecuencia de la red. Existen desde versiones autoexcitadas y de baja potencia, hasta modelos en VEs. Este último destaca por su eficiencia (más del 95% en motores grandes) y la capacidad de operar a factor de potencia unitario o adelantado, contribuyendo a la corrección del factor de potencia (Özçiflikçi et al., 2024).

### 3.4.1 ¿Cómo se controla un motor PMSM?

El control de un motor síncrono de imanes permanentes (PMSM) consiste en conmutar las corrientes del estator para crear un campo magnético giratorio que arrastra al rotor con imanes permanentes. El objetivo es alinear ambos campos para maximizar el par y la eficiencia, generando tres señales de corriente alterna sinusoidal y desfasadas entre sí (Li et al., 2023). Además, las técnicas de control de motores BLDC pueden adaptarse a los PMSM, aplicándose a señales sinusoidales para lograr un control más eficiente y estable.

## 4.- Sistemas de control utilizados en motores eléctricos

Tras analizar los tipos de motores, se omiten las metodologías para los motores de inducción y de corriente directa, centrándose en los motores BLDC y PMSM. El control de estos motores se basa en dos enfoques principales: el control escalar y el vectorial, de los cuales se derivan diversos controladores utilizados en la literatura.

### 4.1 Control escalar

En el control V/Hz, la velocidad del IM se regula controlando la tensión del estator y la frecuencia, manteniendo constante el flujo en el entrehierro en estado estable. También llamado control escalar, se basa en un circuito equivalente simplificado donde la resistencia del estator se considera nula y las inductancias de fuga del estator y rotor se combinan, colocando la inductancia de magnetización (flujo en el entrehierro) antes de la inductancia total de fuga. Así, la corriente de magnetización se aproxima mediante la relación voltaje/frecuencia del estator (Tiitinen et al., 2022). La Figura 8 muestra un ejemplo de este control escalar.

### 4.2 Control vectorial

Hace casi tres décadas, F. Blaschke introdujo el primer artículo sobre el control orientado al campo (FOC) para motores de inducción, una técnica que hoy en día está consolidada y ampliamente disponible por diversos fabricantes (Üser et al., 2017).

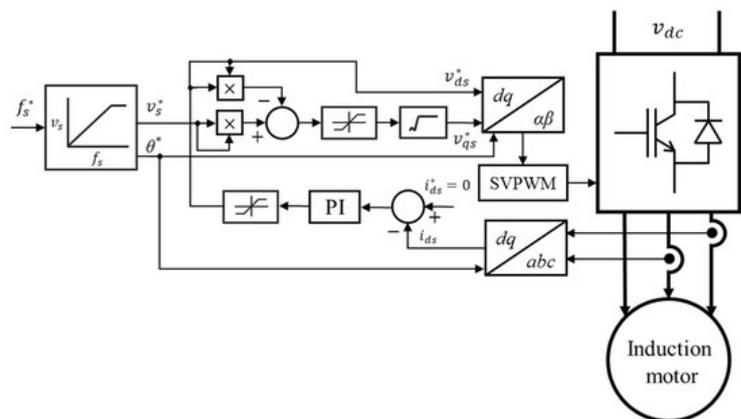


Figura 8 Diagrama a bloques de un control escalar (Son & Kim, 2024)

Al igual que en los motores de inducción, en los motores síncronos de imanes permanentes es posible controlar de forma independiente el par y el flujo, imitando el funcionamiento de un motor de corriente continua, mediante la técnica de control orientado al campo (FOC) (García & Lekue, 2016). Esto se logra gracias a la transformación d-q, que divide la corriente del estator en componentes d y q para gestionar el flujo y el par.

Como los imanes permanentes ya proporcionan un flujo constante, no es necesario generar flujo adicional, por lo que esta se mantiene en cero, reduciendo así la corriente total y aumentando la eficiencia del sistema. El esquema de control FOC se ilustra en la

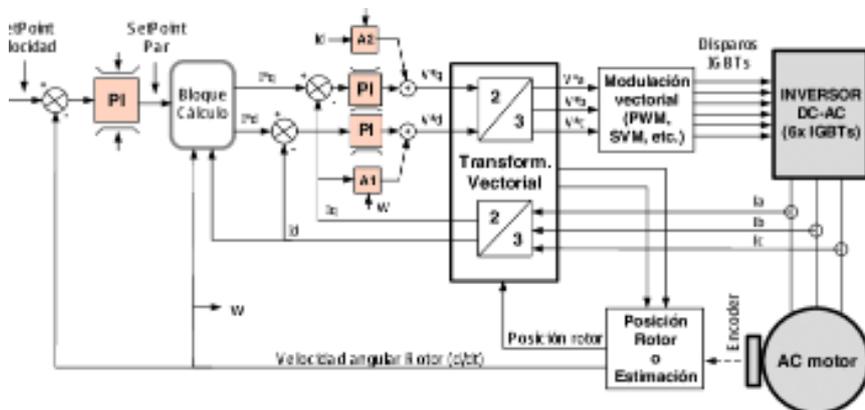


Figura 9 Diagrama a bloques de un control FOC (García & Lekue, 2016)

Figura 9.

Trece años después del control orientado al campo, I. Takahashi y M. Depenbrock desarrollaron el control directo de par (DTC) y el control directo autónomo (DSC), respectivamente (Depenbrock, 1987). Estas técnicas se caracterizan por su sencillez, solidez y la capacidad de controlar el par sin utilizar sensores mecánicos; el DSC suele emplearse en aplicaciones de alta potencia, mientras que el DTC se adapta mejor a potencias medias y bajas. El DTC visto en la Figura 10, actúa directamente sobre los estados del inversor para minimizar los errores en el par y el flujo, eliminando la necesidad de reguladores de corriente, transformaciones de coordenadas o generadores PWM, lo que facilita su implementación y lo hace menos susceptible a la variación de parámetros, en comparación con el FOC. No obstante, tiene algunas limitaciones: dificultad de control a bajas velocidades, ondulaciones significativas en la corriente y el par, comportamiento de conmutación variable, ruido a baja velocidad y carencia de control directo de corriente.

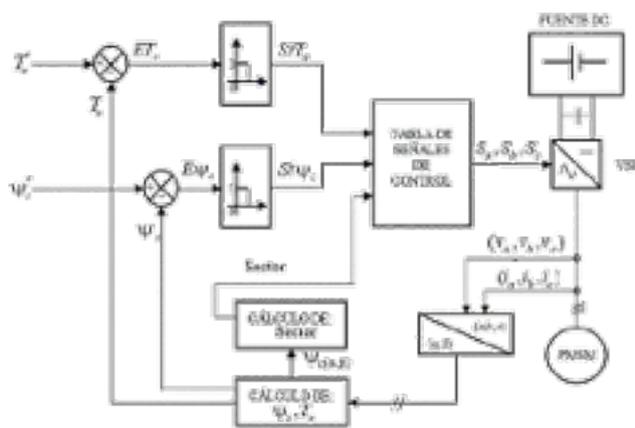


Figura 10 Diagrama a bloques de un control DTC (Cuji & Arcos-Aviles, 2019)

### 5.- Discusión

El FOC y el DTC son técnicas populares para motores trifásicos, especialmente en industria y tracción eléctrica. El FOC desacopla el flujo y el par, similar a un motor DC, usando transformaciones de coordenadas y PWM. Aunque es más

complejo, ofrece un control preciso y suave, ideal para aplicaciones como vehículos eléctricos de gama alta y servomecanismos. Su principal desafío es la necesidad de una estimación precisa de la posición del rotor y su sensibilidad a variaciones de parámetros.

El DTC controla directamente los errores de par y flujo sin transformaciones ni PWM, usando corrientes y tensiones medidas. Ofrece respuesta rápida, estructura simple y menor sensibilidad a variaciones de parámetros. No obstante, presenta ondulaciones, conmutación variable, mayor ruido y menor precisión a bajas velocidades. El FOC destaca por su precisión y suavidad, mientras que el DTC es ideal para simplicidad y velocidad. Ambos son métodos consolidados; su elección depende de la aplicación (ver Tabla 1).

Técnica	Ventajas	Desventajas
FOC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bajo rizado de corriente y par.</li> <li>Excelente control a baja velocidad.</li> <li>Alta precisión en el control del flujo y par.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Más sensible a variaciones de parámetros (desajustes del modelo).</li> <li>Requiere un generador PWM y temporizadores.</li> <li>Mayor complejidad computacional.</li> </ul>
DTC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simplicidad en la estructura del controlador.</li> <li>Muy buena respuesta dinámica.</li> <li>Poco sensible a la variación de parámetros.</li> <li>Sin necesidad de PWM ni temporizadores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alto rizado de par y corriente.</li> <li>Frecuencia de conmutación variable.</li> <li>Menor control de flujo y par a bajas velocidades.</li> <li>Mayor generación de ruido acústico.</li> </ul>

**Tabla 1 Ventajas y desventajas de los controladores más utilizados en motores trifásicos**  
**Fuente: Elaboración propia**

## 6.- Conclusiones

En los vehículos eléctricos, la integración eficiente de componentes como el motor eléctrico, el cargador a bordo, el sistema de baterías con BMS, el convertidor DC/DC y el inversor es clave para un funcionamiento seguro y eficiente. Entre los controladores de motores trifásicos, el FOC ofrece alta precisión y suavidad, mientras que el DTC aporta simplicidad y respuesta dinámica, siendo ideal para entornos industriales.

De cara al futuro, las mejoras en estos sistemas no solo aumentarán la eficiencia y confiabilidad de los vehículos eléctricos, sino que también abrirán nuevas aplicaciones como la movilidad autónoma y la integración con energías renovables. Gracias a los avances en algoritmos de control y electrónica de potencia, estos controladores y componentes serán fundamentales para lograr un transporte sostenible e inteligente.

## Referencias

- Bitar, Z., Sandouk, A., & Al Jabi, S. (2015). Testing performances of a special AC induction motor used in electric car. *Energy Procedia*, 74, 160-171.
- Cuji, W., & Arcos-Aviles, D. (2019). Control directo al par y control de campo orientado para un motor síncrono de imanes permanentes. *Ingeniería*, 24(2), 143-158.
- Depenbrock, M. (1987, June). Direct self-control (DSC) of inverter fed induction machine. In 1987 IEEE power electronics specialists conference (pp. 632-641). IEEE.
- Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S. E., & Emadi, A. (2018). *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: Fundamentals, theory, and design* (3rd ed.). CRC Press.
- Farajnezhad, M., Kuan, J. S. T. S., & Kamyab, H. (2024). Impacto de los factores económicos, sociales y ambientales en la adopción de vehículos eléctricos: una revisión. *Eidos*, 17(24), 39-62.
- Fitzgerald, A. E., & Kingsley, C. (2013). *Electric machinery*. McGraw-Hill Education.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2024). Registro Administrativo de la Industria Automotriz de Vehículos Ligeros (RAIAVL). Recuperado de [https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?bd=RAIAVL&px=RAIAVL\\_11](https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?bd=RAIAVL&px=RAIAVL_11).
- García, J. J. V., & Lekue, Í. A. (2016). Sistemas Integrados de Potencia en Buques Offshore: Control, tendencias y retos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 13(1), 3-14.
- Hanzel Motor. (s.f.). YE2 series high efficiency three-phase asynchronous motor. Recuperado el 29 de mayo de 2025, de <https://es.hanzelmotor.org/asynchronous-motor/ie2-motor/ye2-series-high-efficiency-three-phase.html>
- Lopes, J. P., Soares, F. J., Almeida, P. R., Baptista, P. C., Silva, C. M., & Farias, T. L. (2009, July). Quantification of technical impacts and environmental benefits of electric vehicles integration on electricity grids. In 2009 8th International Symposium on Advanced Electromechanical Motion Systems & Electric Drives Joint Symposium (pp. 1-6). IEEE.
- Lundmark, S. T., Alatalo, M., Thiringer, T., Grunditz, E. A., & Mellander, B. E. (2013). Vehicle components and configurations. *Systems Perspectives on Electromobility*, 22-32.
- Mejia, J. L. F., Núñez, J. H. A., Cambero, I. D. J. R., & Maldonado, H. G. (2018). MODELADO Y SIMULACIÓN DE UN REGULADOR DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR BLDC POR MEDIO DE UN CONTROLADOR DE HISTÉRESIS POR CORRIENTE (MODELING AND SIMULATION OF A SPEED CONTROLLER FOR A BLDC MOTOR, USING A HYSTERESIS CURRENT CONTROLLER). *Pistas Educativas*, 40(130).
- Mitchell, T. (2016, July 25). The evolution of permanent magnet

- synchronous motors. ACHR News. <https://www.achrnews.com/articles/134407-the-evolution-of-permanent-magnet-synchronous-motors>
- Mohanraj, D., Arul david, R., Verma, R., Sathiyasekar, K., Barnawi, A. B., Chokkalingam, B., & Mihet-Popa, L. (2022). A review of BLDC motor: State of art, advanced control techniques, and applications. *IEEE Access*, 10, 54833–54869. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3177397>
- Li, Y., Hu, H., & Shi, P. (2023). A review of position sensorless compound control for PMSM drives. *World Electric Vehicle Journal*, 14(2), 34.
- Özçiflikçi, O. E., Koç, M., Bahçeci, S., & Emiroğlu, S. (2024). Overview of PMSM control strategies in electric vehicles: a review. *International Journal of Dynamics and Control*, 12(6), 2093-2107.
- Qiu, W., Zhao, X., Tyrrell, A., Perinpanayagam, S., Niu, S., & Wen, G. (2024). Application of Artificial Intelligence-Based Technique in Electric Motors: A Review. *IEEE Transactions on Power Electronics*.
- Son, D.-H., & Kim, S.-A. (2024). Simplified V/f Control Algorithm for Reduction of Current Fluctuations in Variable-Speed Operation of Induction Motors. *Energies*, 17(7), 1699. <https://doi.org/10.3390/en17071699>
- Sosa Echeverría, R., Velasco Herrera, G., Sánchez Álvarez, P., Granados Hernández, E., Fuentes García, G., Velasco Herrera, V. M., González Oropeza, R., Vicente Rodríguez, W., Gandarilla Ibarra, J., & Rivera Rivera, R. (2025). Adoption of Electric Vehicles and Forecasting Air Emissions in the Metropolitan Area of Mexico City by 2050. *World Electric Vehicle Journal*, 16(1), 33. <https://doi.org/10.3390/wevj16010033>.
- Tiitinen, L., Martin, F., Hinkkanen, M., & Harnfors, L. (2022, September). Current-regulated V/Hz control of induction motors. In 2022 International Conference on Electrical Machines (ICEM) (pp. 579-585). IEEE.
- ÜSER, Y., GÜLEZ, K., & ÖZEN, Ş. The Comparison of Field Oriented Control and Direct Torque Control Methods.
- Valente, M., Wijekoon, T., Freijedo, F., Pescetto, P., Pellegrino, G., and Bojoi, R. (2021). Integrated on-board ev battery chargers: New perspectives and challenges for safety improvement. pages 349–356.
- Vas, P. (1998). Sensorless vector and direct torque control. Oxford University Press.
- Yedamale, P. (2003). Brushless DC (BLDC) motor fundamentals. Microchip Technology Inc.
- Yildirim, M., Polat, M., & Kürüm, H. (2014, September). A survey on comparison of electric motor types and drives used for electric vehicles. In 2014 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition (pp. 218-223). IEEE.