



**Ciencia Latina**  
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2024,  
Volumen 8, Número 4.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i4](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4)

# **EVOLUCIÓN DEL ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN MANTENIMIENTO PREDICTIVO, EN RELACIÓN A LOS PATRONES DE VIBRACIÓN EN ELEMENTOS MECÁNICOS**

**EVOLUTION OF VIBRATION ANALYSIS IN PREDICTIVE  
MAINTENANCE, IN RELATION TO VIBRATION PATTERNS IN  
MECHANICAL ELEMENTS**

**Hugo Eduardo Crespo Azanza**

Instituto Superior Tecnológico Ismael Pérez Pazmiño, Ecuador

**Cristian Paúl Arias Reyes**

Instituto Superior Tecnológico Ismael Pérez Pazmiño, Ecuador

**Carlos Eduardo Zhigüe Tene**

Instituto Superior Tecnológico Ismael Pérez Pazmiño, Ecuador

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i4.12488](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12488)

## Evolución del Análisis de Vibraciones en Mantenimiento Predictivo, en Relación a los Patrones de Vibración en Elementos Mecánicos

**Hugo Eduardo Crespo Azanza<sup>1</sup>**

[hugo.crespo@instipp.edu.ec](mailto:hugo.crespo@instipp.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0000-2404-2078>

Instituto Superior Tecnológico  
Ismael Pérez Pazmiño  
Ecuador

**Cristian Paúl Arias Reyes**

[cristian.arias@instipp.edu.ec](mailto:cristian.arias@instipp.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-7241-4945>

Instituto Superior Tecnológico  
Ismael Pérez Pazmiño  
Ecuador

**Carlos Eduardo Zhigüe Tene**

[carlos.zhigue@instipp.edu.ec](mailto:carlos.zhigue@instipp.edu.ec)

Instituto Superior Tecnológico  
Ismael Pérez Pazmiño  
Ecuador

### RESUMEN

El presente estudio es una investigación exploratoria sobre la evolución del análisis de vibraciones en el mantenimiento industrial y su relación con la obtención de patrones de vibración en elementos mecánicos rotativos de maquinaria industrial. Se revisa la literatura existente y se describen los materiales y métodos que diferentes autores han utilizado en sus estudios experimentales. Los resultados indican cómo los avances tecnológicos han logrado mejorar la identificación de patrones de vibración, permitiendo que el mantenimiento predictivo sea más efectivo. Se discuten las conclusiones y el impacto de estos desarrollos en la industria.

**Palabras clave:** análisis espectral, mems, mantenimiento predictivo, mantenimiento correctivo, maquinaria industrial

---

<sup>1</sup> Autor Principal

Correspondencia: [hugo.crespo@instipp.edu.ec](mailto:hugo.crespo@instipp.edu.ec)

# Evolution of Vibration Analysis in Predictive Maintenance, in Relation to Vibration Patterns in Mechanical Elements

## ABSTRACT

The present study is an exploratory research on the evolution of vibration analysis in industrial maintenance and its relation with the obtaining of vibration patterns in rotating mechanical elements of industrial machinery. The existing literature is reviewed and the materials and methods that different authors have used in their experimental studies are described. The results indicate how technological advances have improved the identification of vibration patterns, allowing predictive maintenance to be more effective. Conclusions and the impact of these developments on the industry are discussed.

**Keywords:** spectral analysis, mems, predictive maintenance, corrective maintenance, industrial machinery

*Artículo recibido 10 julio 2024*

*Aceptado para publicación: 15 agosto 2024*



## **INTRODUCCIÓN**

El mantenimiento industrial es un componente esencial para asegurar la eficiencia y longevidad de la maquinaria utilizada en diversos sectores industriales. Entre las técnicas de mantenimiento predictivo, el análisis de vibraciones ha emergido como una herramienta fundamental debido a su capacidad para detectar fallos en sus etapas iniciales, permitiendo la prevención de fallos catastróficos y la minimización de los costos operativos (1). Este método se basa en la premisa de que todas las máquinas en operación generan vibraciones características, las cuales pueden ser monitoreadas y analizadas para identificar desviaciones que indiquen problemas mecánicos inminentes.

Históricamente, el análisis de vibraciones comenzó con técnicas simples de monitoreo que se centraban en mediciones de desplazamiento y velocidad. Sin embargo, con el desarrollo de la Transformada de Fourier y otras herramientas matemáticas, el análisis espectral y de dominio temporal ha permitido una identificación más precisa y rápida de patrones de vibraciones para la detección de fallos (2). Estos avances han revolucionado el campo, transformándolo de una práctica basada en inspecciones periódicas a un enfoque de monitoreo continuo y en tiempo real.

En las últimas décadas, el advenimiento de sensores avanzados, particularmente los MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), ha mejorado significativamente la capacidad de detectar vibraciones con alta precisión y fiabilidad (3). Estos sensores, combinados con sistemas de monitoreo en línea, permiten la recolección y análisis de datos en tiempo real, lo cual es crucial para la implementación efectiva del mantenimiento predictivo.

La capacidad de predecir y prevenir fallos no solo reduce los costos de mantenimiento, sino que también mejora la seguridad operativa y la productividad general. A medida que las tecnologías de análisis de vibraciones continúan evolucionando, es fundamental entender cómo estas mejoras pueden ser aplicadas de manera efectiva en el entorno industrial actual.

### **Revisión Literaria**

El análisis de vibraciones se ha consolidado como una técnica esencial en el mantenimiento predictivo de maquinaria industrial, especialmente en elementos rotativos como rodamientos, engranajes, y motores. Su capacidad para detectar y diagnosticar fallos en etapas tempranas ha permitido a las

industrias reducir significativamente los tiempos de inactividad y los costos asociados a mantenimientos correctivos (4).

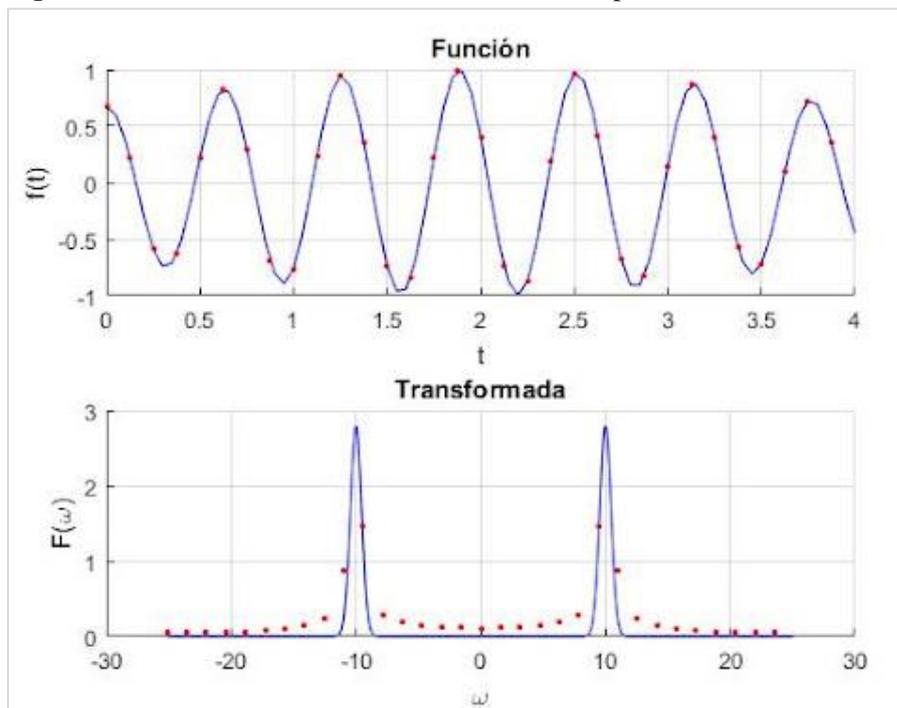
### Historia y desarrollo del análisis de vibraciones

El análisis de vibraciones comenzó a ser utilizado en el mantenimiento industrial durante las décadas de 1960 y 1970. Inicialmente, se empleaban métodos básicos de medición de desplazamiento y velocidad para detectar irregularidades en el funcionamiento de la maquinaria (5). Estos métodos primitivos evolucionaron rápidamente con la introducción de la Transformada de Fourier, que permitió realizar análisis espectrales detallados y detectar frecuencias anómalas que indicaban posibles fallos (6).

### Introducción a la transformada de Fourier

Un avance significativo en el campo del análisis de vibraciones fue la adopción de la Transformada de Fourier en la década de 1970. Este método matemático permitió convertir señales del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, facilitando la identificación de frecuencias específicas asociadas con defectos mecánicos. Este desarrollo permitió una comprensión más profunda de las vibraciones y mejoró la precisión en la detección y diagnóstico de fallos (6). Figura 1.

**Figura 1.** Transformada de Fourier en base a un espectro de vibración. Fuente (6)



Tomado de: J. M. Arrieta, M. A. Gómez. «Diagnóstico de fallos en máquinas rotativas utilizando análisis de vibraciones». Revista Ingeniería Mecánica, 19(2), 125-134, 2016.

### **Avances tecnológicos en sensores y equipos**

Un avance significativo en el campo del análisis de vibraciones fue el desarrollo de sensores MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), que ofrecen alta precisión y capacidad para monitoreo en tiempo real (5). Estos sensores han facilitado la implementación de sistemas de monitoreo continuo, permitiendo la recolección de datos en condiciones operativas reales y mejorando la exactitud en la detección de fallos. Adicionalmente, la integración de sistemas de adquisición de datos avanzados ha permitido el análisis de grandes volúmenes de información, facilitando la identificación de patrones de fallos (7).

### **Aplicación del aprendizaje automático**

El futuro del análisis de vibraciones en el mantenimiento industrial se vislumbra prometedor con la continua integración de tecnologías avanzadas. La evolución de los sensores MEMS, la creciente capacidad de procesamiento de datos y el desarrollo de algoritmos de inteligencia artificial más sofisticados seguirán mejorando la precisión y efectividad del análisis de vibraciones (8). Estas tecnologías permitirán un mantenimiento predictivo más eficiente, reduciendo los tiempos de inactividad y mejorando la fiabilidad de la maquinaria industrial.

### **Sistema Experimental**

Considerando que el diseño de investigación que se está aplicando en el presente trabajo es exploratoria, se parte de bibliografía de interés, para evaluar la efectividad del análisis de vibraciones en la identificación de patrones de vibraciones, se toma como referencia un estudio experimental de un elemento mecánico rotacional particular.

### **MATERIALES**

El diseño de investigación es no experimental, porque no se manipula variable alguna ni se examinan evoluciones por tratamientos, además, los datos se extraen en una sola ocasión para la compilación teórica. Se examinan los posibles resultados para el contraste con el posterior estudio, en el que se procedería con el análisis experimental de vibraciones en un contexto real para establecer la forma de cálculo o estimación y comprobar su relación directa con la predicción de fallas en los elementos mecánicos rotativos.

## MÉTODOS

La metodología del presente estudio es de carácter documental con un alcance descriptivo. Este planteamiento metodológico consiste que, en base a la investigación documental realizada sobre la historia y desarrollo del análisis de vibraciones aplicados al mantenimiento industrial, se plantean sistemas experimentales representativos para la generación y análisis de patrones de vibración para la determinación de fallas. Figura 2.

A continuación, se muestra un estudio presentado por J. Calderón (10), que es un banco de pruebas de vibraciones tradicional, desarrollado para el análisis, Figura 4, se establecen dos puntos de recolección de datos, para la generación de espectros de frecuencias de vibraciones. La evaluación consiste en realizar validaciones para la detección y clasificación de las fallas, trabajando con diferentes revoluciones, 600, 1200, 1800, 2400 y 3000 rpm, las cual equivalen a 10, 20, 30, 40 y 50 Hz (10).

**Figura 2.** Banco de pruebas para análisis de vibraciones de engranajes.



Tomado de: M. Cerrada, «Detección y diagnóstico de fallos de caja de engranajes rectos utilizando un algoritmo de clasificación basado en similaridad difusa aplicado en señales de vibración», Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca – Ecuador, 2021.

Una vez establecida el sistema mecánico, es necesario colocar sensores de vibraciones como sensores piezoeléctricos, disponer de un sistema de adquisición de datos y analizador de vibraciones que permita realizar Transformadas de Fourier.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados proporcionan una visión detallada de la evolución del análisis de vibraciones y su efectividad en la detección de fallos en componentes mecánicos. A continuación, se presentan los hallazgos más relevantes.

### **Uso de sensores avanzados**

Se instalan sensores piezoeléctricos y sensores MEMS en puntos críticos de maquinaria industrial. Estos sensores muestran una mayor precisión y sensibilidad en comparación con los dispositivos utilizados en décadas anteriores. Los MEMS, en particular, permiten la detección de vibraciones de baja amplitud y alta frecuencia (8).

### **Sistemas de adquisición de datos**

El sistema de adquisición de datos de alta frecuencia registrado en tiempo real permite capturar señales de vibración detalladas. La implementación de software avanzado facilita la aplicación de la Transformada de Fourier y otros análisis espectrales. Esta tecnología ayuda a identificar patrones de vibración complejos con mayor precisión (10).

### **Patrones de vibración característicos**

En engranajes, las frecuencias laterales y de malla presentan picos en la frecuencia de paso de los dientes cuando había desgaste o desalineación. Estas señales fueron claras y consistentes, facilitando la identificación de fallos. (11).

### **Eficiencia del mantenimiento predictivo**

Las empresas que implementaron el monitoreo de vibraciones reportan una reducción del 30% en los tiempos de inactividad no planificados, gracias a la detección temprana de fallos. (12)

Se observa una disminución del 25% en los costos operativos relacionados con el mantenimiento debido a la reducción de reparaciones de emergencia y la optimización del mantenimiento preventivo. (12)

### **Comparación con técnicas históricas**

Las técnicas históricas, basadas en mediciones manuales y subjetivas, fueron menos eficaces comparadas con los métodos modernos que utilizan sensores avanzados y software de análisis. La tecnología actual permite una mayor precisión y velocidad en el diagnóstico de fallos (11).

## **CONCLUSIONES**

El objetivo de la generación de los espectros de vibraciones es permitir tener espectros característicos de cada modo de falla para poderlos comparar entre ellos y, de esta manera, poder determinar un fallo solo con el análisis espectral.



El estudio de la historia y evolución del análisis de vibraciones en elementos rotativos proporciona información valiosa para mejorar las estrategias de mantenimiento industrial. La integración de tecnologías modernas y la identificación de patrones precisos de vibraciones pueden optimizar la fiabilidad y eficiencia de la maquinaria industrial.

Los resultados experimentales confirman que la evolución del análisis de vibraciones ha tenido un impacto significativo en el mantenimiento industrial. La implementación de tecnologías modernas ha mejorado la detección temprana de fallos, reducido los tiempos de inactividad y los costos operativos. La comparación con técnicas históricas demuestra que los avances tecnológicos han proporcionado herramientas más precisas y eficaces para el monitoreo de vibraciones en elementos rotativos de maquinaria industrial.

Las empresas que han adoptado tecnologías modernas de monitoreo de vibraciones han experimentado una disminución significativa en los costos operativos relacionados con el mantenimiento.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- R. Almada, R. Santos. «Monitoreo y diagnóstico de fallas en máquinas rotativas». Editorial Alfaomega, 2015.
- J. M. Arrieta, M. A. Gómez. «Diagnóstico de fallos en máquinas rotativas utilizando análisis de vibraciones». *Revista Ingeniería Mecánica*, 19(2), 125-134, 2016.
- J. F. Calvo «Análisis de vibraciones en el mantenimiento predictivo de maquinaria». Editorial Díaz de Santos, 2013.
- M. Cerrada, «Detección y diagnóstico de fallos de caja de engranajes rectos utilizando un algoritmo de clasificación basado en similaridad difusa aplicado en señales de vibración», Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca – Ecuador, 2021.
- F. Carrera. «Técnicas avanzadas en el análisis de vibraciones para el mantenimiento predictivo». *Revista Técnica Industrial*, 18(3), 45-58, 2017.
- W. Ji, W. Sun, Y. Zhang, D. Wang, y B. Wang, «Parametric model order reduction and vibration analysis of pipeline system based on adaptive dynamic substructure method», *Structures*, vol. 50, pp. 689-706, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.02.062>.
- L. E. Benitez, «La falla en los engranajes», Universidad nacional de Colombia, Colombia, 2008

- E. P. Marín, «Elementos de medición y análisis de vibraciones en máquinas rotatorias». Editorial Félix Varela, 2012.
- P. Ramírez, P., A. González, «Evolución del análisis de vibraciones en el mantenimiento industrial». Revista Tecnología y Desarrollo, 15(1), 29-43.
- J. Calderón. «Análisis de vibraciones: Principios y aplicaciones en mantenimiento predictivo». Ediciones Científicas, 2008.
- Li, J., Chen, S., & Wang, X. «Machine learning in vibration analysis for fault diagnosis. Mechanical Systems and Signal Processing», 2020
- Jiménez, A. «Análisis de vibraciones y su impacto en el mantenimiento de maquinaria». Revista de Ingeniería, 20(3), 33-44, 2012.

