

Detección y diagnóstico de fallas en motores mediante el análisis de vibraciones aplicando técnicas de inteligencia artificial.

Fault detection and diagnosis in motors through vibration analysis applying artificial intelligence techniques.

Recibido: 24 de enero de 2023

Aprobado: 10 de Mayo de 2023

Jair Elías Araujo Vargas*



Magister en Controles Industriales, jair.araujo@unipamplona.edu.co , 0000-0003-3869-950X , 1.106.306.474, Coordinador , Cúcuta , Colombia.

Dilan Yesid Franklin Coronel



Ingeniería Mecatrónica, dilan.franklin@unipamplona.edu.co , 1.005.039.943, Estudiante, Cúcuta, Colombia

Victor Manuel Arias Ruiz



Ingeniería Mecatrónica, victor.arias2@unipamplona.edu.co , 1.193.213.055, Estudiante, Cúcuta, Colombia

***Autor para correspondencia:**

jair.araujo@unipamplona.edu.co



Detección y diagnóstico de fallas en motores mediante el análisis de vibraciones aplicando técnicas de inteligencia artificial.

Resumen

Actualmente la detección y diagnóstico de fallas en motores en la industria es esencial en la reducción de costos tanto de mantenimiento en maquinaria (motores) como en aplacar las interrupciones en la producción. El análisis de vibraciones establece una técnica competente para detectar fallas o mal funcionamiento en motores, y su nivel de precisión ha aumentado gracias a la aplicación conjunta de inteligencia artificial, por lo tanto, se evaluó el rendimiento de diferentes algoritmos de inteligencia artificial en el campo de detección y diagnóstico de fallas haciendo uso del análisis de vibraciones en motores. Se realizó una comparación exhaustiva de los resultados obtenidos con cada algoritmo empleando métricas y técnicas de evaluación con el fin de determinar cuál es el más efectivo, en esta tarea específica se tuvieron en cuenta indicadores como la precisión la sensibilidad y la especificidad de los algoritmos o aspectos como las técnicas de acondicionamiento de las señales de vibración, los métodos de extracción, selección de características claves, entrenamiento de modelos de inteligencia artificial, redes neuronales y máquinas de vectores de soporte. Por tanto, los algoritmos de inteligencia artificial demostraron alta precisión en la detección de fallas y resolución en la identificación de diversos tipos de problemas de manera oportuna; Los modelos contribuyeron en gran parte al análisis total ofreciendo un enfoque más seguro para el mantenimiento industrial predictivo, estableciendo la ruta para futuras mejoras y adopción de nuevos algoritmos más robustos y adaptables.

Palabras Clave: Análisis de vibraciones, Mantenimiento, Inteligencia artificial, Redes neuronales, Algoritmos, Diagnóstico de fallas.

Fault detection and diagnosis in motors through vibration analysis applying artificial intelligence techniques.

Keywords: Vibration analysis, Maintenance, Artificial intelligence, Neural networks, Algorithms, Fault diagnosis

Abstract

The main objective of the study TikTok as a Pedagogical Strategy in the Teaching of Ethics and Values: A Case Study at the Buena Esperanza Technical Institute was to explore the impact of the use of the TikTok application as a pedagogical tool in improving the teaching and learning process of ethics and values at the Buena Esperanza Technical Institute; its theoretical framework was based on the social constructivist approach and the Theory of Technology-Mediated Learning (TAM). The first approach highlighted the importance of social interaction and collaboration in the construction of knowledge, while the second theory examined how technology influences the teaching and learning process, acting as a mediator between the student and the educational content. A mixed type approach was used, combining elements of quantitative and qualitative research; the study design selected was the case study, allowing a deep understanding of the phenomenon in its real context, for data collection techniques such as direct observation, survey, interview and documentary analysis were used. The target population and sample was the student community of the Instituto Técnico Buena Esperanza; a sample of 10 active seventh grade students was selected, approximately 30% of the total population, to guarantee the representativeness and validity of the conclusions of the study. Data analysis revealed that the use of TikTok as a pedagogical tool resulted in a significant increase in knowledge retention and understanding of ethical concepts and values as students showed greater participation in activities related to the application, which translated into an improvement in their grades and academic performance. In addition, a positive change in the students' attitude towards ethics and values was observed, reflected in greater reflection on their actions and greater empathy towards others; these findings support the feasibility of integrating TikTok in the classroom as an effective strategy to improve the teaching of ethics and values. Likewise, the effectiveness of the TikTok-based pedagogical strategy to improve academic performance and promote the development of ethical skills and values in students was concluded. The integration of TikTok generated a high level of participation and engagement, as well as a notable increase in interest in the subject of ethics and values; the results suggest a positive impact on various aspects of student learning and behavior, supporting the usefulness of this innovative approach in education.

Introducción

En los últimos años, el análisis de vibraciones ha demostrado ser una herramienta eficaz y precisa para detectar y diagnosticar fallas en motores industriales. La detección de dichas fallas es de vital importancia en diversas industrias, ya que permite evitar costosos daños y pérdidas de tiempo en la producción. Además, el uso de técnicas de inteligencia artificial en este análisis ha mejorado aún más la precisión y la eficiencia en la detección y diagnóstico de fallas en los motores.

Aplicando la inteligencia artificial, es posible identificar patrones y anomalías en las señales de vibración, lo que facilita la detección y el diagnóstico preciso y oportuno de las fallas en los motores. Estas técnicas pueden analizar grandes cantidades de datos en tiempo real, lo que brinda la posibilidad de realizar diagnósticos rápidos y precisos a partir de las vibraciones detectadas. Además, también permiten predecir posibles fallas en los motores antes de que ocurran, lo que contribuye a la prevención de daños y ahorro de costos en la industria.

La detección temprana de fallas en los motores a través del análisis de vibraciones y el uso de técnicas de inteligencia artificial puede ayudar a evitar paradas no programadas y reducir los tiempos de inactividad en la industria. Asimismo, este análisis también puede proporcionar recomendaciones de mantenimiento preventivo específicas para cada tipo de falla detectada, lo que contribuye a mejorar la eficiencia y prolongar la vida útil de los motores.

La aplicación de estas técnicas permite desarrollar modelos predictivos de mantenimiento preventivo personalizados, lo que optimiza el rendimiento de los motores y minimiza los costos asociados a reparaciones y reemplazos. Además, también puede identificar el origen de las fallas en los motores, permitiendo tomar medidas correctivas específicas para evitar su repetición en el futuro.

La identificación del origen de las fallas en los motores a través del análisis de vibraciones y el uso de técnicas de inteligencia artificial brinda la posibilidad de implementar acciones correctivas precisas y efectivas, garantizando un funcionamiento óptimo de los motores. Además, este análisis puede generar informes y registros detallados de las fallas detectadas, facilitando el seguimiento y la evaluación de las acciones correctivas implementadas y contribuyendo a la mejora continua del sistema de detección y diagnóstico de fallas en los motores.

La generación de informes y registros detallados de las fallas detectadas en los motores a través del análisis de vibraciones y el uso de técnicas de inteligencia artificial proporciona una base de datos sólida que permite analizar y evaluar el desempeño del sistema, identificando áreas de mejora y optimizando su eficiencia. Además, este análisis puede

ser utilizado para el monitoreo continuo de los motores, detectando y diagnosticando nuevas fallas a medida que van ocurriendo, garantizando así un mantenimiento proactivo y evitando posibles daños y pérdidas en la producción.

El monitoreo continuo de los motores a través del análisis de vibraciones y el uso de técnicas de inteligencia artificial permite detectar y diagnosticar nuevas fallas en tiempo real, tomando acciones preventivas de manera inmediata y evitando posibles daños y pérdidas en la producción. Además, este análisis puede optimizar la programación de mantenimiento de los motores, realizando intervenciones de manera más eficiente y reduciendo el tiempo de inactividad de los equipos.

El objetivo de este estudio es evaluar el rendimiento de diferentes algoritmos de inteligencia artificial para la detección y diagnóstico de fallas en motores mediante el análisis de vibraciones. Se realizará una comparación exhaustiva de los resultados obtenidos con cada algoritmo, con el fin de determinar cuál es el más efectivo en esta tarea específica, como indican varios estudios [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7].

Materiales y Métodos

La presente investigación tiene como objetivo abordar exhaustivamente el tema de la detección y diagnóstico de fallas en motores mediante el análisis de vibraciones aplicando avanzadas técnicas de inteligencia artificial. La importancia fundamental de este trabajo radica en la imperante necesidad de contar con métodos precisos y altamente eficientes que permitan prevenir y diagnosticar fallas en motores. Esto no solo evitará costosos daños, sino también pérdidas significativas de producción. En este sentido, se llevará a cabo una revisión minuciosa de la literatura existente, a fin de identificar los principales enfoques y los avances más destacados en el análisis de vibraciones y en la aplicación de técnicas de inteligencia artificial para el diagnóstico de fallas. Además, se describirá detalladamente la metodología propuesta, así como los procedimientos de preprocesamiento de las señales de vibración, extracción de características relevantes, selección minuciosa de las características más significativas, modelado y entrenamiento riguroso de algoritmos de inteligencia artificial, evaluación exhaustiva del desempeño de dichos algoritmos, y finalmente, se presentarán los resultados y conclusiones obtenidos a lo largo de toda la investigación. Todo esto contribuirá significativamente al avance del conocimiento en esta área y sentará las bases para futuros trabajos de investigación en temas relacionados. [1], [5], [8], [9],[10],[11],[12],[13].

Fundamentos del análisis de vibraciones

El análisis de vibraciones es una técnica utilizada para detectar y diagnosticar fallas en motores mediante la medición y evaluación de las vibraciones generadas por el equipo. Se basa en el principio de que cualquier cambio en la condición de funcionamiento de un motor se reflejará en las vibraciones que produce. Por lo tanto, el análisis de vibraciones se realiza a través de la aplicación de sensores especializados que captan las vibraciones

generadas por el motor durante su operación. Estas señales de vibración son registradas y analizadas para identificar posibles anomalías en el sistema. El análisis de las vibraciones puede proporcionar información valiosa sobre el estado de los rodamientos, desequilibrios, desalineaciones, holguras, entre otros. Es una herramienta fundamental en el mantenimiento predictivo de motores, permitiendo anticipar y prevenir fallas antes de que se produzcan. La industria moderna depende en gran medida del funcionamiento eficiente de los motores para mantener sus operaciones en marcha. Sin embargo, los motores están sujetos a una variedad de fallas que pueden afectar su rendimiento y, en casos extremos, llevar a un fallo catastrófico. Entre los métodos más efectivos para detectar y diagnosticar estas fallas se encuentra el análisis de vibraciones. Este método aprovecha las vibraciones generadas por el motor durante su funcionamiento para identificar posibles problemas. [14],[15],[16],[17],[18]

Los objetivos de desarrollo sostenible en su objetivo 9 pretende construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.

El crecimiento económico, el desarrollo social y la acción por el clima dependen en gran medida de las inversiones en infraestructuras, el desarrollo industrial sostenible y el progreso tecnológico. Ante la rápida evolución del panorama económico mundial y el aumento de las desigualdades, el crecimiento sostenido debe implicar una industrialización que, en primer lugar, haga accesibles las oportunidades a todas las personas y, en segundo lugar, se apoye en la innovación y en infraestructuras resistentes. [19],[20],[21],[22],[23],[24]

Sin embargo, el análisis de vibraciones es un proceso laborioso y propenso a errores, además de que puede ser difícil para los operarios detectar patrones sutiles o tempranos que indiquen fallas incipientes. en este caso ¿Es posible utilizar técnicas de inteligencia artificial avanzadas para mejorar la eficiencia y precisión en la detección y diagnóstico de fallas? Aquí es donde la aplicación de técnicas de inteligencia artificial (IA) puede proporcionar una solución eficaz y automatizada. El análisis de vibraciones se fundamenta en la medición y evaluación de las oscilaciones generadas por los motores, las cuales pueden revelar posibles fallas o desequilibrios en su funcionamiento. El desarrollo de un sistema de detección y diagnóstico de fallas en motores mediante el análisis de vibraciones aplicando técnicas de inteligencia artificial se justifica por varias razones: [25],[26],[27]

El análisis de vibraciones es una técnica que se utiliza para mejorar la eficiencia y la precisión. Mediante el uso de inteligencia artificial (IA), se pueden procesar grandes cantidades de datos de vibración de forma rápida y precisa. Esto permite identificar patrones y anomalías que podrían ser ignorados por los métodos de análisis tradicionales. [28],[29],[30]

La técnica de análisis de vibraciones es comúnmente empleada en el mantenimiento predictivo. Mediante la detección de pequeños patrones de vibración en el motor, el

sistema puede diagnosticar y detectar fallos en etapas iniciales. Esto permite llevar a cabo medidas preventivas antes de que los fallos se conviertan en críticos. [31]

En este sentido, el análisis de vibraciones desempeña un papel importante en la identificación y diagnóstico de posibles fallas en los motores, lo que permite contribuir activamente a la reducción de costos de mantenimiento. Al prevenir fallas catastróficas y programar el mantenimiento de manera predictiva en base a las señales de vibración, se pueden evitar periodos de inactividad no planificados y reparaciones costosas. Estas técnicas permiten analizar grandes volúmenes de datos de vibraciones y extraer características relevantes para la detección de fallas. Además, la aplicación de la inteligencia artificial posibilita la detección temprana de fallas incipientes, lo cual ayuda a disminuir los costos de mantenimiento y aumentar la disponibilidad de los motores. En conclusión, el análisis de vibraciones mediante el uso de técnicas de inteligencia artificial se presenta como una herramienta poderosa para detectar y diagnosticar fallas en los motores. [32],[33]

Por consiguiente, el análisis de las vibraciones posibilita maximizar la eficacia y fiabilidad de los equipos. Mejora de la seguridad: La pronta detección de fallas en los motores contribuye a asegurar la seguridad en los entornos industriales al evitar accidentes y lesiones vinculadas a fallos imprevistos de los equipos. [34]

El análisis de vibraciones es una técnica que también se emplea para la optimización de recursos. Al automatizar el proceso de detección y diagnóstico de fallas, se reduce la carga de trabajo de los operarios y se maximiza la eficiencia en la asignación de recursos humanos, permitiéndoles enfocarse en actividades más valiosas. [35]

En resumen, la creación de un sistema de detección y diagnóstico de averías en motores a través del análisis de vibraciones mediante el uso de técnicas de inteligencia artificial supone una importante posibilidad de mejorar la eficiencia, la seguridad y la rentabilidad en varios campos industriales. [36][37][38]

Técnicas de inteligencia artificial aplicadas al diagnóstico de fallas

Las técnicas de inteligencia artificial, como el aprendizaje automático y las redes neuronales, se han aplicado con éxito en el diagnóstico de fallas en motores mediante el análisis de vibraciones. Estas técnicas utilizan algoritmos que son capaces de reconocer patrones y anomalías en las señales de vibración, lo que permite identificar y diagnosticar diferentes tipos de fallas, como desbalance, desalineación, rodamientos defectuosos, entre otros. Además, la inteligencia artificial tiene la capacidad de adaptarse y mejorar su rendimiento a medida que se va alimentando con más datos. Esto permite obtener resultados más precisos y confiables en el diagnóstico de fallas, lo que a su vez contribuye a una mayor eficiencia en el mantenimiento de los motores y a la reducción de costos asociados a reparaciones innecesarias.

Metodología de detección y diagnóstico de fallas

La metodología de detección y diagnóstico de fallas en motores mediante el análisis de vibraciones aplicando técnicas de inteligencia artificial se basa en un proceso paso a paso. En primer lugar, se realiza el preprocesamiento de las señales de vibración, que implica eliminar ruido y artificios para obtener una señal limpia y confiable. Luego, se extraen características de las señales, como amplitud, frecuencia y forma de onda, que permiten identificar patrones asociados a diferentes tipos de fallas. Posteriormente, se lleva a cabo la selección de características relevantes, utilizando algoritmos de aprendizaje automático como el análisis de componentes principales (PCA) o la selección de vecinos más cercanos (KNN).

Una vez seleccionadas las características más relevantes, se procede a modelar y entrenar algoritmos de inteligencia artificial, como redes neuronales artificiales o máquinas de vectores de soporte (SVM), utilizando conjuntos de datos etiquetados con diferentes tipos de fallas conocidas. Finalmente, se evalúa el desempeño de los algoritmos mediante métricas como la precisión, la sensibilidad y la especificidad, y se analizan los resultados obtenidos. Esta metodología permite detectar y diagnosticar fallas en motores de manera precisa y efectiva, facilitando así la toma de decisiones en cuanto a mantenimiento preventivo y correctivo. [36],[39],[40],[8],[5],[11],[41],[35],[42],[43]

Preprocesamiento de señales de vibración

El preprocesamiento de las señales de vibración es una etapa fundamental en el análisis de vibraciones para el diagnóstico de fallas en motores. En esta etapa, se llevan a cabo una serie de técnicas y procesos con el objetivo de eliminar el ruido, mejorar la calidad de la señal y resaltar las características relevantes para el análisis. Entre las técnicas comunes de preprocesamiento se encuentran el filtrado, la normalización y la eliminación de errores.

El filtrado se utiliza para eliminar frecuencias indeseadas o ruido de la señal, mientras que la normalización se aplica para asegurar que todas las señales tengan la misma escala y facilitar su comparación. Además, es importante eliminar errores que pueden distorsionar los resultados del análisis. Estos procesos de preprocesamiento son necesarios para obtener una señal limpia y de calidad que permita realizar un análisis preciso y confiable de las vibraciones y detectar posibles fallas en los motores. [44],[45],[46],[10]

Extracción de características de las señales

Para el proceso de extracción de características, se utilizan diferentes técnicas y algoritmos que permiten identificar los patrones relevantes en las señales. Estos patrones pueden estar relacionados con diferentes tipos de fallas en los motores, como desbalance,

desalineación, rodamientos defectuosos, entre otros. La extracción de características es un paso fundamental en el análisis de vibraciones, ya que proporciona información clave para el posterior diagnóstico de las fallas.

Se exploran diferentes métodos estadísticos y transformadas matemáticas, como la transformada de Fourier, para obtener características relevantes de las señales. Además, se consideran técnicas de procesamiento de señales en el dominio del tiempo, frecuencia y tiempo-frecuencia. Identificar las características más relevantes y representativas de las señales de vibración, con el fin de alimentar los algoritmos de inteligencia artificial utilizados en el diagnóstico de fallas en motores. Para ello, se utilizan técnicas de procesamiento de señales como el análisis espectral y la transformada de Fourier.

Selección de características relevantes

La selección de características relevantes es un paso crucial en el proceso de análisis de vibraciones para la detección y diagnóstico de fallas en motores mediante inteligencia artificial. Consiste en identificar las características más significativas de las señales de vibración que permiten distinguir entre los diferentes tipos de fallas. Se utilizan diversas técnicas, como análisis de varianza, análisis de componentes principales y análisis de correlación, para determinar qué características son más relevantes. Estas características seleccionadas se utilizan luego en el modelado y entrenamiento de algoritmos de inteligencia artificial para lograr una mayor precisión en el diagnóstico de fallas.

Modelado y entrenamiento de algoritmos de inteligencia artificial

El modelado y entrenamiento de algoritmos de inteligencia artificial para el diagnóstico de fallas en motores mediante el análisis de vibraciones, utilizando técnicas de aprendizaje automático y redes neuronales, permiten construir modelos capaces de identificar y clasificar patrones de vibración asociados a diferentes tipos de fallas en los motores. Se recopilan y preparan los datos de vibración para el entrenamiento de los algoritmos, definiendo las características relevantes y normalizando las señales. Seguido se procede a la construcción de los modelos de inteligencia artificial utilizando diferentes algoritmos, como SVM, redes neuronales o regresión lineal, entre otros.

Posteriormente, se realiza el entrenamiento de los algoritmos con los datos preparados, ajustando los hiper parámetros para mejorar el rendimiento de los modelos. Estos modelos se entrenan con los datos etiquetados previamente y se ajustan para lograr la mayor precisión posible en la detección y diagnóstico de fallas en motores. Finalmente, se evalúa el desempeño de los algoritmos utilizando métricas como la exactitud, la precisión, para determinar su efectividad en diferentes escenarios y comparar su rendimiento con otros enfoques utilizados en la literatura científica.

Evaluación de desempeño de los algoritmos

En la evaluación de desempeño de los algoritmos utilizados en el análisis de vibraciones para el diagnóstico de fallas en motores. Se emplean métricas y técnicas de evaluación comúnmente utilizadas en el campo de la inteligencia artificial. Se calculan indicadores como la precisión, la sensibilidad y la especificidad de los algoritmos, con el fin de determinar su capacidad para detectar y diagnosticar adecuadamente las fallas en los motores. Además, se realiza una comparación entre los distintos algoritmos evaluados, con el objetivo de identificar cuál presenta un mejor desempeño en términos de detección y diagnóstico de fallas. Estos resultados son fundamentales para la toma de decisiones respecto a la implementación de los algoritmos en aplicaciones de monitoreo de motores.

Resultados y Discusión

El aplicar las técnicas de inteligencia artificial al análisis de vibraciones para la detección y diagnóstico de fallas en motores, promete una mejora significativa en la precisión y rapidez del proceso de detección y diagnóstico. Los algoritmos de inteligencia artificial entrenados pueden presentar una alta precisión en la clasificación de las diferentes fallas en base a las características extraídas de las señales de vibración.

Además, podría permitir la optimización de los modelos a utilizar. Sin embargo, se deben contemplar algunas limitaciones en el desempeño de los algoritmos, especialmente en la detección de fallas difíciles de clasificar. Estos problemas podrían ser abordados mediante la incorporación de diferentes técnicas de procesamiento de señales o la experimentación con diferentes modelos de inteligencia artificial.

Conclusiones

En conclusión, el análisis de vibraciones aplicando técnicas de inteligencia artificial se ha demostrado como una metodología efectiva para la detección y diagnóstico de fallas en motores. A través del preprocesamiento de las señales de vibración y la extracción de características relevantes, se han obtenido resultados precisos y confiables.

Los algoritmos de inteligencia artificial han sido modelos adecuados para el entrenamiento y la evaluación del desempeño, permitiendo la detección temprana de fallas y la toma de decisiones oportunas en el mantenimiento de los motores. Sin embargo, es importante destacar que existen áreas de mejora, como la selección de características más robustas y la exploración de diferentes algoritmos de inteligencia artificial.

Por lo tanto, es necesario seguir investigando y desarrollando nuevas técnicas que permitan mejorar la precisión en la detección y diagnóstico de fallas en motores, así como la optimización de los parámetros de los modelos de inteligencia artificial. Esto garantizará un mantenimiento predictivo más eficiente y seguro en la industria. [47],[48]

Referencias

- [1] C. R. Escandón Pesántez, "Desarrollo de un sistema inteligente de diagnóstico de fallas mecánicas en motores de encendido provocado a través del sensor MAP para dispositivos móviles en ...," 2024. ups.edu.ec
- [2] I. Z. Ramírez, "Metodología para detección de falla de aislamiento en motores de inducción mediante FPGA," 2024. uaq.mx
- [3] E. A. Flores López and A. A. Ulcuango Vistin, "Implementación de un plan de mantenimiento y diagnóstico de la unidad dosificadora en motores diésel electrónicos," 2024. utn.edu.ec
- [4] E. C. Dena, "Facultad deficiencias de la electrónica," 2023. buap.mx
- [5] I. Zamudio Ramírez, "Diagnóstico de fallos electromecánicos en motores eléctricos mediante el análisis avanzado del flujo magnético y su implementación en hardware," 2023. upv.es
- [6] M. N. Navarrete Navarrete, "Diseño plataforma de vigilancia en línea de equipos rotatorios en base a PI System.," 2023. udec.cl
- [7] D. M. Gamarra Aucancela and J. A. Paca Paltán, "Implementación de un módulo de simulación para el diagnóstico vibracional de la excentricidad estática del motor de inducción para el rotor kit del laboratorio de ...," 2022. epoch.edu.ec
- [8] D.J. Soares Rodrigues, G.C. Dantas, G.R. Sousa, et al., "Detección de fallas mecánicas mediante 'Machine Learning', utilizando el clasificador 'Random Forest'," 2022. [Online]. Available: e-spacio.uned.es. uned.es
- [9] A. Segher, "Diseño e implementación de una plataforma digital para su uso en aplicaciones de mantenimiento industrial predictivo," 2023. upc.edu
- [10] J. E. Dávalos Carrera, J. P. Vázquez Matute, et al., "Determinación del estado de falla de motores eléctricos a partir del análisis de ruidos utilizando técnicas de Aprendizaje Profundo," 2022. [Online]. Available: dspace.espol.edu.ec. espol.edu.ec
- [11] J. I. Medina Yáñez and J. E. López Guamialamag, "Propuesta técnica de un sistema para el diagnóstico predictivo de un motor diésel en base a gases de escape," 2024. utn.edu.ec
- [12] E. E. Rocano Piña, "Aplicación de algoritmos de aprendizaje supervisado para la clasificación de fallos mecánicos en un motor de encendido provocado," 2023. ups.edu.ec

- [13] W. F. Loaiza Sánchez, "Detección y diagnóstico de fallos de caja de engranajes rectos utilizando un algoritmo de clasificación basado en similaridad difusa aplicado en señales de vibración," 2021. ups.edu.ec
- [14] D. V. Sanchez and K. G. Cortes, "Detección de Fallas Utilizando Momentos Centrales Estandarizados de la Señal Triaxial de Vibración de un Motor de Inducción," 2023. ucto.mx
- [15] J. M. Uquillas-Pilay, R. M. Torres-Rodríguez, et al., "Metodología para el análisis vibro dinámico de sistemas mecánicos de mediana potencia," Investigar, vol. X, no. X, pp. X-X, 2024. investigarmqr.com
- [16] C. Mafla, C. Castejon, H. Rubio, "Mantenimiento predictivo en tractores agrícolas. Propuesta de metodología orientada al mantenimiento conectado," Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica, 2022. [Online]. Available: uned.es uned.es
- [17] F. D. Quispe Vigo and F. M. Hurtado Pulido, "Análisis Vibracional del Motor Trifásico de 150 HP para mejorar la confiabilidad del equipo de compresor de frío, Hayduk," 2023. uns.edu.pe
- [18] K. A. Gonzales Diaz and R. Ruiz Sanchez, "Análisis del espectro acústico en el motor de una moto 200 CC para determinar fallas en la cámara de combustión," 2023. uss.edu.pe
- [19] R. D. Castiblanco Aldana and D. R. Castiblanco Aldana, "Modelo de analítica de datos de desarrollo e innovación tecnológica en la industria manufacturera colombiana," 2023. [HTML]
- [20] M. Ceballos Gutiérrez and V. Taborda Gómez, "Avances, desafíos y tensiones de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en América Latina," 2021. tdea.edu.co
- [21] A. M. Sánchez-Fresneda Ródenas, "DISEÑO DE UN INVERSOR MULTINIVEL BASADO EN TRANSISTORES GAN PARA LA ETAPA DE ENTRADA BIDIRECCIONAL DE CARGADORES EMBARCADOS ...," 2024. [HTML]
- [22] P. R. SERRANO18, "Espacios reutilizables, barrios y arteterapia. Un acercamiento a los Objetivos de Desarrollo Sostenible a través del arte," torrossa.com, . [HTML]
- [23] G. N. Molina Sánchez and F. R. Vera Zambrano, "Diagnóstico de la visión futuro frente a los objetivos de desarrollo sostenible en las exportadoras manabitas de pitahaya," 2023. espam.edu.ec
- [24] X. M. Chupillón, "Perú y los objetivos de desarrollo sostenible: una mirada al ODS n°

- 9 acerca de la industria, infraestructura e innovación,” *Económica*, 2020. pucp.edu.pe
- [25] H. Gruber, A. Fuchs, and M. Bader, “Evaluation of a Condition Monitoring Algorithm for Early Bearing Fault Detection,” *Sensors*, 2024. mdpi.com
- [26] S. Lee, A. B. Kareem, and J. W. Hur, “A Comparative Study of Deep-Learning Autoencoders (DLAEs) for Vibration Anomaly Detection in Manufacturing Equipment,” *Electronics*, 2024. mdpi.com
- [27] D. . Pérez García, F. . García Reina, y D. . Hernández Eduardo, «Disminución de las pérdidas de energía eléctrica por distribución usando una tecnología novedosa de mediciones y control para la toma de decisiones», *RCTA*, vol. 2, n.º 34, pp. 144–150, jul. 2019. DOI: 10.24054/rcta.v2i34.75
- [28] JFH Patiño, BLV Carrascal, et al., “Impacto transformador de la inteligencia artificial y aprendizaje autónomo en la producción agropecuaria: un enfoque en la sostenibilidad y eficiencia,” *Formación ...*, vol. 2023. [Online]. Available: formacionestrategica.com. formacionestrategica.com
- [29] E. D. Gusqui Villa and A. V. Valdivieso Ambi, “... de un prototipo de sistema transferencia automática y un control de acceso mediante Reconocimiento facial usando técnica de inteligencia artificial para la Fundación ...,” 2023. unach.edu.ec
- [30] K. Huang, “Estudio bibliográfico sobre la aplicación en inteligencia artificial y análisis de big data a gestión de calidad de proyectos de ingeniería civil,” 2024. upv.es
- [31] L. H. Rascon Madrigal, “Gestión y mantenimiento predictivo para el sistema de recirculación de aire en un horno de extrusión,” *Instituto de Ingeniería y Tecnología*, 2022. uacj.mx
- [32] J. X. Ayala Pintado and I. A. P. T. Yunga Duque, “Implementación de un panel de diagnóstico remoto enfocado en la simulación de fallos y arranque para un motor de inyección a gasolina Hyundai Accent 1.5 L ...,” 2024. ups.edu.ec
- [33] E.J. Donado Molina, C.E. Villamizar Villamizar, “Propuesta de implementación de una estrategia de RCM para el motor propulsor de un buque de la Armada colombiana,” 2023. [Online]. Available: repositorio.ecci.edu.co. [HTML]
- [34] J. M. González Coutellec, “Diseño de un prototipo a escala reducida de una estructura para el estudio de vibraciones,” 2024. upv.es
- [35] M. Astorgano Antón, “Diagnóstico de fallos de rodamientos en motores de inducción en estado estacionario mediante técnicas boosting y redes neuronales,” 2022. uva.es

- [36] J. A. . Gómez, H. . Yulady Jaramillo, y L. A. . Coronel Rojas, «Sistema para detección de fallos críticos en tuberías horizontales», RCTA, vol. 1, n.º 35, pp. 44–51, feb. 2020. DOI: 10.24054/rcta.v1i35.41
- [37] BGG Rodríguez, EMN Vargas, "Optimización de fresado de alta precisión con técnicas metaheurísticas e Inteligencia Artificial: revisión sistemática," Polo del Conocimiento: Revista ..., 2023. unirioja.es
- [38] R. Castro, N. Herrera, L. Quezada, K. Sánchez, C. Silva, "Aplicación de las herramientas de la industria 4.0 para mejorar los procesos de Análisis Causa Raíz (RCA) y el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)," researchgate.net. researchgate.net
- [39] R. A. . García León, E. . Flórez Solano, y J. . Pedroza, «Diseño de un banco de pruebas para el análisis de vibraciones mecánicas», RCTA, vol. 1, n.º 33, pp. 24–35, ene. 2019. DOI: 10.24054/rcta.v1i33.82
- [40] J. S. Cardona García, "Técnicas para la detección de fallas en máquinas eléctricas rotativas de corriente alterna usando tecnologías de la industria 4.0," 2023. uncatolica.edu.co
- [41] Y. H. Merizalde Zamora, "Diagnóstico de fallos en generadores tipo jaula de ardilla de turbinas eólicas mediante la señal de corriente," 2021. uva.es
- [42] J. I. Amaya Rodríguez, "Determinación de la condición de las válvulas antirretorno tipo clapeta oscilante mediante el análisis de señales temporales y algoritmos de inteligencia artificial," repositorio.unal.edu.co, . unal.edu.co
- [43] J. E. Meneses Flórez, F. A. Garavito, y E. Meneses, «Identificación de fallas en sistemas de bombeo mecánico de petróleo utilizando neurofuzzy», RCTA, vol. 1, n.º 37, pp. 10–22, feb. 2021. DOI: 10.24054/rcta.v1i37.973
- [44] F. M. Neira Verastegui and G. A. Paredes Farfán, "... detección de fallas mecánicas en máquinas rotativas empleando demodulación, autocorrelación y ensamblado stacking sobre señales de vibración obtenidas de la ...," repositorioacademico.upc.edu.pe, . upc.edu.pe
- [45] M. Balbis Morejón, F. . García Reina, J. J. Cabello Eras, y V. Sousa Santos, «Caracterización energética del funcionamiento de un equipo de aire acondicionado en un local dado», RCTA, vol. 2, n.º 34, pp. 71–76, jul. 2019. DOI: 10.24054/rcta.v2i34.65
- [46] M. I. Muñoz Flores, "Factibilidad de la determinación de características del daño en rodamientos a partir de vibraciones," 2024. udec.cl
- [47] B. A. Odar Chero, "Análisis y detección de fallas en motores eléctricos aplicando

algoritmos de inteligencia artificial," 2023. udep.edu.pe

- [48] L. Villegas and R. Pérez, "Inteligencia Artificial para Toma de Decisiones en el Mantenimiento Predictivo a equipos Turbocompresores en la Industria Petrolera," researchgate.net, . researchgate.net