

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Diseño de Guía para la adquisición de tecnología para el monitoreo de condición por vibraciones y temperatura para una PYME en el contexto de la 4ta revolución industrial y el mantenimiento predictivo

Javier Eduardo Guzmán Restrepo

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Especialista en Gestión del mantenimiento Industrial

Asesor(es)
Fredy Adalber Castro Celis

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM
Facultad de Ingenierías
Departamento de Mecatrónica y Electromecánica
Medellín, Colombia
2023

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

RESUMEN

Los avances de la humanidad no se detienen, por el contrario, van evolucionando aceleradamente; actualmente se vive la cuarta revolución industrial y todo lo que de ella se deriva. Se ha realizado un análisis general de esta tendencia y del aporte que genera a la evolución de la gestión del mantenimiento en las Pequeñas y medianas empresas (PYMES), resaltando el impacto que ha generado sobre el mantenimiento predictivo a nivel global. No obstante, se aprecia con gran preocupación que estas empresas no están evolucionando en su gestión de mantenimiento por lo que consecuentemente en la mayoría de los casos no cuentan con un plan de mantenimiento predictivo, que les facilite desde el área de mantenimiento incursionar en la cuarta revolución industrial. Con el propósito de contribuir con la evolución de la gestión de mantenimiento en las PYMES a través de la transición a un mantenimiento predictivo, se ha desarrollado una guía que les permitirá identificar la necesidad y viabilidad de implementar una de las técnicas de monitoreo de condición de mayor impacto en el mantenimiento predictivo “El análisis de vibraciones” acompañando de medición de temperatura. Adicionalmente se presenta una terna de modalidades de monitoreo de condición por análisis de vibraciones, indicando en términos muy generales los alcances y bondades que presentan para la aplicación. Con el propósito de ampliar la posibilidad de implementar este tipo de tecnología para el monitoreo de condición, se muestran algunas referencias de las marcas disponibles en el país; También se indican precios de referencia. Con la información suministrada en la guía se espera que las PYMES tengan un panorama claro que les permita integrar en su gestión de mantenimiento este tipo de tecnología, considerando que existen alternativas prácticas para incursionar en el mundo del mantenimiento predictivo bajo el contexto de la cuarta revolución industrial.

Palabras clave: Cuarta revolución industrial, gestión de mantenimiento, mantenimiento predictivo, análisis de vibración y temperatura, PYME, monitoreo de condición.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

RECONOCIMIENTOS

Esta parte es fundamental, ya que desde el modelo social y espiritual de este mundo no es posible llevar a cabo ninguna empresa sin la ayuda de nadie...

Doy gracias a mi Dios, que ha iluminado el camino a lo largo de mi vida, y me ha permitido en esta oportunidad aprender algo nuevo.

No es un acto protocolario, realmente estoy muy agradecido con mi asesor Fredy Adalber Castro Celis, por tomar con mucha responsabilidad, compromiso y profesionalismo esta labor de apoyo académico, por tener la capacidad de entender mis puntos de vista y a partir de esto dar una muy buena orientación, gracias por acompañarme en la búsqueda de este resultado a través de 11 versiones de esta monografía lol. De forma muy especial gracias a mi gran amigo Francisco Goez (Francis) quien fue la persona que me animó a retomar las actividades académicas, por compartir sus experiencias industriales conmigo y apoyarme con la explicación de muchos conceptos.

Gracias a Avril y su madre...

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ACRÓNIMOS

AMFE: Análisis de modos y efectos de falla por sus siglas en ingles.

CBM: Mantenimiento basado en condición por sus siglas en ingles.

DAD: Dispositivo de adquisición de datos.

I 4.0: Industria 4.0.

IA: Inteligencia Artificial.

IADB: Banco Inter Americano para el desarrollo por sus siglas en ingles.

IoT: Internet de las cosas por sus en Ingles.

ISO: Organización internacional de estandarización por sus siglas en ingles.

PLC: Controlador lógico programable por sus siglas en ingles.

PMO: Optimización plan de mantenimiento por sus siglas en ingles.

PYME: Pequeña y mediana empresa.

RCM: Mantenimiento centrado en la confiabilidad por sus siglas en ingles.

RPM: Revoluciones por minuto.

SMEs: Pequeñas y medianas empresas por sus siglas en ingles.

TICs: Tecnologías de la información y la comunicación.

TPM: Mantenimiento productivo total por sus siglas en ingles.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	7
1.1	Objetivo General	7
1.2	Objetivos Específicos	7
2.	MARCO TEÓRICO	9
2.1	Contexto General	9
2.2	Monitoreo de Condición Mediante la Técnica de Análisis de Vibraciones y Temperatura....	13
2.3	Sistemas de Monitoreo de Condición por Vibraciones y Temperatura	15
2.4	Clases de Sistemas de Adquisición de Datos	18
2.4.1	Sistema Manual de Adquisición de Datos.....	18
2.4.2	Sistemas Automáticos Para la Adquisición de Datos.....	19
2.4.3	Sistema de Monitoreo Online	20
3.	METODOLOGÍA.....	23
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
4.1	Test de Entrada	24
4.2	Formato Test de entrada	25
4.2.1	Interpretación de Resultados	28
4.3	Implementación de Sistema Para el Monitoreo de Condición por Vibraciones y Temperatura	28
4.3.1	Establecimiento de Puntos de Medición (Vibración y Temperatura) en Máquina Típica de Planta de Producción.....	28
4.3.2	Puntos Característicos Para Medición Manual con DAD Portable	29
4.3.3	Puntos Característicos Para Medición con Sistema Automático de Adquisición de Datos	30
4.3.4	Puntos Característicos Para Medición con Sistema de Monitoreo Online	31
4.4	Selección de Sistema de Monitoreo de Condición por Vibraciones y Temperatura.....	33
4.5	Valores de Referencia en el Mercado para Sistemas de Monitoreo de Condición por Vibraciones y Temperatura	34
4.5.1	Costo Modelo Medición Manual con DAD.....	34

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

4.5.2 Costo del Modelo de Sistema Automático de Adquisición de Datos	35
4.5.3 Costo del Modelo de Monitoreo Online	37
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	40
REFERENCIAS	42
Anexo A.	45
Lista General de Accesorios de un DAD Portable para la Realización de Rutas de Vibraciones.	45
Anexo B.....	46
Lista General de los Elementos Necesarios para la Implementación del Modelo Automático para la Adquisición de Datos.	46
Anexo C.....	47
Lista General de los Elementos Necesarios para la Implementación del Modelo de Monitoreo Online.	47

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

1. INTRODUCCIÓN

La industria global actual está inmersa en los avances tecnológicos del siglo XXI, estos han generado una inercia en la ya conocida 4ta revolución industrial, concepto en el que convergen de forma aplicada múltiples disciplinas relacionadas con las ramas de la informática, electrónica e ingeniería; y soportadas por desarrollos como el internet de las cosas (IoT), Inteligencia artificial, Analítica de datos, *Machine Learning*, Gemelos digitales, almacenamiento en la nube, entre otros, que consiguen tener aplicaciones y aceptación en todos los ámbitos de la industria, desde el diseño, elaboración, distribución y sin ser menos importantes, en la gestión del mantenimiento.

Ante los grandes avances que presenta en la actualidad la cuarta revolución, es estrictamente necesario preguntarse sobre lo que ocurre con el mantenimiento en la industria local, específicamente con las denominadas PYMES en medio de esta revolución. ¿Logran las Pymes hacer parte de esta revolución industrial?, ¿o por condiciones culturales, ideológicas, académicas o económicas se ven forzadas a hacerse a un lado frente al desarrollo que está ocurriendo?

En el desarrollo de este trabajo se realizará una guía metodológica que permita identificar los requerimientos necesarios para el dimensionamiento, adquisición, instalación y puesta en marcha de la tecnología para un sistema de monitoreo de condición por vibraciones y temperatura para equipos rotativos (Compresor, Ventilador, Bomba, etc) de una PYME del sector industrial producción o alimentos, con la idea de que este tipo de empresas tengan una referencia que les permita en algún momento desarrollar un proyecto de esta índole, con miras a su integración en la 4ta revolución industrial.

Se explica de forma concreta lo que es un sistema de monitoreo por condición, específicamente desde la técnica de análisis de vibraciones y se especifican las soluciones de mayor demanda en el medio, mostrando características y alcances generales de su implementación.

1.1 Objetivo General

Diseñar una guía de orientación para la adquisición de tecnología para el monitoreo de condición por vibraciones y temperatura para una PYME en el contexto de la 4ta revolución industrial y el mantenimiento predictivo de acuerdo a una valoración cualitativa del tipo de mantenimiento implementado en la PYME.

1.2 Objetivos Específicos

- Creación de un test de entrada que permita cuantificar y cualificar las necesidades de la implementación de un sistema básico de monitoreo por

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

condición de vibraciones absolutas (Medición en carcasa) y temperatura para una máquina rotativa de interés en una PYME.

- Establecer criterios de selección del modelo de monitoreo más apropiado de acuerdo al análisis de los datos del test de entrada. (Sistema monitoreo en línea, Sistema automático de adquisición de dato y/o Sistema portable de adquisición de datos).
- Referenciar tecnologías para el monitoreo de condición (Sensores, DAD y Software) con el portafolio de productos de algunas de las marcas representativas en el mercado nacional para este tipo de productos, según el modelo del sistema que aplique en función de la necesidad identificada.
- Determinar un valor estimado de referencia del costo de implementación y puesta en marcha de un sistema básico de monitoreo de condición.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Contexto General

Tal como ocurrió en su momento con las anteriores revoluciones industriales, no existen motivos y mecanismos socialmente aceptados que puedan detener la normal evolución de una tendencia industrial que se propaga “naturalmente”, auspiciada por las corrientes de avances tecnológicos, es de este modo que se hace necesario ver, aceptar y adaptarse a la Cuarta revolución industrial (También conocida como Industria 4.0).

Éste es un fenómeno de orden mundial que se ha estado integrando a la industria y sociedad en la última década. La 4ª revolución industrial es una nueva tendencia de modernización e informatización de la producción impulsada por los avances de la Internet de las cosas (Iot), procesamientos en la nube, Edge Computing y la Inteligencia artificial (You et al., 2022). La Industria 4.0 también se caracteriza por la introducción de las tecnologías de la información y la comunicación (TICs), que se están convirtiendo en un fenómeno creciente en la automatización industrial (Zezulka et al., 2022). En términos generales y para una fácil comprensión, la industria 4.0 (I 4.0) puede ser descrita como la aplicación de los sistemas físicos y virtuales a la producción industrial, que revoluciona todos los ámbitos de la cadena de suministro e intenta sacar el máximo provecho a las tecnologías 4.0 en cada uno (Lambán et al., 2022).

Observando el contexto global industrial, es indiscutible la aceptación que la 4ta revolución industrial ha tenido en las grandes fábricas, tanto es, que éstas han proyectado los objetivos corporativos y realizado la asignación de grandes presupuestos para participar e influenciar significativamente en ella, como era de esperarse, estas industrias pertenecen a los llamados países del primer mundo. Como referencia se encuentra que actualmente Alemania es uno de los líderes de la 4ta revolución industrial y quien en mayor medida apoya las pequeñas y medianas empresas (Small and Medium Enterprises - SMEs); por otro lado, se destaca en Corea un plan de gobierno favorece el desarrollo de fábricas inteligentes y varias tecnologías de la cuarta revolución industrial, como big data, nubes, inteligencia artificial (IA), robótica, Blockchain y vehículos autónomos (Chung et al., 2022)

Como objeto directo del proyecto es necesario evaluar el panorama que tienen las pequeñas y medianas empresas (PYMES ó SMEs en países anglosajones) ante la dinámica actual.

La brecha en la digitalización de las empresas en los países latinoamericanos es ampliamente significativa y corre el riesgo de aumentar en los próximos años con la evolución acelerada de la industria 4.0; estudios de proyección en nivel de digitalización en las PYMES de Latinoamérica desarrollados por el Banco Inter Americano de Desarrollo (IADB Por sus siglas en inglés) indica que la región tiene una pobre percepción de transformación

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

digital a mediano plazo. (Mon & del Giorgio, 2022). Infortunadamente es claro que muchas Pymes no están preparadas para los cambios estructurales que supondrá la 4ta revolución Industrial, bien porque carecen del personal especializado necesario o bien por una actitud cautelosa o incluso escéptica (principalmente económica) ante una estrategia tecnológica que aún desconocen (Amaral & Peças, 2021). Las PYMEs pueden verse como empresas que tienen principalmente dos limitaciones en comparación con las grandes corporaciones: recursos operativos y presupuesto financiero escaso; algunas investigaciones consolidan los principales obstáculos que enfrentan las PYMES al avanzar hacia la integración en la industria 4.0 (Seguridad de los datos, Burocracia corporativa (Interna), Cultura, Mano de obra calificada, infraestructura, Falta de claridad en Normativa y beneficios económicos) (Amaral & Peças, 2021). En el panorama global industrial, la adopción de tecnología inteligente determina la competitividad futura de la industria manufacturera, es por esta razón, que la adopción de las tecnologías inteligentes por parte de las PYMES un tema de actualidad mundial, porque éstas necesitan desesperadamente cooperación externa para sobrevivir a los riesgos de la 4ta revolución industrial (Chung et al., 2022).

La industria 4.0 determinó una línea de referencia para el desarrollo social, económico y cultural de cualquier región, lo cual es un reto para América Latina, ya que gran parte de las empresas son PYMES, las cuales son motores clave del crecimiento y desarrollo económico. La innovación a través de la transformación digital tiene la capacidad de permitir la sostenibilidad, la competitividad y la personalización de los productos y servicios (Philbin et al., 2022).

La aceptación y asimilación de la Industria 4.0 es un reto para las Pymes, ya que conforme dice Rendon (2022) Digitalizarse no es un paso sencillo para las empresas, más cuando son pequeñas y medianas, pues el acercamiento a la tecnología, en el imaginario colectivo, está asociado con altas inversiones y riesgos; bajo este panorama es necesario considerar a Jing (2022) que indica que la innovación en la gestión industrial no es un “lujo” para moldear o mejorar la competitividad, sino una “necesidad” para la supervivencia.

De acuerdo a Antonorsi *et al.*, (2019), es indispensable que los gerentes de las pymes posean los elementos básicos de las tecnologías digitales para adaptarse a las oportunidades provenientes de las revoluciones tecnológicas actuales.

Valencia *et al.*, (2019) plantea que las masificaciones de dicha tecnología a nivel empresarial han ido relegando la mano de obra del hombre, sin embargo, visto desde otro punto de vista, la afectación se da principalmente en la mano de obra no calificada, es así que de forma indirecta se puede inferir que un incremento en la alfabetización podrá contrarrestar dichos efectos, ya que la Industria 4.0 abre las puertas al ejercicio de nuevas profesiones afines a ésta.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

La cuarta revolución a nivel de la educación evidenció un alto impacto ya que se ha visto cómo ésta ha generado un cambio positivo por este medio (Valencia et al., 2019). Bajo esta misma línea se encuentran las apreciaciones de Zesulka *et al.*, (2022) quien indica que el éxito de la I 4.0 también está en la presentación, divulgación, educación, capacitación, e implementación de Industria 4.0 y estándares asociados dentro de la comunidad de control automático.

Como se indicó anteriormente, las TICs también hacen parte de la cuarta revolución industrial y no es posible evaluar el contexto de la Industria 4.0 sin una valoración de éstas. Desde el punto de vista de Rocha *et al.*, (2019):

la utilización de las TIC en las pymes es limitada, por lo cual su impacto en la productividad de las mismas es débil, esto quiere decir, que aunque la tecnología se ha convertido en un elemento estratégico en las organizaciones modernas, el estudio logró evidenciar que aunque las PYMES han realizado inversiones para la adquisición de TICs, el estudio evidenció que es necesario realizar investigaciones a profundidad que permitan resolver interrogantes como: ¿qué estrategias implementar para que la utilización de las TICs afecte de forma directa el aumento de productividad en las PYMES?, ¿Cuáles son los elementos fundamentales en la productividad en donde se puede hacer uso efectivo de las TICs?, ¿Cómo integrar las herramientas TICs (software, hardware y telecomunicaciones) en beneficio de optimizar la productividad?. (p.4)

Después de evaluar el panorama general de las PYMES y la cuarta revolución industrial, se hace necesario evaluar la relación que ésta está teniendo con la gestión del mantenimiento. Para esto Gallego *et al.*, (2019), aporta que:

éste es una combinación de medidas técnicas, administrativas y de gestión durante el ciclo de vida de un activo, con el fin de mantener el estado funcional o restaurarlo para que pueda cumplir con la función requerida. (p.3)

En un contexto global de la gestión del mantenimiento, la implementación de las herramientas de la 4ta revolución industrial tiene un gran impacto en actividades operativas, debido a que abarcan procesos de adquisición de datos, procesamiento y/o monitoreo de condición. Para realizar una migración hacia la industria 4.0 es indispensable implementar en los procesos el uso de sistemas integrados con monitoreo de condición y tecnologías en la nube entre otros.

Como en todos los campos industriales, la cuarta revolución industrial también presenta una alta y extendida incidencia en la gestión del mantenimiento, tal como lo menciona Sahli *et al.*, (2021) dentro de los próximos años, existe la expectativa de que el uso de las tecnologías predictivas se expandirá, ya que casi no hay industria que no pueda beneficiarse de ellas.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Históricamente el mantenimiento ha basado sus actividades en actividades correctivas, preventivas y predictivas, sin embargo, la incidencia de la cuarta revolución industrial ha contribuido al desarrollo del concepto de Mantenimiento Prescriptivo, el cual de acuerdo a Sahli *et al.*, (2021) difunde la idea de realizar predicción de fallas mediante la predicción de métodos de mantenimiento y la recomendación de una serie de acciones basadas en información histórica y entrante en tiempo real.

El personal de gestión de mantenimiento en las industrias encuentran en esta tendencia de la I4.0 sus propios desafíos, los cuales pueden ser entre otros, desarrollar temáticas educativas que les permitan conocer e interactuar con las tecnologías que puedan presentar beneficios en el ejercicio de su gestión, en otras palabras Sahli *et al.*,(2021) indica que existe la necesidad de habilidades técnicas adicionales por parte de los gerentes de mantenimiento, ya que deben administrar los procesos de mantenimiento para supervisar la influencia que el mantenimiento tiene en otras divisiones organizacionales, objetivos comerciales, efectividad, calidad y seguridad. Además de esto, es imprescindible que por ejemplo y mencionando un caso puntual, que el equipo de gestión de mantenimiento predictivo reconozcan las tecnologías como fuentes de datos y sean conscientes de la importancia de estos; los cuales de acuerdo a Lambán *et al.*,(2022) son esenciales para la generación de información que permite anticipar o colaborar en la toma de decisiones predictivas.....la comparación de valores permite detectar fácilmente cualquier desviación y generar alertas que favorezcan la toma de decisiones en las operaciones y programaciones de intervención.

Sí bien es claro que bajo una perspectiva general es totalmente aceptable lo mencionado por Lambán *et al.*,(2022) en su artículo, en el cual indica que la aplicación de la industria 4.0 a la gestión de mantenimiento puede disminuir los costos, disminuir el tiempo de inactividad, al tiempo que puede mejorar la productividad y calidad; se hace estrictamente necesario evaluar en el contexto local cual es el impacto económico y corporativo que representa para una PYME Colombiana realizar una inversión en tecnología para el monitoreo de condición por vibraciones, entre otros aspectos, determinar las limitaciones típicas (Seguridad de los datos, Burocracia corporativa (Interna), Cultura, Mano de obra calificada, infraestructura, Falta de claridad en Normativa y beneficios) que puedan experimentar para tal fin, cuantificar cuanto representa dicha inversión frente a sus ingresos anuales (período de amortización), incidencia que pueda tener sobre los indicadores y posibilidad de escalar el proyecto a todos los activos críticos rotativos de la planta.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

2.2 Monitoreo de Condición Mediante la Técnica de Análisis de Vibraciones y Temperatura

El mantenimiento basado en la condición (CBM) es una técnica de diagnóstico avanzada que permite la identificación temprana (fase incipiente), seguimiento e intervención de condiciones y modos de falla una máquina antes de que ocurra cualquier avería funcional, para lo cual se hace necesario realizar análisis de los datos obtenidos por medio de sensores dispuestos en el equipo (Surucu et al., 2023).

La optimización de una estrategia de mantenimiento permite ahorrar costos y extender el ciclo de vida de sistemas y componentes complejos de máquinas y equipos, debido a su importancia, este tema ha sido ampliamente discutido en la comunidad científica dentro de contextos económicos y de sostenibilidad (Abbate et al., 2022). Con el propósito de mantener las confiabilidad y disponibilidad de los activos de las empresas de producción industrial, los departamentos de mantenimiento invierten parte del presupuesto en el diseño y optimización de los planes de mantenimiento, y dentro de los cuales de acuerdo a la madures de los departamentos de mantenimiento e intereses puntuales se evalúan la implementación de técnicas de monitoreo de condición.

La implementación de una rutina de análisis de vibraciones y temperatura dependerá en gran medida de las filosofías y metodologías de mantenimiento aplicadas en la planta (RCM, TPM, PMO), o como un requerimiento del resultado de un análisis de modos de fallos y efectos (AMFE), un requerimiento del fabricante, un requerimiento de la compañía aseguradora o simplemente por la identificación de los modos de falla que presenten los activos.

El análisis de vibraciones es una técnica de monitoreo por condición perteneciente al segmento de mantenimiento predictivo, la cual consiste en realizar un registro de datos de vibración de un activo rotativo y realizar un análisis de señales, frecuencias y niveles de vibración, con los cual se genera un diagnóstico del estado de condición desde el punto de vista mecánica.

Existen un gran número de condiciones mecánicas adversas que pueden ser detectadas con análisis de vibraciones, debido a que éstas presentan desde el punto de vista vibracional "patrones" característicos e intrínsecos asociado a dichas fallas. Las principales condiciones mecánicas adversas de operación que pueden ser detectadas con análisis de vibraciones se encuentran en la tabla 1.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Tabla 1

Fallas características detectables con análisis de vibraciones. Fuente: Elaboración propia.

Modos de falla identificables con análisis de vibraciones
Desbalanceo mecánico.
Desalineación (Ejes / Poleas).
Afectación de rigidez y soldadura estructural.
Holgura rotacional.
Resonancia.
Deflexión de ejes.
Daños en engranes.
Deterioro y actividad de modos de falla en rodamientos.
Excitación de paso de paletas / aspas.
Actividad eléctrica irregular.
Cavitación, recirculación y turbulencia de fluidos.
Alteraciones físicas en el motor (rotor y estator).
Condiciones adversas de lubricación.
Como herramienta de protocolo para pruebas de aceptación.

Sí bien es algo que puede dejarse a interpretación del presente documento, es preciso indicar explícitamente, que la técnica de análisis de vibraciones (vibración absoluta_ Lectura de datos sobre carcasa sobre elementos estáticos) tiene su mayor aplicación para equipos rotativos que puedan ser susceptibles a presentar cualquiera de las condiciones indicadas anteriormente.

La temperatura es una de las variables físicas de mayor polivalencia para la valoración del estado de condición de equipos, debido a que los cambios en las condiciones de operación de éstos implican variaciones de esfuerzo y trabajo de los elementos mecánicos, lo cual tiene una respuesta directa relacionada con el incremento de temperatura de sus componentes; adicionalmente, esta variable suele ser muy estable y típicamente variaciones por encima de 10°C en un componente evidencian cambios relevantes en las condiciones, lo cual permite generar un alerta temprana que permitirá realizar de forma oportuna una validación de las condiciones de operación. La determinación del estado de condición y la posible identificación de la causa para un equipo a través de la variable temperatura, va a depender de en gran medida del conocimiento del activo y de su contexto operacional, ya que el aumento de temperatura per se es ambigua y puede estar asociada a múltiples condiciones de dependiendo del tipo de equipo evaluado.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

En la tabla 2 se aprecian un grupo de fallas mecánicas y estados adversos de operación que se manifiestan entre otras formas con incremento de temperatura en equipos rotativos.

Tabla 2

Fallas mecánicas y condiciones de operación que generan incrementos de temperatura.

Fuente: Elaboración propia.

Modos de falla identificables a partir del incremento de Temperatura
Defectos en lubricación.
Desalineación (Ejes / Poleas).
Incrementos de temperatura en estator (Afectación eléctrica y sobrecarga)
Precargas mecánicas /Sobrecargas

2.3 Sistemas de Monitoreo de Condición por Vibraciones y Temperatura

El análisis de vibraciones se basa en el principio de que todas las máquinas vibran durante su operación; Cuando éstas están funcionando correctamente, la vibración es baja y constante; pero, cuando hay actividad de algunos modos de falla, los procesos dinámicos en la máquina cambian, con lo cual, varía también el nivel de vibración y la firma espectral (Orhan et al., 2006).

La norma ISO 10816-3:2009 indica lo siguiente:

ISO 10816-1 es el documento de referencia que describe los requisitos generales para evaluar la vibración de varios tipos de máquinas cuando las mediciones de vibración se realizan en piezas no giratorias. Esta parte de la Norma ISO 10816-3 proporciona una guía específica para evaluar la severidad de la vibración medida en rodamientos, apoyos de rodamientos o carcasas de máquinas industriales cuando las mediciones se realizan en el lugar de operación.

Se proporcionan dos criterios para evaluar la vibración de la máquina. Un criterio considera la magnitud de la vibración observada; el segundo considera los cambios en la magnitud. Debe reconocerse, sin embargo, que estos criterios no forman la única base para juzgar la severidad de la vibración. Para algunos tipos de

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

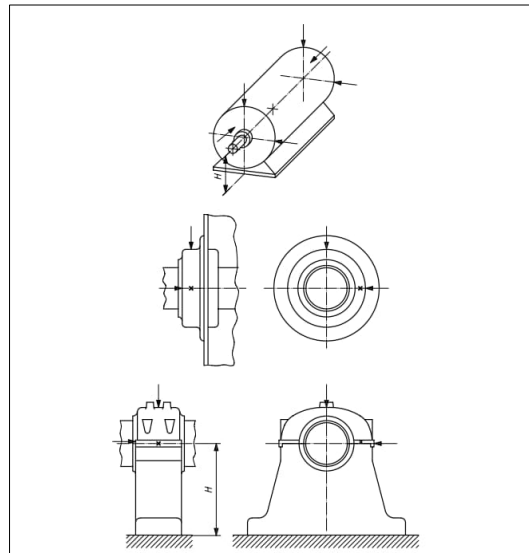
máquinas, también es común juzgar la vibración en función de las medidas tomadas en los ejes giratorios. (p.5)

Un sistema de monitoreo de condición está en términos generales conformado por componentes a nivel de hardware (Sensores y DAD) y software. A nivel industrial se encuentran típicamente tres mecanismos para el monitoreo de condición por vibraciones y temperatura, los cuales varían en la forma en cómo se adquieren los datos; Estos pueden ser sistemas manuales, sistemas automáticos de adquisición y sistemas de monitoreo en línea.

Independiente del sistema o modelo de monitoreo de condición, la determinación de las variables vibratorias y puntos a medir en cada uno de los activos se realiza conforme a las directrices establecidas en la norma ISO 10816-3, considerando la categoría de los equipos en función del tipo de equipo, dimensiones, potencias y velocidades de operación.

Desde el punto de vista conceptual, los datos de vibración de los activos rotativos montados en rodamientos, se debe medir en cada uno de los puntos de apoyo de los ejes en rotación de la máquina de interés y en cada una de las direcciones espaciales (Eje X, Eje Y y Eje Z). Figura 1 y Figura 2.

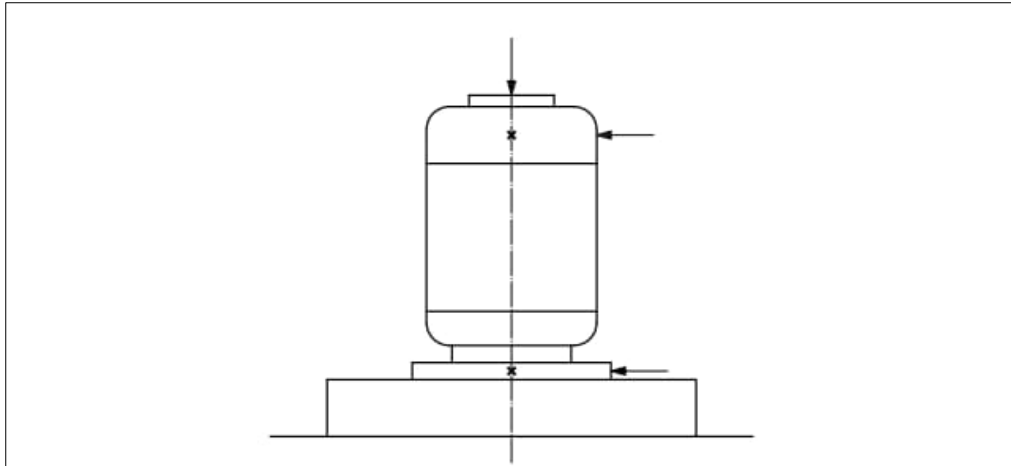
Figura 1
Puntos y direcciones de medición en máquinas horizontales.



Nota: Se aprecian los puntos (x) y direcciones (Eje X, Y y Z) de referencia para la captura de datos en una máquina dispuesta en posición horizontal. Fuente ISO 10816-3:2009

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Figura 2
Puntos y direcciones de medición máquinas en verticales.



Nota: Se aprecian los puntos (x) y direcciones (Eje X, Y y Z) de referencia para la captura de datos en una máquina dispuesta en posición vertical. Fuente ISO 10816-3:2009

Desde la norma ISO 10816, la variable por excelencia para medir el nivel de vibración de un activo es la Velocidad (mm/s o in/s), no obstante, desde el punto de vista técnico aplicado, es indispensable adquirir datos de la variable aceleración. Las compañías dedicadas al desarrollo de tecnología para el monitoreo de condición han desarrollado algunas técnicas de procesamiento digital de los datos de vibraciones para derivar algunas otras variables que facilitan en análisis de los datos y por ende el diagnóstico de condición; entre estas variables se tienen: Envolvente, demodulación, Spike Energy, PeakVue entre otros.

Una vez realizada la captura y procesamiento digital de los datos, los dispositivos de adquisición de datos (DAD) y el respectivo software para el análisis de vibraciones, permiten visualizar tendencias de valores globales, espectros y formas de onda, lo cual es precisamente la información básica necesaria para realizar un análisis de condición por vibraciones.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

2.4 Clases de Sistemas de Adquisición de Datos

2.4.1 Sistema Manual de Adquisición de Datos

Es la manera básica de obtener la información de vibraciones de la máquina; la cual consiste en realizar la captura de datos de vibraciones y temperatura de forma manual. Un técnico analista de vibraciones realiza un recorrido por una zona o lugar específico de una planta, identificando los equipos de la ruta de vibraciones programada con anterioridad de acuerdo al plan de mantenimiento y capturando de forma manual los datos. Posterior a esto, descarga los datos a través de una interfaz inalámbrica o cableada a un pc o servidor local/nube. Históricamente este mecanismo ha sido el de mayor difusión, debido a que un DAD permite la captura de información de una cantidad X de activos. Este tipo de solución típicamente está conformada a nivel de software por un DAD y un sensor portable (figura 4), más el respectivo software para el análisis de la información. Por las ventajas que ofrece la computación en la nube, se recomienda un software con versión Cloud, sí las condiciones demandan una versión local, es preciso consultar los requerimientos a nivel de hardware y software que se requieren, ya que en algunos casos demandan configuraciones muy robustas.

Figura 4

Ejemplos dispositivos portables de adquisición de datos.



Microlog AX 80 by SKF



VA4 PRO II by Adash



VibXpert II by PRÜFTECHNIK



CSI 2130 by Emerson

Nota: En la imagen se aprecian algunos de los modelos de DAD disponibles en el país.

Fuente: Microlog <https://www.skf.com/ca/fr/products/condition-monitoring-systems/portable-systems/cmxa-ax>

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

VA4 PRO II <https://adash.com/news-and-events> ;

CSI 2130 <https://cartoliinstruments.com/emerson-csi-2130-machinery-health-analyzer.html>

VibXpert <https://analizar-rbm.com/sistemas-de-monitoreo-de-condicion/>

2.4.2 Sistemas Automáticos Para la Adquisición de Datos

En este concepto se instalan de forma permanente sensores en los puntos de interés de los activos, dichos sensores son programados para realizar una captura de datos con una frecuencia de tiempo específica (Horas, días, semanas), de acuerdo a los requerimientos del programa de mantenimiento.

Este sistema ofrece alta calidad y trazabilidad de los datos, ya que elimina el error humano en el proceso de adquisición. Este es un sistema dedicado, es decir, solo permite la captura de datos de vibración de un único activo en un único punto. Recomendado para equipos con velocidades de operación constantes por encima de las 600 revoluciones por minuto (RPM) o de acuerdo a las características del sensor.

A nivel de variables y parámetros de vibración a medir, este concepto de sensor presenta algunas limitaciones, ya que usualmente tienen pocas o nulas opciones para configurar aspectos como resolución o tipo de datos a medir, típicamente permiten la medición de temperatura y 2 o tres variables de vibración Velocidad, Aceleración, Envoltorio filtro 3, estos pueden ser solo valores globales (datos estáticos) o valores estáticos y dinámicos (datos dinámicos hacen referencia a la obtención de gráficos como espectro y señal de tiempo).

Esta solución suele estar conformada por sensores permanentes inalámbricos (Instalación permanente en los activos) y Gateway como se aprecia en los ejemplos de la Figura 5, además del software para el análisis de datos, el cual por el modelo y desarrollo de esta metodología es típicamente dispuesto en la nube.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Figura 5

Sistemas automáticos de adquisición de datos de vibraciones y temperatura.



Nota: En la imagen se aprecian algunos ejemplos de Gateway y sensores disponibles en el mercado para la automatización de adquisición de datos de vibraciones y temperatura.

Fuente: IMx1 SKF https://www.skf.com/co/search-results?q=imx%201&searcher=all&site=334&language=es&tridion_target=live&tridion_version=3&language_preset=Espa%C3%B1ol

FLIR SV87 https://www.grainger.com/product/61HH90?cm_mmc=PPC:Google-_-GlobalExport-_-CO-_-Acquisition-_-

[2020010&qclid=CjwKCAjwgqejBhBAEiwAuWHioIsrvetC-am1zOwXJL_OwKEwTONNgIcjalccp1He4UdC528IJSjDbBoCuCQOAvD_BwE](https://www.grainger.com/product/61HH90?cm_mmc=PPC:Google-_-GlobalExport-_-CO-_-Acquisition-_-2020010&qclid=CjwKCAjwgqejBhBAEiwAuWHioIsrvetC-am1zOwXJL_OwKEwTONNgIcjalccp1He4UdC528IJSjDbBoCuCQOAvD_BwE)

Sensor ABB <https://ducasse.com.pe/sensores-abb-ability-smart/>

Sensor AMS <https://www.emerson.com/en-us/automation/asset-performance-management/machinery-health-management/wireless-iiot-solutions>

2.4.3 Sistema de Monitoreo Online

Es el modelo de mayor impacto en el ámbito de la cuarta revolución industrial, diseñado para el monitoreo de condición de equipos de alta criticidad, la principal característica de esta solución es que de forma permanente el sistema lee los datos de vibración de la máquina y almacena datos con una periodicidad específica o bajo el cumplimiento de una condición de proceso, adicionalmente, cuando se generan cambios de tendencias o se sobrepasan los umbrales de alerta, el sistema guarda dichos registros y en tiempo real permite la generación de alertas de acuerdo a una programación realizada.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Esta información puede ser llevada al software en la nube o a una versión local y permite su visualización en tiempo real.

Adicionalmente, este sistema garantiza trazabilidad y calidad en los datos, debido al montaje permanente de los sensores y a la eliminación de errores humanos en el proceso de adquisición. Además de variables de vibración, estos sistemas suelen permitir la integración de otras variables de proceso como temperatura, presión, velocidad, entre otras. Su aplicación se extiende a equipos con variaciones de velocidad, carga y cuando es necesario condicionar la adquisición a parámetros de operación (Comunicados por PLC o sensores).

Al igual que el sistema anterior, este es un modelo de aplicación dedicada, debido a que solo permite la toma de información de un único activo. Usualmente los sensores son cableados hasta el dispositivo que captura y procesa los datos de vibraciones.

En la figura 6 se muestran las imágenes típicas de estos dispositivos. Adicionalmente estos requieren sensores, cables de conectividad y fuentes de alimentación eléctrica.

Figura 6

Dispositivos para monitoreo de condición por vibraciones y temperatura Online.



Dispositivo monitoreo de condición Online IMx-16 by SKF



Dispositivo monitoreo de condición Online Vibguard Compact by Prüftechnik



Dispositivo monitoreo de condición Online A3800 by Adash



Dispositivo monitoreo de condición Online A-Transmitter by A-Maq

Nota: En la imagen se aprecian algunos ejemplos de dispositivos para realizar monitoreo Online de vibraciones y temperatura. Estos módulos requieren sensores, cables, fuentes de alimentación eléctrica y accesorios para el montaje. Fuente: IMx 16 SKF

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

[https://www.skf.com/co/search-
results?q=imx%201&searcher=all&site=334&language=es&tridion_target=live&tridion_ ve
rsion=3&language_preset=Espa%C3%B1ol](https://www.skf.com/co/search-results?q=imx%201&searcher=all&site=334&language=es&tridion_target=live&tridion_version=3&language_preset=Espa%C3%B1ol) ; Vibguard Prüftechnik
[https://www.pruftechnik.com/com/Products-and-Services/Condition-Monitoring-
Systems/Online-Condition-Monitoring/Online-Condition-Monitoring-Systems/VIBGUARD-
IloT/](https://www.pruftechnik.com/com/Products-and-Services/Condition-Monitoring-Systems/Online-Condition-Monitoring/Online-Condition-Monitoring-Systems/VIBGUARD-IloT/) ; A3800 Adash <https://adash.com/online-monitoring-system/a3800> ; A-Transmitter A-
Maq <https://a-maq.com/product-category/monitoreo-en-linea/> .

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3. METODOLOGÍA

Este es un trabajo de tipo cualitativo que busca identificar y caracterizar aspectos decisivos en los modelos de gestión de mantenimiento de las Pymes, para de esta forma evaluar la pertinencia de implementar el uso de la técnica de análisis de vibraciones y temperatura dentro de su programa de gestión de activos. Por tal motivo se ha diseñado estratégicamente un cuestionario denominado Test de entrada, el cual permitirá principalmente identificar de forma cualitativa el potencial y viabilidad de implementar esta técnica en la empresa de interés.

Se identificarán las principales razones por las cuales se implementan en los sistemas de gestión de activos de PYMES el monitoreo de condición y el tipo específico de tecnología utilizado.

Paralelo a dichas actividades, se considerarán los criterios y recomendaciones dadas a partir de la normativa vigente para realizar el monitoreo de condición por vibraciones para equipo rotativos, con el propósito de alinear las propuestas de monitoreo de condición a las recomendaciones de la norma. Se consultará los modelos disponibles en el mercado para el monitoreo de condición y se realizarán comentarios generales de sus características de aplicación.

Se propondrá un método de evaluación de resultados del Test de entrada, con el propósito de indicar de acuerdo a las respuestas dadas, que método de monitoreo de condición puede tener mayor impacto y relevancia en la PYME, integrado en la cuarta revolución industrial.

Finalmente se consultarán los costos estimados de la tecnología requerida para una implementación básica de un monitoreo por condiciones por vibraciones y temperatura para dos activos, para que de este modo se tenga una referencia del valor de la implementación.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Test de Entrada

Un factor clave para iniciar la implementación de un modelo de mantenimiento por condición en una PYME que posiblemente ha basado su gestión en actividades preventivas y correctivas, es identificar la pertinencia de la integración de técnicas como análisis de vibraciones y temperatura, para lo cual se desarrolló un test de entrada, el cual permitirá identificar de forma cualitativa el potencial y viabilidad de implementar tecnología 4G e iniciar la transición aun mantenimiento predictivo.

Las respuestas al Test de entrada evidencia entre otros aspectos el reflejo de la madures del mantenimiento de una empresa y permiten identificar características inequívocas de oportunidades de mejora en la gestión de mantenimiento a partir de la integración de técnicas para el monitoreo de condición.

Las preguntas han sido diseñadas cuidadosamente con el propósito de identificar aspectos determinantes en los hábitos, modelos de mantenimiento de las empresas y los resultados que obtienen en el modelo de gestión actual, de tal forma que sus respuestas permitirán determinar cualitativamente la viabilidad de implementar monitoreo por condición mediante la técnica de análisis de vibraciones y temperatura.

Adicionalmente, al desarrollar el Test de entrada, el usuario final identificará de forma consciente oportunidades de mejora en su gestión y programa de mantenimiento, ya que en función de la robustez y madures del plan de mantenimiento podrá dar respuesta total o parcialmente a las preguntas; finalmente esto permitirá desarrollar planes de acción que eliminen o mitiguen las afectaciones que estas puedan estar generando.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

4.2 Formato Test de entrada

Lea atentamente cada pregunta y seleccione la respuesta correcta, en algunos casos es preciso seguir una instrucción de salto de pregunta de acuerdo a su respuesta (Fanja azul).

ITEM	PREGUNTA	RESPUESTA
1	¿Existe un departamento de mantenimiento con autonomía propia?	Si / No
2	¿Qué modelo de mantenimiento aplica en su empresa? (Correctivo, preventivo, predictivo)	Correctivo Preventivo Predictivo
3	¿Qué peso tiene cada modelo en la gestión de mantenimiento (porcentualmente)?	% Correctivo % Preventivo % Predictivo ND
4	De las actividades de mantenimiento realizadas, ¿conoce que porcentaje son programadas? Si conoce el porcentaje, favor indicarlo.	Si / No %
5	¿Los equipos de su empresa se encuentran clasificados por criticidad?	Si / No
Sí la respuesta a la pregunta 5 es Si, continuar con la pregunta 6. Si la respuesta a la pregunta 5 es No, salta hasta la pregunta 13		
6	¿Los equipos de criticidad A (Mayor criticidad) son susceptibles a la manifestación de las fallas de las Tablas 1 y 2? (Ver tablas al final del test).	Si / No
7	¿Cuál es la disponibilidad actual de los equipos de criticidad A?	%_ND
8	¿Cuál es la confiabilidad actual de los equipos de criticidad A?	%_ND
9	¿Se han identificado las fallas más usuales en de los equipos de criticidad A, y se correlacionan con las fallas de las tablas 1 y 2?.	Si / No
10	¿Han realizado estudios de análisis de causa raíz (RCA) para los equipos de criticidad A que han presentado fallas sin un aparente motivo?	Si / No
11	Sí la respuesta anterior es Si: ¿Las conclusiones del RCA están relacionadas con las condiciones de las tablas 1 y 2?	Si / No
12	¿Las fallas más representativas en los equipos se logran identificar de forma temprana? (Antes de afectar otros componentes, antes de generar una falla funcional, antes de paro no programado).	Si / No
Después de la pregunta 12, saltar hasta la pregunta 15.		

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

13	¿Las fallas más recurrentes en los equipos de su planta se encuentran correlacionadas con la lista de las tablas 1 y 2? (Ver tabla 1 al final del test).	Si / No
Si la respuesta a la pregunta 13 es Si, continuar con la pregunta 14. Si la respuesta a la pregunta 13 es No, continuar con la pregunta 15		
14	¿Estas fallas en los equipos se logran identificar de forma temprana? (Antes de afectar otros componentes, antes de generar una falla funcional, antes de paro no programado).	Si / No
15	¿Utilizan algún tipo de software para la gestión del mantenimiento?	Si / No
16	Favor indicar el nombre del software	Nombre Software
17	¿Se conoce el valor de cuánto cuestan las paradas no programadas al año?	Si / No
Si la respuesta a la pregunta 17 es Si, continuar con la pregunta 18. Si la respuesta a la pregunta 17 es No, continuar con la pregunta 20.		
18	¿Cuál es el costo anual de las paradas no programadas? Incluir lucro cesante e indicar cuanto representa dicho valor en términos de porcentaje de presupuesto de mantenimiento.	\$ _____ % _____ ND
19	¿Se ha implementado alguna estrategia para disminuir las afectaciones por paros no programados?Cuál?	Si / No
SÍ aplica, escribir acá la estrategia		
20	¿Sabe cómo la cuarta revolución industrial mejora el mantenimiento de una industria?	Si / No
21	¿Conoce el concepto del monitoreo por condición?	Si / No
22	¿Ha implementado el uso de herramientas para el diagnóstico y análisis de condición por vibraciones y temperatura?	Si / No
23	¿En qué grado considera necesario la implementación de herramientas para el monitoreo de condición en su planta?	Muy necesario Poco necesario No Necesario
24	¿Estaría de acuerdo en implementar herramientas 4G para el monitoreo de condición?	Si / No

Tabla 1

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Fallas características detectables con análisis de vibraciones. Fuente: Elaboración propia.

Modos de falla identificables con análisis de vibraciones
Desbalanceo mecánico.
Desalineación (Ejes / Poleas).
Afectación de rigidez y soldadura estructural.
Holgura rotacional.
Resonancia.
Deflexión de ejes.
Daños en engranes.
Deterioro y actividad de modos de falla en rodamientos.
Excitación de paso de paletas / aspas.
Actividad eléctrica irregular.
Cavitación, recirculación y turbulencia de fluidos.
Alteraciones físicas en el motor (rotor y estator).
Condiciones adversas de lubricación.
Como herramienta de protocolo para pruebas de aceptación.

Tabla 2

Fallas mecánicas y condiciones de operación que generan incrementos de temperatura.

Fuente: Elaboración propia.

Modos de falla identificables a partir del incremento de Temperatura
Defectos en lubricación.
Desalineación (Ejes / Poleas).
Incrementos de temperatura en estator (Afectación eléctrica y sobrecarga)
Precargas mecánicas /Sobrecargas

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

4.2.1 Interpretación de Resultados

De acuerdo a las respuestas que puedan obtenerse de un grupo específico de preguntas, se identifica la pertinencia de implementar monitoreo de condición a través de la técnica de análisis de vibraciones y temperatura en su planta.

Convenciones:

Se recomienda implementar un programa de monitoreo por condición si ha respondido:

- Si a las preguntas: 6,9, 12, 13
- No a las preguntas: 14, 19,22

Se recomienda realizar un análisis de la gestión de mantenimiento y posterior a esto evaluar la necesidad de implementar un programa de monitoreo por condición, si las respuestas al siguiente grupo de preguntas han sido:

- No a las preguntas: 1, 4, 5,15, 17, 19
- ND (No definido) a las preguntas: 3, 7, 8, 18

4.3 Implementación de Sistema Para el Monitoreo de Condición por Vibraciones y Temperatura

Al momento de implementar un sistema de monitoreo de condición por vibración y temperatura, es indispensable establecer cuál es el sistema más apropiado de acuerdo a los requerimientos del programa de mantenimiento y según los puntos físicos de los activos a monitorear combinando los requerimientos técnicos de la Normal ISO 10816 con el contexto operacional del activo y los recursos disponibles, para de esta forma poder establecer de forma clara el alcance técnico del proyecto.

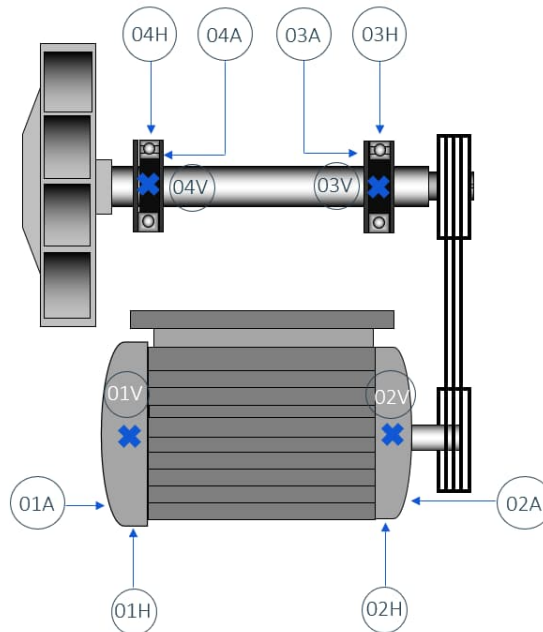
4.3.1 Establecimiento de Puntos de Medición (Vibración y Temperatura) en Máquina Típica de Planta de Producción

Como se indicó anteriormente, la norma ISO 10816 es clara en la definición de los puntos y ubicaciones a ser medidos y/o monitoreados mediante el análisis de vibraciones para equipos rotativos los cuales para un conjunto típico motor-ventilador (Figura 7) corresponden a 12 ubicaciones , no obstante, la cantidad de puntos a medir en un activo puede disminuir en función de las características de operación, modos de falla que puedan incidir sobre estos, condiciones de diseño, restricciones de acceso y factores económicos entre otros.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Figura 7
Puntos medición de vibraciones.

Esquema máquina típica de proceso



Nota: En la imagen se aprecian los puntos de medición teóricos requeridos desde la Norma ISO 10816 para la medición de vibraciones. Cuatro puntos (01, 02, 03 y 04) y Tres direcciones en cada punto (H: Horizontal; V: Vertical; A: Axial). Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan esquemas de los puntos de vibraciones usualmente medidos en plantas industriales a través de las clases típicamente utilizadas (Adquisición manual, automatización de adquisición y monitoreo Online).

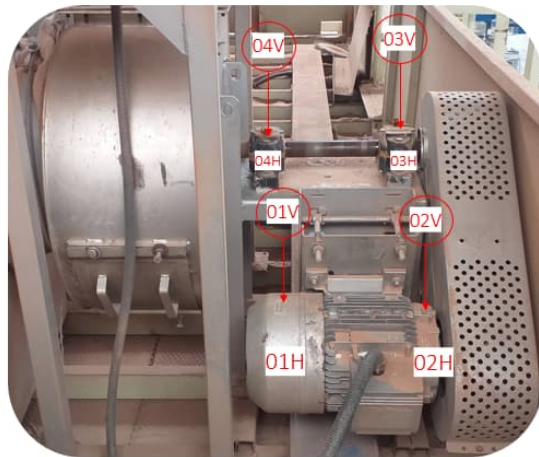
4.3.2 Puntos Característicos Para Medición Manual con DAD Portable

En la figura 8 se muestran los puntos físicos en los activos donde típicamente se realiza la adquisición de datos de vibraciones con DAD portables.

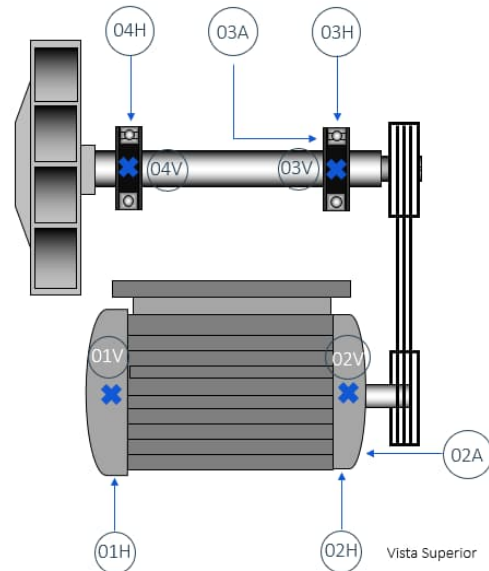
	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Figura 8

Puntos de medición para proceso manual de adquisición de datos.



Máquina de referencia: Ventilador de proceso



Nota: En la imagen se muestran los puntos típicos donde se ubica el sensor de vibraciones al momento de realizar una ruta de vibraciones de forma manual. Fuente: Elaboración propia.

Bajo este modelo, el técnico analista de vibraciones recorre la planta hasta localizar el equipo de interés, fija el sensor (base magnética) en cada uno de los puntos indicados y registrar los datos de vibraciones del activo con un DAD; realiza la colecta de datos en cada punto de apoyo de los elementos rotativos (Puntos 01, 02, 03 y 04) y a su vez en cada una de las direcciones indicadas (H: Horizontal; V: Vertical; A: Axial). En el anexo A se aprecia una lista de los accesorios que complementan el DAD.

4.3.3 Puntos Característicos Para Medición con Sistema Automático de Adquisición de Datos

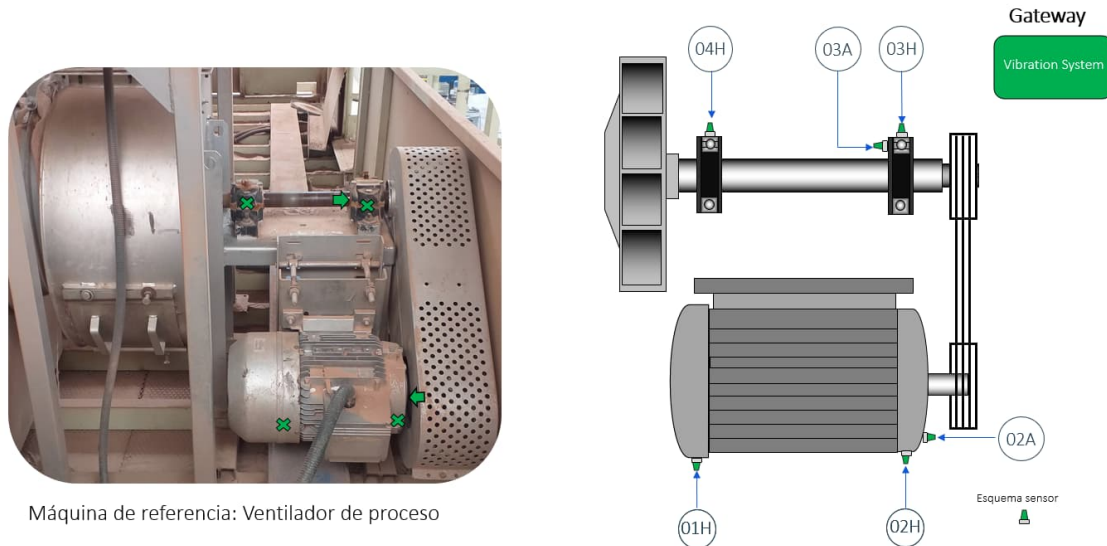
Debido a que este modelo requiere sensores dedicados para cada punto de interés, usualmente se instala de forma permanente un único sensor en la posición radial más próxima a la zona de carga del rodamiento-Punto de apoyo del eje (Puntos 1, 2, 3 y 4) y un sensor en dirección axial para cada activo (Ver Figura 9).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Figura 9

Puntos de fijación de sensores con sistema automático de adquisición de datos.

Esquema máquina típica de proceso



Nota: En la imagen se muestran los puntos en los cuales se instalan de forma permanente los sensores bajo el modelo de automatización de adquisición de datos de vibración y temperatura. Fuente: Elaboración propia.

En el anexo B se aprecia una lista de componentes de referencia para implementar este modelo.

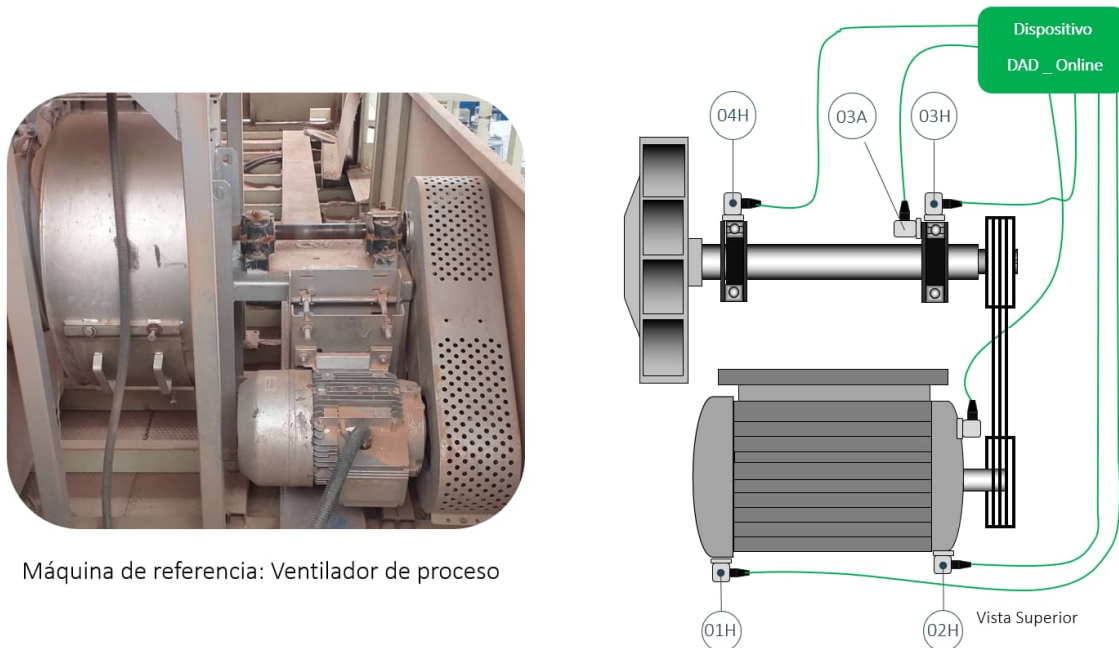
4.3.4 Puntos Característicos Para Medición con Sistema de Monitoreo Online

Al igual que ocurre con los sistemas de adquisición automática, este modelo requiere sensores dedicados para cada punto de interés, usualmente se ubica un único sensor en la posición radial más próxima a la zona de carga de cada apoyo "rodamiento" (Puntos 1, 2, 3 y 4) y un punto en dirección axial para cada activo. Figura 10.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Figura 10

Puntos de fijación de sensores para un sistema Online de adquisición de datos.



Máquina de referencia: Ventilador de proceso

Nota: En la imagen se muestran los puntos típicos en los cuales se instalan de forma permanente los sensores para implementar el modelo Online de adquisición de datos de vibración y temperatura. Fuente: Elaboración propia.

Se destaca que las soluciones de sistemas automáticos y Online, requieren fuentes de alimentación DC, infraestructura para el montaje de los Gateway o DAD Online, cableado de los sensores (según el caso), accesorios y materiales para el montaje de los sensores en la superficie de los activos, puntos de conexión a internet (Wifi o Ethernet).

En el anexo 3 se aprecia una lista de componentes de referencia para implementar este modelo.

Cabe resaltar que, tanto en el sistema Online como el automático para adquisición de datos, la cantidad de sensores requeridos en la práctica es aproximadamente el 50% de la cantidad indicada en la norma ISO 10816, esto genera un impacto directo y significativo en el costo de la implementación, aunque también restringe la cantidad de datos para el análisis, no obstante, la relación de costo beneficio es mayor a la alternativa de instalar sensores en todos los puntos indicados en la norma. Sí se desea, se pueden instalar los sensores en cada uno de los puntos y direcciones recomendados en la norma ISO 10816.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

4.4 Selección de Sistema de Monitoreo de Condición por Vibraciones y Temperatura

Una vez se ha identificada la necesidad de realizar monitoreo de condición por vibraciones, es indispensable determinar cuál de los 3 modelos citados anteriormente se ajusta mejor a la necesidad de planta considerando aspectos como cantidad de activos, criticidad y recursos disponibles.

Con el propósito de identificar los criterios que prevalecen a la hora de implementar soluciones para el monitoreo de condición por vibraciones, se ha consultado tanto a usuarios como representantes y distribuidores de este tipo de tecnología, sobre los argumentos de compra y venta característicos para estos equipos.

Dicha actividad permitió conocer una gran cantidad de información relacionada a los motivos por los cuales se implementan cada una de las alternativas para la captura de datos de vibraciones y temperatura, la cual estuvo estrechamente correlacionada al tamaño de las empresas, la cantidad de activos a monitorear, la madurez del programa de mantenimiento, presupuesto disponible, tipo de variables a medir, facilidad de implementación, costo, facilidad en el manejo del software, modelo de reportes generados, expectativas de ahorro en inventario, la escalabilidad del proyecto, entre otros factores, sin embargo, al realizar el análisis de las respuestas se extraen las siguientes conclusiones:

Cuando se tiene un programa de mantenimiento maduro con una plantilla de personal estructurada y con un promedio mayor a 78 máquinas a medir con criticidades A y B, la solución de mayor preferencia es monitoreo manual con colectores portables. Esta solución no siempre implica la compra de un DAD, debido a que en algunos casos es un servicio que puede ser tercerizado con posibilidad de visualizar los datos en la nube.

Cuando se tienen pocos equipos de alta criticidad, donde se tienen identificados múltiples modos de fallas detectables por vibraciones y temperatura el sistema de mayor demanda es el monitoreo Online. Esta solución también aplica cuando se tiene un programa de mantenimiento predictivo por vibraciones (Ruta manual), pero la frecuencia de colección de datos es superior a la frecuencia de ocurrencia de fallas o las condiciones del proceso impiden llevar una adecuada trazabilidad. Esta solución en muchos casos ha sido independiente del nivel de madurez en mantenimiento de la planta, y suele ser adquirida con programas de entrenamiento básico para los técnicos.

Cuando la cantidad de máquinas a monitorear entre criticidad A y B es baja (Entre 15 y 20 Maquinas con velocidad constante por encima de 600 rpm) y el presupuesto es una barrera, el modelo de mayor demanda es la automatización de captura de datos. Se evidencio en muchos casos, que este modelo ha sido el puente de acceso al monitoreo de

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

condición por vibraciones, ya que usualmente es escalable con una relación costo beneficio muy acertada. También suele ser adquirido con programas de entrenamiento básico.

Las empresas dedicadas a la venta, distribución e implementación de esos productos y servicios tienen un gran portafolio de alternativas para la implementación de esta tecnología.

Adicional a la selección de tipo de sistema a implementar es necesario consultar con los oferentes de las propuestas algunos aspectos generales a nivel técnico comercial, que pueden ser el diferenciador entre las distintas alternativas de acuerdo a la realidad de cada PYME.

Estos aspectos a considerar son:

- ¿Requerimientos para conectividad a internet?
- ¿Costos adicionales para la implementación?
- ¿Precio de software en la nube / local?
- ¿Servicios adicionales, usuarios, pantallas visualización?
- ¿Asistencia en instalación y configuración (Tanto del sistema como de las variables de medición)?
- ¿Servicio post venta_Costo?
- ¿Qué tipo de formación me ofrece?
- ¿Escalabilidad del sistema?
- ¿Cuál es el costo adicional para monitorear una nueva máquina teniendo en cuenta la implementación existente?
- ¿Seguridad de los datos? (Aplica para almacenamiento en la nube).
- ¿Disponibilidad de backup?

4.5 Valores de Referencia en el Mercado para Sistemas de Monitoreo de Condición por Vibraciones y Temperatura

A continuación, se presentan los precios aproximados (a junio 2023) de implementación de cada uno de los modelos de sistemas de monitoreo de condición por análisis de vibraciones presentado.

4.5.1 Costo Modelo Medición Manual con DAD

Para el sistema manual, se presenta el precio de varios dispositivos de adquisición de datos (Tabla 3) con los respectivos accesorios que permiten realizar la colección de datos; además del software para el análisis de los mismos, en este último ítem, es necesario tener en cuenta los requerimientos a nivel de Hardware y Software, ya que esto podría generar

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO		Código	FDE 089
			Versión	04
			Fecha	24-02-2020

un costo adicional. Se presenta como una alternativa el costo promedio de un servicio spot de análisis de vibraciones, para evaluar la alternativa de un servicio de este tipo.

Tabla 3

Precios de referencia a junio de 2023 de DAD: Fuente: Elaboración propia.

Marca	Referencia DAD	Precio DAD (USD)	Nombre Software	Precio Software Versión Local (USD)	Software Versión nube (Precio por año) USD
ADASH	VA3	\$ 17.000,00	DDS	Incluida	Opción No disponible
	VA5	\$ 25.800,00			
EMERSON	CSI 2130	\$ 18.500,00	AMS Machine	*Variable	*Variable
	AMS 2140	\$ 29.000,00			
FLUKE	Fluke 810	\$ 12.500,00	Viewer	Incluida	No aplica /No existe
PRÜFTECHNIK	VIBXPRT II	\$ 15.000,00	Omnitrend	*Variable	*Variable
SKF	Microlog AX CMXA 80	\$ 32.000,00	.@plitude Analyst	Incluida	\$ 2.000,00
	Microlog dBX	\$ 40.000,00			

Nota: Precios antes de IVA. En la tabla se muestran precios de referencia de los dispositivos de adquisición de datos manual. En la mayoría de los casos estos precios corresponden a la versión más completa del equipo (Todos los programas/módulos de trabajo y accesorios), sin embargo, es preciso validarlo con el distribuidor.

*Variable: Este precio dependerá de la cantidad de equipos, cantidad de usuarios, pantallas, accesos al mes, cantidad de información entre otros

Muchas de las marcas anteriormente indicadas, tienen en su portafolio el servicio de medición y análisis de vibraciones, el cual se presta de forma puntual para una cantidad de equipos específicos. El precio de este tipo de servicios va a depender de muchos factores, como tipo de industria, ubicación, entre otras, sin embargo, para tener de referencia, la medición de 30 máquinas (Motor-Ventilados equivalen a una máquina) o un día de medición puede tener un precio promedio de 260 USD aproximadamente.

4.5.2 Costo del Modelo de Sistema Automático de Adquisición de Datos

Este es en muchos casos el modelo de entrada al monitoreo por condición, ya que permite apreciar ver las bondades de la técnica de análisis de vibraciones y temperatura con una relativa baja inversión económica.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Como se indicó anteriormente, este tipo de solución implica que los sensores sean 100 % dedicados, es decir, deben instalarse de forma permanente en los activos. Estos sensores pueden registrar datos estáticos (Valor global) o datos dinámicos (Señal de tiempo y espectros) de 2, 3 o 4 variables, dependiendo de su diseño aplicación. No todos tienen las mismas variables y posibilidades, es por esto que es preciso determinar de acuerdo al contexto operacional de los activos y a la expectativa de los resultados obtenidos que tecnología puede representar mayores beneficios.

También es importante considerar la escalabilidad que tenga el sistema para futuros desarrollos e implementaciones.

En la tabla 4 se presentan los precios de los sensores y Gateway para cada una de las tecnologías de automatización de adquisición de datos, además del software requerido, el cual típicamente para este tipo de tecnología se implementa en la nube.

Tabla 4

*Precios de referencia a junio de 2023 de sistema para automatización de captura de datos:
Fuente: Elaboración propia.*

Marca	Referencia Sistema	Precio unidad Sensor (USD)	Precio Gateway (USD)	Nombre Software	Precio Software Versión Local (USD)	Software Versión nube (Precio por año) USD
EMERSON	AMS Wireless Vibration Monitor	Por definir	Por definir	AMS Machine Works	*Variable	*Variable
ERBESSD INSTRUMENTS	Phantom Expert Gen 3	\$ 435,00	\$ 910,00	DigivibeMX / El.Analytic	Por definir	Por definir
FLUKE	Fluke 3563	Por definir	Por definir	Live Asset Portal	No Disponible	Por definir
SKF	IMx 1	\$ 350,00	\$ 2.500,00	.@ptitude Observer	\$ 6.000,00	\$ 2.000,00

Nota: Precios antes de IVA. En la tabla se muestran precios de referencia de los dispositivos de un sistema automático de adquisición de datos de vibraciones. Este modelo demanda aproximadamente 6 sensores por máquina y un Gateway. Es preciso considerar el costo de accesorios de montaje, materiales, herramientas, entre otros.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

*Variable: Este precio dependerá de la cantidad de equipos, cantidad de usuarios, pantallas, accesos al mes, cantidad de información entre otros

4.5.3 Costo del Modelo de Monitoreo Online

El costo más representativo de esta solución se concentra en el módulo de adquisición de datos, por lo cual se presentarán una gran variedad de opciones de estos dispositivos en el mercado (Tabla 5). En cuanto a los sensores y cables de datos se refiere, solo se hará referencia de una de las marcas disponibles en el mercado nacional, dado que los precios de estos elementos son similares entre las distintas marcas y son compactibles en la mayoría de los casos.

Tabla 5

Precios de referencia a junio de 2023 de sistema monitoreo Online: Fuente: Elaboración propia.

Marca	Modulo adquisición de datos	Precio Modulo (USD)	Nombre Software	Precio Software Versión Local (USD)	Software Versión nube (Precio por año) USD
ADASH	A3800	\$ 15.000,00	DDS	\$ 5000	Opción No disponible
A-MAQ	A-Transmitter	\$ 3.800,00	A-Cloud	*Variable	*Variable
PRÜFTECHNIK	Vibguard Compact	\$ -	Omnitrend	*Variable	*Variable
SKF	IMx 8/16	\$ -	.@ptitude Analyst	\$ 6.000,00	\$ 2.000,00
CTC	Sensor 100 mv/g	\$			400,00
	Cable con conector (20 m)	\$			100,00

Estos son solo algunas de las marcas que tienen representación directa en Colombia, para efectos de tener mayor oferta de productos, se recomienda consultar otras marcas disponibles a nivel nacional. A continuación, se dejan los links y datos de contacto de los principales distribuidores de estos productos en Colombia.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Adash

Representante: A-Maq S.A

Página Web: <https://a-maq.com/>

Email: contacto@a-maq.com

Teléfono: Comercial:(+57) 300 862 2954 / Administrativo: (+57) 318 716 6128

Dirección: Calle 26 # 81 – 51, Medellín / Colombia

Emerson

Representante: IME S.A.S

Página Web: <https://ime.com.co/>

Email: ventas@ime.com.co

Teléfono: 316 4822744 - 300 91249 00

Dirección: Calle 56 No. 5N-126 Cali, Colombia

ERBESSD INSTRUMENTS

Representante: Preditec S.A.S

Página Web: <https://www.preditecingeneria.com/>

Email: d.ruiz@xn--preditecingeneria-svb.com

Teléfono: +57 3204980101

Dirección: Calle 166 #55d-15 Interior 2 Apto 302 Bogotá.

Fluke

Representante: MELEXA

Página web: <https://melexa.com/>

Email: ND

Teléfono: Bogotá PBX 601 587 4400 – 601 587 4040

Dirección: Calle 18 No. 69F-26 Sede Administrativa: Autopista Norte No. 114 – 44 Edificio Invention Center Of. 702 Bogotá.

Prüftechnik

Representante: Analizar RBM

Página web: <https://analizar-rbm.com/>

Email: info@analizar-rbm.com

Teléfono: (602) 516 2331

Dirección: Centro Comercial Alfaguara, Local 18 Jamundí, Valle – Colombia

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

SKF

Representante: Rodando S.A.S

Página Web: <https://rodando.co/>

Email: info@rodando.com.co

Teléfono: PBX: (57- 4) 444 17 49 CII 45 N° 60–26 Medellín · Colombia

Dirección: Calle 45 N° 60 – 26

CTC

Representantes: Esta marca es representada por las empresas A-MAQ e IME.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

La evolución de la gestión de mantenimiento orienta unas de sus líneas de acción al desarrollo de actividades predictivas y futuramente prescriptivas, para esto es necesario estar en línea con la cuarta revolución industrial, ya que ésta facilita la integración de aplicaciones tecnológicas a la operación de las máquinas, sin embargo, para las PYMES, en muchos casos se presentan barreras de distinta índole que les impiden incursionar en dichos avances. El desarrollo de este trabajo aporta significativamente a la gestión de mantenimiento de dichas empresas, debido a que fomenta la evolución del mantenimiento a partir de la integración del monitoreo de condición, con una de las técnicas de mayor impacto dentro del mantenimiento predictivo, el análisis de vibración y medición de temperatura. El cuerpo de este trabajo en si mismo es una guía que permite conocer las tecnologías más relevantes en la industria para el monitoreo de condición por vibraciones y temperatura.

Se elabora un Test de entrada (Cuestionario) que permite identificar cualitativamente si existe la necesidad de integrar un monitoreo por condición a partir del contexto del mantenimiento y realidad de cada empresa; este permite ser diligenciado de forma fácil por cualquier persona que tenga relación con el área de mantenimiento o gestión de mantenimiento de una empresa. Al final del cuestionario se ofrece una guía básica para interpretar los resultados, la cual en función de las respuestas a cierto grupo de preguntas define la viabilidad de integrar el monitoreo de condición para la técnica de análisis de vibraciones y temperatura.

Se hace un breve resumen de algunos de los equipos y tecnologías disponibles en el mercado nacional para el monitoreo de condición a partir de la técnica de vibraciones y temperatura para cada uno de los modelos monitoreo presentados, adicionalmente se registran tablas de los costos aproximados de varias de las tecnologías disponibles.

La tecnología propuesta orientada a la automatización de adquisición de datos de vibraciones y temperatura es en muchos casos la ruta de acceso al monitoreo de condición, debido a que es altamente escalable, presenta fácil instalación y disposición de software en la nube, lo que permite realizar una exploración e incursión en el mantenimiento predictivo a partir del análisis de vibración y temperatura con una relación muy razonable de costo/beneficio.

Todas las alternativas presentadas tienen opciones para llevar la información a la nube, lo que facilita realizar seguimiento de tendencias de temperatura y valores globales de vibración sin tener experiencia en la técnica de análisis de vibraciones; si no se cuenta

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

con el personal capacitado en el análisis, la disponibilidad de la información en la nube, facilita la realización de diagnósticos remotos por parte de un contratista externo.

Para elegir una de las alternativas presentadas, es necesario establecer que variables de vibraciones se requieren medir de acuerdo al contexto operacional del activo y sus modos de falla característicos, con el propósito de elegir la tecnología adecuada, ya que se tiene tecnología tan básica como captura de valores globales (Datos estáticos), hasta equipos con monitoreo 24/7 de valores estáticos y dinámicos, que además cuentan con diferentes técnicas de procesamiento de datos para el análisis de fallas en rodamientos (Envolvente, demodulación, Spike Energy, PeakVue entre otros).

Se presenta dificultad para obtener el precio final de la tecnología de algunas marcas, razón por lo cual algunos de los sistemas no se presenta dicho dato. Los precios acá presentados pueden variar en función de la cantidad de sensores y equipos a monitorear, además del tiempo contratado en la nube y algunas otras condiciones comerciales.

Como continuidad a este trabajo se deja la alternativa de evaluar el impacto que el mantenimiento predictivo desde el monitoreo de condición por vibraciones y temperatura genera en los diferentes KPI's de los programas gestión del mantenimiento. También se encuentra una oportunidad de trabajo en la identificación y evaluación de los aspectos que facilitan el éxito de un plan de mantenimiento predictivo dentro de la gestión de mantenimiento.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

REFERENCIAS

- Abbate, R., Caterino, M., Fera, M., & Caputo, F. (2022). Maintenance Digital Twin using vibration data. *Procedia Computer Science*, 200, 546–555. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2022.01.252>
- Amaral, A., & Peças, P. (2021). SMEs and Industry 4.0: Two case studies of digitalization for a smoother integration. *Computers in Industry*, 125. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103333>
- Antonorsi, M., & Vidal, R. (2019). Gerenciar Pymes en la Era Digital. *Debates IESA*, XXIV(3), 36–39.
- Chung, J.-E., Oh, S.-G., & Moon, H.-C. (2022). What drives SMEs to adopt smart technologies in Korea? Focusing on technological factors. *Technology in Society*, 71, 102109. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102109>
- Gallego S, & García M. (2019). Industry 4.0 implications in production and maintenance management: An overview. *Procedia Manufacturing*, 41, 415–422. www.sciencedirect.com
- Jing, S., Hou, K., Niu, Z., & Yan, J. (2022). A selection model for innovation strategies in family SMEs. *Computers and Industrial Engineering*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108628>
- ISO 10816-3: 2009. Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ.
- Mon, A., & del Giorgio, H. R. (2022). Analysis of Industry 4.0 Products in Small and Medium Enterprises. *Procedia Computer Science*, 200, 914–923. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.289>
- Orhan, S., Aktürk, N., & Çelik, V. (2006). Vibration monitoring for defect diagnosis of rolling element bearings as a predictive maintenance tool: Comprehensive case studies. *NDT & E International*, 39(4), 293–298. <https://doi.org/10.1016/J.NDTEINT.2005.08.008>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Philbin, S., Viswanathan, R., & Telukdarie, A. (2022). Understanding how digital transformation can enable SMEs to achieve sustainable development: A systematic literature review. *Small Business International Review*, 6(1), e473. <https://doi.org/10.26784/sbir.v6i1.473>
- Pilar Lambán, M., Morella, P., Royo, J., & Carlos Sánchez, J. (2022). Using industry 4.0 to face the challenges of predictive maintenance: A key performance indicators development in a cyber physical system. *Computers and Industrial Engineering*, 171. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108400>
- Rendón, O. (2022, October 2). Las pymes hoy se digitalizan o mueren. *El Colombiano*. <https://www.elcolombiano.com/negocios/las-pymes-hoy-se-digitalizan-o-mueren-II18765926>
- Rocha, A., Associação Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Spain Section, & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2019, June 24). 2020 15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI) : proceedings of CISTI'2020 - 15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies : 24 to 27 of June 2020, Seville, Spain. *Aporte de Las Tecnologías de La Información y Las Comunicaciones a La Productividad En Las Pymes de Santiago de Cali* .
- Sahli, A., Evans, R., & Manohar, A. (2021). Predictive Maintenance in Industry 4.0: Current Themes. *Procedia CIRP*, 104, 1948–1953. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.329>
- Surucu, O., Gadsden, S. A., & Yawney, J. (2023). Condition Monitoring using Machine Learning: A Review of Theory, Applications, and Recent Advances. *Expert Systems with Applications*, 221, 119738. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2023.119738>
- Valencia, P., Juan, P., Collazos, N., & Urrea, D. (2019). INFLUENCIA DE LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL EN COLOMBIA. *Punto de Vista_Politécnico Colombiano*, 10(16). <https://doi.org/10.15765/pdv.v11i16.1419>
- You, Y., Chen, C., Hu, F., Liu, Y., & Ji, Z. (2022). Advances of Digital Twins for Predictive Maintenance. *Procedia Computer Science*, 200, 1471–1480. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.348>
- Zezulka, F., Jirsa, J., Venkrbec, L., Marcon, P., Benesl, T., Kaczmarczyk, V., Arm, J., & Bradac, Z. (2022). The Ideas of Industry 4.0: Seven Years After. *IFAC-PapersOnLine*, 55(4), 145–150. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.06.024>

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ADASH (2023).

<https://adash.com/es/>

Cartoli Instruments (2023).

<https://cartoliinstruments.com/emerson-csi-2130-machinery-health-analyzer.html>

Analizar RMB (2023).

<https://analizar-rbm.com/sistemas-de-monitoreo-de-condicion/>

SKF (2023).

<https://www.skf.com/co>

Grainger (2023).

<https://www.grainger.com/>

Ducasse (2023).

<https://ducasse.com.pe/>

Emerson (2023).

<https://www.emerson.com/en-us>

Prüftechnik (2023).

<https://www.pruftechnik.com/com/>

A-maq (2023).

<https://a-maq.com/>

IME (2023).

<https://ime.com.co/>

Preditec Ingenieria (2023).

<https://www.preditecingenieria.com/>

Melexa (2023).

<https://melexa.com/>

Analizar RMB (2023).

<https://analizar-rbm.com/>

Rodando (2023).

<https://rodando.co/>

CTC (2023).

<https://www.ctconline.com/>

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ANEXOS

Anexo A.

Lista General de Accesorios de un DAD Portable para la Realización de Rutas de Vibraciones.

Equipo para realizar rutas de vibraciones			
Lista de accesorios característicos de un DAD portable.			
Item	Dispositivo / Accesorio	Cantidad	Descripción
1	DAD	1	Dispositivo para la adquisición de datos.
2	Sensor acelerómetro	1	Acelerómetro 100 mV/G.
3	Sensor Dual	1	Acelerómetro 100 mV/G y Temperatura 10 mV/°C.
4	Cable Sensor	2	Cable sensor sencillo y cable sensor dual.
5	Cable de datos	1	Cable para transferencia de datos.
6	Cargador	1	Cargador eléctrico para el DAD.
7	Funda y correas	1	Elementos para proteger y cargar el DAD.
	Base magnética	2	Base magnética plana y base magnética de dos polos.
8	Licencia Software Nube /Local	1	Definir versión de software (Nube o local) y cantidad de usuarios.
Estos dispositivos pueden incluir otros accesorios que permiten realizar tareas como balanceos, alineaciones y pruebas de impacto entre otras; Dependiendo de los programas o módulos que contenga el DAD.			

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Anexo B.

Lista General de los Elementos Necesarios para la Implementación del Modelo Automático para la Adquisición de Datos.

Equipo a monitorear:			
Ventilador (Máquina de referencia conformada por un motor y ventilador).			
Cantidad de puntos a monitorear = 6			
Lista de elementos requeridos			
Item	Dispositivo / Accesorio	Cantidad	Descripción
1	Gateway	1	Dispositivo para la adquisición de datos Online.
2	Sensor dual	6	Sensor Inalámbrico dual (Vibración y temperatura).
3	Fuentes voltaje VDC	1	Sí el Gateway así lo requiere.
4	Gabinete	1	Gabinete para Gateway_ IP XX- Accesorios para montaje de los elementos.
5	Discos de montaje	6	Opcional _ Depende del sistema de montaje deseado para los sensores.
6	Pegamento Epóxico	1	Material consumible. Opcional para fijar discos de montaje.
7	Licencia Software Nube /Local	1	Definir versión de software (Nube o local) y cantidad de usuarios.
8	Servicio de Ingeniería	1	Instalación, configuración, puesta en marcha del sistema.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Anexo C.

Lista General de los Elementos Necesarios para la Implementación del Modelo de Monitoreo Online.

Equipo a monitorear:			
Ventilador (Máquina de referencia conformada por un motor y ventilador).			
Cantidad de puntos a monitorear = 6			
Lista de elementos requeridos			
Item	Dispositivo / Accesorio	Cantidad	Descripción
1	Modulo DAD	1	Dispositivo para la adquisición de datos Online
2	Sensores dual	6	acelerómetro Industrial dual (aceleración y temperatura) 100 mV/g _ 10mv/°C.
3	Cable con conector integrado 20 m	6	Cable tres Hilos, conector integrado - Aislado. Longitud 20 m
4	Fuentes voltaje VDC	1	Usualmente Fuentes de 24 VDC. Alim 110-240 V. Breaker unipolar para protección
5	Gabinete	1	Gabinete para modulo DAD_ IP XX- Accesorios para montaje de los elementos.
6	Discos de montaje	6	Opcional _ Depende del sistema de montaje deseado para los sensores
7	Pegamento Epóxico	1	Material consumible. Opcional para fijar discos de montaje.
8	Licencia Software Nube /Local	1	Definir versión de software (Nube o local) y cantidad de usuarios.
9	Servicio de Ingeniería	1	Instalación, configuración, puesta en marcha del sistema.
10	Servicio de Instalación infraestructura	1	Instalación red de datos (Cables para sensores y estructura para soporte de cables) y gabinetes. Permisos HSE.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

FIRMA ESTUDIANTES	
FIRMA ASESORES	
FECHA ENTREGA: 14/06/2023	