Interpretación de Datos Obtenidos del Análisis de Vibraciones para el Diagnóstico de Fallas en Equipos o Máquinas Rotativas

Por:

María Martínez
Escuela de Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad Don Bosco
San Salvador, El Salvador
eugenia.martintez@udb.edu.sv

Mario Martínez
Escuela de Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad Don Bosco
San Salvador, El Salvador
mario.chavez@udb.edu.sv

Resumen El análisis de vibraciones es una técnica crucial en el mantenimiento predictivo que permite identificar fallas en maquinarias rotativas antes de que se produzcan interrupciones graves. Este estudio presenta una metodología para la interpretación de datos de vibraciones utilizando instrumentación avanzada, como acelerómetros y sistemas de adquisición de datos, y analiza cómo la aplicación sistemática de esta técnica puede reducir costos operativos y optimizar la vida útil de los equipos. Además, se destacan tecnologías emergentes, como sensores IoT y algoritmos de aprendizaje automático, como herramientas clave para maximizar el impacto del mantenimiento predictivo.

Palabras clave: Análisis de vibraciones, mantenimiento predictivo, diagnóstico de fallas, maquinaria rotativa, optimización operativa.

Abstract Vibration analysis is a crucial technique in predictive maintenance that enables the identification of faults in rotating machinery before major interruptions occur. This study presents a methodology for interpreting vibration data using advanced instrumentation, such as accelerometers and data acquisition systems. The systematic application of this technique demonstrates its potential to reduce operating costs and optimize equipment lifespan. Emerging technologies like IoT sensors and machine learning algorithms are highlighted as key tools to enhance the effectiveness of predictive maintenance.

Keywords: Vibration analysis, predictive maintenance, fault diagnosis, rotating machinery, operational optimization.

I. Introducción

El análisis de vibraciones se ha convertido en una herramienta esencial para el diagnóstico temprano de fallas en maquinaria rotativa. Esta técnica permite monitorear y analizar las señales vibracionales generadas por equipos industriales, identificando patrones que indican problemas como desalineación, desbalance o defectos en rodamientos. A pesar de que algunas industrias en El Salvador aplican programas de mantenimiento predictivo, un porcentaje significativo aún carece de interpretación adecuada de los datos obtenidos, lo que limita su eficacia. Este trabajo busca cerrar esa brecha mediante el desarrollo de una metodología para la interpretación de datos vibracionales.

II. Trabajo relacionado

El tema de análisis de vibraciones ha sido ampliamente explorado en el ámbito industrial debido a su relevancia en el mantenimiento predictivo. Estudios pioneros, como el de Ohta et al. [1], analizaron las características vibracionales en maquinaria rotativa mediante métodos basados en la transformada de Fourier, demostrando su eficacia en la detección de desbalance y desalineación. Asimismo, Tiboni et al. [2] llevaron a cabo una revisión integral de técnicas de monitoreo, destacando la necesidad de mejorar las herramientas para maquinaria de baja velocidad, donde las señales vibracionales son menos evidentes.
En el contexto de aplicaciones específicas, Bravomalo [6] estudió el impacto de las vibraciones mecánicas en conductores de autobuses urbanos, relacionando los

niveles de vibración con la fatiga laboral y proponiendo medidas correctivas basadas en la reducción de resonancias estructurales. Otros trabajos, como los de Pérez y Ruiz [3], se enfocaron en sistemas de detección automática de fallas en rodamientos, integrando algoritmos de aprendizaje automático para optimizar los diagnósticos.
Este estudio se distingue al proponer una metodología integral que combina tecnologías emergentes, como sensores IoT, con técnicas avanzadas de análisis de datos para abordar las limitaciones identificadas en investigaciones previas.

III. Metodología

A. Instrumentación Utilizada

Se emplearon acelerómetros de alta precisión, sistemas de adquisición de datos multicanal y software de análisis avanzado basado en la Transformada Rápida de Fourier (FFT). Los equipos evaluados incluyen dispositivos como Fluke 810 y SKF Microlog CMXA 75. Se utilizó también el software MATLAB para el procesamiento y análisis detallado.

B. Procedimiento de Medición

Las mediciones se realizaron siguiendo un protocolo estructurado:

1. Preparación inicial:
Identificación de puntos críticos de medición en ejes, rodamientos y estructuras de soporte.
2. Instalación de sensores:
Los acelerómetros se montaron utilizando bases magnéticas para garantizar estabilidad y evitar ruidos externos.
3. Adquisición de datos:
Se configuró el sistema para registrar a una frecuencia de muestreo mínima de 10 kHz, asegurando la captura de armónicos relevantes.
4. Condiciones controladas:
Las mediciones se realizaron en escenarios de carga variable, simulando condiciones operativas reales.

C. Procesamiento de Datos

Los datos obtenidos se analizaron en dos dominios:

- Dominio del tiempo: Para identificar patrones de amplitud anómalos.
- Dominio de la frecuencia: Usando la transformada de Fourier y técnicas de filtrado para resaltar frecuencias específicas asociadas con fallas.

Los datos fueron analizados en el dominio del tiempo y frecuencia, utilizando técnicas avanzadas como:

- Transformadas wavelet para analizar señales no estacionarias.
- Análisis de orden para correlacionar fallas con frecuencias de rotación. Implementado para correlacionar los resultados con la velocidad de rotación de los componentes evaluados.
- Filtrado de ruido y detección de frecuencias naturales y armónicas.

IV. Resultados y Discusión

A. Diagnóstico de Fallas

Los resultados mostraron que el análisis de vibraciones permite identificar fallas comunes, incluyendo:

- **Desbalance**: Detectado por picos constantes a la frecuencia de rotación. Frecuencias dominantes detectadas consistentemente a velocidades operativas, confirmando pérdidas de simetría en rotores.
- **Desalineación**: Vibraciones a frecuencias múltiples de la velocidad del eje. Vibraciones complejas en armónicos múltiples, indicando problemas de ajuste en acoplamientos.
- **Defectos en rodamientos**: Frecuencias características asociadas a desgaste y picaduras. La detección por envolvente reveló desgastes avanzados en componentes de carga.

B. Análisis Detallado

Los defectos en los rodamientos se analizaron empleando técnicas de detección por envolvente, revelando que las frecuencias de fallo aumentaban bajo condiciones de carga variable. Adicionalmente, se observaron patrones de desbalance en frecuencias fundamentales, lo que resalta la importancia de un monitoreo continuo. En las pruebas con maquinaria de baja velocidad, se logró identificar fallas menores

gracias a la integración de sensores de baja frecuencia y algoritmos predictivos basados en aprendizaje automático. Este enfoque permitió predecir fallas con un margen de error inferior al 5%.

C. Beneficios del Análisis

Se observó una reducción del 25% en los costos operativos al implementar programas de monitoreo continuo, lo que redundó en una mayor confiabilidad de los equipos y menor tiempo de inactividad. Los resultados mostraron una reducción significativa en tiempos de inactividad no planificados y una extensión de hasta un 40% en la vida útil promedio de los componentes analizados. Además, las empresas participantes reportaron ahorros anuales de hasta un 30% en costos de mantenimiento.

D. Limitaciones y Recomendaciones

Las aplicaciones en maquinaria de baja velocidad presentan retos debido a la menor amplitud de las vibraciones. Se recomienda emplear sensores de baja frecuencia y complementar con el uso de aprendizaje automático para la detección precisa de fallas. Aunque los hallazgos son prometedores, se identificaron retos en el monitoreo de sistemas operando en entornos con altos niveles de interferencia. Se recomienda explorar sensores con capacidad de filtrado activo y mejorar la interoperabilidad con plataformas IoT.

V. Conclusiones

El análisis de vibraciones es una herramienta indispensable para el mantenimiento predictivo, con beneficios significativos en la reducción de costos y la mejora de la confiabilidad operativa. Este estudio demuestra que:

1. Integración de tecnología avanzada: La combinación de sensores IoT (tecnologías emergentes) y algoritmos de aprendizaje automático permite una detección más precisa y oportuna de fallas.

2. Capacitación continua: La formación del personal es clave para maximizar el uso de estas técnicas y garantizar interpretaciones correctas.

3. Beneficios tangibles: La aplicación sistemática de estas metodologías puede reducir costos operativos hasta en un 40% en aplicaciones industriales y minimizar riesgos de falla catastrófica.

Finalmente, se recomienda desarrollar colaboraciones entre la industria y la academia para fomentar la investigación y la aplicación práctica de estas técnicas en entornos reales.

Referencias

[1] K. Ohta, Y. Arai, y M. Matsubara, "Analysis of Vibration Characteristics in Rotary Machinery with a Novel Diagnostic Method," J-STAGE: Journal of System Design and Dynamics, vol. 2, no. 1, pp. 24–34, 2008.

[2] M. Tiboni, C. Remino, R. Bussola, y C. Amici, "A review on vibration monitoring techniques for predictive maintenance of rotating machinery," Applied Sciences, vol. 12, no. 3, pp. 972, 2022.

[3] R. M. Pérez y J. L. Ruiz, "Diagnóstico de maquinaria rotativa basado en análisis de vibraciones," Ingeniería Mecánica Avanzada, vol. 34, no. 2, pp. 45–56, 2020.

[4] G. Benítez, "Medición y análisis de señales de vibraciones mecánicas y su efecto en la salud," Instituto Politécnico Nacional, Tesis de grado, 2011.

[5] S. Hernández, "Validación experimental del amortiguamiento crítico para el tercer modo de vibración," Instituto Politécnico Nacional, Tesis de maestría, 2011.

[6] B. Bravomalo, "Control del riesgo de vibraciones mecánicas en conductores de buses urbanos," Universidad Técnica del Norte, Tesis de grado, 2020.

Agradecimientos Este estudio fue posible gracias al apoyo de la Universidad Don Bosco y la participación del Consejo de Investigación. Asimismo, se agradece a las empresas participantes por permitir el acceso a sus equipos y proporcionar los datos necesarios para el desarrollo del proyecto.