

## Methodology for vibrodynamic analysis of medium power mechanical systems

### Metodología para el análisis vibrodinámico de sistemas mecánicos de mediana potencia

#### Autores:

Uquillas-Pilay, Joao Martín  
Ing. Mecánico  
Departamento de Mecánica  
Universidad Técnica de Manabí  
Portoviejo-Ecuador



[juquillas5253@utm.edu.ec](mailto:juquillas5253@utm.edu.ec)



<https://orcid.org/0009-0006-5948-3156>

Pérez-Guerrero, Julio Nolberto  
Ing. Mecánico. PhD en Ciencias Técnicas  
Departamento de Mecánica  
Universidad Técnica de Manabí  
Docente Investigador  
Portoviejo-Ecuador.



[julio.perez@utm.edu.ec](mailto:julio.perez@utm.edu.ec)



<https://orcid.org/0000-0003-2769-3209>

Torres-Rodríguez, Roberto Manuel  
Ing. Mecánico, PhD en Ciencias Técnicas  
Departamento de Mecánica  
Universidad Técnica de Manabí  
Docente Investigador  
Portoviejo-Ecuador.



[roberto.torres@utm.edu.ec](mailto:roberto.torres@utm.edu.ec)



<https://orcid.org/0000-0002-2582-6840>

González-López, Nadia Aimee  
Lic. Física Máster en Ciencias  
Facultad de Ciencias Básicas Departamento de Física  
Universidad Técnica de Manabí  
Docente Investigador  
Portoviejo-Ecuador



[nadia.gonzalez@utm.edu.ec](mailto:nadia.gonzalez@utm.edu.ec)



<https://orcid.org/0000-0001-9875-7607>

Fechas de recepción: 04-ENE-2024 aceptación: 07-FEB-2024 publicación: 15-MAR-2024



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>



## Resumen

El análisis de vibraciones es considerado una de las mejores opciones cuando se trata de implementar métodos no destructivos por quienes realizan mantenimiento en los equipos. Para realizar el diagnóstico del estado de condición de la máquina se utilizan un conjunto de procedimientos acerca de las acciones que se deben acometer para aplicar el método durante este proceso, dentro de las cuales se pueden mencionar la selección y preparación de puntos, la selección de las variables de medición, el análisis espectral, etc. Su orden en una secuencia lógica adecuada propicia un resultado con la exactitud y precisión óptimas. De ahí la importancia de su tratamiento metodológico, aspecto este que constituye el objetivo de la presente investigación. Para cumplir con este objetivo se realizó un análisis exhaustivo de las metodologías utilizadas por varios autores en los últimos años para realizar el análisis vibrodinámico en diferentes sistemas mecánicos. El resultado principal de esta investigación fue la elaboración de una metodología, que con fundamento en los aspectos teórico metodológicos obtenidos de los autores consultados, integra un conjunto de métodos, técnicas y procedimientos con el fin de diagnosticar las fallas en los sistemas mecánicos de mediana potencia mediante el uso del estudio de las vibraciones.

**Palabras clave:** mantenimiento por diagnóstico; fallas; análisis de vibraciones; metodologías

## Abstract

Vibration analysis is considered one of the best options when it comes to implement non-destructive methods by those who perform maintenance on equipment. To perform the diagnosis of the condition of the machine, a set of procedures are used regarding the actions that must be undertaken to apply the method during this process, among which we can mention the selection and preparation of points, the selection of measurement variables, spectral analysis, etc. Their order in an adequate logical sequence allows for a result with optimum accuracy and precision. Hence the importance of its methodological treatment, which is the objective of this research. In order to fulfill this objective, an exhaustive analysis of the methodologies used by several authors in the last years to perform the vibrodinamic analysis in different mechanical systems was carried out. The main result of this research was the elaboration of a methodology, which based on the theoretical and methodological aspects obtained from the consulted authors, integrates a set of methods, techniques and procedures in order to diagnose failures in medium power mechanical systems through the use of the study of vibrations.

**Keywords:** maintenance by diagnosis; failures; Vibration analysis; methodologies

## Introducción

En los sistemas mecánicos durante su funcionamiento, por la interacción que se produce entre sus elementos para cumplir su fin, se producen desgastes, desajustes y otros eventos que conllevan a fallas en el sistema. Estos eventos van acompañados de niveles de vibraciones que exceden los valores permitidos (Torres y Batista, 2010, Huilca, 2019).

Según Oropesa y Cecilia (2018) las señales de vibración en un sistema mecánico proporcionan información acerca del comportamiento de ésta, gracias a la conducta mecánica que poseen los componentes que la conforman y a su comportamiento dinámico originado por la interacción de los mismos.

Entre las fallas que pueden aparecer que generan vibraciones durante el funcionamiento y que se pueden ser detectadas a través de técnicas con fundamento en las vibraciones, se encuentran:

1) El desbalance, que tiene lugar cuando el centro de gravedad existente dentro de un elemento rodante no está correctamente alineado con su centro de giro y existe un desequilibrio en la distribución de masa del elemento con respecto a su eje virtual de giro. Este desbalance origina una fuerza centrífuga, que defleca a los ejes de los sistemas mecánicos, estas vibraciones suelen generar un excesivo desgaste en los cojinetes, los bujes y los acoplamientos.

2) Vibración por desalineación. Debido a que los sistemas mecánicos se suelen acoplar a otras máquinas que tienen un determinado funcionamiento, pueden producirse vibraciones si los ejes de ambas máquinas no están debidamente alineados. La desalineación se puede encontrar conectada al eje de una máquina articulada, pero también entre cojinetes o dentro de un par de ruedas dentadas.

3) Vibración debida a partes flojas. Lo que se conoce como soltura mecánica es causada por el deterioro del estado de montaje de los elementos mecánicos, superando la tolerancia admisible, o aflojándose debido al movimiento del sistema mecánico. Las bases y los cojinetes de la máquina tienen juegos que pueden afectar la alineación del eje y generar señales de vibración; las vibraciones que caracterizan las piezas sueltas son causadas en múltiples ocasiones por fuerzas de excitación provocadas por problemas como el desequilibrio y la desalineación.

El uso del análisis vibrodinámico como medio para la determinación e identificación de fallas en sistemas mecánicos, viene siendo objeto de estudio desde hace mucho tiempo en diferentes campos de aplicación, lo que permite un reconocimiento temprano de las fallas en las plantas industriales, para su aplicación se necesitan tecnologías blandas, dígame metodologías, procedimientos y otros instrumentos que se adecuen a los contextos de funcionamiento y tipos de sistemas mecánicos (Pacheco-Córdova et al. 2018).

El análisis vibrodinámico en máquinas y sistemas mecánicos debe permitir en todo caso la detección temprana de fallas, de manera tal que le permita al equipo de trabajo de mantenimiento planificar, con suficiente tiempo las acciones necesarias para cumplir con los

requisitos de funcionamiento y disponibilidad de todos los sistemas mecánicos involucrados (Hernández-Dávila et al., 2020, Flores et al., 2020).

Para Palomino-Marín et al. (2018) el análisis vibrodinámico requiere de la intervención de personal especializado en particular los ingenieros capacitados con este fin, quienes deben ser los encargados de diagnosticar el estado técnico de las máquinas, para lo cual Según Torres y Quesada (2016) se han desarrollado varias técnicas de medición y descripción de los niveles de vibración que son aceptables en el funcionamiento de las máquinas, entre las que se encuentra la normas ISO 10816 que proporciona estándares para niveles de vibración aceptables según el tipo de máquinas, clasificada por rangos de potencia en la propia norma. Estos niveles de vibración que se obtienen de la norma sirven de referencias durante el proceso de control y seguimiento del estado vibratorio de las máquinas y sistemas mecánicos. Las vibraciones se pueden ver en dos dominios básicos, el dominio del tiempo y el dominio de la frecuencia, si el análisis es a través de un dispositivo electrónico y la señal eléctrica es proporcional a la vibración, se obtiene el dominio del tiempo; por ello para que la señal esté en el dominio de la frecuencia, se debe utilizar alguna herramienta que sirva de filtro para ello (Hernández-Montero et al., 2010, Torres y Quesada, 2016).

Aunque también se realiza el diagnóstico en el dominio del tiempo lo más común es que se utilice el dominio de la frecuencia donde además de verificar los valores globales de la vibración, ya sea midiendo el desplazamiento, la velocidad o la aceleración de la onda, se realiza el análisis espectral que permite relacionar directamente las causas de las vibraciones con sus correspondientes armónicos. También se realiza el análisis de tendencias de las vibraciones de las que se pueden visualizar dos tipos de casos: tendencia estable con límites aceptables de vibración por lo que se diagnostica que el sistema puede funcionar de forma segura y de tendencia inestable donde se refleja un patrón de variación en las vibraciones, que revela la presencia de un fallo mecánico que podría estar relacionado con algún desequilibrio, desalineación u holgura del sistema mecánico.

Según Maigua (2020) para dar seguimiento a los niveles de vibraciones se debe tener en cuenta principalmente el rango, para luego definir las necesidades de medida, según sea esta en aceleración, velocidad o desplazamiento. Otro valor fundamental es el valor de la frecuencia a la que se ejecuta la medida, de hecho, este parámetro es el más importante, ya que también ayudará en la selección de la tecnología a utilizar en el transductor, para niveles frecuenciales inferiores la tecnología a utilizar es la capacitiva y para un nivel de frecuencias mayor la tecnología será piezoeléctrica.

Todos estos criterios y elementos a considerar se deben recoger en una metodología que permita realizar de manera ordenada y óptima el proceso de diagnóstico de fallas y el seguimiento de los niveles de vibración. En este sentido se revisaron varias metodologías contenidas en diferentes investigaciones entre las que se encuentran la Rastelli (2009) para la atenuación de vibraciones generadas por máquinas empleadas en la industria alimenticia en Venezuela, la de Torres y Batista (2010) un análisis vibrodinámico de motores eléctricos en la fábrica de azúcar "Cristino Naranjo" en Cuba, la que utilizó Moreno-García et al. (2015) para desarrollar un estudio de detección de fallas con el análisis espectral de vibraciones en

motores eléctricos en un banco de pruebas proporcionado por el Grupo de Investigación en Automatización y Control (GIAC) de la Universidad Francisco de Paula Santander en Colombia, la de Medrano-Hurtado y otros (2016) una metodología de diagnóstico de fallas en rodamientos en una máquina síncrona mediante el procesamiento de señales vibroacústicas empleando análisis de densidad de potencia en México, la de Vargas-Henríquez y otros (2018) con una metodología para detectar fallas con el análisis de vibraciones en una línea de producción de carbón activado también en Colombia, la de Maigua (2020) en un Sistema de Monitoreo de Vibraciones Mecánicas en Generadores Hidroeléctricos de Media Potencia en Ecuador.

El análisis de estas metodologías permitió observar que coinciden en proponer, aunque presentan diferencias no sustanciales, un conjunto de fases, etapas y pasos que van desde la determinación de la necesidad de utilizar las vibraciones como técnica para el diagnóstico, identificación y preparación de las máquinas o mecanismos objetos de análisis, identificación y preparación de los puntos de medición, selección de los parámetros e instrumentos de toma de datos, planificación o creación de rutas de medición, la toma y procesamiento de datos, hasta el análisis de la información y el diagnóstico de la falla, este proceso debe complementarse además con las propuestas de mantenimiento según sea el caso.

Una vez realizado el diagnóstico de las fallas se debe proceder a planificar y ejecutar las acciones necesarias para prevenir las averías o fallas catastróficas. En algunos casos de maquinarias grandes es más complejo el tratamiento de las vibraciones como por ejemplo una trituradora de granos, aquí se usan absorbedores de vibraciones como vía para regular la generación de valores no deseados tal como lo muestra Rastelli (2009). En otras situaciones como cuando se detectan desbalances o desalineaciones se procede a ejecutar las operaciones de mantenimiento que corresponden.

El análisis vibrodinámico es una técnica relativamente costosa, tanto por las herramientas que utiliza, como por la alta capacitación y experiencia que necesita el personal encargado del diagnóstico, también cabe mencionar la planificación exhaustiva del proceso en su totalidad para garantizar la exactitud y precisión de las datos que se obtengan para el análisis. Estas son algunas de las razones por las cuales en la mayoría de las veces se utiliza esta técnica en máquinas de gran potencia y complejidad en el mantenimiento; no obstante, en las máquinas de mediana potencia también resulta factible su utilización (Torres y Batista, 2010; Medrano-Hurtado, 2016)

Tomando en consideración los elementos teóricos expuestos anteriormente se planteó como objetivo elaborar una metodología para ser utilizada en máquinas de mediana potencia que garantice los resultados esperados durante el análisis vibrodinámico en estos sistemas mecánicos

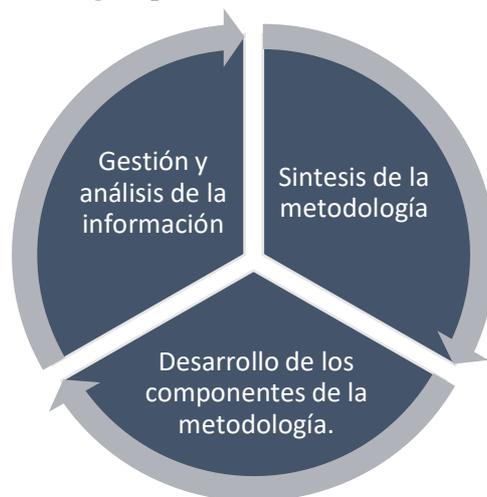
## Material y métodos

### Material

Para dar respuesta al objetivo de la investigación se realizó una búsqueda de información que dieron como resultado un número de artículos indexados en diferentes bases de datos, de los que se seleccionaron los más relevantes, los que constituyeron el material esencial usado para la investigación. Las áreas temáticas base tenidas en cuenta para conformar el corpus científico de esta investigación fueron el uso del análisis vibrodinámico para el diagnóstico de fallas, el contexto de aplicación y las herramientas metodológicas utilizadas con dicho fin. En la revisión bibliográfica se detectaron varias metodologías (ya referidas en la introducción) que integran un conjunto de técnicas, métodos y procedimientos con probada pertinencia y validez demostradas en su aplicación en diferentes contextos y máquinas. En la figura 1 se muestra la lógica seguida para el desarrollo de la investigación.

Figura 1

Lógica para el desarrollo de la investigación.



Fuente: Propia de los autores.

### Métodos

Los métodos utilizados, en concordancia con la lógica de la investigación antes consignada se enmarcan en tres direcciones, saber, los orientados gestión de la información pertinente, los métodos generales para la síntesis de la metodología y los métodos particulares de la teoría y metodología del análisis vibrodinámico de sistemas mecánicos.

La etapa de gestión de la información contemplo la identificación, selección y sistematización de la información pertinente al problema bajo estudio con el objetivo ordenar

la información, análisis de la tendencia y métodos empleados. El segundo grupo de métodos entre los que están el sistémico, análisis y síntesis y enfoque de procesos permitió, a partir de los resultados previos del análisis de la información sintetizar la estructura lógica formal con carácter procesal de la metodología. de la metodología, considerando al proceso un sistema dinámico sociotécnico. Y finalmente los métodos específicos del mantenimiento en el área del análisis vibrodinámico y otros asociados permitieron establecer el contenido de cada uno de los pasos que componen cada fase de la metodología.

## Resultados

Como resultado se elaboró una Metodología que contiene en su estructura cinco Fases y 17 pasos que de manera coherente integra las técnicas, métodos y procedimientos que permiten el análisis vibrodinámico de las máquinas que serán sometidas al diagnóstico de fallas con esta técnica. Cabe destacar que la metodología comienza justo cuando por estudios previos y decisiones de la gerencia se han seleccionados las máquinas y mecanismos con dicho fin. A continuación, se muestran los aspectos fundamentales que describen la metodología.

### Fase 1 – Caracterización de la (s) Máquina(s)

Objetivo: Obtener los datos relevantes necesarios de las máquinas necesarios para el diagnóstico.

Paso 1: Parámetros nominales de fabricación y funcionamiento.

Esos datos se recogerán en un modelo diseñado al efecto que contiene: fabricante, marca, modelo, número de serie, potencia, revoluciones por minutos, etc.

Paso 2: Historial de averías de la máquina

El historial de fallas debe ser tabulado y estudiado minuciosamente pues representa el punto de partida para caracterizar el estado vibrodinámico inicial de la máquina. Importante no omitir alguno, aunque pueda parecer irrelevante. El conocimiento profundo del funcionamiento y los modos de fallas facilitan el trabajo de los encargados del mantenimiento.

Fase 2 – Selección y preparación de los puntos de medición

Objetivo: Establecer los puntos de medición en sus diferentes orientaciones.

Paso 1: Selección de los puntos de medición

La selección del punto para la medición de vibraciones es de vital importancia para garantizar las mediciones con el mínimo de errores. El punto de medición se debe ubicar lo más colindante posible al apoyo del eje donde se ubican los rodamientos o cojinetes.

Los criterios para seleccionar el punto de medición incluyen los aspectos siguientes:

- El punto de medición debe ser accesible y garantizar la seguridad del operador. Evite el contacto con las piezas giratorias y las altas temperaturas.
- El sensor debe colocarse en el cojinete o lo más cerca posible del cojinete.
- El punto de medición debe tener una superficie adecuada sobre la cual colocar temporalmente el sensor.
- No medir en cubiertas, tapas, partes móviles, ejes giratorios o aislamiento.

•Clara e intuitivamente nombrar o enumerar puntos para identificar ubicaciones a lo largo de la ruta de transmisión.

Para cada punto de medición se obtienen dos direcciones radiales y una dirección axial con respecto a los ejes del sistema mecánico de mediana potencia. En la figura 2 se muestran las direcciones de los puntos de medición.

Figura 2  
Direcciones radial y axial de los puntos de medición.



Fuente: <https://power-mi.com/es/content/an%C3%A1lisis-de-vibraciones-en-motores-electricos-de-induccion>

#### Paso 2: Preparación de los puntos de medición

Para la preparación de los puntos de medición es necesario tener en cuenta si las mediciones se realizaran on line o si serán off line. Para obtener mediciones de calidad y con precisión en un proceso de medición off line, se debe obtener una superficie plana que garantice un acople fuerte y uniforme del sensor. Existen varias opciones, una de ellas es el zócalo que parece ser la mejor opción siempre que sea posible pues garantiza la adherencia a la máquina y al sensor. También se suele hacer utilizando un imán acoplado al sensor o transductor. En el caso de mediciones on line se suelen usar acoples por tornillo. En los puntos de difícil acceso se usan punteros que son menos precisos en la transmisión de las vibraciones, pero permiten el acceso a este tipo de punto de difícil acceso.

#### Fase 3 – Elementos funcionales del sistema de medición

Objetivo: seleccionar los transductores y el colector de datos.

Para la realización de los pasos de esta fase se deben tener en cuenta algunas normas entre las que se encuentran la UNE 21 328 75: Tipologías relativas a los transductores electromecánicos propuestos a la medida de choques y vibraciones, la UNE 95 0140 86: Vibración y choques, terminología, la Norma ISO 2954: Vibración mecánica en sistemas rotativos y alternativos. Exigencias para los instrumentos de medida en la severidad de vibracional y la ISO 10816: Establece las condiciones y procedimientos generales para la medición y evaluación de la vibración.

#### Paso 1: Selección del transductor de vibración

Para la selección del transductor ideal, se deben revisar que sus datos técnicos sean adecuados para las variables y condiciones de medición de las vibraciones en consonancia con la Norma ISO 2954: Vibraciones mecánicas en sistemas rotativos y alternativos. Exigencias para los instrumentos de medida de la severidad de vibración. Los acelerómetros más utilizados en el análisis vibrodinámico son los de tipo piezoeléctrico. En la figura 3 se muestra un transductor piezoeléctrico.

Figura 3

Transductor Piezoeléctrico con salida de 4-20 mA



Fuente: Sensing <https://sensores-de-medida.es/medicion/sensores-y-transductores/>

#### Paso 2: Fijación del transductor de vibración

Para este paso se recomienda aprovechar la base magnética plana que posee el transductor desde fábrica o utilizar zócalos previamente insertados en los puntos de medición.

#### Paso 3: Selección del colector de datos de vibración

Uno de los aspectos principales a tener en cuenta es la disponibilidad de colectores de datos, ya que cualquier de ellos posee la capacidad de analizar valores de vibración en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia.

Cuando se trabaja en el dominio del tiempo se pueden definir los siguientes valores:

– El nivel efectivo (RMS) de la vibración. Este es el más utilizado en el análisis vibrodinámico, por cuanto está directamente asociado a la potencia de vibración. Este valor RMS está representado por la raíz cuadrada del cuadrado medio de los valores de la forma de onda, para casos como el de la onda sinusoidal el valor RMS expuesto sería 0,707 en el pico.

En cambio, cuando se trabaja en el dominio de la frecuencia se pueden definir los siguientes criterios:

- Si se mide la vibración en función de su descomposición en sus componentes constituyentes a varias frecuencias, se debe decidir qué cantidad medir. Para ello la velocidad es una medida de la rapidez con que la superficie vibratoria alcanza sus posiciones extremas, por ello el rango de frecuencia efectivo para transductores de velocidad es de aproximadamente 10 Hz a 2000 Hz.

- En cambio, el desplazamiento está relacionado con la frecuencia, por lo que las mediciones de desplazamiento deben realizarse a una frecuencia específica, en ello el rango de frecuencia efectivo del transductor de proximidad es 0-600 Hz y el rango de frecuencia efectivo del transductor de desplazamiento de contacto es 0-200 Hz.

- La aceleración representa la tasa de cambio de la velocidad desde la posición de equilibrio hasta el límite, con una alta aceleración que ocurre a frecuencias altas. Por ello el transductor de acelerómetro vibratorio altamente sensible tiene un rango de frecuencia efectivo entre aproximadamente 0,2 Hz y 500 Hz, y un transductor menos sensible tiene un rango de frecuencia entre 5 Hz y 20000 Hz.

En la mayoría de las veces los análisis se hacen en el dominio de las frecuencias por tanto se deben tomar estos criterios y en dependencia del rango de frecuencia en el que se esté trabajando se mide el desplazamiento, la velocidad o la aceleración.

#### Fase 4 – Límites permisibles de vibración

Objetivo: Definir los niveles de vibraciones permisibles según se clasifique las máquinas.

##### Paso 1. Clasificación del sistema

Para la clasificación de los sistemas mecánicos de mediana potencia se deben tomar en cuenta los criterios de la norma ISO:10816: Condiciones y procedimientos generales para la medición y evaluación de la vibración que divide en grupos los tipos de sistemas.

##### Paso 2: Definición de los límites permisibles de vibración

Con el uso de la Norma ISO: 10816, también se definen los valores globales en velocidad y aceleración. También se debe considerar que todas las máquinas en operación vibran con amplitudes distintas, debido a dos aspectos relevantes: el diseño de la máquina y las fuerzas de operación, así como la rigidez de su estructura y el anclaje. En consecuencia, se sugiere que para determinar el límite permisible se deben verificar los datos técnicos de funcionamiento de los sistemas mecánicos, tales como velocidad y potencia. En conclusión, a partir de la Norma ISO 10816 se definen los límites de los niveles de vibración de los diferentes tipos de máquinas según la clasificación de esta propia norma.

Figura 4

Norma ISO 10816 severidad de las vibraciones.

								Valor RMS de Velocidades	
								11	0.43
								7.1	0.28
								4.5	0.18
								3.5	0.14
								2.8	0.11
								2.3	0.09
								1.4	0.06
								0.71	0.03
								mm/s	in/s
rígida	flexible	rígida	flexible	rígida	flexible	rígida	flexible	Fundación	
Bombas Mayores a 15 kW Radial, Axial, Flujo Mixto				Máquinas Medias 15kW <P<300 kW		Grandes Máquinas 300 kW <P<50MW		Tipo de Máquina	
Clase IV		Clase III		Clase II		Clase I		Grupos	

Fuente: ISO 10816-RODESPREX

Fase 5 – Medición de la vibración.

Objetivo: Planificar la toma de datos de las vibraciones y realizar el diagnóstico a partir de su procesamiento.

Paso 1: Planificación de las mediciones. Rutas de medición

Para confeccionar la ruta de medición se recomienda utilizar algún software especializado en análisis de vibraciones, con la finalidad de agilizar el proceso debido a que si en el análisis se toman diferentes datos ya sean de valores globales, formas de onda o espectros de vibración por cada dirección de medición, el proceso se tornaría extenso. Un ejemplo de ello sería que, si por cada sistema mecánico se midiera aproximadamente en 2 direcciones y en la ruta se miden 2 máquinas, contando con 7 gráficos por puntos, se obtendrían 28 datos o gráficos para analizar.

Paso 2: Recolección de datos

Para realizar una adecuada recolección de datos se recomienda tomar en consideración que, una vez montado el transductor junto con el colector de datos en el sistema mecánico, aunque el colector de datos tiene incorporado en su configuración el tiempo de duración de la medición se debe verificar antes de realizar la misma. También es importante proceder al acondicionamiento de la señal eléctrica arrojada por el dispositivo de medición, este proceso se refiere a procesos tales como seleccionar el rango de medición, su importancia radica en que por ejemplo si se intenta medir voltajes en el rango de  $\pm 2.4\text{mV}$  ( $\pm 0.0024\text{V}$ ), pero el acondicionador solo tiene un rango de  $\pm 40\text{V}$ , la señal resultante dentro de la apertura de ganancia es tan pequeña que no se puede usar. Si el rango de voltaje es de  $\pm 200\text{V}$ , pero el

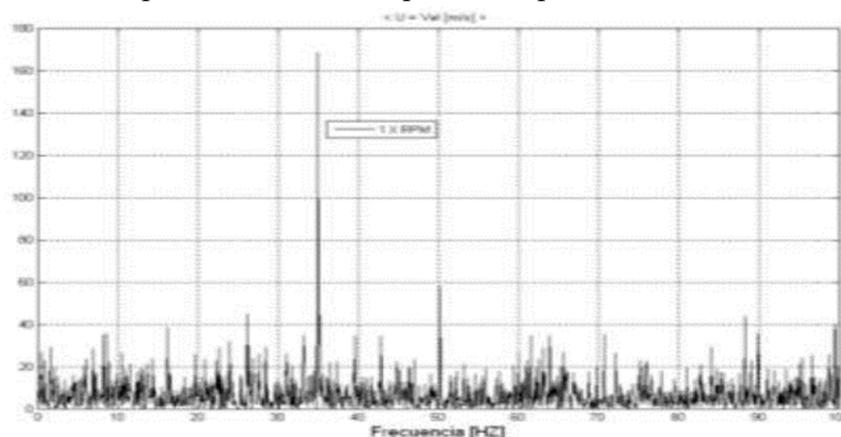
rango es solo de  $\pm 40$  V, el acondicionador recortará la mitad de la señal y la señal nunca se medirá.

### Paso 3: Procesamiento de datos -Análisis de resultados

Este es un paso importante porque su objetivo es brindar la información necesaria para el diagnóstico de las fallas. El procesamiento de las señales de vibración proporcionadas por el colector de datos, se realiza con softwares diseñados con este fin y que normalmente se adquieren con el colector de señales. Con este software se hacen diferentes análisis de datos entre los más comunes está el análisis espectral de vibraciones en dominio de las frecuencias. La interpretación del espectro la realiza personal especializado. Algunas recomendaciones para este análisis se proponen a continuación.

En primera instancia identificar los picos de frecuencias que corresponde a la velocidad de giro del sistema mecánico (frecuencia principal). Por ejemplo, la falla del sistema causada por desbalance se refleja en un aumento de la amplitud de los armónicos con frecuencia semejante a la del giro del rotor  $1 \times \text{rpm}$  y se revela en dirección radial en la figura 5 se muestra un ejemplo de espectro de frecuencia cuando existe desbalance.

Figura 5  
Espectro característico producido por el desbalance.

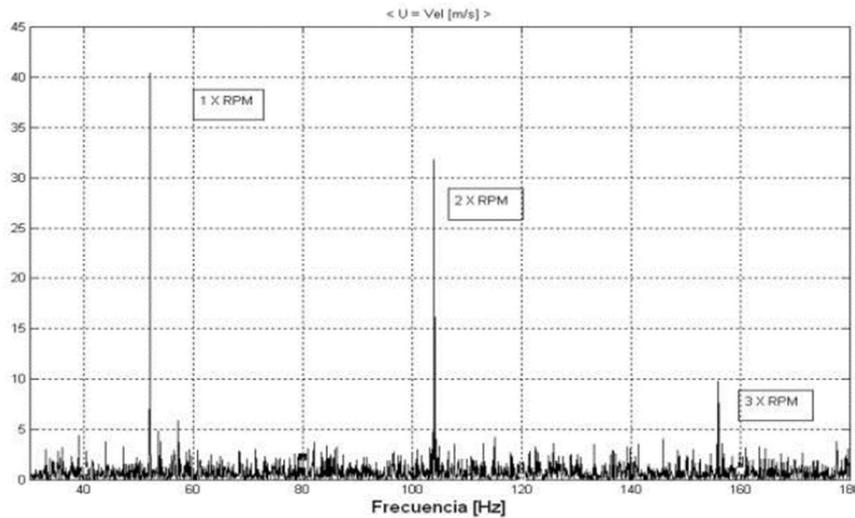


Fuente: Quiroga y otros (2012)

Un ejemplo de espectro de vibración causado por falta de alineamiento se muestra en la figura 6.

Si la falla de alineamiento ocurre en forma vertical, se exhibirán tipos de vibración radial a la frecuencia armónica que se considera como el doble de la velocidad del rotor ( $2 \times \text{rpm}$ ). Por el contrario, si la desalineación es angular, se producirán vibraciones axiales con frecuencias armónicas, aumentando la velocidad del rotor en un factor de 2 ( $2 \times \text{rpm}$ ) o 3 ( $3 \times \text{rpm}$ ).

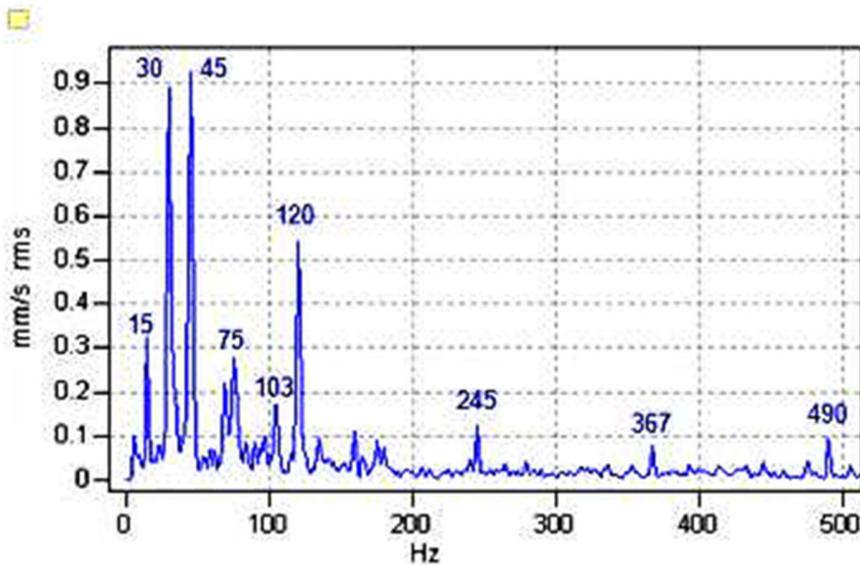
Figura 6  
Espectro característico causado por falta de alineamiento.



Fuente: Quiroga y otros (2012)

Como se observa en la figura 7 los armónicos segundo y tercero están excitados, el tercer armónico aún más excitado lo que es síntoma evidente de desalineación paralela, también está manifiesta la excentricidad estática (asimetría del entrehierro) reflejada en la frecuencia de 120 Hz. En este caso da origen a pulsaciones con amplitudes relativamente bajas, pero no debe olvidarse que estamos en presencia de motores con niveles de vibraciones bajos, por lo que estos valores pueden ser significativos.

Figura 7  
Espectro donde se manifiestan más de una falla.



Fuente: Torres y Batista (2010)

#### Paso 4: Toma de acciones correctivas

Una vez diagnosticadas las fallas se procede a tomar acciones necesarias para dar solución a los problemas encontrados, o en el mejor de los casos cuando no existen fallas a precisar las acciones de seguimiento y control del estado de condición de la máquina. Entre las acciones que se pueden tomar según sea el caso están:

- Reducción de vibraciones en la fuente
- Balanceo de sistemas mecánicos
- Control de frecuencias naturales
- Aislamiento de las vibraciones
- Absorbedor de vibraciones.

#### Paso 5: Seguimiento de la tendencia de vibración.

Un aspecto importante a tener en cuenta es el análisis de tendencias de las vibraciones durante todo el proceso de seguimiento, esto permite realizar los análisis espectrales en aquellos casos en el que los incrementos de los valores globales de vibraciones tienden al valor permisible establecido (límite establecido por normas), además de permitir una visualización de su comportamiento en el tiempo.

Cuando la tendencia se vuelve inestable se revela la presencia de una falla que podría estar relacionado con algún desequilibrio, desalineación u holgura del sistema mecánico. Cuando ocurre este tipo de fenómenos se debe medir el sistema mecánico con más frecuencia y comenzar a realizar el análisis espectral para determinar el fallo exacto cuál es y poder planificar las acciones de mantenimiento necesarias para corregir la falla.

### **Análisis de los Resultados**

La Metodología hace un recorrido coherente a través de su estructura de cinco Fases y 17 pasos, que partiendo de la definición del estado de condición del sistema mecánico en cuestión a través de la caracterización de este y el análisis de su historial de fallas permite definir los elementos básicos para seleccionar y preparar los puntos de medición de los niveles de vibraciones, así como los parámetros funcionales del sistema de medición conformado por las variables a medir según la necesidad (Aceleración, velocidad o desplazamiento de la onda), el transductor y el colector de mediciones, todo ello con base en las normas establecidas al respecto y las experiencias. Una vez establecidos los parámetros y las rutas de medición, así como los instrumentos y dispositivos se procede a la recolección de los datos, que procesados y analizados debidamente dan las evidencias suficientes para realizar el diagnóstico. La herramienta principal para precisar la falla exacta que está provocando los niveles no permisibles es el análisis espectral.

Con esta información el equipo de trabajo especializado en este tipo de diagnóstico suele localizar la falla exacta y en su momento predecir, con la ayuda del análisis de tendencias en que tiempo se alcanzaran los niveles no permisibles lo que propicia la planificación de las acciones de mantenimiento antes de que se produzca una avería.

## Discusión

La metodología propuesta contiene los aspectos metodológicos necesarios que la convierten en una herramienta pertinente y confiable para realizar el análisis vibrodinámico de los sistemas mecánicos de mediana potencia, por cuanto se sustenta en los resultados de la aplicación de otras metodologías tales como la de Rastelli (2009), la de Torres y Batista (2010), la que utilizó Moreno-García et al. (2015), la de Medrano-Hurtado y otros (2016), la de Vargas-Henríquez y otros (2018) y la de Maigua (2020) en un Sistema de Monitoreo de Vibraciones Mecánicas en Generadores Hidroeléctricos de Media Potencia en Ecuador. Todas ellas mostraron su efectividad para el análisis de vibraciones como herramienta de diagnóstico de fallas en diferentes sistemas mecánicos.

## Conclusiones

La aplicación de los métodos teóricos en el estudio bibliográfico realizado permitió definir el marco teórico-metodológico que sustenta la medición de las vibraciones como técnica efectiva para diagnosticar fallas en sistemas mecánicos de mediana potencia, tales como desbalance, falta de alineamiento, desgaste, desacople, holguras, entre otras. Con este fin se elaboró una metodología para el análisis vibrodinámico que integra de manera coherente los métodos, técnicas y procedimientos necesarios para de manera pertinente ser aplicada en diferentes contextos para el diagnóstico de fallas. Estos elementos que la componen demostraron su eficacia en los estudios realizados en diferentes contextos por los autores ya referidos lo que garantiza su aplicabilidad y pertinencia para el análisis vibrodinámico en sistemas mecánicos de mediana potencia.

## Referencias bibliográficas

- Boaglio, L. L., Gangi, S. O., Pontelli, D. A., & Bollati, J. G. (2016). Análisis de vibraciones en banco de ensayo utilizado para simular fallas de equipos industriales. *Revista De La Facultad De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 3(1), 71–74. Recuperado a partir de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFYN/article/view/12370>
- Flores, E., Albornoz, A., López, E., Romero, J. (2020). Evaluación mediante vibraciones de los rodamientos de la transmisión de un prototipo mini Baja SAE. *Revista INGENIERÍA UC*, 27 (1), pp. 41-53. <https://www.redalyc.org/journal/707/70763088006/html/>
- Hernández-Dávila, E., Olivo Malliquinga, D. F., & Carrillo Villa, C. A. (2020). Estudio de la eficacia de la toma de medidas de vibraciones mecánicas sobre superficies irregulares y no rígidas. *FIGEMPA: Investigación Y Desarrollo*, 9(1), 93–98. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.2426>
- Hernández-Montero, F.E., Gutiérrez-García, M (2010). Enfoques del análisis de envolvente al procesamiento de vibraciones para el diagnóstico de maquinarias. *Ingeniería Mecánica*, 13 (1), pp. 31-40. <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu>

- Huilca Álvarez, W. A. (2019). Análisis de la influencia de la calidad del contacto de los sensores en el análisis de vibraciones. *Ciencia Digital*, 3(3.2.1), 20-30. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.2.1.779>
- Maigua, C., Quitiaquez, W., Simbaña, I., Quitiaquez, P., Toapanta, F., & Isaza, C. (2020). Diseño de un Sistema de Monitoreo de Vibraciones Mecánicas en Generadores Hidroeléctricos de Media Potencia. *Revista Técnica "energía"*, 17(1), PP. 92–102. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v17.n1.2020.397>
- Medrano-Hurtado Zulma Yadira, Pérez-Tello Carlos, Gómez-Sarduy Julio, Vera-Pérez Maximiliano (2016) Nueva metodología de diagnóstico de fallas en rodamientos en una máquina síncrona mediante el procesamiento de señales vibroacústicas empleando análisis de densidad de potencia. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 17 (1), pp. 73-85 [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-7432016000100073&script=sci\\_abstract](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-7432016000100073&script=sci_abstract)
- Moreno-García, F.E., Becerra-Vargas, J.A., Rendón-Echeverri, C.A. (2015). Diseño de un sistema de análisis temporal y espectral para detectar fallas por vibración en motores eléctricos. *Revista Facultad de Ingeniería (Fac. Ing.)*, 24 (38), pp. 41-51. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=413940775004>
- Oropesa-Márquez, Y., Cecilia-Simón, N. (2018) Metodología combinada del uso de MarPrime y Vibrotip para diagnóstico del motor HYUNDAI HIMSEN 9H25/33. *Científica*, 22 (1), pp. 71-79. <https://www.redalyc.org/journal/614/61458000008/html/>
- Pacheco Córdova, E., Sánchez Loja, R.V., Cabrera, D., Cerrada, M. (2018) Adquisición de señales de vibración y emisión acústica para el diagnóstico de severidad de fallos en maquinaria Rotativa. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 3 (32-1), pp. 87-94. DOI: <https://doi.org/10.24054/16927257.v0.n0.2018.3309>
- Palomino-Marín, E., Cabrera-Gómez, J., Cepero-Aguilera, Y. (2018) Monitorado de condición en grupos electrógenos basado en análisis de vibraciones por bandas espectrales. *Ingeniería Mecánica*, 21(3), pp. 130-137. <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu>
- Rastelli, V., Montbrún, N., & Bossio, B. (2009). Amortiguación dinámica como atenuación de vibraciones generadas por máquinas empleadas en la industria alimenticia. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 24(4), 6-15. Recuperado en 21 de enero de 2024, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652009000400001&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652009000400001&lng=es&tlng=es).
- Torres Padilla, M. C., & Quezada Castro, A. (2016). Diseño de un Sistema Medidor de Vibraciones para Máquinas Rotativas de 900 rpm hasta 84000 rpm. *Journal Boliviano De Ciencias*, 12(37), 23–28. <https://doi.org/10.52428/20758944.v12i37.671>
- Torres-Rodríguez, Roberto Manuel, & Batista-Rodríguez, Carlos Ramón. (2010). Análisis vibrodinámico de motores eléctricos. *Ingeniería Mecánica*, 13(1), 9-18. Recuperado en 22 de enero de 2024, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59442010000100002&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442010000100002&lng=es&tlng=es).
- Vargas Henríquez, L., Mejías Ruiz, C., Vásquez Caballis, C. (2018). Metodología para diagnosticar fallas localizadas en equipos de una línea de producción de carbón activado. *Revista Ingeniare*, 14 (24), pp. 77-88. Doi: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.24.5173>.

**Conflicto de intereses:**

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

**Financiamiento:**

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

**Agradecimiento:**

N/A

**Nota:**

El artículo no es producto de una publicación anterior.