



Técnicas de diagnóstico para el mantenimiento predictivo de sistemas rotativos industriales: una revisión sistemática y su aplicabilidad en la industria ecuatoriana

Diagnostic techniques for predictive maintenance of industrial rotating systems: a systematic review and its applicability in Ecuadorian industry

Autores:



Katherine Andrea Diaz Reyes¹

| katherinediaz@tsachila.gob.ec



César Ricardo Jaime Soledispa¹

| cesarjaimesoledispa@tsachila.gob.ec



Ivan Bonifacio Acosta Valladolid¹

| ivanacostavalladolid@tsachila.gob.ec

¹Instituto Superior Tecnológico Tsáchila, Ecuador

Recepción: 20 de junio de 2026 | **Aceptación:** 30 de julio de 2026 | **Publicación:** 15 de agosto de 2026

Resumen

Los sistemas rotativos industriales como motores eléctricos, bombas, compresores y ventiladores, son componentes primordiales en los procesos productivos. La aparición de fallas en estos equipos causa pérdidas significativas, tanto en el aspecto económico como en la parte operativa, incluyendo la reducción de la productividad industrial. En consecuencia, de esto ha surgido una estrategia eficaz para poder anticipar las fallas y optimizar la gestión, el mantenimiento predictivo tiene la finalidad de dar monitoreo continuo a las condiciones operativas. El presente estudio tiene como objetivo analizar técnicas de diagnóstico que son utilizadas para el mantenimiento predictivo en sistemas rotativos industriales. El enfoque se basa en el análisis vibracional, la alineación láser y el monitoreo de rodamientos. Para este desarrollo se realizó una verificación bibliográfica de publicaciones científicas relacionadas a estas tecnologías. Los resultados dan como evidencia que el análisis de vibraciones es la técnica más utilizada para la detección de desbalances, defectos mecánicos y desalineaciones. Asimismo, la alineación láser mejor a la eficiencia operativa, prolongando la vida útil de los componentes rotativos y el Monitoreo. Agar rodamientos apoya significativamente a la disminución de fallas críticas. Con esto finalmente se logra identificar oportunidades y desafíos para la implementación de estas tecnologías en la industria ecuatoriana.

Palabras clave: Mantenimiento predictivo; análisis vibracional; alineación láser; rodamientos; sistemas rotativos

Abstract

Industrial rotating systems, such as electric motors, pumps, compressors, and fans, are essential components in production processes. Failures in this equipment cause significant losses, both economic and operational, including reduced industrial productivity. Consequently, an effective strategy has emerged to anticipate failures and optimize management: predictive maintenance. Its purpose is to provide continuous monitoring of operating conditions. This study aims to analyze diagnostic techniques used for predictive maintenance in industrial rotating systems. The approach is based on vibration analysis, laser alignment, and bearing monitoring. A literature review of scientific publications related to these technologies was conducted for this study. The results show that vibration analysis is the most widely used technique for detecting imbalances, mechanical defects, and misalignments. Laser alignment improves operational efficiency, extending the lifespan of rotating components, and bearing monitoring significantly contributes to reducing critical failures. This finally makes it possible to identify opportunities and challenges for the implementation of these technologies in the Ecuadorian industry.

Keywords: Predictive maintenance; vibrational analysis; laser alignment; bearings; rotary systems



Introducción

El desempeño de los sistemas rotativos juega un papel fundamental dentro de los procesos productivos de la industria, los motores, las bombas centrífugas, los ventiladores, industriales, compresores y cajas reductores de velocidad, son de los equipos más utilizados en industrias, manufactureras, alimentarias, mineras, agro industriales, incluyendo a los sistemas de bombeo. La competitividad y productividad de estos sectores está directamente ligado a la disponibilidad, seguridad, confiabilidad y buena gestión energética de estos equipos (Tiboni et al., 2022, pp. 1-2).

La alta exigencia en tiempos de funcionamiento para estos sistemas hace que sus mecanismos estén expuestos al desgaste y que a su vez pueden causar fallas anticipadas en el equipo. Entre los desperfectos se encuentran los juegos u holguras mecánicas, problemas de lubricación, desalineación de ejes, deterioro de rodamientos y desbalance dinámico, estas condiciones no sólo provocan elevados niveles de vibración, sino que también aumentan el consumo energético y reducen la vida útil de la máquina o sus componentes produciendo paros en la producción no esperados (Romanssini et al., 2023, p. 1798).

Cómo consecuencia de estos efectos, muchas de las industrias, han optado por el mantenimiento correctivo y preventivo, con la esperanza de garantizar la continuidad operativa de sus equipos, a pesar de estas estrategias aún existen limitaciones importantes como por ejemplo esperar a la falla de un equipo para reparar averías y restaurar su funcionamiento, genera costos y pérdidas productivas, por otra parte, generar un plan de mantenimiento preventivo si no se tiene la información necesaria del estado de la máquina puede omitir la condición real de la misma, ocasionando en muchos de los casos intervenciones innecesarias (CIBSE, 2023).



Frente a esta situación, se han puesto los ojos en el mantenimiento preventivo como una estrategia en el que fundamentalmente se monitorea varios parámetros de operación, con la finalidad de detectar situaciones extrañas para evitar su evolución a fallas críticas, según (Kannan et al., 2024, pp. 2-3), este análisis periódico permite reducir costos de mantenimiento y planificar mejor las intervenciones, incrementando así su confiabilidad. El análisis de vibraciones se ha posicionado como una de las técnicas preventivas que se usan en el mantenimiento preventivo, ya que, con la evaluación de parámetros como frecuencia, amplitud y aceleración de vibraciones, se logra identificar fallas mecánicas que están asociadas al desbalanceo, holguras mecánicas, de alineaciones e incluso de efectos en rodamientos (Romanssini et al., 2023, p. 1798).

Otro proceso complementario de alta precisión usado en el mantenimiento preventivo es la alineación láser, esta tecnología se usa para corregir desviaciones entre los ejes, asegurando que dos o más máquinas rotativas sean exactamente colineales, lo que se traduce en una disminución de esfuerzos mecánicos y prolonga la vida útil de los componentes (Mobley, 2011, p. 93).

Los rodamientos por su parte son de los elementos esenciales en una máquina rotativa, varios estudios han analizado que muchas fallas mecánicas tienen origen en la falta de mantenimiento de estos elementos, lo que hace importante su monitoreo para tener un diagnóstico temprano (Kannan et al., 2024, p.1).

En el Ecuador, la industria del alimento, agroindustria, plantas de manufacturas e incluso los sistemas de bombeo son dependientes de los equipos rotativos para el desarrollo de sus operaciones, a pesar de esto, el mantenimiento predictivo aún enfrenta desafíos que tienen relación directa con la inversión inicial, la capacitación técnica y la disponibilidad de algunos equipos especializados en el mercado para su implementación (Nunes et al., 2023, pp. 57-59).

Desde esta perspectiva, el presente trabajo tiene como objetivo analizar las principales tecnologías de diagnóstico en el mantenimiento predictivo de sistemas rotativos industriales, enfatizando, el análisis de vibraciones, la alineación láser y el monitoreo de los rodamientos, intentando identificar sus limitaciones y ventajas en la aplicación de la industria ecuatoriana.

Metodología

La presente investigación se realizó usando revisión bibliográfica de carácter descriptivo y documental, con la finalidad de orientar el análisis de las técnicas de diagnóstico que son empleadas para el mantenimiento predictivo de sistemas rotativos industriales. La investigación se centró en tres tecnologías, utilizadas en entornos industrial, como son análisis de vibraciones, alineación, láser y monitoreo de rodamientos.

Búsqueda y Selección de Fuentes

Se verificó varias fuentes de información, entre los cuales se consultaron, revisiones de literatura, publicaciones técnicas, artículos científicos e incluso documentos académicos, indexados a bases de datos de prestigio como IEEE, ScienceDirect, Google Scholar, MDPI, entre otros. La búsqueda de la bibliografía se efectuó usando palabras claves en español e inglés relacionadas con el objeto de estudio. Entre ellas. Tenemos mantenimiento, proyectivo, análisis vibracional, rodamientos, alineación, láser, sistemas rotativos.

Se consideró publicaciones comprendidas entre los años 2020-2026, los cuales han contado con revisión por pares y están estrechamente ligados con el diagnóstico de fallas en maquinarias rotativas, por su parte, se excluyeron, trabajos, duplicados o publicaciones en respaldo científico, cuyo contenido no presentaba relación directa con el tema.

Finalmente, se clasificó la información en función de las tecnologías necesitadas para el estudio. De esta manera se permitió identificar, ventajas operativas, limitaciones, técnicas, posibilidades de implementación y mejora dentro del contexto industrial.

Resultados

Análisis vibracional como herramienta de diagnóstico

El análisis de vibraciones es una de las técnicas que más se utiliza dentro del mantenimiento predictivo, ya que su capacidad de identificar las anomalías mecánicas omitiendo la detención en la operación de los equipos hace que esta metodología sea interesante, al obtener mediciones que ayudan al análisis durante el funcionamiento normal del equipo.

Las vibraciones existen en todas las máquinas rotativas es el reflejo de sus movimientos mecánicos, ahora bien, cuando se presentan desperfectos en los ejes, rodamientos, elementos de transmisión o acoplamientos, estos patrones de vibración pueden ser detectadas mediante equipos y sensores especializados.

La técnica del análisis vibración identifica las siguientes fallas desalineación de ejes, juegos u holguras mecánicas, desbalances dinámicos, defectos en rodamientos, problemas en engranajes, imperfectos estructurales e incluso fallas eléctricas en el motor.

Lo interesante de esto es que el análisis vibracional da la apertura a la detección de fallas en etapas tempranas, reduciendo así el riesgo de daños en los equipos y dando una importante evolución en la adquisición de datos para el posterior desarrollo de algoritmos que puedan procesar con precisión y entregar un diagnóstico a tiempo.

Una gran ventaja del uso de esta técnica es que no es invasiva, es decir, permite realizar mediciones mientras el equipo se encuentra en normal operación de esta manera no afecta la producción y facilita la planificación de las actividades de mantenimiento lo cual se traduce en una optimización de recursos humanos y económicos.

A pesar de esto es importante personal capacitado para la correcta interpretación de los espectros o datos de vibraciones, ya que se requiere experiencia para realizar el diagnóstico, cosa que representa un desafío importante para que lo puedan implementar en pequeñas y medianas industrias.

Tabla 1. *Fallas detectadas por medio de análisis vibracional en sistemas rotativos industriales*

Tipo de falla	Patrón Oscilatorio de Vibración	Elementos Críticos	Impactos
<i>Desbalance</i>	Predominio de amplitud a 1X de la velocidad de giro, normalmente con mayor respuesta en dirección radial.	Rotor, ventiladores, impulsores y poleas.	Incremento del nivel vibratorio, desgaste acelerado y reducción de la vida útil de los componentes.
<i>Desalineación</i>	Aumento de componentes a 1X y 2X, con especial relevancia en dirección axial y/o a ambos lados del acoplamiento.	Ejes, acoplamientos y rodamientos.	Sobrecarga mecánica, aumento de temperatura y mayor demanda energética.
<i>Juego Mecánico</i>	Aparición de múltiples armónicos de la velocidad de giro (2X, 3X, 4X y superiores), a menudo con respuesta inestable.	Soportes, bases, anclajes y elementos estructurales.	Pérdida de estabilidad mecánica y progresión del deterioro estructural.
<i>Daños en Rodamientos</i>	Presencia de frecuencias	Rodamientos y elementos rodantes.	Degradación progresiva del

	características de defecto (BPFO, BPFI, BSF y FTF), habitualmente acompañadas de impactos y contenido de alta frecuencia.	rodamiento y posibilidad de fallo severo o catastrófico.
<i>Daños en Engranajes</i>	Aparición de la Engranajes y cajas frecuencia de engrane reductoras. (GMF) y desarrollo de bandas laterales alrededor de la componente principal.	Pérdida de eficiencia de transmisión y desgaste acelerado de los dientes.
<i>Daños en ejes</i>	Incremento de Ejes de transmisión. componentes síncronas y armónicas, con variaciones apreciables de fase que ayudan a diferenciar el defecto.	Riesgo de fallo estructural y disminución de la confiabilidad operacional.
<i>Resonancia Mecánica</i>	Elevación muy acusada de amplitud cuando la frecuencia de excitación coincide —o se aproxima críticamente— a la frecuencia natural del sistema.	Vibraciones excesivas, amplificación dinámica y daños estructurales de elevada severidad.

Cita. Elaboración propia con base en Tiboni et al. (2022), Romanssini et al. (2023), Gupta y Kumar (2022), y Al-Khazali y Askari (2012).

Alineación láser en sistemas rotativos industriales

Los ejes alineados son fundamentales para garantizar el funcionamiento correcto de los sistemas rotativos de acople, una desalineación en los mismos representa esfuerzos mecánicos adicionales sobre los acoples, los rodamientos, incluyendo a los sellos mecánicos, incrementando los niveles de vibración, desgaste por fricción y consumo energético en los equipos.

Antiguamente, la alineación de los ejes se desarrollaba mediante reglas y relojes comparador, pero este método presenta varias limitaciones como el tiempo y la precisión. En respuesta a esto se desarrollaron los sistemas de alineación láser, los mismos que han demostrado ser altamente precisos, obteniendo mediciones importantes mediante el uso de sensores, ópticos y tecnología digital.

El uso de la alineación láser. En la actualidad nos permite identificar dos tipos de desviaciones importantes, como son la desalineación angular y la desalineación paralela. Realizar la corrección de estas desviaciones se producen en una disminución de las cargas mecánicas que se transmiten entre los componentes rotativos. De esta manera incrementa la disponibilidad de los equipos evitando paros de planta y mejorando la confiabilidad del proceso.

Existen varios estudios que indican que realizaron la correcta alineación, reduce los niveles de vibración significativamente de la mano. De esto se alarga la vida útil de los elementos mecánicos, como los rodamientos, disminuyendo los costos asociados con el mantenimiento correctivo. Algo interesante que se observado es que, debido a la disminución de pérdidas mecánicas por esfuerzos innecesarios, existe una reducción del consumo energético en el proceso. Hay que considerar que esta opción requiere inversión inicial, ya que se necesita de equipos especializados y la capacitación técnica para que los resultados obtenidos se han interpretados correctamente.

Tabla 2. *Beneficios de la Alineación Láser en Sistemas Rotativos Industriales*

Beneficio	Explicación técnica	Impacto en la operación
Reducción de vibraciones mecánicas	Una alineación correcta reduce las fuerzas radiales y axiales inducidas por desviaciones geométricas entre ejes acoplados.	Mayor estabilidad de funcionamiento y menor probabilidad de fallas prematuras.
Incremento de la vida útil de los rodamientos	La disminución de cargas parásitas limita los esfuerzos anómalos transmitidos a pistas y elementos rodantes.	Menor frecuencia de sustitución de rodamientos y reducción del coste de mantenimiento.
Disminución del desgaste en acoplamientos y sellos	La corrección de desalineaciones angulares y paralelas atenúa las tensiones mecánicas que aceleran el deterioro de estos elementos.	Mayor confiabilidad de los componentes de transmisión y mejor estanqueidad del sistema.
Optimización del consumo energético	Al reducir pérdidas por fricción y tensiones no deseadas, la transferencia de potencia se realiza de forma más eficiente.	Disminución de costes operativos y mejora del rendimiento energético del equipo.
Reducción de temperaturas de operación	La menor fricción y la reducción de cargas no previstas disminuyen la generación de calor en componentes rotativos.	Menor deterioro térmico y prolongación de la vida útil de los equipos.
Incremento de la disponibilidad operacional	La alineación precisa reduce la ocurrencia de averías mecánicas asociadas a desalineación y, por tanto, las paradas no programadas.	Mayor continuidad del proceso productivo y mejor disponibilidad del activo.

Mayor precisión en actividades de mantenimiento	Los sistemas de alineación láser permiten efectuar correcciones con tolerancias muy estrechas y elevada repetibilidad.	Menor tiempo de intervención y mejora de la calidad técnica del mantenimiento.
--	--	--

Cita. Elaboración propia con base en Piotrowski (2007), Bloch y Geitner (2012), Mobley (2002) y Girdhar y Scheffer (2004).

Monitoreo y gestión de rodamientos

Los rodamientos son elementos esenciales dentro de los sistemas rotativos industriales, ya que son los responsables del movimiento entre elementos mecánicos con mínima fricción, considerando las cargas a las que están expuestas la velocidad de operación, las condiciones de trabajo y su origen de fabricación. Estos elementos representan una alta probabilidad de fallos dentro de la máquina rotativa.

Los causales principales del deterioro de los rodamientos pueden ser de alineación de los ejes sobre cargas mecánicas, lubricación inadecuada, fatiga del material, instalación incorrecta o contaminación.

Cuando los rodamientos entran en falla, se puede verificar la generación de ruido normal que viene de la mano con el cambio, en los patrones de vibraciones y el incremento en la temperatura de trabajo, en fusión, a esto se han generado estrategias de mantenimiento predictivo que monitorea los elementos para detectar fallas tempranas.

Dentro de los avances tecnológicos se incorporan sensores inteligentes que transmiten la información en tiempo real sobre las condiciones de los rodamientos. De esta manera se facilita la implementación del mantenimiento basado en la condición actual del elemento, reduciendo así las fallas del equipo y mejorando la confiabilidad del sistema.

Actualmente, si combinamos el monitoreo de vibraciones, el análisis térmico, la adquisición de datos mediante sistemas digitales tenemos una de las estrategias más efectivas para la gestión del mantenimiento de rodamientos en industrias exigentes.

Tabla 3. *Principales Causas De Falla En Rodamientos Y Sus Efectos en Sistemas Rotativos Industriales*

Causa de falla	Mecanismo de deterioro	Manifestación típica	Consecuencias operativas
Lubricación deficiente	Cantidad insuficiente, periodicidad inadecuada o selección incorrecta del lubricante, con formación deficiente de película lubricante.	Incremento de temperatura, ruido y vibraciones de alta frecuencia.	Desgaste acelerado y reducción de la vida útil del rodamiento.
Contaminación	Ingreso de partículas sólidas, humedad o agentes químicos al interior del rodamiento, con daño abrasivo y deterioro de superficies.	Vibración irregular y daño superficial progresivo en pistas y elementos rodantes.	Desgaste prematuro y pérdida de confiabilidad operacional.
Desalineación	Desviación angular o paralela entre ejes acoplados, que introduce cargas anómalas y distribución no uniforme del esfuerzo.	Incremento de vibraciones axiales y presencia de cargas mecánicas no previstas.	Fatiga temprana de pistas y elementos rodantes.
Sobrecarga mecánica	Aplicación de esfuerzos superiores a los contemplados en el diseño, con deformación y concentración de tensiones internas.	Aumento de temperatura y deformación de componentes internos.	Fisuras, deformaciones permanentes y fallas prematuras.

Fatiga del material	Deterioro progresivo originado por ciclos repetitivos de carga, con iniciación y propagación de daño superficial y subsuperficial.	Aparición de picaduras (pitting) y desprendimiento de material (spalling).	Pérdida de capacidad de carga y eventual fallo del rodamiento.
Montaje incorrecto	Uso indebido de herramientas o aplicación de esfuerzos de instalación a través de los elementos rodantes, generando indentaciones y daño inicial.	Marcas tempranas en pistas o elementos rodantes y aumento posterior de ruido/vibración.	Reducción significativa de la vida útil del componente.
Corrientes eléctricas	Paso de corriente a través del rodamiento, especialmente en motores controlados por variadores de frecuencia, con microcráteres y erosión eléctrica.	Aparición de estrías (fluting) y erosión eléctrica en las pistas.	Daño progresivo y falla prematura del rodamiento.
Vibraciones durante almacenamiento o parada	Exposición prolongada a vibraciones externas con el eje inmóvil, produciendo micromovimientos en la zona de contacto.	Marcas de desgaste por falsa brinelación (false brinelling) a paso de elemento rodante.	Reducción de la vida útil incluso antes de la puesta en servicio.

Fuente: Elaboración propia con base en Kannan et al. (2024), Harris y Kotzalas (2006), Randall y Antoni (2011), Tandon y Choudhury (1999) y SKF (2026).

Aplicabilidad de las tecnologías de mantenimiento predictivo en la industria ecuatoriana

La industria ecuatoriana tiene gran dependencia de los sistemas rotativos para el desarrollo de sus actividades productivas. Los sectores donde los motores eléctricos representan un activo importante por su participación en el proceso son la industria alimentaria, la industria, la manufactura, el tratamiento de agua, los sistemas de bombeo, la producción de aceite de palma, incluso la generación eléctrica.

Pese a la importancia de estos equipos muchas empresas en el país optan por el mantenimiento correctivo o incluso preventivo, cómo solución a estos problemas, lo que genera paros inesperados e incluso eleva los costos por el reemplazo prematura de componentes que se refleja en una pérdida de productividad para la empresa, esta situación es evidente en pequeñas y medianas empresas, dónde se considera más la experiencia operativa que las nuevas tecnologías para el monitoreo.

La implementación en las empresas de mantenimiento predictivo, específicamente el análisis vibracional, la alineación láser y el monitoreo de rodamientos expresa una gran oportunidad para mejorar la gestión de mantenimiento industrial en el país, ya que estas tecnologías permiten identificar anomalías en las condiciones de trabajo, evitando fallas, críticas y siendo facilitadores de una planificación preventiva que reduce los tiempos de inactividad.

A pesar de ello, integrar estas tecnologías, enfrenta grandes desafíos como la inversión inicial, requerida para la adquisición de los equipos especializados, la capacitación del personal y la cultura de mantenimiento que tienen algunas organizaciones, pero gracias a

la digitalización de los procesos tecnológicos, se ha incrementado la utilización de estas herramientas.

Se podría considerar la incorporación gradual de cada una de estas técnicas predictiva para contribuir a la eficiencia, competitividad, confiabilidad y sostenibilidad de la industria ecuatoriana.

Discusión

Los resultados obtenidos en función de la revolución bibliográfica dan como evidencia que mantenimiento predictivo se ha establecido como una de las estrategias más eficientes para incrementar el grado de confiabilidad de los sistemas rotativos industriales, las investigaciones señalan que la detección temprana de anomalías da como resultado la reducción de costos de mantenimiento, evitar tiempos de inactividad y optimización la vida útil de los equipos.

Eso sí, que el análisis vibracional se posesiona como una herramienta, diagnóstico, destacada y ampliamente utilizada por su capacidad de detectar varios tipos de fallas, en consecuencia, de un estudio de señales generadas durante la operación de la maquinaria. Por otro lado, la alineación láser existe como una tecnología de complemento que ayuda a mejorar el desempeño de los sistemas rotativos, ya que una inadecuada alineación de ejes aumenta los esfuerzos mecánicos, transmitidos a los componentes, en consecuencia, las vibraciones y la vida útil de los rodamientos.

Sobre el monitoreo de rodamientos, la bibliografía señala que son la principal fuente de fallas en maquinarias rotativas, por lo cual el uso de la herramienta de monitoreo se ha convertido en un punto importante dentro de los programas de mantenimiento.

La combinación de estas tres herramientas no sólo permite desarrollar estas estrategias de mantenimiento, sino que también mejora la capacidad de toma de decisiones y favorece a la comprensión del estado operativo de los equipos.

En el Ecuador, es importante pensar en estas herramientas tecnológicas para generar beneficios importantes, en términos de productividad y eficiencia operacional, por lo cual es importante fortalecer los programas de capacitación técnica y promover una cultura de mantenimiento predictivo.

Los resultados de esta revisión sugieren que el mantenimiento predictivo es una aliada viable que mejora la gestión de activos industriales en el Ecuador, especialmente en los sectores donde la continuidad operativa de sistemas rotativos es fundamental.

Conclusiones

Se determinó que el análisis vibracional en la actualidad es una de las técnicas más eficaces, utilizadas para la detección temprana de fallas, en sistemas rotativos industriales, la misma que permite identificar problemas asociados con el desbalance, la desalineación, defectos en rodamientos y las holguras mecánicas

Por su parte, la alineación láser ayuda a la reducción de vibraciones, lo que se refleja en una disminución de esfuerzos mecánicos y alargando la vida útil de los equipos.

El Monitoreo de rodamientos es esencial para generar estrategias de mantenimiento productivo, ya que estos datos podrían evitar las principales causas de falla en la maquinaria.

La integración de estas tres técnicas permitiría a la industria ecuatoriana, desarrollar programas de mantenimiento más precisos y eficientes dejando una puerta abierta al análisis de datos obtenidos a miles de un mantenimiento predictivo.

Referencias

Al-Khazali, H. A. H., & Askari, M. R. (2012). Defect diagnosis in rotors systems by vibrations data collectors using trending software. arXiv. <https://arxiv.org/abs/1208.3122>

- Bloch, H. P., & Geitner, F. K. (2012). Machinery failure analysis and troubleshooting (4th ed.). Gulf Professional Publishing.
<https://www.sciencedirect.com/book/monograph/9780123860453/machinery-failure-analysis-and-troubleshooting#authors>
- Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE). (2023). Guide M: Maintenance Engineering and Management (3rd ed.). CIBSE.
<https://www.cibse.org/guidem>
- Girdhar, P., & Scheffer, C. (2004). Practical machinery vibration analysis and predictive maintenance. Newnes.
[https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=tAvTO1t2mwkC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Girdhar,+P.,+%26+Scheffer,+C.+\(2004\).+Practical+machinery+vibration+analysis+and+predictive+maintenance.+Newnes.&ots=aExLUX_Otj&sig=9A1qeEzE4In-YvQu95_QaG3FDkc&redir_esc=y#v=onepage&q=Girdhar%2C%20P.%2C%20%26%20Scheffer%2C%20C.%20\(2004\).%20Practical%20machinery%20vibration%20analysis%20and%20predictive%20maintenance.%20Newnes.&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=tAvTO1t2mwkC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Girdhar,+P.,+%26+Scheffer,+C.+(2004).+Practical+machinery+vibration+analysis+and+predictive+maintenance.+Newnes.&ots=aExLUX_Otj&sig=9A1qeEzE4In-YvQu95_QaG3FDkc&redir_esc=y#v=onepage&q=Girdhar%2C%20P.%2C%20%26%20Scheffer%2C%20C.%20(2004).%20Practical%20machinery%20vibration%20analysis%20and%20predictive%20maintenance.%20Newnes.&f=false)
- Gupta, R., & Kumar, A. (2022). Time domain vibration analysis techniques for condition monitoring of rolling element bearing: A review. Materials Today: Proceedings, 62, 6336–6340. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.550>
- Harris, T. A., & Kotzalas, M. N. (2006). Rolling bearing analysis (5th ed.). CRC Press.
- Kannan, V., Zhang, T., & Li, H. (2024). A review of the intelligent condition monitoring of rolling element bearings. Machines, 12(7), 484.
<https://doi.org/10.3390/machines12070484>

Mobley, R. K. (2002). An introduction to predictive maintenance (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

[https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=SjqXzxpAzSQC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Mobley,+R.+K.+\(2002\).+An+introduction+to+predictive+maintenance+\(2nd+ed.\).+Butterworth-Heinemann.&ots=iHwOJICo9e&sig=yJI41UiP94_u6YaQNLfQh8KILLk&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=SjqXzxpAzSQC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Mobley,+R.+K.+(2002).+An+introduction+to+predictive+maintenance+(2nd+ed.).+Butterworth-Heinemann.&ots=iHwOJICo9e&sig=yJI41UiP94_u6YaQNLfQh8KILLk&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

Mobley, R. K. (2011). Maintenance Fundamentals (2nd ed.). Elsevier.

[https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=uAt-Bbn8oN8C&oi=fnd&pg=PP1&dq=Mobley,+R.+K.+\(2011\).+Maintenance+Fundamentals+\(2nd+ed.\).+Elsevier.&ots=9SBK1FYUSB&sig=pfySLGYbkWgXmAbgPY7rjkGhsRA&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=uAt-Bbn8oN8C&oi=fnd&pg=PP1&dq=Mobley,+R.+K.+(2011).+Maintenance+Fundamentals+(2nd+ed.).+Elsevier.&ots=9SBK1FYUSB&sig=pfySLGYbkWgXmAbgPY7rjkGhsRA&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

Nunes, P., Santos, J., & Rocha, E. (2023). Challenges in Predictive Maintenance – A Review. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 40, 53–67.

<https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2022.11.004>

Piotrowski, J. (2007). Shaft alignment handbook (3rd ed.). CRC Press.

Randall, R. B., & Antoni, J. (2011). Rolling element bearing diagnostics—A tutorial.

Mechanical Systems and Signal Processing, 25(2), 485-520.

<https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2010.07.017>

Romanssini, M., de Aguirre, P. C. C., Compassi-Severo, L., & Girardi, A. G. (2023). A

review on vibration monitoring techniques for predictive maintenance of rotating machinery. Eng, 4(3), 1797–1817. <https://doi.org/10.3390/eng4030102>

SKF. (2026). Información técnica industrial. SKF Group. Recuperado de

<https://www.skf.com>

- Tandon, N., & Choudhury, A. (1999). A review of vibration and acoustic measurement methods for the detection of defects in rolling element bearings. *Tribology International*, 32(8), 469-480. [https://doi.org/10.1016/S0301-679X\(99\)00077-8](https://doi.org/10.1016/S0301-679X(99)00077-8)
- Tiboni, M., Remino, C., Bussola, R., & Amici, C. (2022). A review on vibration-based condition monitoring of rotating machinery. *Applied Sciences*, 12(3), 972. <https://doi.org/10.3390/app12030972>