



Fallas en motores PMSM y BLDC de vehículos eléctricos: revisión sistemática de mecanismos y diagnóstico

Faults in PMSM and BLDC Motors for Electric Vehicles: A Systematic
Review of Mechanisms and Diagnostic Methods

Eli Benjamín Falcon Cárdenas 
eli.falcon@uisek.edu.ec

Diana Belén Peralta Zurita 
diana.peralta@uisek.edu.ec

Jaime Vinicio Molina Osejos 
jaime.molina@uisek.edu.ec

Universidad Internacional SEK-Ecuador. Quito, Ecuador

Artículo recibido: 26 de junio 2026 | Aceptado: 21 de agosto 2026 | Publicado: 18 de septiembre 2026

Resumen

Introducción: La electrificación del transporte es una parte esencial para reducir el impacto ambiental respecto al uso de combustibles fósiles. **Objetivo:** Identificar los principales mecanismos de falla en motores de vehículos eléctricos, causas, efectos, métodos de diagnóstico y monitorización. **Método:** Se realizó una revisión sistemática de acuerdo con las directrices PRISMA para estudios que examinan fallos electromagnéticos, térmicos y mecánicos en vehículos eléctricos. Estos estudios se encontraron en Scopus, Web of Science, IEEE Xplore y SAE Mobilus. Se incluyeron un total de 34 estudios tras aplicar los criterios PRISMA. **Resultados:** Los hallazgos demostraron que los cortocircuitos entre espiras destacan como el fallo eléctrico más crítico y frecuente, al igual que la desmagnetización térmica irreversible del rotor. **Conclusión:** Se evidenció que el daño mecánico fue el más común, el sistema On-Board Diagnostics debería evolucionar hacia una arquitectura inteligente basada en principios físicos.

Palabras clave: BLDC; FDD; Mantenimiento predictivo; PMSM; Vehículos eléctricos.

Abstract

Introduction: The electrification of transportation is essential for reducing the environmental impact associated with the use of fossil fuels. **Objective:** To identify the main failure mechanisms in electric vehicle motors, their causes and effects, as well as diagnostic and monitoring methods. **Method:** A systematic review was conducted in accordance with the PRISMA guidelines, focusing on studies examining electromagnetic, thermal, and mechanical failures in electric vehicles. The studies were identified through Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, and SAE Mobilus. A total of 34 studies were included after applying the PRISMA eligibility criteria. **Results:** The findings demonstrated that inter-turn short circuits are among the most critical and

frequent electrical faults, along with irreversible thermal demagnetization of the rotor. **Conclusion:** Mechanical damage was found to be the most common type of failure. Therefore, the On-Board Diagnostics system should evolve toward an intelligent architecture based on physics-based principles.

Keywords: BLDC; FDD; Predictive maintenance; PMSM; Electric vehicles.

Introducción

La transición global hacia la electrificación del transporte es una parte esencial para reducir el impacto ambiental respecto al uso de combustibles fósiles (Choudhary et al., 2023). En este contexto, los motores síncronos de imanes permanentes (PMSM) y los motores de corriente continua sin escobillas (BLDC) se han convertido en tecnologías dominantes en la propulsión de vehículos eléctricos (VE), debido a su alta densidad de potencia y eficiencia (Celik et al., 2026). Sin embargo, su operación bajo ambientes dinámicos aumenta la susceptibilidad a fallas críticas en los devanados, cojinetes y sistema de aislamiento, destacando la necesidad de mejores estrategias de monitoreo para garantizar la confiabilidad del tren motriz (Khaneghah et al., 2023).

Por lo tanto, la falta de detención de estos errores a tiempo, provocan una degradación progresiva del hardware, un apagado inesperado o un fallo catastrófico que afecta la disponibilidad del funcionamiento del sistema. No obstante, la complejidad inherente de estos sistemas y su susceptibilidad a anomalías electromecánicas, a la desmagnetización y al desgaste amenazan la disponibilidad de los vehículos eléctricos, pues, aunque, la optimización de los sistemas de propulsión es un aspecto crítico, la confiabilidad operativa es el mayor obstáculo para su adopción masiva. Las averías en sistemas electrónicos de potencia, como cortocircuitos o roturas en los devanados del motor, ponen en peligro la funcionalidad del vehículo; además, se requiere el diagnóstico riguroso y control tolerante a fallos (Kumar et al., 2026). Además, la advertencia de fallos en condiciones operativas específicas es poco frecuente, lo que dificulta la detección de fallos con cargas ligeras o fluctuaciones de la velocidad del rotor (Lang et al., 2022). Las estrategias de sistemas de diagnóstico avanzados utilizando análisis de datos y métodos de aprendizaje automático son esenciales para optimizar la eficiencia, prevenir fallas, mejorar la disponibilidad operativa y reducir los costos de mantenimiento (Araujo Vargas et al., 2024).

En este sentido los fallos en motores eléctricos se han clasificado en cuatro categorías fundamentales: eléctrica, mecánica, magnética y de sensores (Madan y Ogaili, 2026). Si bien las metodologías de investigación predominantes emplean técnicas de simulación para la validación de síntomas específicos como el incremento de armónicos de corriente y las oscilaciones de par electromagnético, la detección precisa de estas perturbaciones bajo condiciones de carga ligera y fluctuaciones de velocidad constituye un desafío significativo para la industria para su despliegue en vehículos reales, donde

estas soluciones deben alinearse con normativas de seguridad funcional como la ISO 26262.

La transición a la movilidad eléctrica requiere ampliar el conocimiento técnico; donde la difusión de métodos de diagnóstico y la prestación de servicios especializados requieren un desarrollo continuo para garantizar el funcionamiento de las flotas de propulsión eléctrica. A pesar de los avances documentados, todavía existen importantes brechas técnicas en la detección de fallos en condiciones de funcionamiento caracterizadas por grandes fluctuaciones de carga y velocidad típicas. La presente revisión se estima necesaria para sintetizar la evidencia sobre las fallas que afectan a los motores síncronos de imanes permanentes (PMSM) y BLDC utilizados en vehículos eléctricos. De aquí que el objetivo principal del estudio sea identificar los principales mecanismos de falla en motores de vehículos eléctricos, causas, efectos, métodos de diagnóstico y monitorización. En consecuencia, la pregunta problémica que guía la investigación es: ¿cuáles son los principales mecanismos de falla en motores de vehículos eléctricos, causas, efectos, métodos de diagnóstico y monitorización?

Método

El estudio corresponde a una revisión sistemática de tipo descriptiva, con enfoque cualitativo y diseño no experimental transversal. El propósito consistió en sintetizar la evidencia científica publicada sobre mecanismos de falla y técnicas de diagnóstico en motores eléctricos de tracción vehicular, sin manipular variables ni intervenir sobre los objetos de estudio. Esta tipología permite integrar hallazgos de investigaciones empíricas diversas y construir un marco interpretativo coherente con el estado del arte. De acuerdo con las directrices PRISMA para revisiones sistemáticas, se garantizó la trazabilidad del proceso de selección, la transparencia de los criterios de inclusión y exclusión, así como la reproducibilidad del análisis documental. En consecuencia, el diseño resulta apropiado para el objetivo planteado.

Los criterios de inclusión comprendieron artículos científicos y secciones de libros publicados entre 2022 y 2026, en idioma español, inglés o portugués, con acceso abierto, que abordaran fallas eléctricas, mecánicas, magnéticas o térmicas en motores síncronos de imanes permanentes o de corriente continua sin escobillas aplicados a vehículos eléctricos, y que describieran métodos de detección, diagnóstico o monitoreo validados mediante simulación o experimentación. Por otra parte, se establecieron como criterios de exclusión: a) textos que no correspondieran a investigaciones empíricas; b) literatura no indexada y ponencias de eventos académicos sin arbitraje; c) estudios publicados en idiomas diferentes al español, inglés o portugués; d) trabajos sin acceso libre; e) investigaciones centradas exclusivamente en motores de inducción o de reluctancia conmutada sin relación con la tracción vehicular.

La búsqueda se realizó en cuatro bases de datos indexadas de reconocimiento internacional: Scopus, Web of Science, IEEE Xplore y SAE Mobilus. Estas fuentes cubren de manera complementaria la producción científica en ingeniería eléctrica, electrónica de potencia y automotriz. La consulta combinó, mediante operadores booleanos, términos asociados con vehículos eléctricos, tipos de motor, fallas y técnicas de diagnóstico. Por ejemplo, la cadena empleada en Scopus integró expresiones como electric vehicle, permanent magnet synchronous motor, brushless DC motor, fault, failure, demagnetization, bearing fault, inter-turn fault, fault diagnosis, condition monitoring y predictive maintenance. La búsqueda se ejecutó en mayo de 2026 y abarcó el periodo 2022-2026. Esta estrategia permitió recuperar un corpus amplio y pertinente con el objetivo del estudio.

El proceso de identificación proporcionó un total de 338 registros. Una vez eliminados 12 duplicados, la suma de registros fue de 326. A continuación, 219 artículos fueron excluidos a través de la lectura del título y el resumen, quedando 107 artículos para evaluación preliminar, y de estos últimos se excluyeron 58 artículos por no cumplir contra los criterios establecidos. Finalmente, 49 artículos fueron objeto de revisión, de los cuáles 15 no pudieron recuperarse en texto completo y solo 34 cumplieron con los requisitos exigidos. Esta depuración rigurosa permitió mantener la coherencia temática y garantizar la representatividad de los trabajos analizados (ver Figura 1).

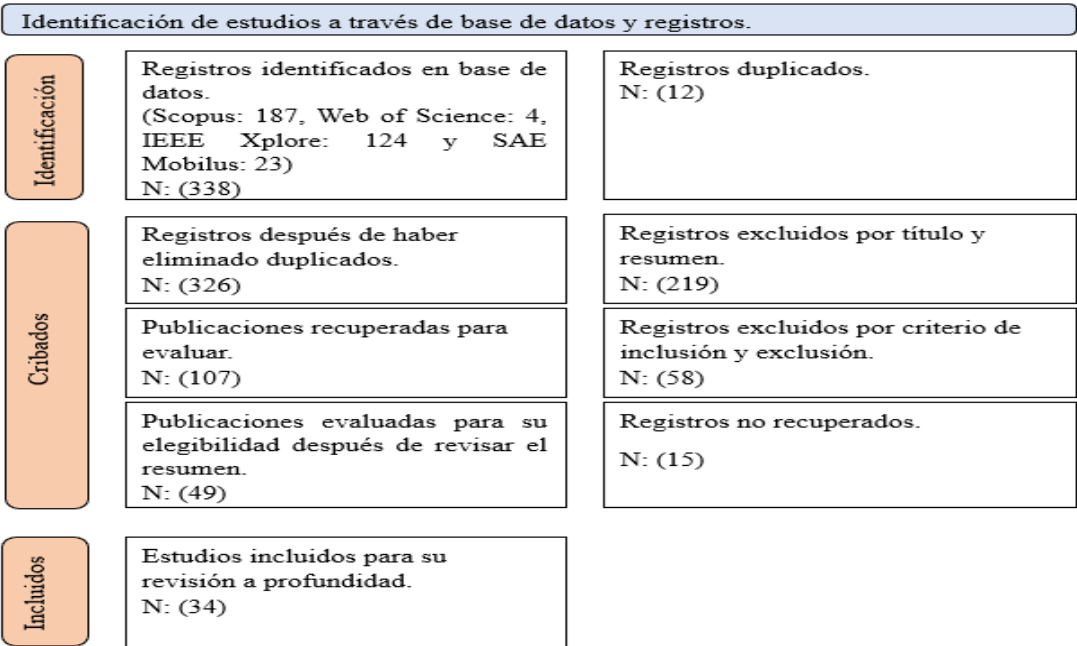


Figura 1. Diagrama de flujo para la selección de los artículos según PRISMA

El desarrollo de la revisión se enmarcó en principios éticos y científicos orientados a garantizar la integridad, la honestidad y la trazabilidad de la información. Se respetaron los derechos de autor mediante la cita adecuada de las fuentes consultadas, lo que evita el plagio y la manipulación de datos. Asimismo, se consideraron las directrices PRISMA para revisiones sistemáticas, las cuales promueven la reproducibilidad y la minimización

de sesgos en la selección de estudios. Dado que la investigación se basó en fuentes documentales secundarias, no se requirió aprobación de comité de ética, pues no se trabajó con seres humanos ni animales. No obstante, se aseguró que las fuentes empleadas provinieran de revistas indexadas con arbitraje o de secciones de libros académicos, lo que respalda el rigor científico del estudio.

El análisis de contenido se desarrolló mediante una técnica cualitativa de codificación inductiva sobre los estudios seleccionados. Inicialmente, se extrajo información sobre el tipo de motor, el objeto de estudio, la taxonomía de la falla, la metodología de diagnóstico, los resultados técnicos y la eficacia reportada. Posteriormente, se categorizaron las fallas en mecánicas, eléctricas, magnéticas, térmicas y de sensores, con base en las características descritas por los autores. En esta línea, se elaboraron matrices de extracción que permitieron sintetizar los hallazgos y comparar las técnicas de diagnóstico empleadas. Asimismo, se identificaron patrones recurrentes sobre eficacia diagnóstica entre métodos convencionales y enfoques basados en inteligencia artificial. Finalmente, la triangulación entre las categorías permitió construir un marco interpretativo coherente con el objetivo del estudio.

Resultados

El análisis que se llevará a continuación sigue el orden que hemos considerado más pertinente para facilitar la comprensión e integración de los resultados. La ejecución del análisis de la literatura sobre las fallas en motores PMSM y BLDC se verificó bajo distintos mecanismos de falla, sus causas y efectos, las variables utilizadas para su detección, las técnicas de diagnóstico y monitoreo. A continuación, en la Tabla 1 se presenta la Matriz Maestra de Extracción de Datos; esta herramienta ha sido diseñada para integrar de forma exhaustiva la evidencia científica de las 34 fuentes bibliográficas disponibles, con un enfoque particular en la transición tecnológica en relación con la electromovilidad durante el periodo 2022-2026.

Tabla 1. *Matriz de extracción de datos de los estudios incluidos*

No	Autor (Año)	Caracterización Metodológica (Tipo de Motor / Objeto / Taxonomía de Falla)	Metodologías de Diagnóstico y Resultados Técnicos
1	Haidar et al. (2023)	IPMSM / Fallas en sensores de corriente / Observador de Modo Deslizante (SMO) adaptativo.	Garantía de operación segura en sistemas de tracción para vehículos eléctricos y ferroviarios.
2	Mohammadi y Saif (2023)	PMSM / IGBTs en inversor fuente de voltaje (VSI) / Eléctrica (Circuito abierto).	Híbrida: Control Orientado al Campo (FOC) + Máquina de Soporte Vectorial Multiclase Modificada (MMC-SVM). Permite la localización y el despeje de fallas.

3	Jayasena et al. (2025)	PMSM / Rodamientos (pista interna/externa) / Mecánica (Severidad de falla).	Transformada Wavelet Discreta (DWT Symlet) + Redes Neuronales Artificiales (ANN) en cascada multinivel. Alcanzó una precisión superior al 99% en diversos escenarios operativos.
4	Zsuga y Dineva (2023)	PMSM / Devanados del estator / Eléctrica (Cortocircuito entre espiras - ITSC).	Teoría del Vector Espacial (SVT) + MobileNetV2 (IA). Detección temprana desde 6 espiras cortocircuitadas con 99.16% de precisión en clasificación de 3 clases.
5	Aishwarya y Brisilla (2023)	BLDC / Conexiones de cableado / Eléctrica (SC, Alta resistencia - HRC, Fase abierta).	Evaluación comparativa de ML (SVM, k-NN, RF, XGBoost) y Deep Learning. Clasificadores como RF y XGBoost lograron 100% de precisión en la identificación de estados de falla.
6	Zhang et al. (2022)	PMSM / IM / Motor, Inversor, Transmisión, Batería / Eléctrica y Mecánica.	Compendio de IA (Machine Learning, Redes Neuronales, Deep Learning). Destaca el uso de MCSA y Análisis de Vibraciones (VA) soportados por CNN y RNN.
7	Rosyadi et al. (2025)	PMSM / Devanados estáticos / Eléctrica (ITSC, fase-fase, fase-tierra).	Deep Transfer Learning (DTL) + Transformadores Convolucionales Conscientes del Tiempo (TaCT). Mantuvo precisiones sobre 0.95 ante cambios dinámicos de operación.
8	Khan et al. (2024)	BLDC / Líneas de interfaz VSI-Motor / Eléctrica (Fallas bifásicas y trifásicas).	Ensemble ML (Voting Classifier: KNN, DT, XGB, SGD, LR). Utiliza corriente, voltaje modulado, velocidad y sensores Hall para la clasificación de fallas.
9	Khaneghah et al. (2023)	PMSM / Tren de potencia y almacenamiento / Eléctrica, Mecánica y Sensores.	Comparativa de métodos: Basados en modelo (observadores, EKF), en señal (FFT, HHT, DWT) y basados en datos (SVM, CNN, RNN). Enfatiza la necesidad de FDD robusto para electromovilidad segura.
10	Şen y Mutluer (2025)	PMSM / Motor, Inversor, Transmisión, Batería / Eléctrica y Mecánica.	Machine Learning. Destaca el uso de MCSA y Análisis de Vibraciones (VA) soportados por CNN y RNN.
11	Bharath et al. (2025)	PMSM / Vehículo Eléctrico / Degradación del estator, desmagnetización y fallas de sensores.	PINNs + EKF + SVM. Precisión de 96.99%, superando al MCSA tradicional en un 13% bajo carga dinámica.

12	Celik et al. (2026)	BLDC / Sistemas industriales y automotrices / Desgaste de rodamientos y desbalance de rotor.	MDWT + NCA-Chi2 + Cubic SVM. Existió 100% de precisión con baja complejidad computacional para despliegue en el borde.
13	Soresini et al. (2025)	PMSM / Tren motriz de EV/ Fallas en rodamientos, desalineaciones mecánicas y desgaste progresivo.	Autoencoders (1D CNN AE) bajo variaciones de par y velocidad. Reducción del 50% en el tiempo de inactividad del banco de pruebas.
14	Ajmi et al. (2023)	PMSM de cinco fases (conectados en serie) / Continuidad del servicio/ Falla de fase abierta en estator.	Control de Estructura Variable Robusta basado en Control por Modos Deslizantes de Segundo Orden (STSMC). Seguimiento de velocidad aceptable y robustez frente a perturbaciones de carga en modo degradado.
15	León-Duarte y Martínez-Cadena (2024)	BLDC / Vehículo Eléctrico Ligero / Imanes rotos, desmagnetización (30% coercitividad) e ITSF.	Análisis por Elementos Finitos (FEM) (ANSYS/Maxwell). Incremento de armónicos (9.1 veces superiores) y oscilaciones críticas de par.
16	Li et al. (2023)	PMSM / HEV en arquitectura serie / Falla de circuito abierto (OC) en IGBTs del inversor.	FOC + MMC-SVM. Detección y localización acelerada en menos de un ciclo sin sensores adicionales.
17	Ahmed Baba et al. (2023)	BLDC / Vehículo Eléctrico / Defectos en sensores de efecto Hall (H_a , H_b , H_c) y errores de conmutación.	Control Inteligente (ANN / Lógica Difusa). Operación continua y segura tras el fallo del sensor; minimización del error de seguimiento.
18	Ziad et al. (2024)	PMSM / Vehículo Eléctrico e Industrial / Cortocircuito de estator y falla de interruptores del driver.	Continuous Wavelet Transform (CWT) + ResNet 50. Se alcanza una exactitud del 100% en la clasificación de fallas.
19	Ma et al. (2023)	PMSM / Motor de propulsión eléctrica / Cortocircuito entre espiras del estator.	VMD + PCA + Bi-LSTM optimizado por algoritmos de ballena. Precisión del 100% confirmada experimental.
20	Kilic y Weiss (2023)	PMSM / Vehículo Eléctrico Autónomo / Tres tipos de fallas eléctricas de estator.	Redes Neuronales Artificiales (ANN). El 99.7% de precisión en regímenes transitorios de par y velocidad.
21	Suti y Di Rito (2024)	PMSM / Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV)/ Fallas de interruptores (MOSFET).	Firma de Corriente + Ajuste Elíptico/ Correlación del centro de la elipse con la ubicación del interruptor fallido.
22	Song et al. (2022)	PMSM / Vehículo Eléctrico / Cortocircuito entre espiras (ITSC) en fase A.	Multiscale Kernel-Based Residual CNN. El 98.2% de precisión en condiciones dinámicas y transitorias.

23	Ziad et al. (2024)	PMSM / Mantenimiento predictivo / Transformada Wavelet Continua Eléctrica (Cortocircuito del estator e ITSF) y Fallas en interruptores del drive.	(CWT) para conversión señal-imagen + Red Neuronal Residual (ResNet 50). Precisión del 100% en la clasificación de fallas.
24	Saha y Kar (2022)	PMSM (Tracción) / Operación continua sin paradas / Falla de Sensor (Sensor de corriente de fase).	Detección basada en cambios en la corriente del eje d-q y control MTPA con compensación feed-forward. Verificación exitosa mediante simulación Processor-in-the-loop (PIL).
25	Skowron (2024)	PMSM (Drivetrain de BEV) / Monitoreo basado en condición (CBM) / Eléctrica (Severidad de ITSC: 1 a 20 espiras).	Análisis de Traectorias del Vector de Park + CNN MobileNetV2 multi-modal (incluyendo torque como predictor). Precisión del 99.26% en binario y 99.16% en severidad de 3 clases.
26	Pathiravasam et al. (2024)	BLDC/Generadores HEV/Estados operativos críticos y degradación / Térmica/Eléctrica (Degradación por temperatura y corriente).	FSA jerárquico (Componente, Subsistema, Sistema) basado en relaciones complejas temperatura-corriente. Mejora en la resiliencia y gestión eficiente ante estados de salud críticos.
27	Zhao et al. (2023)	PMSM / Salud de rodamientos y rotor / Mecánica (Falla de rodamientos, excentricidad del rotor y fallas compuestas).	Seguimiento Vold- Kalman para extraer características de vibración en condiciones no estacionarias. Detección efectiva confirmada bajo el ciclo de conducción europeo (NEDC).
28	Noh et al. (2025)	Inversor para PMSM (120 kW) / Monitoreo online sin sensores adicionales / Eléctrica (Desprendimiento de bond-wire en IGBT).	Análisis espectral de la corriente de fase (FFT) enfocado en la frecuencia de conmutación. Detección robusta ante variaciones de temperatura de la unión (Tj) y severidad de falla.
29	Harmony et al. (2025)	PMSM de Seis Fases / Tolerancia a fallas y fiabilidad / Eléctrica (Falla de fase abierta simple y combinada con cortocircuito).	Control Predictivo Basado en Modelo Tolerante a Fallas (FT- MPC) con función de costo multiobjetivo. Reducción del 37.5% en el tiempo de recuperación de falla y oscilaciones de torque mínimas.
30	Liu et al. (2025)	PMSM / Estado del arte y taxonomía integral / Eléctrica (Windings), Mecánica (Bearing/Shaft) y Magnética (PM).	Análisis comparativo de métodos basados en modelos, señales (MCSA) e IA. Identificación de brechas en el diagnóstico de fallas débiles y compuestas en entornos agresivos.
31	Yu et al. (2024)	PMSM / Detección online de fallas / Eléctrica (Falla de devanado del	Modelo de rizado de corriente del estator para estimación de inductancias (Ld, Lq) y enlace de

	estator) y Magnética (Desmagnetización del rotor).	flujo. Identificación precisa de parámetros incluso bajo condiciones de operación variables.
32	Laborda et al. (2023) VLF-PMSM / Monitoreo térmico para prevenir desmagnetización / Degradación Magnética (Temperatura de imanes permanentes).	Inyección de señal de corriente cuasi-cuadrada de baja frecuencia para derivar el enlace de flujo de los PM. Estimación online precisa sin alterar la operación fundamental de la máquina.
33	Chen et al. (2022) PMSM / Diagnóstico multi-condición / Eléctrica (ITSF) y Magnética (IDF-Desmagnetización irreversible).	Seguimiento de fase basado en CNN + Remuestreo en el dominio angular para alinear frecuencias fundamentales. Diagnóstico preciso de tipo y severidad de falla bajo condiciones operativas no entrenadas.
34	Wu y Verl (2024) PMSM (Híbridos y Eléctricos) / Monitoreo de fin de línea (EOL) / Eléctrica (ITSC) y Magnética (Calidad de imanes permanentes).	Identificación de parámetros basada en transitorios (aceleración, cortocircuito repentino, parada sin carga) vs. Métodos estáticos. Reducción significativa de tiempo y costos de prueba al eliminar la necesidad de máquinas de carga externas.

Los motores BLDC y PMSM manifiestan múltiples modos de falla durante su vida útil. La detección temprana y la clasificación precisa de estas fallas son fundamentales para garantizar la fiabilidad y disponibilidad. Las fallas generalmente se clasifican en cinco categorías principales: mecánicas, magnéticas, eléctricas, térmicas, y las relacionadas con el control y los sensores.

Los fallos mecánicos constituyen la categoría predominante en motores BLDC y PMSM, incidiendo directamente en su fiabilidad y rendimiento a largo plazo. Específicamente, dentro de esta categoría, los fallos de cojinetes presentan la mayor incidencia, constituyendo una porción significativa de las interrupciones operativas ([Susilo et al., 2023](#)); por consiguiente, el fallo de cojinetes se clasifica como crítico y predominante en los procesos de investigación y mantenimiento. Las causas que pueden acortar la vida útil de los cojinetes incluyen lubricación inadecuada, contaminantes ambientales, errores de instalación y sobrecarga [69]. El deterioro consecuente se manifiesta mediante un aumento de las vibraciones y el ruido, lo cual puede precipitar fallos catastróficos si no se diagnostica y corrige oportunamente ([Bahgat et al., 2024](#)).

En etapas avanzadas, los fallos de los cojinetes pueden impedir la rotación libre del rotor, lo que resulta en un tiempo de inactividad significativo del sistema o el fallo total del motor ([Wang et al., 2022](#)). La desalineación del eje, como otra causa relevante de

fallos, puede inducir una carga desigual en los cojinetes y en los componentes del estator, acelerando su deterioro

La desalineación del rotor representa un modo de fallo crítico; en este sentido, los pequeños desequilibrios en el rotor durante la fase de producción se agudizan durante el funcionamiento a alta velocidad, induciendo la resonancia del motor y, en última instancia, incrementando la excentricidad dinámica o estática del entrehierro (Chomphan, 2026).

A largo plazo, las cargas derivadas de las vibraciones pueden ocasionar daños estructurales secundarios, incluyendo la aparición de fisuras en la carcasa del motor o el desajuste de sus elementos de sujeción (Bukovsky y Khrutsky, 2025). Por otro lado, si bien el deterioro de los imanes se clasifica como una falla mecánica de baja incidencia, su impacto se considera crítico; la presencia de fisuras o fracturas en los imanes permanentes del rotor distorsiona el equilibrio dinámico, afectando negativamente la distribución del flujo magnético y la estabilidad operativa del motor (Park et al., 2019).

Este fenómeno induce inestabilidad operativa a altas velocidades; el funcionamiento prolongado bajo vibraciones periódicas provoca el aflojamiento de las conexiones de la carcasa, la formación de micro fisuras en el eje, y la entrada del sistema en zonas de resonancia. Dado que el desarrollo de este tipo de fallas es típicamente lento (Acosta et al., 2006), se observa un patrón recurrente en el que las fallas mecánicas, como la excentricidad, alteran la densidad de flujo magnético radial e inducen estrés eléctrico adicional en los devanados del estator. En la Tabla 2 se muestran las fallas mecánicas y sus métodos de detección en motores eléctricos.

Tabla 2. Matriz de extracción de datos de los estudios incluidos: fallas mecánicas

Tipo de falla	Causa de formación	Síntomas operativos	Métodos de detección
Fallas en rodamientos	Fatiga del material por corrientes en el eje, lubricación deficiente o contaminación por partículas externas	Incremento de los niveles de vibración, ruido acústico y presencia de picos armónicos en el espectro de frecuencia	Análisis vibracional mediante FFT, medición de emisiones acústicas, análisis de curtosis, y técnicas de envolvente.
Desalineación de eje	Errores de ensamblaje mecánico o flexión del eje bajo cargas elevadas excediendo las tolerancias de acoplamiento.	Oscilaciones de carga, ruido característico de la transmisión, y presencia de bandas laterales en la corriente del estator.	MCSA (Análisis de la firma de corriente del motor) mediante FFT, termografía infrarroja, y sensores de proximidad.
Excentricidad del rotor	Desequilibrio de fuerzas magnéticas o desgaste no uniforme que modifica el entrehierro estática o dinámicamente.	Fluctuaciones de la velocidad rotacional y distorsiones de la forma de onda de la fuerza contraelectromotriz.	Análisis de armónicos de la Back-EMF, sensores de flujo magnético radial, y modelos de funciones de bobinado (IWFT).
Desequilibrio del rotor	Distribución no uniforme de la masa rotatoria por	Elevado rizado de torque (torque ripple) y	Procesamiento de señales de vibración,

defectos de fabricación o acumulación.	vibraciones proporcionales a la frecuencia de rotación.	algoritmos de redes neuronales (ANN), y observadores de estado.
--	---	---

Además, se documenta que las fallas en el estator, específicamente el cortocircuito entre espiras (ITSC), representa la anomalía de mayor incidencia en motores de VE, con una incidencia de hasta el 37%. En el ámbito de la electrónica de potencia, el condensador del bus de corriente continua constituye el elemento más propenso a fallos, representando hasta el 50% de las averías registradas en los sistemas de control. Las manifestaciones operativas características en motores PMSM y BLDC asociadas a esta degradación incluyen la aparición de armónicos de corriente específicos y fluctuaciones en la densidad de flujo magnético radial (Canseven et al., 2026). Asimismo, la degradación de los semiconductores de potencia, particularmente en los inversores de frecuencia, incrementa significativamente las pérdidas por conmutación. En la Tabla 3 presenta a detalle las fallas eléctricas y condiciones de fallo en motores eléctricos más comunes.

Tabla 3. Fallas eléctricas y condiciones de fallo en motores eléctricos

Tipo de falla/ Tipo de motor	%	Causa de falla	Modo de falla	Efectos de la falla	Métodos de detección	Condición de operación
Cortocircuito entre espiras/ BLDC / PMSM	33 - 37	Estrés térmico excesivo y degradación del aislante	Cortocircuito parcial en devanados del estator	Corrientes de falla elevadas, rizado de torque y riesgo de incendio	MCSA, FFT, teoría de función de bobinado y redes neuronales	Altas velocidades
Fase abierta/ BLDC / PMSM	~ 10	Ruptura física de conductores por fatiga mecánica	Interrupción total de la continuidad de corriente en una fase	Vibraciones torsionales severas, ruido acústico y pérdida de torque	Análisis de residuos de corriente y observadores de estado	Arranque y operación transitoria
Falla en inversor (driver)/ BLDC / PMSM	34 - 40	Envejecimiento de hilos de unión y estrés térmico en semiconductores	Interruptor abierto o cortocircuito en IGBT / MOSFET	Distorsión masiva de corriente, caída del bus DC y falla del motor	Análisis del Vector de Park y aprendizaje automático	Operación en tiempo real
Falla en condensador del bus DC/	50 - 60	Alta corriente de rizado y temperatura	Degradación de capacitancia y aumento	Inestabilidad de voltaje en la entrada del motor y	Monitoreo del rizado de voltaje y estimación	Ciclos rápidos de carga y descarga

BLDC / PMSM		ambiente elevada	de resistencia serie	pérdida de eficiencia	de parámetros	
Desmagnetización térmica/ PMSM	15 - 20	Temperaturas críticas o campos magnéticos opuestos por fallas ITSC	Pérdida irreversible de la remanencia magnética	Reducción de la fuerza contraelectromotriz, pérdida de torque y sobrecorriente compensatoria	Sensores Hall, termografía infrarroja y monitoreo de la fuerza contraelectromotriz	Operación continua bajo alta carga

Discusión

Respecto a la eficacia del diagnóstico de las estrategias modernas frente a los métodos convencionales en los motores eléctricos, el diagnóstico de motores BLDC y PMSM ha evolucionado de forma de transitar de técnicas de procesamiento de señales en el dominio temporal y frecuencial, hacia enfoques basados en IA. El empleo de redes neuronales facilita el procesamiento de señales complejas y no estacionarias con alta precisión. La inteligencia artificial (IA) ha avanzado en el diagnóstico de fallas en motores para vehículos eléctricos (Jiang et al., 2024). Los hallazgos encontrados evidencian una divergencia: mientras los métodos convencionales de diagnóstico de motores eléctricos son agrupados en varias categorías como el procesamiento de señales, en contraste, las estrategias de inteligencia artificial, particularmente las redes neuronales y las máquinas de soporte vectorial (SVM), son un dominio de investigación crítico para el mantenimiento predictivo de máquinas eléctricas y pueden ser usadas para encontrar defectos en motores BLDC. La dependencia de la IA de grandes volúmenes de datos etiquetados condiciona su desempeño; en consecuencia, las técnicas de diagnóstico de fallas de motores se dividen en métodos basados en modelos y en datos (Lang, 2023).

La comparación entre las técnicas de inteligencia artificial y los métodos convencionales evidencia diferencias significativas bajo condiciones de carga variable, donde los enfoques convencionales, basados en el procesamiento de señales en el dominio del tiempo y la frecuencia, muestran un desempeño limitado ante regímenes transitorios y no estacionarios. Por otra parte, las estrategias basadas en inteligencia artificial, como las redes neuronales y las máquinas de soporte vectorial, ofrecen mayor robustez ante variaciones de carga y velocidad. Asimismo, los enfoques híbridos que combinan modelos físicos con algoritmos de aprendizaje destacan en escenarios dinámicos.

En conjunto, la integración entre inteligencia artificial y procesamiento de señales constituye la dirección más prometedora para el diagnóstico de fallas en motores eléctricos de tracción. Dicha comparación desde la eficacia diagnóstica demuestra la

superioridad de las estrategias de la IA y enfoques híbridos para escenarios de operación dinámica, mientras que el procesamiento de señales convencional es la única metodología tradicional con rendimiento competitivo en transitorios (Ouali et al., 2025), la IA ofrece una robustez diagnóstica significativamente mayor al manejar la no linealidad de los motores BLDC y PMSM en VE (Hossain et al., 2025). Adicionalmente, las arquitecturas basadas en redes neuronales profundas, como las redes convolucionales y las memorias a largo plazo, permiten clasificar con precisión fallas complejas a partir de señales eléctricas.

Conclusión

La presente revisión expuso que las fallas se clasifican ampliamente en categorías eléctricas, mecánicas, magnéticas y electrónicas, como de sensores. Estadísticamente, las lesiones mecánicas son las más comunes. Sin embargo, el cortocircuito intermedio destaca como la falla eléctrica más crítica y frecuente debido a su capacidad de desencadenar mecanismos de daño en cascada como la desmagnetización térmica irreversible del rotor. Estas degradaciones son causadas por estrés térmico, fatiga del material y operación.

Además, los efectos operativos incluyeron una fuerte reducción de la fuerza electromagnética inversa, importantes armónicos de corriente y un aumento de las fluctuaciones del par, que comprometen la seguridad vial y la eficiencia del tren motriz. Por otro lado, el procesamiento de señales tradicional sigue siendo útil para respuestas transitorias rápidas; Sin embargo, la IA proporciona una clasificación sólida y automatizada de anomalías complejas con una confianza superior al 95 %, donde la integración de conocimiento físico y datos experimentales se establece como una solución óptima para superar las limitaciones de generalización y robustez para maximizar la confiabilidad operativa de la movilidad eléctrica.

Finalmente, se evidenció que la confiabilidad de los motores BLDC y PMSM depende del sistema OBD (On-Board Diagnostics), que debe evolucionar hacia sistemas On-Board Diagnostics inteligentes y tener en cuenta los estándares de seguridad funcional en la industria automotriz y limitaciones prácticas de tiempo real y memoria en dispositivos de borde donde los códigos DTC se integran con un proceso dinámico complejo, con baja captura dinámica.

Acerca de

Contribución de los autores: Los autores contribuyeron a la conceptualización del estudio, al desarrollo metodológico, al análisis e interpretación de los datos, a la redacción del manuscrito y a la revisión crítica de su contenido intelectual. Todos los autores aprobaron la versión final para su publicación.

Financiamiento: Los autores declaran que no recibieron financiamiento para esta investigación.

Conflicto de interés: Los autores declaran no tener conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

Certificación ética: El protocolo del presente estudio fue sometido a revisión y aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad, en cumplimiento de los principios éticos y normativas institucionales aplicables.

Cómo citar: Falcon Cárdenas, E. B., Peralta Zurita D. B., & Molina Osejos, J. V. (2026). Fallas en motores PMSM y BLDC de vehículos eléctricos: revisión sistemática de mecanismos y diagnóstico. *Ingeniería y sus Alcances. Revista de Investigación*, 10(28), 1–18. <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v10i28.144>

Referencias

- Acosta, G. G., Verucchi, C. J., & Gelso, E. R. (2006). A current monitoring system for diagnosing electrical failures in induction motors. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(4), 953–965. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2004.10.001>
- Ahmed Baba, M., Naoui, M., & Cherkaoui, M. (2023). Fault-tolerant control strategy for Hall sensors in BLDC motor drive for electric vehicle applications. *Sustainability*, 15(13), 10430. <https://doi.org/10.3390/su151310430>
- Aishwarya, M., & Brisilla, R. M. (2023). Design and fault diagnosis of induction motor using ML-based algorithms for EV application. *IEEE Access*, 11, 34186–34197. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3263588>
- Ajmi, A., Krim, S., Hosseini, A., Mansouri, M., & Mimouni, M. F. (2023). Robust variable structure control approach of two series-connected five-phase PMSMs under healthy and faulty operation modes. *IEEE Access*, 11, 96401–96422. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3311029>
- Araujo Vargas, J. E., Franklin Coronel, D. Y., & Arias Ruiz, V. M. (2024). Modelos sofisticados destinados a la caracterización, identificación y diagnóstico de anomalías en máquinas eléctricas rotativas. *Ingeniería e Innovación*, 12(2). <https://doi.org/10.21897/rii.3810>
- Bahgat, B. H., Elhay, E. A., & Elkholy, M. M. (2024). Advanced fault detection technique of three phase induction motor: Comprehensive review. *Discover Electronics*, 1, 9. <https://doi.org/10.1007/s44291-024-00012-3>
- Bharath Kumar, N., Vijay Babu, A. R., Bala Anil Kumar, M., Sai Kumar, T., & Ganesh Babu, V. (2025). Hybrid digital twin-based fault diagnosis framework for PMSMs in electric vehicle applications. *Franklin Open*, 12, 100328. <https://doi.org/10.1016/j.fraope.2025.100328>
- Bukovsky, I. V., & Khrutsky, O. V. (2025). Testing vibration diagnostic method to detect fastening defects due to slackening. *Transactions of the Saint Petersburg State Marine Technical University*, 4(1), 15–22. https://doi.org/10.52899/24141437_2025_01_15

- Canseven, H. T., Sadık, E. Ş., Cömert, M., & Ünsal, A. (2026). Fault detection and diagnosis for multi-faults of PMSM-drive systems using a hybrid machine learning method. *IET Power Electronics*, 19(1), e70203. <https://doi.org/10.1049/pel2.70203>
- Celik, B., Taskin, E., Akbal, A., & Ozdemir, M. (2026). ETNeXt: Integrated feature engineering and classification framework for BLDC motor fault detection. *Scientific Reports*, 16, 11820. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-37590-z>
- Chen, Z., Liang, K., Peng, T., & Wang, Y. (2022). Multi-condition PMSM fault diagnosis based on convolutional neural network phase tracker. *Symmetry*, 14(2), 295. <https://doi.org/10.3390/sym14020295>
- Chomphan, S. (2026). Experimental study on vibration characteristics of an AC synchronous motor and their environmental impact. *International Journal of GEOMATE*, 30(140), 56–67. <https://doi.org/10.21660/2026.140.g15191>
- Choudhary, A., Fatima, S., & Panigrahi, B. K. (2023). State-of-the-art technologies in fault diagnosis of electric vehicles: A component-based review. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 9(2), 2324–2347. <https://doi.org/10.1109/TTE.2022.3209166>
- Haidar, F., Douiri, T. S., & Bartoli, T. (2023). Open-circuit fault detection of inverter fed PMSM for electrical powertrain applications. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 14(2), 741–753. <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v14.i2.pp741-753>
- Harmony, P. N., Okilly, A. H., Kim, C., Kim, D. W., Choi, S., & Baek, J. (2025). Rapid fault-tolerant MPC strategy for six-phase PMSMs: Optimizing torque stability, current constraint management during phase transition. *IEEE Access*, 13, 154833–154853. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3605650>
- Hossain, M. S., Mohaimin, M. R., Alam, S., Rahman, M. A., Islam, M. R., Anonna, F. R., & Akter, R. (2025). AI-powered fault prediction and optimization in new energy vehicles (NEVs) for the US market. *Journal of Computer Science and Technology Studies*, 7(1), 01–16. <https://al-kindipublishers.org/index.php/jcsts/article/view/8553>
- Jayasena, K. N. C., Batkhishig, B., Nahid-Mobarakeh, B., & Emadi, A. (2025). Current signature-based bearing fault severity classification using a robust multilevel cascaded framework. *IEEE Access*, 13, 129678–129701. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3589750>
- Jiang, Y., Ji, B., Zhang, J., Yan, J., & Li, W. (2024). An overview of diagnosis methods of stator winding inter-turn short faults in permanent-magnet synchronous motors for electric vehicles. *World Electric Vehicle Journal*, 15(4), 165. <https://doi.org/10.3390/wevj15040165>
- Khan, M. U. I., Pathan, M. I. H., Rahman, M. M., Islam, M. M., Chowdhury, M. A. R., Anower, M. S., Rana, M. M., Alam, M. S., Hasan, M., Sobuj, M. S. I., Islam, M. B., Meena, V., & Benedetto, F. (2024). Securing electric vehicle performance: Machine learning-driven fault detection and classification. *IEEE Access*, 12, 71566–71584. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3400913>

- Khaneghah, M. Z., Alzayed, M., & Chaoui, H. (2023). Fault detection and diagnosis of the electric motor drive and battery system of electric vehicles. *Machines*, 11(7), 713. <https://doi.org/10.3390/machines11070713>
- Kilic, A., & Weiss, F. (2023). Early detection of PMSM faults at static and dynamic operating points by using artificial neural network for automated electric vehicle. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 45(9), 493. <https://doi.org/10.1007/s40430-023-04420-6>
- Kumar, M. P., Velpula, S., & Saiprakash, C. (2026). Fault diagnosis and predictive maintenance of electric vehicle powertrain using artificial intelligence techniques: A review. *Results in Engineering*, 30, 110857. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2026.110857>
- Laborda, D. F., Reigosa, D., Fernández, D., Sasaki, K., Kato, T., & Briz, F. (2023). Variable leakage flux permanent magnet synchronous machine PM temperature estimation based on PM flux linkage. *IEEE Access*, 11, 112620–112630. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3324055>
- Lang, W. (2023). *Artificial intelligence-based condition monitoring techniques for powertrains in electric vehicles* [Doctoral dissertation, University of York]. White Rose eTheses Online. <https://etheses.whiterose.ac.uk/id/eprint/33975/>
- Lang, W., Hu, Y., Gong, C., Zhang, X., Xu, H., & Deng, J. (2022). Artificial intelligence-based technique for fault detection and diagnosis of EV motors: A review. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 8(1), 384–406. <https://doi.org/10.1109/TTE.2021.3110318>
- León-Duarte, J. A., & Martínez-Cadena, G. F. (2024). Desarrollo de un plan de mantenimiento vehicular apoyado por un sistema de gestión asistido por ordenador. *Información tecnológica*, 35(1), 23–32. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642024000100023>
- Li, W., Li, G., & Kamarthi, S. (2023). The study of trends in AI applications for vehicle maintenance through keyword co-occurrence network analysis. *International Journal of Prognostics and Health Management*, 14(2). <https://doi.org/10.36001/ijphm.2023.v14i2.3583>
- Liu, X., Liu, S., Fu, Z., & Ge, L. (2025). A critical review of fault-tolerant control for multiphase PMSM drive systems. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 11(6), 13684–13704. <https://doi.org/10.1109/TTE.2025.3598977>
- Ma, F., Qi, L., Ye, S., Chen, Y., Xiao, H., & Li, S. (2023). Research on fault diagnosis algorithm of ship electric propulsion motor. *Applied Sciences*, 13(6), 4064. <https://doi.org/10.3390/app13064064>
- Madan, R., & Ogaili, A. A. F. (2026). Intelligent fault diagnosis of EV induction motors using multi-sensor ANN and explainable AI for sustainable transportation. *Terra Joule Journal*, 2(1), Article 3. <https://doi.org/10.64071/3080-5724.1024>
- Mohammadi, F., & Saif, M. (2023). A multi-stage hybrid open-circuit fault diagnosis approach for three-phase VSI-fed PMSM drive systems. *IEEE Access*, 11, 137328–137342. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3339549>

- Noh, J., Lee, J., Oh, J., Kang, J., & Kim, N. (2025). Online monitoring method for IGBT bond-wire lift-off of electric vehicles via phase-current spectral analysis. *IEEE Access*, 13, 189473–189481. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3625194>
- Ouali, A., Khodja, D. E., Megherbi, H., & Choudira, I. (2025). Fault detection of stator windings for PMSM based on fast Fourier and discrete wavelet transform. *ITEGAM-JETIA*, 11(56), 7–19. <https://doi.org/10.5935/jetia.v11i56.2154>
- Park, Y., Fernandez, D., Lee, S. B., Hyun, D., Jeong, M., Kommuri, S. K., Cho, C., Diaz Reigosa, D., & Briz, F. (2019). Online detection of rotor eccentricity and demagnetization faults in PMSMs based on Hall-effect field sensor measurements. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(3), 2499–2509. <https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2886772>
- Pathiravasam, C., Venayagamoorthy, G. K., Ratnakumar, R., & Skeen, K. A. (2024). Functional situational awareness for reliable and efficient operation of hybrid electric vehicle power systems. *IEEE Access*, 12, 44000–44012. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3284553>
- Rosyadi, I., Nazaruddin, Y. Y., & Siregar, P. I. (2025). Leveraging deep transfer learning and time-aware convolutional transformers for stator winding fault diagnosis in electric motors: A digital twin approach. *Complex System Modeling and Simulation*, 5(4), 370–387. <https://doi.org/10.23919/CSMS.2025.0005>
- Saha, S., & Kar, U. (2022). Single current sensor based fault tolerant control of interior permanent magnet synchronous machine for drive applications. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 28(2), 674–685. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v28.i2.pp674-685>
- Şen, M., & Mutluer, M. (2025). A review of BLDC motors: Types, application, failure modes and detection. *Energies*, 18(24), 6402. <https://doi.org/10.3390/en18246402>
- Skowron, M. (2024). Analysis of PMSM short-circuit detection systems using transfer learning of deep convolutional networks. *Power Electronics and Drives*, 9(1), 21–33. <https://doi.org/10.2478/pead-2024-0002>
- Song, Q., Wang, M., Lai, W., & Zhao, S. (2022). Multiscale kernel-based residual CNN for estimation of inter-turn short circuit fault in PMSM. *Sensors*, 22(18), 6870. <https://doi.org/10.3390/s22186870>
- Soresini, F., Barri, D., Cazzaniga, I., Ballo, F. M., Mastinu, G., & Gobbi, M. (2025). Artificial intelligence for fault detection of automotive electric motors. *Machines*, 13(6), 457. <https://doi.org/10.3390/machines13060457>
- Suti, A., & Di Rito, G. (2024). Diagnosis of power switch faults in three-phase permanent magnet synchronous motors via current-signature technique. *Actuators*, 13(1), 25. <https://doi.org/10.3390/act13010025>
- Susilo, D. D., Ubaidillah, Prabowo, A. R., & Susilo, A. H. D. (2023). Diagnosing of BLDC motor faults based on LSSVM model and vibration signal. *E3S Web of Conferences*, 465, 01024. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346501024>

- Wang, C., Fan, I.-S., & King, S. (2022). Failures mapping for aircraft electrical actuation system health management. *PHM Society European Conference*, 7(1), 509–520. <https://doi.org/10.36001/phme.2022.v7i1.3354>
- Wu, C., & Verl, A. (2024). Parameter identification for fault analysis of permanent magnet synchronous motors based on transient processes. *World Electric Vehicle Journal*, 15(8), 347. <https://doi.org/10.3390/wevj15080347>
- Yu, Y., Li, Y., Zeng, D., Hu, Y., & Yang, J. (2024). Permanent magnet synchronous motor demagnetization fault diagnosis based on PCA-ISSA-PNN. *Scientific Reports*, 14(1), 21921. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-72596-5>
- Zhang, X., Hu, Y., Deng, J., Xu, H., & Wen, H. (2022). Feature engineering and artificial intelligence-supported approaches used for electric powertrain fault diagnosis: A review. *IEEE Access*, 10, 29069–29088. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3157820>
- Zhao, S., Song, Q., Wang, M., Lai, W., & Li, Y. (2023). Mechanical faults detection for vehicle motors under nonstationary conditions based on Vold-Kalman order tracking method. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 237(4), 839–851. <https://doi.org/10.1177/09544070221078679>
- Ziad, H., Al-Dujaili, A., & Humaidi, A. J. (2024). Electrical faults classification in permanent magnet synchronous motor using ResNet neural network. *International Review of Applied Sciences and Engineering*, 15(3), 355–364. <https://doi.org/10.1556/1848.2024.00789>
- Zsuga, Á., & Dineva, A. (2023). Data-driven onboard inter-turn short circuit fault diagnosis for electric vehicles by using real-time simulation environment. *IEEE Access*, 11, 145447–145466. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3344483>



Este artículo está bajo la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0).