

Sistema de adquisición y monitoreo en tiempo real para la detección temprana de fallas en motores mediante análisis de señales de vibración y temperatura bajo un ambiente (IoT)

Johan Alexis Gomez Garcia

Asesor

Cindy Vanessa Carmona Cadavid

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Ingeniería Electrónica

2025

Resumen

Esta investigación busca responder cómo desarrollar un sistema de adquisición y monitoreo en tiempo real para detectar fallas tempranas en motores asíncronos mediante el análisis de vibración y temperatura en un entorno IoT. El objetivo principal fue diseñar, construir e integrar un sistema embebido con una plataforma en la nube, validándolo en un entorno controlado para prevenir fallas costosas en un motor industrial de 55 kW.

La metodología empleada incluyó el diseño de un sistema IoT con un sensor de vibración y temperatura, la construcción de un prototipo embebido que recolecta datos de manera constante y cada 15 segundos lo envía a una plataforma en la nube para registrar y consultar información en tiempo real a lo largo de semanas o meses. Se realizaron pruebas en lugares donde se puede evidenciar el arranque, desaceleración y operación continua, analizando patrones mediante figuras por registros en Python y generando alertas de fallas mediante ThingSpeak al correo electrónico.

Los hallazgos revelaron que el sistema detecta eficazmente anomalías, cuando superan los picos de vibración como 24 mm/s y temperaturas que alcanzan 49.5 °C, incluso identificando incrementos térmicos por falta de refrigeración. Una alerta específica registró 4.92 mm/s de vibración y 35.85 °C, confirmando su capacidad para notificar fallas tempranas.

A partir del estudio, se aprendió que el sistema IoT ofrece una solución viable para el mantenimiento predictivo, permitiendo intervenir el motor antes que sean fallas críticas. Los resultados destacan la importancia de integrar sistemas de enfriamiento y ajustar umbrales según normas como ISO. Esta investigación contribuye al conocimiento en monitoreo de motores, proponiendo un prototipo que puede mejorar paros que puede ser usado en industrias similares.

Palabras clave: Vibraciones, motores asíncronos, temperatura, IoT

Abstract

This research seeks to answer the question of how to develop a real-time acquisition and monitoring system to detect early failures in asynchronous motors through vibration and temperature analysis in an IoT environment. The main objective was to design, build, and integrate an embedded system with a cloud platform, validating it in a controlled environment to prevent costly failures in a 55-kW industrial motor.

The methodology employed included the design of an IoT system with a vibration and temperature sensor, the construction of an embedded prototype that continuously collects data, and every 15 seconds it sends it to a cloud platform to record and view real-time information over weeks or months. Tests were conducted in locations where startup, deceleration, and continuous operation could be observed, analyzing patterns using Python graphs, and generating failure alerts via email using ThingSpeak. The findings revealed that the system effectively detects anomalies when vibration peaks exceed 24 mm/s and temperatures reach 49.5°C, even identifying thermal increases due to a lack of cooling. One specific alert recorded 4.92 mm/s of vibration and 35.85°C, confirming its ability to report early failures.

Based on the study, it was learned that the IoT system offers a viable solution for predictive maintenance, allowing intervention on the motor before critical failures occur. The results highlight the importance of integrating cooling systems and adjusting thresholds according to standards such as ISO. This research contributes to the body of knowledge on motor monitoring by proposing a prototype that can improve downtime management and be used in similar industries.

Keywords: Vibrations, asynchronous motors, temperature, IoT

Tabla de Contenido

Introducción	10
Planteamiento del problema.....	13
Justificación	15
Objetivos	17
Objetivo General	17
Objetivos Específicos.....	17
Marco metodológico.....	18
Estado del Arte	19
Marco teórico	23
Motores eléctricos	23
Componentes del motor eléctrico.....	25
Los Tipos de fallas comunes en motores	25
El Impacto de las fallas en el rendimiento y vida útil de los motores.....	26
Vibraciones	28
Normas asociadas a la detención de fallas.....	30
Temperatura	33
Adquisición de datos	35
Instrumentos de medición	37
Diseño y Arquitectura de un Sistema de Monitoreo de Vibraciones y Temperatura	41
Integración del Sistema de Monitoreo.....	59
Validación del Funcionamiento del Sistema en un Entorno Controlado Mediante Pruebas de Operación del Sistema Embebido	64

Análisis durante el arranque del motor	65
Análisis de estabilización del arranque del motor.....	66
Análisis durante la operación constante del motor.....	67
Análisis de los datos recibidos de el sensor de vibración	69
Análisis del motor en paro después del trabajo.....	70
Análisis de los resultados de la vibracion en la nube ThingSpeak.....	71
Análisis de los resultados de la temperatura en la nube ThingSpeak.....	72
Alertas del sistema.....	73
Video donde se observa los resultados.....	97
Conclusiones	76
Bibliografía	78
Apéndices.....	82

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Datos Técnicos del Motor</i>	59
Tabla 2 <i>Datos Técnicos del Sensor De Vibración Y Temperatura</i>	60

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Partes de un Motor Eléctrico</i>	25
Figura 2 <i>Frecuencias de Fallo de un Rodamiento</i>	27
Figura 3 <i>Movimiento Armónico Simple del Periodo T y Amplitud A</i>	28
Figura 4 <i>Severidad de Vibraciones ISO 10816-3</i>	32
Figura 5 <i>Norma ISO 20816-3</i>	33
Figura 6 <i>Partes de un Sistema DAQ Fuente</i>	36
Figura 7 <i>Topología Utilizada en el Diseño de la Red Inalámbrica</i>	42
Figura 8 <i>Diagrama General de la Estación Final Emisor</i>	43
Figura 9 <i>Sensor de Temperatura y Vibraciones</i>	44
Figura 10 <i>Conectores del Sensor Para la Desconexión Rápida</i>	44
Figura 11 <i>Fuente de Alimentación de la Estación Final Emisor</i>	45
Figura 12 <i>Convertidor ADC1115</i>	47
Figura 13 <i>Convertidor ADC1115</i>	47
Figura 14 <i>Diagrama de Flujo del Sensor</i>	48
Figura 15 <i>Xbee3 Final</i>	49
Figura 16 <i>Estación Final Emisor</i>	50
Figura 17 <i>Diagrama General de la Estación Final Receptor</i>	50
Figura 18 <i>Estación Final Receptor</i>	51
Figura 19 <i>Xbee3 Coordinador</i>	51
Figura 20 <i>Raspberry pi4 Coordinador</i>	52
Figura 21 <i>Diagrama de Flujo de Estación Coordinador</i>	53
Figura 22 <i>Código de Python en Ejecución</i>	54

Figura 23 <i>Graficas Generadas por Python</i>	55
Figura 24 <i>Plataforma ThingSpeak Donde se Almacenan los Datos recopilados</i>	56
Figura 25 <i>Datos de vibración Recopilados en ThingSpeak</i>	56
Figura 26 <i>Datos de Temperatura Recopilados en ThingSpeak</i>	57
Figura 27 <i>Correo Electrónico de Alerta de MATLAB Análisis ThingSpeak</i>	58
Figura 28 <i>Motor de 55 KW En Máquina</i>	60
Figura 29 <i>Sensor de Vibración y Temperatura en el Motor</i>	61
Figura 30 <i>Caja Donde se Almacenado Todos los Elementos</i>	62
Figura 31 <i>Figura de Eje del Motor</i>	62
Figura 32 <i>Norma ISO 2372</i>	63
Figura 33 <i>Grafica Python en el Arranque del Motor</i>	65
Figura 34 <i>Grafica de Python Estabilización del Arranque</i>	66
Figura 35 <i>Grafica de Python trabajo Constante</i>	67
Figura 36 <i>Comportamiento de Vibración y Temperatura</i>	69
Figura 37 <i>Grafica de Python Motor Apagado</i>	70
Figura 38 <i>Graficas en ThingSpeak Donde se Observa la Vibración</i>	71
Figura 39 <i>Graficas en ThingSpeak Donde se Observa la Temperatura</i>	72
Figura 40 <i>Graficas en ThingSpeak Donde se Observa las Alertas</i>	73
Figura 41 <i>Correo Electrónico Indicador de Falla</i>	74

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Código de Esp8266</i>	82
Apéndice B <i>Código de Python</i>	86
Apéndice C <i>Código de Matlab</i>	92
Apéndice D <i>Matriz De Pugh</i>	95
Apéndice E <i>Video de YouTube</i>	97

Introducción

La industria textil depende en gran medida del uso de motores eléctricos asíncronos para sus procesos de producción. Sin embargo, el uso intensivo de estos motores puede derivar en fallas inesperadas, lo que ocasiona costos elevados, interrupciones y una disminución en la productividad. A pesar de la importancia de estos activos, muchas empresas aún emplean métodos tradicionales y obsoletos para su monitoreo, como registros manuales y revisiones periódicas, lo que limita la detección temprana de fallas y dificulta la optimización de los programas de mantenimiento.

De acuerdo con los antecedentes podemos ver que la Industria 4.0 ha revolucionado el mantenimiento industrial mediante el monitoreo y diagnóstico de fallos en motores eléctricos, utilizando tecnologías como IoT y sensores para supervisar vibraciones y temperatura en tiempo real. Estos sistemas, apoyados por dispositivos como Raspberry Pi y protocolos como MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) (Leyva, 2023), reducen costos, evitan tiempos de inactividad y permiten un control eficiente, destacando la importancia de la seguridad y la escalabilidad en las soluciones modernas.

Ante esta problemática, el presente estudio busca desarrollar un sistema de monitoreo en tiempo real basado en IoT que permita la detección temprana de fallas en motores asíncronos mediante el análisis de vibración y temperatura. Este enfoque innovador permitirá una supervisión continua del estado de los motores, enviando alertas automáticas cuando se detecten condiciones anómalas. De esta manera, se contribuirá a mejorar la eficiencia operativa, reducir costos de mantenimiento correctivo y prolongar la vida útil de los equipos.

El interés en esta investigación surge de la necesidad de contar con herramientas tecnológicas que faciliten el mantenimiento predictivo en entornos industriales. A diferencia de

otros estudios que emplean sistemas SCADA costosos o instrumentos portátiles de medición, la solución propuesta se enfocará en una implementación asequible y eficiente, utilizando redes inalámbricas de bajo consumo y sensores integrados con módulos XBee3. Esto garantizará una transmisión confiable de datos sin interferencias electromagnéticas, adaptándose a las condiciones de la industria textil.

La metodología empleada en este estudio incluirá el diseño y desarrollo de un prototipo de sistema de monitoreo que integrará sensores de vibración y temperatura, módulos de transmisión inalámbrica y una plataforma de análisis de datos en la nube. Se realizarán pruebas en un motor trifásico de inducción de 55 kW en una industria textil, con el objetivo de evaluar la efectividad del sistema para detectar fallas y su impacto en la gestión del mantenimiento. Durante el desarrollo del proyecto, se podrían presentar limitaciones técnicas relacionadas con la configuración de los sensores, la estabilidad de la transmisión de datos y la interpretación de las señales obtenidas, por lo que se implementarán ajustes y validaciones para mejorar su desempeño.

El principal objetivo de este estudio es diseñar un sistema de monitoreo en tiempo real que permita la detección oportuna de fallas en motores asíncronos, optimizando las estrategias de mantenimiento en la industria textil. Con esta investigación se busca demostrar que la integración de tecnologías IoT en el monitoreo de activos industriales es una solución viable, eficiente y rentable para mejorar la gestión del mantenimiento y reducir tiempos de inactividad no planificados.

El documento está estructurado de la siguiente manera: en el primer capítulo se aborda el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación del estudio. El segundo capítulo presenta el marco teórico, donde se exploran los conceptos clave sobre motores asíncronos,

análisis de vibraciones, temperatura y tecnologías de monitoreo. En el tercer capítulo se describe la metodología utilizada para el desarrollo del sistema. Finalmente, en el cuarto capítulo se presentan los resultados obtenidos, el análisis de los datos y las conclusiones del estudio.

Planteamiento del Problema

La industria textil ha experimentado importantes beneficios como la optimización de los procesos y la automatización de los trabajos gracias a los motores eléctricos “asíncronos”, que son fundamentales en todos sus procesos. Es por esto la industria busca constantemente mejorar la eficiencia y confiabilidad de estos motores ya que si fallan pueden ocasionar costos elevados, interrupciones y pérdidas de productividad.

Por lo tanto, es esencial contar con sistemas de monitoreo en tiempo real que permitan la detección temprana de fallas y eviten tiempos de inactividad no planificados (Ugwiri, 2020). Ya que los sistemas de monitoreo obsoletos “como registro de datos en hojas, monitoreo manual” representan un desafío significativo, ya que generan datos poco confiables, durante la operación del sistema. Esta situación dificulta la detección temprana de fallas, lo que puede llevar a paradas no planificadas y costosas.

Además, la ausencia de sistemas de monitoreo en tiempo real no solo limita la detección de problemas, sino que también limita la optimización de los programas de mantenimiento, los cuales deberían basarse en las condiciones reales del equipo en lugar de intervalos predefinidos. Los sistemas actuales son de alto precio como sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) y la mayoría son como tacho generadores portátiles lo que no logran proporcionar un análisis detallado y veloz de las señales de vibración y temperatura, afectando la eficacia de los programas de mantenimiento preventivo y predictivo. Esto lleva a que las decisiones se tomen basándose en datos incompletos o desactualizados (Shukla, 2021).

La necesidad de contar con sistemas modernos de monitoreo queda demostrada por un estudio publicado en la revista Tecnología en Marcha el cual identificó que las fallas más comunes en motores de inducción utilizados en la industria (como la textil) son la quema de

motores, cortocircuitos, bajo aislamiento, fallas en rodamientos y problemas de conexión a tierra (Guerrero-Castro, 2007) Esto confirma que el motor eléctrico es uno de los componentes más vulnerables y críticos en este sector.

Por ello, se propone implementar un sistema de monitoreo que integre análisis en tiempo real de variables relevantes para el análisis de vibraciones en motores asíncronos, buscando con esto contar con información relevante para conocer de primera mano el estado de funcionamiento del sistema e integrarlo de forma efectiva a la gestión de mantenimiento.

La pregunta que guía esta investigación es: ¿Qué elemento permitirá la detección temprana de fallas en motores asíncronos que puedan ser usados en un ambiente industrial?

Justificación

La investigación surge de la necesidad de mejorar la eficiencia y confiabilidad de los motores eléctricos asíncronos en la industria textil donde su uso diario puede generar fallas inesperadas provocando costos elevados, interrupciones y fallas significativas de productividad. Actualmente muchas empresas continúan utilizando sistemas de monitoreo obsoletos como el registro manual de datos o inspecciones visuales lo que dificulta la detección temprana de fallas y conlleva a paradas no planificadas con altos costos operativos.

Es necesario llevar a cabo esta investigación ya que el costo elevado de tecnologías de monitoreo impide la eficiencia de los programas de optimización en mantenimiento preventivo y predictivo los cuales deben basarse en el estado del equipo actual con ayuda de los intervalos predefinidos por el fabricante. Los sistemas actuales como SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) suelen ser costosos en la mayoría y operan con sistemas robustos lo que es necesario personal calificado para calificar el estado del motor.

Las variables principales por medir son las de vibración y temperatura ya que ocasionan un deterioro acelerado del motor porque presentan indicadores clave del estado del funcionamiento del equipo. Cuando estas variables exceden los límites normales pueden indicar fallas de gran categoría que pueden ser ocasionadas por rodamientos desalineaciones u otros problemas mecánicos sin monitoreo adecuado estas condiciones pueden derivar en fallas críticas.

La solución propuesta es factible ya que la tecnología IoT permite que la implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real con costos accesibles y alta eficiencia a través del uso de sensores y módulos de comunicación inalámbrica se podrá capturar procesar y analizar variables críticas del motor sin interferir en un entorno electromagnético industrial. Además, el

sistema enviara alertas automáticas, permitiendo la toma de decisiones basada en los datos en tiempo real optimizando la gestión de mantenimiento.

Los beneficios de implementar esta solución incluyen la reducción de mantenimientos correctivos, el aumento de la vida útil de los motores la optimización de los recursos de mantenimiento y la mejora de productividad industrial. Al contar con información en tiempo real sobre el estado de los motores se podrán programar intervenciones de manera más eficiente evitando las fallas críticas y reduciendo tiempos de inactividad no planeada.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un sistema de Adquisición y Monitoreo de datos en Tiempo Real para la Detección Temprana de Fallas en Motores mediante Análisis de Señales de Vibración y Temperatura bajo un ambiente IoT

Objetivos Específicos

Diseñar un sistema de monitoreo de vibraciones y temperatura que reporte los datos en tiempo real utilizando un sistema embebido.

Construir el sistema de monitoreo que permita evaluar escenarios planteados.

Integrar una plataforma en la nube que permita registrar y consultar los datos en tiempo real de los escenarios planteados.

Validar el funcionamiento del sistema en un entorno controlado mediante pruebas de operación del sistema embebido.

Marco Metodológico

El presente estudio se enmarca en un enfoque cuantitativo de tipo experimental ya que se busca diseñar, implementar y validar un sistema de adquisición y monitoreo en tiempo real para la detección temprana de fallas en motores, el diseño experimental permitirá evaluar el rendimiento del sistema bajo condiciones controladas y comparar los resultados con mediciones de referencia. Se busca establecer patrones y tendencias en el comportamiento de estos parámetros mediante técnicas de procesamiento de señales y monitoreo en tiempo real.

El estudio se manipulan variables en un entorno industrial controlado donde podemos ver el efecto que puede ocasionar el análisis de las fallas de los motores. Se implementa un sistema de tiempo real basado en IoT con módulos de Xbee3 para la transmisión de datos.

Se opta por un diseño experimental con pruebas en un entorno industrial, en el cual se integran sensores de vibración y temperatura en motores eléctricos para evaluar su comportamiento bajo diferentes condiciones de operación. Los datos recolectados se procesan y analizan con herramientas computacionales para su visualización y diagnóstico.

Estado del Arte

La Industria 4.0, caracterizada por la integración de tecnologías digitales en los procesos industriales, ha revolucionado la forma en que las empresas abordan el mantenimiento y la eficiencia operativa. Uno de sus mayores impactos ha sido en el monitoreo y diagnóstico de fallas en motores eléctricos, permitiendo identificar el estado real de operación del sistema lo que impacta de forma directa la reducción significativa de costos y un aumento en la productividad.

El análisis de las vibraciones y de temperatura es un sistema muy efectivo para la detección temprana de fallos en motores según (Precision s.f., 2025) menciona que “La supervisión constante de los motores evita sobrecargas y vibraciones que puedan dañar los componentes internos al detectar problemas potenciales antes de que se conviertan en fallas costosas, por esto, la realización de mediciones precisas es crucial”. Se presentan algunas soluciones y los beneficios que se pueden obtener. “Para mantener la eficiencia operativa y evitar tiempos de inactividad costosos, es fundamental que los motores eléctricos funcionen correctamente en entornos industriales, Teniendo un buen sistema de monitoreo y alertas, podemos entrar en la etapa de chequeo en sitio para contrastar y verificar la información de los datos. con equipos especializados que pueden hacer la recolección, monitoreo en tiempo real y apoyarnos al momento de hacer verificaciones.” Esta afirmación es fundamental, ya que plantea posibles soluciones ante las necesidades de la industria.

Según (Leyva, 2023) La incorporación de tecnologías de IoT ha revolucionado el monitoreo de motores permitiendo la adquisición y transmisión de datos por medio de sensores instalados en el campo teniendo sistemas de control en la nube. Estos sistemas son en base a protocolos como MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), HTTP (HyperText Transfer Protocol), AT (Authenticated Transfer Protocol) utilizando microcontroladores esp8266 y

Raspberry pi para la toma de datos que permitan el envío de información segura en entornos industriales.

Es importante resaltar que el avance tecnológico está marcando en gran medida las áreas industriales donde se busca que estos avances sean de fácil acceso, lo que significa crear de sistemas IoT de bajo costo y con bajo consumo energético para el monitoreo de motores.

Con este escenario, en los últimos años el avance de las tecnologías de monitoreo de los motores eléctricos ha ganado importancia debido a la necesidad de garantizar la eficiencia y la confiabilidad de los equipos industriales, es por esto, que se presenta a continuación algunos estudios relevantes:

Crespo, Arias, Zhigue (2024) presenta la evolución del análisis de las vibraciones en el mantenimiento industrial y la relación entre las semejanzas de los datos obtenidos en elementos mecánicos rotativos de maquinaria industrial, este documento basa su investigación en una recopilación de datos tomados en procesos experimentales y plantea la transformada rápida de Fourier para el análisis de las vibraciones, ya que esta transformada facilita la identificación de frecuencias asociadas a defectos mecánicos, logrando con esto poder comprender mejor el tipo de fallas evolución en mantenimiento Predictivo, El planteamiento metodológico para analizar patrones de vibración en elementos mecánicos rotativos de máquinas industriales se fundamenta en una investigación documental sobre su historia y desarrollo en el mantenimiento industrial. Se implementaron sistemas experimentales con un banco de pruebas tradicional, donde se definieron dos puntos de recolección para generar y evaluar espectros de frecuencias a partir de las vibraciones. La evaluación consistió en validar la detección y clasificación de fallas bajo diferentes revoluciones. Los resultados demuestran que los avances tecnológicos han

perfeccionado la identificación de estos patrones, incrementando la eficacia del mantenimiento predictivo.

En Álzate, montes, silva (2007) se presenta la medición de Temperatura con sensores termoeléctricos del tipo termopar (termocupla tipo J, hierro constantan) el circuito integrado LM35, termistores NTC y PTC. Las señales provenientes de cada uno de los sensores fueron acondicionadas utilizando el circuito integrado AD595, capturadas por medio de una tarjeta de adquisición de datos y procesadas mediante un software creado bajo Matlab.

Este software obtiene los valores de temperatura a partir del voltaje de salida con la ecuación linealizada, es importante resaltar que el sistema de adquisición donde emplea un circuito integrado muestra una forma muy eficiente de convertir las señales de termo polar en una salida de voltaje lineal esto permitirá una compatibilidad con los sensores de temperatura y una compensación de unión directa lo que evita la necesidad de varios componentes externos.

En Huacho (2022) se diseña un módulo de control basado en plataforma IoT para el monitoreo remoto de motores de inducción de baja potencia, donde el módulo controlador un microcontrolador ESP32 y Atmega 2560 adquiere datos de consumo de corriente y voltaje del motor de inducción mediante el sensor PZEM-004T y la temperatura mediante el sensor termopar de tipo K. El módulo controlador después de adquirir los parámetros del motor de inducción envía los datos a la nube, el código fuente se desarrolla en el lenguaje C++, desde el servidor IoT, cuando ocurre eventos como incremento de temperatura, envía una alerta a un correo electrónico como resultado de la investigación se desarrolló un prototipo funcional que consta de cuatro subsistemas: electricidad, electrónica, control e interfaz. En las pruebas del funcionamiento se obtuvo resultados satisfactorios.

La implementación del IoT a cualquier sector tiene más ventajas que desventajas.

Por esto, es impórtate ver que el desarrollo de este proyecto tiene un enfoque desarrollado en el monitoreo del consumo eléctrico del motor contemplando las variables que pueden ayudar a alertar algún posible fallo, que un variador de frecuencia puede identificar.

En Díaz (2024) este realiza el estudio para diseñar una plataforma IoT basada en Google Sheet para monitorear de forma remota las vibraciones del motor asíncrono de 250 hp. Implementaron un sistema de monitoreo con ESP32 y sensores MPU6050 para medir las vibraciones (utilizando insumos de bajo costo), cuyos datos se enviaron a una plataforma en Google Sheet para su almacenamiento y análisis históricos. Uno de los principales resultados fue obtener una alta precisión de las mediciones del sistema propuesto en comparación con un instrumento calibrado, con un 99% de correlación y una desviación estándar de 0.02 logrando con esto una plataforma IoT en Google Sheet que permite el monitoreo remoto preciso de las vibraciones del motor asíncrono, mejorando el control de calidad y la detección temprana de fallas.

En Enco (2023) presenta un sistema de modelo híbrido basado en Stacking para predecir la temperatura del motor eléctrico, plantean el sistema experimental y en proyecto de análisis donde recolectaron 1,048,576 registros de temperatura de los motores eléctricos donde su información fue almacenada para su posterior comparación presentando un porcentaje muy altos donde los resultados fueron satisfactorios logrando determinar que el diseño del algoritmo para este tipo de aplicaciones es el mejor.

Marco Teórico

Se presenta en esta sección los conceptos relevantes para entender y conocer toda la información necesaria para el diseño de un sistema de adquisición y monitoreo en tiempo real para la detección temprana de fallas en motores mediante análisis de señales de vibración y temperatura bajo un ambiente (IoT).

El análisis de las vibraciones provee una gran cantidad de información que permite observar cambios en el equipo y estandarizar una serie de patrones tomados de las figuras de temperatura y vibraciones que buscan similitud con muestras anteriores, que permitan identificar el aumento de ruidos o vibraciones para la detención temprana de fallas.

El comportamiento de la temperatura también es fundamental en el monitoreo de los equipos. Ya que nos puede brindar información con antelación del funcionamiento irregular dando a entender diferentes factores como: falta de lubricación, sobrecarga en el sistema, fricción, alineación de las poleas que pueden ocasionar un desenlace no muy favorable a la producción de la industria. (Guzmán Díaz González, 2002)

Es por esto por lo que antes de ahondar los elementos esenciales de IoT usados para el monitoreo de estos sistemas, es importante comprender los términos que se abordan a continuación:

Motores Eléctricos

Los motores eléctricos han sido un gran impulso industrial que logran optimizar los procesos industriales en tiempo, producción y reducen los esfuerzos de los colaboradores. La implementación de nuevas tecnologías permite lograr motores más eficientes con mayor durabilidad permitiendo el control y el aprovechamiento adecuado de la energía consumida.

La corriente que circula por el devanado del rotor se debe a la fuerza electromotriz inducida con él por el campo giratorio por esta razón los motores se les denomina motores de inducción. (Fernández, 2010; Zamudio Ramírez, (2023))

El motor asíncrono no tiene la posibilidad de controlar de forma independiente los campos creados en el rotor y en el estator. La característica que define al motor de inducción es la forma en la que se crea el campo en una de las dos partes activas de la máquina. la creación de interacción de los campos en este motor donde un motor funciona así:

Alimentando el estator que se compone por tres fases y un espacio de 120° eléctricos mediante un sistema de tres corrientes trifásicas conservando un desfase entre ellas de 120° en el tiempo, se genera un campo giratorio entrehierro. Se puede decir que tendrá una amplitud de 1.5 veces la máxima del campo generado por una de las fases individualmente lo que ocasionará que el rotor gire en un impulso hasta alcanzar la otra fase, así sucesivamente hasta completar el giro completo.

El campo giratorio presente en el entrehierro concatenara las bobinas del rotor induciendo en ellas una fuerza electromotriz permitiendo que sea un giro muy rápido y constante.

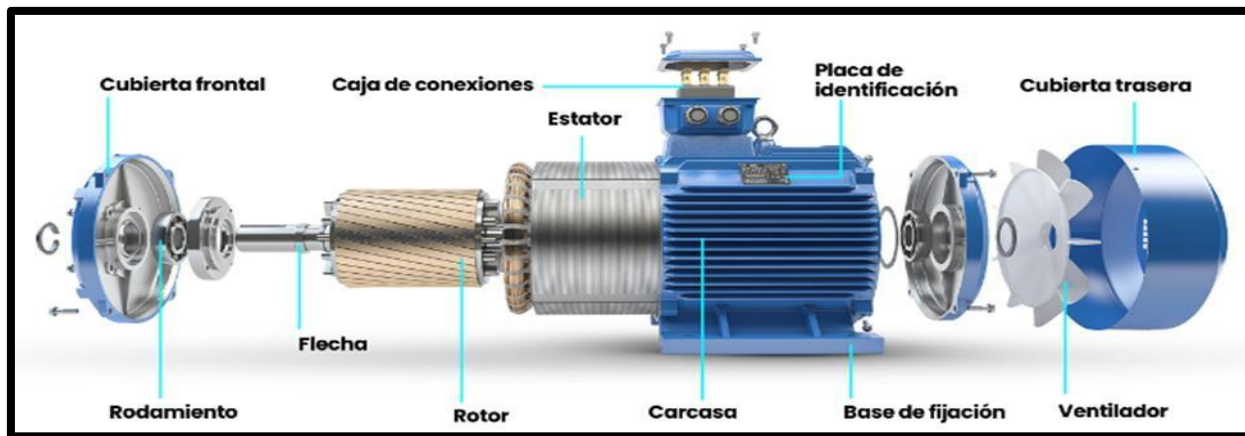
La interacción de los campos del rotor y el estator así creados será la responsable de la creación del par (o torque) en la máquina.

Al hallarse bobinas del motor en corto circuito la fuerza electromotriz inducida producirá una circulación de corrientes. esta circulación de corrientes determinará la fuerza magnetomotriz del rotor. la cual giraría en el espacio una velocidad igual a la suma de la velocidad del rotor más la de la pulsación de la fuerza motriz inducida por sus bobinas. (Guzmán Díaz González, 2002)

Componentes del Motor Eléctrico

Figura 1

Partes de un Motor Eléctrico



Nota. Estas son las partes de un motor eléctrico industrial. Tomado de. ((Vedan, 2025))

Los Tipos de fallas comunes en motores

Como menciona (Zamudio Ramírez, (2023) se presentan a continuación los tipos de fallas que son comunes en los motores y se pueden describir:

Desbalanceo: el desbalance del motor se genera por las cargas en desequilibrio, esto se debe revisar ya que genera vibración excesiva y desgaste prematuro.

Desalineación: si el eje (su centro de gravedad) no está alineado correctamente con la carga puede causar vibraciones altas y desgaste prematuro.

Rodamientos dañados: los rodamientos son elementos críticos que pueden fallar por falta de lubricación, fallas en el ensamblaje, contaminación y carga excesiva, lo que produce vibraciones y ruidos. El ambiente en el que se encuentran es fundamental porque la acumulación de polvo o suciedad puede obstruir los sistemas de ventilación. Y la exposición a la humedad puede corroer componentes eléctricos y mecánicos además afectar el aislamiento.

Alta temperatura: es una parte fundamental en el correcto funcionamiento del equipo y puede ser causado por sobrecarga, esta situación puede ocurrir cuando el motor opera por encima de su capacidad nominal, por arranques frecuentes generando estrés térmico y mecánico, por falta de mantenimiento limpieza e inspección periódica, por ventilación insuficiente todos los escenarios deterioran el aislamiento porque las altas temperaturas pueden degradar el aislante en sus bobinas provocando fugas de corriente o cortocircuitos. (Zamudio Ramírez, (2023))

El Impacto de las fallas en el rendimiento y vida útil de los motores

Como menciona (Fernández, 2010). se presentan a continuación los tipos de fallas que son comunes en los motores y se pueden describir el comportamiento de los rodamientos que están formados por varios componentes el deterioro de cada uno de estos elementos genera una o varias frecuencias características en los espectros de frecuencia que permitirá identificación.

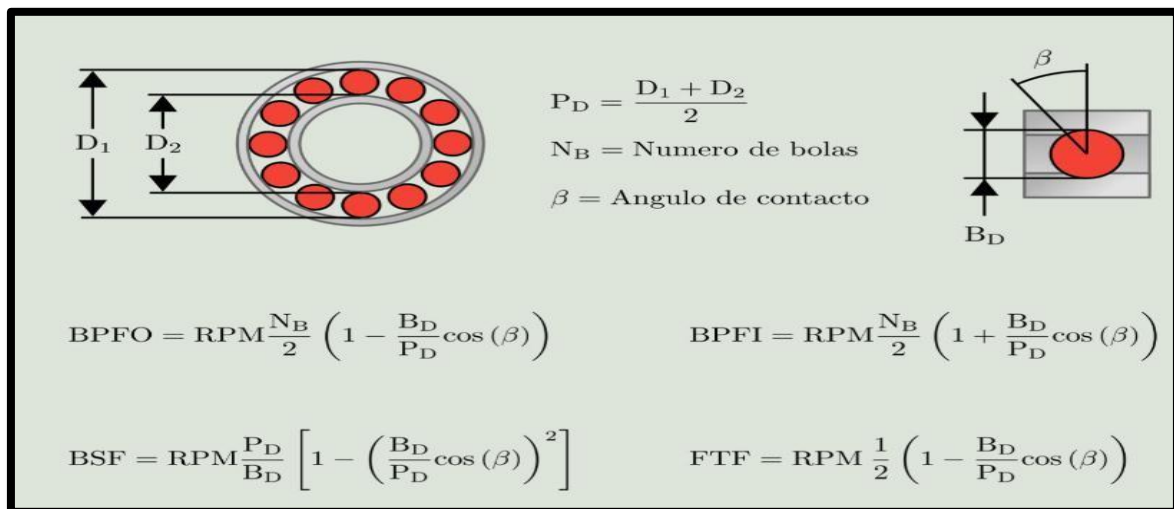
En el análisis de desgaste de los elementos en el motor es posible encontrar varias frecuencias características que permitirán una clara identificación, de una de las cuatro posibles fallas:

- BPFO (Ball Pass Frequency Outer): frecuencia de deterioro de la pista exterior. Se corresponde físicamente con el número de bolas o rodillos que pasan por un punto de la pista exterior cada vez que el eje realiza un giro completo.
- BPFI (Ball Pass Frequency Inner): frecuencia de deterioro de la pista interior. Se corresponde físicamente con el número de bolas o rodillos que pasan por un punto de la pista interior cada vez que el eje realiza un giro completo.

- **BSF (Ball Spin Frequency):** frecuencia de deterioro de los elementos rodantes. Se corresponde físicamente con el número de giros que realiza una bola o rodillo del rodamiento cada vez que el eje realiza un giro completo.
- **FTF (Fundamental Train Frequency):** frecuencia de deterioro de la jaula. Se corresponde físicamente con el número de giros que realiza la jaula del rodamiento cada vez que el eje realiza un giro completo. (Fernandez, s.f.).
- En la figura 2 podemos observar cómo podemos aplicar el cálculo de las frecuencias anómalas que ocasionan el deterioro de los rodamientos ayudándonos a identificar de manera más precisa y comportamiento de un equipo, cuando alguno de los componentes tiene desgaste o presenta una anomalía, distinguiremos el espectro de frecuencia fundamental correspondiente al elemento dañado. Estas frecuencias, se pueden ver figura mente.

Figura 2

Frecuencias de Fallo de un Rodamiento



Nota. Descripción de las fallas en los rodamientos. Tomado de. (Fernández, 2018)

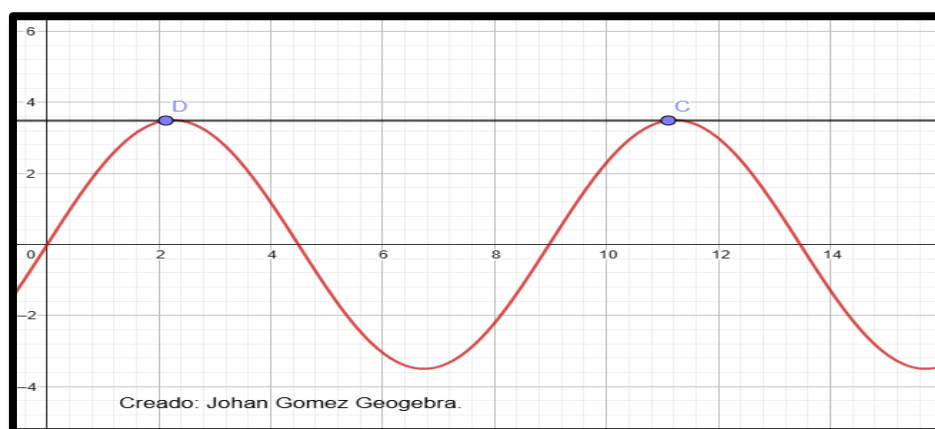
Vibraciones

Las vibraciones u oscilaciones de los sistemas mecánicos constituyen uno de los campos de estudio más importantes de toda la física. Una vibración puede ser considerada una oscilación, o distorsión con movimientos repetitivos en un tiempo, puede ser causada por la fuerza de excitación externa al objeto o puede tener su origen dentro, en este caso al motor eléctrico. Para esto un análisis de vibraciones es importante por puede determinar las fuerzas que afectan el estado de la maquina y pronosticar fallas con antelación antes que encuentren el punto de fractura. (Zamudio Ramírez, (2023))

La vibración depende de la fuerza que se le está aplicando a una máquina. Una descripción grafica es ver una masa que cuelga de un muelle. las espiras del muelle se apretarán y se aflojaran ligeramente de modo que el muelle sufre una distorsión, en este proceso intervienen una distorsión de las espiras, es decir una variación de la curvatura ocasionando movimientos repetitivos dando como resultado una oscilación.

Figura 3

Movimiento Armónico Simple del Periodo T y Amplitud A



Nota. Es una onda senoidal para describir el movimiento.

Las formas de ondas son la representación de un movimiento armónico simple y se representa un gráfico de espacio tiempo donde podemos destacar aspectos importantes. Esta confinada dentro de los límites de espacio, y el periodo es igual al tiempo transcurrido entre dos momentos sucesivos, en que se repite tanto el desplazamiento como la velocidad.

Esta señal es realizada por pulsos eléctricos y son generados por un transductor que captan señales de la máquina, y por medio de un material piezoeléctrico convierte la vibración en pulsos eléctricos que como resultado podemos ver una onda cambiante con respecto a las vibraciones de la máquina. (FRENCH, 1974)

Características de una Onda

- Frecuencia: es el número de repeticiones u oscilaciones por segundo que realiza una onda en un tiempo establecido y es recíproco al periodo.
- Periodo: es el tiempo que se demora la onda en hacer un ciclo completo, básicamente cuanto tiempo toma le toma a la onda para un viaje de ida y vuelta. El periodo se mide en segundos dependiendo la velocidad de la onda.
- Amplitud: son los puntos máximos de la vibración para medir la onda, tiene tres componentes:
 - Amplitud Pico (Pk): se entiende como la distancia máxima de la onda del punto cero al punto de equilibrio
 - Amplitud pico a pico (Pk-Pk): es la distancia de la cresta negativa hasta una cresta positiva.
 - Amplitud raíz del promedio de los cuadrados (RPC): es la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los valores de onda.

Al conocer la onda, es posible obtener información relevante para entender el comportamiento del sistema:

Frecuencias de falla: las frecuencias de falla se componen de la suma de ondas simples generando ondas compuestas, cada vez que vamos a realizar el análisis de vibraciones se observa la maquina y debe tener en cuenta ciertos factores que influyen sobre las distorsiones de vibración, el éxito de este análisis depende de la correcta interpretación que se les dé a los espectros capturados con respecto a las condiciones de operación en que se encuentra la maquina ejempló: es importante saber qué tipo de rodamientos tiene, la frecuencia de trabajo, y el tipo de engranajes.

Además de la frecuencia del sistema, otra medición que se puede relacionar para el análisis de vibraciones son los mm/s donde se hace referencia a la velocidad de vibración del motor, cuando se habla de vibraciones en términos de milímetros por segundo es porque se mide la velocidad de un componente vibrante como lo puede ser (una carcasa o un eje) en un rango de tiempo. Es una de las medidas más eficaces para evaluar las vibraciones de un equipo.

Normas asociadas a la detención de fallas

Así cómo es posible medir las vibraciones, actualmente se cuenta con diferentes tipos de normas que presentan información relevante sobre este tema, es por esto por lo que a continuación se presentan algunas de ellas:

Normas internas: Es importante que cada proceso industrial tome registro de las vibraciones generadas por los equipos para optimizar las tareas de mantenimiento recomendado de acuerdo con daos internos el mantenimiento periódico o establecido por la industria.

Datos técnicos de los fabricantes: Los fabricantes desarrollan un sistema que establece condiciones de operación específicas adaptadas a las necesidades de cada usuario. Cumplir

estrictamente con sus recomendaciones es esencial para obtener un registro preciso y mantener las condiciones ideales para las que fueron diseñados los equipos, maximizando así su rendimiento y durabilidad.

Normas internacionales (ISO – Internacional Standards Organización): como su nombre lo indica son estándares internacionales que establecen criterios para la alta calidad de los productos o procesos y su principal inconveniente es que establecen normas a nivel general.

IEC 60034-1 (especificaciones generales de motores y generadores).

IEC60034-7 (clasificación de tipos de montaje y construcción)

ISO2954 (requisitos de instrumento de medición de vibración)

ISO10817-1 (medición de vibraciones en ejes rotativos)

ISO 20816-1 (evolución de vibraciones en máquinas industriales)

La norma IEC 60034-14: 2018: establece los procedimientos de medición, evaluación y límites de la vibración mecánica en máquinas eléctricas rotativas con alturas de ejes iguales o superiores a 56 milímetros, esta norma es aplicada en máquinas eléctricas de corriente continua y corriente alterna trifásica y potencias de 50 mega watt, habla también de velocidades operativas entre 120 RPM a 15000 RPM. la medición de vibraciones se establecen las magnitudes con respecto a la vibración relativa del eje, también se describen los equipos de medición y sus requisitos como las posiciones y direcciones de la medición, estableciendo condiciones específicas para la prueba de vibración en fabrica.

Los puntos para la toma de la vibración van en la carcasa de los cojinetes y del eje tomando también criterios de vibración axial.

Figura 4

Severidad de Vibraciones ISO 10816-3

								v r.m.s. mm/s	v r.m.s. inch/s	Velocidad Vibración 10 - 1000 Hz n > 600 1/min (2 - 1000 Hz n > 120 1/min)
								11	0.433	
								7.1	0.280	
								4.5	0.177	
								3.5	0.138	
								2.8	0.110	
								2.3	0.091	
								1.4	0.055	
								0.71	0.028	
rigida	flexible	rigida	flexible	rigida	flexible	rigida	flexible	Fundación		
Bombas > 15 kW radial, axial, diagonal				Máquinas medianas 15 kW < P ≤ 300 kW		Máquinas Grandes 300 kW < P < 50 MW		Tipo de Máquina		
Acople directo		Eje intermedio / Poleas.		Motores 160 mm ≤ H < 315 mm		Motores 315 mm ≤ H		Grupo		
Grupo 4		Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1				

	Puesta en operación recientemente.
	Operación para largo plazo.
	Operación para corto plazo.
	Vibración causando daños.

Nota. Describe los niveles de vibraciones en cuatro grupos. Tomado de. (Jesús Román Blanco, 2024)

La norma ISO 20816-3: esta norma establece la evaluación de vibraciones en la maquina rotativas instaladas en el sitio es decir en máquinas o entornos industriales.

Proporciona los principios generales y métodos de evaluación aplicables a todas las maquinas rotativas como velocidad (mm/s) desplazamiento pico (μm) y aceleración (m/s^2).

Figura 5

Norma ISO 20816-3

Grupo 2: Máquinas con potencia 15 - 300 kW Máquinas eléctricas $160 \leq H < 315$		Grupo 2: Máquinas con potencia 300 kW 40MW Máquinas eléctricas $H \geq 315$		
Base Rígida	Base Flexible	Base Rígida	Base Flexible	
A	A	A	A	0,7
B	A	A	A	1,4
B	B	B	A	2,3
C	B	B	B	2,8
C	C	C	B	3,5
D	C	C	C	4,5
D	D	D	C	7,1
D	D	D	D	11

Nota. Descripción del rango de trabajo permitida en máquinas. Tomado de. (Jesús Román Blanquero, 2024)

Cada zona identificada en la tabla anterior se describe como:

A: es un rango permitido y trabajando en los valores estándar.

B: es un rango permitido y trabajando en los valores estándar.

C: es un rango de advertencia en el que es bueno establecer un límite de funcionamiento.

D: un rango de fallo donde no funciona la máquina.

Temperatura

La resistencia de los aislamientos del motor puede sufrir constantes cambios ya que son la principal causa de su deterioro y puede provocar un mal funcionamiento. Es por esto que se hace necesario realizar la medición de esta variable para hacer un seguimiento de su comportamiento

Los fallos en los motores eléctricos pueden ser causantes de cortos circuitos, sobrecargas y falsos contactos. Los más habituales suelen ser las sobrecargas, que se manifiestan a través de estrés mecánico u arranques repetitivos superando la corriente nominal del motor, lo genera un aumento de la temperatura.

Cada vez que se sobrepasa la temperatura nominal de funcionamiento los aislamientos se desgastan poco a poco. Los efectos negativos no son inmediatos por lo que el motor sigue funcionando, aunque a la larga estos efectos pueden provocar averías ocasionando que los mecanismos adjuntos puedan tener un desgaste grave ejemplo:

Un motor utiliza distintos tipos de acoples de fuerza como piñones fusibles que permiten transmitir energía y al mismo tiempo, absorber impactos o sobrecargas. Estos elementos actúan como mecanismos de protección ya que en caso de una falla o sobrecarga pueden romperse o deslizarse para evitar daños mayores en el sistema. Además, se emplean bandas de transferencias y otros acoples que cumplen funciones específicas en la transmisión de potencia sin embargo un aumento excesivo en la temperatura puede comprometer la integridad de estos componentes incumpliendo que se desempeñen correctamente sus funciones y afectando sus características de diseño.

Otra posible falla en la instalación es la presencia de una carga excesiva que puede provocar fallas rápidas en el motor. Entre componentes más afectados se encuentran los rodamientos que pueden deteriorarse prematuramente y los engranes expuestos cuya desalineación o sobrecarga pueden generar un desgaste acelerando, además un acoplamiento inadecuado mediante poleas y bandas puede intensificar las vibraciones por lo que es fundamental realizar un correcto balanceo dinámico para minimizar estos problemas. Cuando el motor opera en condiciones de sobrecargas su demanda de corriente aumenta lo que eleva la temperatura y acelera el envejecimiento del aislamiento reduciendo significativamente su vida útil.

Es importante saber que la alimentación del equipo debe ser constante con respecto a la potencia que el motor requiere por que puede reducir la vida o causar una falla rápida si la

desviación del voltaje es excesiva. Si la tensión baja de una forma excesiva la corriente aumentara para cubrir la potencia necesaria, ocasionando que la temperatura del motor tenga un cambio brusco.

Ocasionalmente los ciclos de trabajo inadecuados provocaran fallas el montaje indebido los paros y frenados bruscos, así como los periodos de aceleración largos, la falta de ventilación reduce la efectividad del enfriamiento, conducen a fallas en el sobre esfuerzo del equipo ocasionando altas temperaturas.

Es necesario limitar la temperatura de los bobinados, pero finalmente la temperatura depende de la capacidad de suministrarles un flujo de aire frio, y la temperatura máxima del bobinado ocasiona fallas en el aislamiento por consecuente produce una degradación ocasionado corto circuito en sus bobinas.

Las perdidas eléctricas y mecánicas en motores eléctricos ocurren con la transformación y perdidas de energía térmica, originando el calentamiento de diversas partes de la máquina, para asegurar un correcto funcionamiento el calentamiento de cada una de sus partes necesita garantizar un comportamiento adecuado del sistema aislante de las bobinas, es importante saber que la máxima potencia disponible en un motor se limita por la temperatura máxima permitida en los materiales utilizados. (Flores, 2015)

Adquisición de Datos

La adquisición de datos es un proceso mediante el cual fenómenos físicos del mundo real son transformados en señales eléctricas estas señales son medidas y convertidas en formato digital para su procesamiento análisis y almacenamiento en una computadora para esto se utiliza un módulo de digitalización o tarjeta de adquisición de datos (DAQ) (Agüero, 2017).

Figura 6

Partes de un Sistema DAQ Fuente



Nota. Componentes necesarios para un sistema DAQ. Tomado de. (Agüero, 2017)

Transductores y Sensores: estos elementos se encuentran en contacto directo con la magnitud física que se desea medir y va a interactuar mostrando los cambios reales del equipo estos fenómenos se convierten en señales eléctricas y como todos los instrumentos de medición estos tienen un rango de trabajo y deben cumplir con ciertas características:

Exactitud: es la capacidad de un instrumento de medida de dar una lectura próxima al verdadero valor de magnitud medida.

Precisión: la dispersión en los valores de una serie de mediciones será mínima.

Rango de Funcionamiento: debe ser exacto y preciso en todo rango específico de trabajo.

Velocidad de Respuesta: la capacidad de respuesta a los cambios de variable detectada en un tiempo mínimo.

Calibración: pérdida de exactitud el tiempo y los procedimientos necesarios para llevar a cabo el proceso de calibración debe ser mínimos

Fiabilidad: no debe estar sujeto a fallos frecuentes durante el funcionamiento.

Distancia Operativa: es la medida de posicionamiento que debe tener un sensor con respecto a la supervisión sobre la cual se va a realizar la medición.

Histéresis: es la diferencia máxima que se observa en los valores cuando la variable recorre la escala en sentido ascendente y descendente.

Es importante tener en cuenta que las magnitudes mencionadas anteriormente son de mucha ayuda para obtener una señal adecuada, teniendo en cuenta los factores que la pueden afectar, hoy día es posible encontrar en el mercado diversidad de sensores que nos permiten registrar magnitudes físicas pero es importante aclarar que la fiabilidad de los equipos para demostrar una calidad en los resultados lo que nos llevara analizar cada caso y mostrar que tipos de sensores nos ayudan a obtener mejores datos en nuestra adquisición.

Instrumentos de Medición

Sensor de Vibraciones: el transductor de vibraciones es un instrumento que produce una señal eléctrica que es una réplica análoga de movimiento vibratorio, en pocas palabras detecta todas las vibraciones de equipo y las convierte en una señal eléctrica permitiendo medir un rango de frecuencias objetivas.

Existen multitudes de sensores y transductores que responden a diferentes formas graficando la fuente de vibración, sensor de proximidad sensible al desplazamiento, sensor de velocidad sensible a la velocidad, sensor acelerómetro sensible a la aceleración.

Sensor de Proximidad: es un transductor de movimiento que permite tomar lectura desde un cojinete “chumacera” se instala en un costado y su operación está basada en un principio magnético y detecta las anomalías magnéticas en la flecha o rotor por lo que cual si esta magnetizada puede ocasionar perturbaciones la lectura, este sensor mide el desplazamiento relativo entre el rodamiento t el cojinete “chumacera” es muy utilizado en máquinas de gran tamaño y se usa para detectar fallas en los rodamientos logrando un mantenimiento a tiempo.

Sensor de Velocidad: es un transductor de movimiento que permite detectar la velocidad están hechos con una bobina móvil fuera de un imán estacionario, consiste un acelerómetro con un integrador electrónico incluido, el movimiento relativo entre el campo magnético y la bobina induce una corriente proporcional a la velocidad del movimiento, de esta manera la unidad produce una señal directamente proporcional a la velocidad de la vibración.

Tiene diferente impedancia de salida eléctrica relativamente baja que lo hace insensible a la inducción del ruido, y el problema es que la amortiguación en cualquier diseño practico es sensible a la temperatura y eso provoca que la respuesta de frecuencia y la respuesta de fase dependerán de la temperatura.

El sensor Acelerómetro: se puede considerar al acelerómetro piezoeléctrico como el transductor estándar para la vibración en máquinas, el sensor se compone de una masa sísmica está sujeta a una fuerza, se genera una carga eléctrica entre sus superficies hay muchas materias de este tipo cuarzo o materias piezoeléctricos sintéticos que dan buenos resultados y en algunos casos son capaz de trabajar a temperaturas altas. El rango de frecuencias del acelerómetro es muy ancho se extiende desde frecuencias muy bajas en algunas unidades hasta los kilohertzios.

La frecuencia de resonancia de un acelerómetro depende mucho del montaje el tipo de montaje el mejor tipo de montaje todo lo demás limita el rango de frecuencia efectivo de la unidad.

Cuando se coloca un acelerómetro es importante que la ruta de vibración desde la fuente hacia el acelerómetro sea la más corta posible especialmente si se está midiendo la vibración en rodamientos con elementos rodantes.

Acelerómetro MEMS: este tipo de acelerómetro es un sistema macro electromecánico para detectar la aceleración, su funcionamiento básico consiste el desplazamiento de una

pequeña masa de prueba montada sobre una superficie siliconada de un circuito integrado suspendido por pequeñas vigas. El desplazamiento de esta masa de prueba respecto a unos electrodos fijos produce una variación en la capacitancia del sensor logrando así una carga eléctrica o un voltaje proporcional a la aceleración.

Sensor de Temperatura °C: en la actualidad hay muchas formas de medir la temperatura con todo tipo de sensores de diversas naturalezas. Ahora el mercado puede disponer de sensores que les ayuden a controlar los cambios de temperatura en procesos industriales. Los sensores tienen un rango de temperatura correspondientes a los métodos más comunes de medición.

Las termocuplas tienen un rango de “-200 a 2800” °C.

Sistemas de dilatación bimetálicos tienen un rango de “-195 a 760” °C

Termorresistencias tienen un rango de “-250 a 850” °C

Termistores tienen un rango de “-195 a 450” °C

Pirómetros de radiación tienen un rango “-40 a 4000” °C

Termocuplas: son sensores de temperatura eléctricos más utilizados en la industria, funciona al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño del orden de los milivoltios el cual aumenta con la temperatura. Estos dispositivos pueden ir encapsulados para protegerlos las condiciones del proceso industrial que tratan de ayudar a controlar, pueden ser de acero inoxidable o aluminio los materiales empleados en la termocupla como el platino puro hacen que sea inviable económicamente extender la longitud de los materiales de medición de la termocupla para esto hay un esquema de compensado lo cual hacen que tengan polaridad de conexión y de ser errónea la conexión será imposible tener una medición correcta.

Las termocuplas también pueden clasificarse según el material de fabricación su tolerancia o desviación y la composición rango de temperaturas, diámetros de alambre apropiado y fuerzas electromotrices correspondientes a distintas termocuplas.

Termistores: son sensores mucho más económicos, aunque no son lineales son mucho más sensibles compuestos de una mezcla sintética con óxidos metálicos, el termistor es esencialmente un semiconductor que se comporta como un resistor térmico, se pueden encontrar en el mercado con NTC (Negativa Temperatura Coeficiente) y PTC (Positiva temperatura coeficiente).

Los termistores sirven para la medición o detención de temperatura tanto en gases, como en líquidos o sólidos normalmente montados en sondas alojamientos especiales que pueden ser específicamente diseñados para posicionarlos y protegerlos adecuadamente cualquiera sea el medio donde tengan que trabajar.

Termorresistencia: la termo resistencia trabaja según el principio de que varía la temperatura, su resistencia se modifica y la magnitud puede relacionarse con la variación de temperatura. Tienen elementos sensitivos basados en conductores metálicos que cambian su resistencia eléctrica en función de la temperatura se puede medir con un circuito eléctrico que consiste en un elemento sensitivo su uso más común se fabrican de alambres finos soportados por un material aislante y luego encapsulados.

Sensor de Temperatura LM35: Él puede medir temperaturas entre -55°C y 150°C su salida es lineal y tiene una ganancia de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ para medir temperaturas en todo el rango el montaje necesita una fuente de alimentación simétrica. Una de las ventajas del sensor es que no requiere de los circuitos adicionales para calibrarlo además es extremadamente la baja impedancia de salida es lineal y precisa la calibración hace posible que este integrado sea

instalado fácilmente. Este sensor comprueba la temperatura puede ser de un líquido refrigerante encargado de absorber el calor del motor para que funcione correctamente.

Diseño y Arquitectura de un Sistema de Monitoreo de Vibraciones y Temperatura

Para el desarrollo de este trabajo se lleva a cabo en una industria textil, donde se han identificado problemas recurrentes en un motor trifásico de inducción de 55 kW. Este motor es crucial para la producción, y su monitoreo constante es necesario para prevenir fallas que puedan generar pérdidas significativas debido a paradas inesperadas.

El motor seleccionado opera bajo cargas controladas del 25%, 50%, 70% y 100% de su capacidad nominal y experimenta cambios bruscos de velocidad, lo que lo hace susceptible a fallas como desbalanceo, desalineación y problemas de rodamientos.

Para las mediciones en el sistema son usados por cada uno de los insumos seleccionados en la sección anterior como el sensor de temperatura y vibración los sistemas de procesamiento entre otros, y considerando que la distancia de 50 metros aproximadamente con la estación receptora ubicada en el cuarto de control y monitoreo, se presenta la siguiente arquitectura de conexión donde el sensor está conectado a un a un emisor que envía toda la información por medio de dos dispositivos XBEE que transmite la información y está configurado de forma AT “punto a punto”, los dispositivos fueron programados con el software de XCTU para activarlos y asignar su función.

Es por esto por lo que para dar respuesta a estos requerimientos es necesario contar con sistemas como:

Figura 7

Topología Utilizada en el Diseño de la Red Inalámbrica



Nota. Muestra el funcionamiento gráfico de una red inalámbrica.

Los módulos XBee3 de Digi actúan como emisores y receptores para comunicación inalámbrica usando ZigBee o BLE en 2.4 GHz, enviando y recibiendo datos seriales entre dispositivos como Arduino o PC tras configurarlos con el mismo PAN ID y canal via XCTU, asignando roles (Coordinador/End Device) y direcciones.

Herramientas y software para el análisis de vibración

Para la correcta operación del sistema se hará uso de:

- **Arduino ID:** es una plataforma de desarrollo para programar microcontroladores y es muy útil para proyectos de monitoreo con tarjetas de desarrollo libre permiten ajustarse a lo que desee el programador.
- **software XCTU de DIGI:** la marca DIGI ofrece una amplia gama de productos que permitirán el desarrollo de diferentes proyectos, Es un software es utilizado para configurar dispositivos de comunicación inalámbrica como lo son las Xbee3 y diferentes dispositivos.
- **Raspberry pi:** se puede decir que es una computadora de bajo costo utilizada en proyectos de IoT para almacenar y procesar todos los datos obtenidos por el actual proyecto.
- **Python:** es un lenguaje de programación ampliamente utilizado para el análisis de datos y procesamiento de señales.

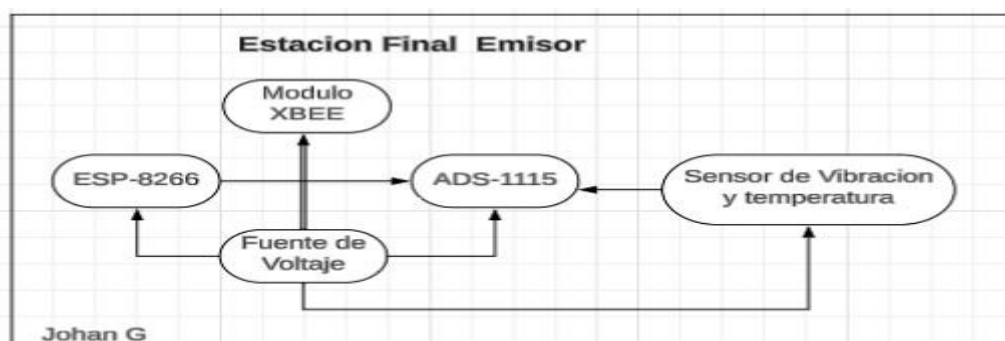
- ThingSpeak: es una Plataforma IoT para almacenar y visualizar datos en tiempo real.
- Gmail: es utilizado para las notificaciones de alerta o envío para mantenimientos

programados por el dispositivo.

Al brindar más detalles a la arquitectura presentada anteriormente, se presenta a continuación el diagrama de estación final del emisor:

Figura 8

Diagrama General de la Estación Final Emisor



Nota. Muestra el diagrama de estación final emisor.

La estación final emisor, está ubicada en el proceso de medición. Está compuesto por un sensor de Temperatura y vibración, de modelo CWT-TVS-1A -1600-M-I tiene una frecuencia de medición de vibraciones que va desde 10-1600Hz con una salida de 4-20 miliamperios la medición de temperatura tiene un rango de operación de -40°C a 80°C también con una salida de 4-20 miliamperios, tiene una alimentación variable que va desde los 10-30 VDC. Tiene una protección con IP67 donde le permitirá estar en ambientes hostiles donde se encuentra los equipos tiene una base magnética que permitirá adherirse en el motor con mayor facilidad. Para la selección del sensor de vibraciones se usó una matriz de pugh la cual se puede apreciar en el Apéndice C.

Figura 9

Sensor de Temperatura y Vibraciones

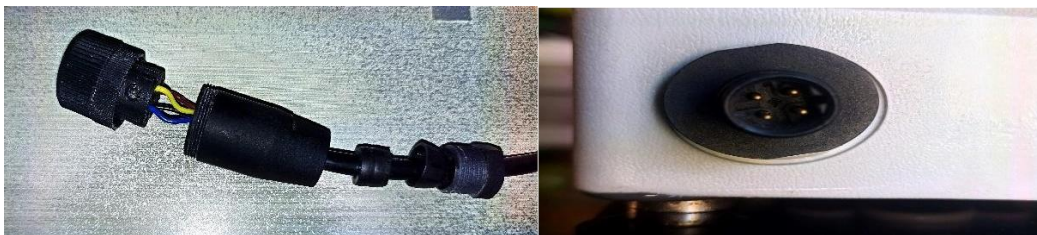


Nota. Sensor magnético para medir la temperatura y las vibraciones.

El sensor está conectado por medio de un conector M12 que de acuerdo con sus características permitirá la conexión y desconexión del sensor de manera rápida, además cuenta con cuatro pines que están enumerados para su fácil conexión y están diseñados para uso industrial.

Figura 10

Conectores del Sensor Para la Desconexión Rápida



Nota. Conector rápido de cuatro pines para facilitar el traslado.

Los conectores permitirán la alimentación del sensor desde una fuente con baterías lo que permitirá que la estación del emisor funcione correctamente. El sistema de alimentación cuenta con un BMS (battery Management System) del cual gestiona las baterías que monitorea y protege el funcionamiento de estas para evitar sobrecargas en el sistema, lo que permite una operación de forma segura. Las funciones especiales del BMS es cortar la carga o descarga si el voltaje, corriente o temperatura supera los límites, el balanceo de cada una de las celdas para

tener un mayor control y eficiencia de las baterías, también monitorea en tiempo real las baterías y ayudan con la gestión de carga y descarga de las baterías para aumentar la seguridad. Se están utilizando celdas INR18650 de 3.7 voltios y 2200mah estas baterías son de litio (li-ion) lo que permitirá una mayor eficiencia de la estación.

Figura 11

Fuente de Alimentación de la Estación Final Emisor



Nota. Regulador de carga de las baterías.

Para analizar la fuente de alimentación el voltaje de las Baterías se debe tener en cuenta en diferentes estados de carga como baterías completamente cargadas y batería descargada para tener un mejor control:

Tipo de batería: Li-ion INR 18650

Voltaje nominal: 3.7 voltios por celda

Voltaje completamente cargado: 4.2 Voltios por celda

Voltaje descargado (seguro): 3.0 Voltios por celda.

La configuración del BMS-4S se comporta en serie para poder alimentar está dentro del rango.

Batería totalmente cargada: $4.2 \text{ Voltios} * 4 \text{ baterias} = 16.8 \text{ Voltios}$

Batería nominal (50 % carga aproximada): $3.7 \text{ Voltios} * 4 \text{ baterias} = 14.8 \text{ Voltios}$

Baterías descargadas (seguro): $3.0 \text{ Voltios} * 4 \text{ baterias} = 12.0 \text{ Voltios}$

La corriente de las Baterías es de 2200mAh (2.2Ah) al estar conectadas en serie la corriente es la misma según la ley de ohm.

El ADS1115 es un conversor ADC (analógico a digital) de 16 bit puede medir voltajes dependiendo la configuración. Tiene cuatro canales de entrada en los que dos estarán registrando los datos de los sensores, su alimentación va desde los 2 voltios a 5.5 voltios, y tiene una interfaz de comunicación de I2C. Este conversor análogo digital será usado para la lectura de señales de el sensor, el sensor tiene una salida de corriente es necesario usar una resistencia de 240 ohm para condicionar la señal del sensor así:

El sensor tiene dos salidas de corriente en el rango de 4-20mA, y esta corriente pasa por una resistencia de 240 ohm generando un voltaje según la ley de ohm.

$$V_{\text{voltaje}} = I_{\text{corriente}} * R_{\text{resistencia}}$$

Con esto se determinan los rangos mínimos y máximos de las señales entregadas.

Cuando el sensor entrega 4 mA (mínimo)

$$V_{\text{mini}} = 4 \text{ mA} * 240 \Omega$$

$$V_{\text{mini}} = 0.96 \text{ V}$$

Cuando el sensor entrega 20 mA (mínimo)

$$V_{\text{mini}} = 20 \text{ mA} * 240 \Omega$$

$$V_{\text{mini}} = 4.8 \text{ V}$$

Con esto determinaremos los rangos que nos entregaran el sensor de vibración y temperatura que va de 0.96V a 4.8V.

Tomamos la señal análoga y la convertimos en digital. El ADS1115 tiene una resolución de 16 bits y su conversión depende del voltaje seleccionado en este el rango va de $\pm 6.144\text{V}$.

$$\text{Paso ADC} = \frac{2 * 6.144V}{2^{16}} = 0.0001875V$$

Figura 12

Convertidor ADC1115



Nota. Conversor de análogo a digital ADC1115.

El conversor ADC envía estos datos por medio de una interfaz de comunicación I2C donde un controlador ESP-8266 interpretara las señales por I2C, los procesara y los enviara por UART.

El esp8266 es un controlador utilizado en proyectos de IoT y automatización y control remoto, tiene diferentes entradas y salidas (GPIOs) tiene control de comunicaciones I2C, SPI, UART. Tiene un bajo consumo de energía y se puede programar de forma fácil.

En este proyecto se utiliza para convertir las señales de I2C generadas por el ADC a UART.

Figura 13

ESP-8266

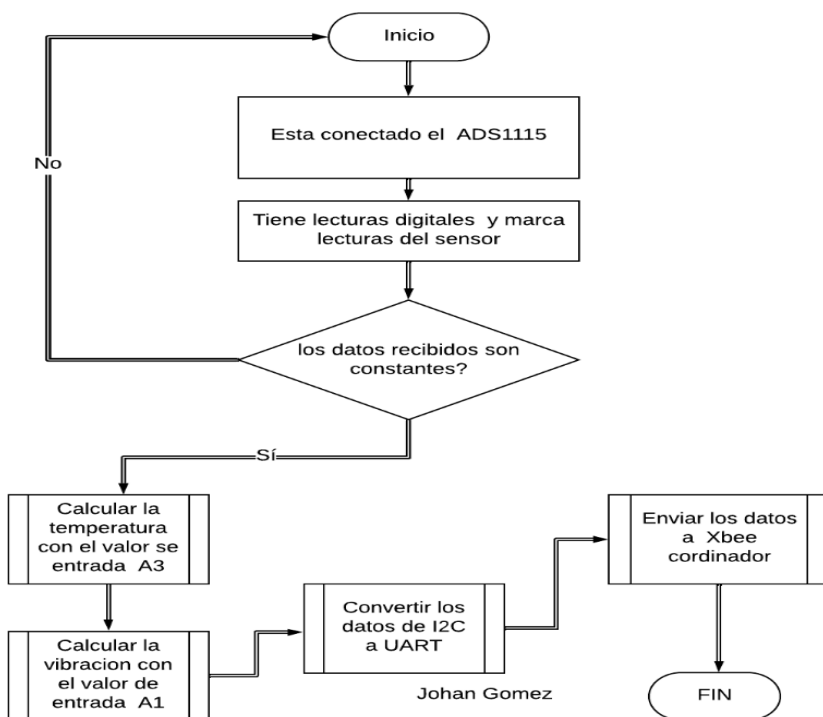


Nota. Controlador usado en automatización y control.

El esp8266 ejecuta un código donde toma la comunicación I2C entregada por el ADC conversor análogo digital y lo procesa convirtiéndolo en una señal UART para que el XBee3 lo pueda enviar a la estación receptora.

Figura 14

Diagrama de Flujo del Sensor



Nota. Diagrama de flujo del funcionamiento del sensor.

De acuerdo con la figura anterior la estación final emisor utiliza un ADS1115 para leer señales de vibración y temperatura, donde convierte las señales a valores físicos utilizables. El código inicia una comunicación serial para monitorear los datos recibidos, se inicia el ADS1115 e intenta conectar. Si falla el programa se detiene además se debe configurar la ganancia anteriormente explicada, lo que permitirá medir señales en los rangos establecidos, cada segundo el código toma lectura del ADC en los canales A1 (vibración) y A3 (Temperatura).

Se hace la conversión del ADC a voltaje, luego se hace la conversión de voltaje a corriente la cual se calcula usando la ley de ohm. Recordando que tenemos una resistencia de

240 ohm, adicionalmente se realiza la conversión a magnitudes físicas, donde la vibración se expresa en milímetros sobre segundo (mm/s) y la temperatura se expresa en grados centígrados (°C) luego se imprimen los datos, luego espera 1 segundo para repetir el proceso.

El Xbee3 es un controlador fabricado por DIGI que utiliza un protocolo Zigbee es ideal para sensores IoT y transmisión de datos de baja potencia en distancias media largas tiene un largo alcance y puede trabajar en ambientes industriales tiene un voltaje de operación de 3.3 voltios y una interfaz de comunicación UART (3.3, voltios) para su configuración es necesario utilizar la aplicación XCTU donde se le agregara los datos de trabajo y como un Xbee remoto AT. Este cumple la función de tomar los datos que toma del esp8266 y los envía al coordinador. El código completo, con mayor exactitud, se encuentra en el Apéndice A. Si se desea comprobar el funcionamiento o el orden de ejecución del algoritmo, se puede revisar el Apéndice.

Figura 15

Xbee3 Final

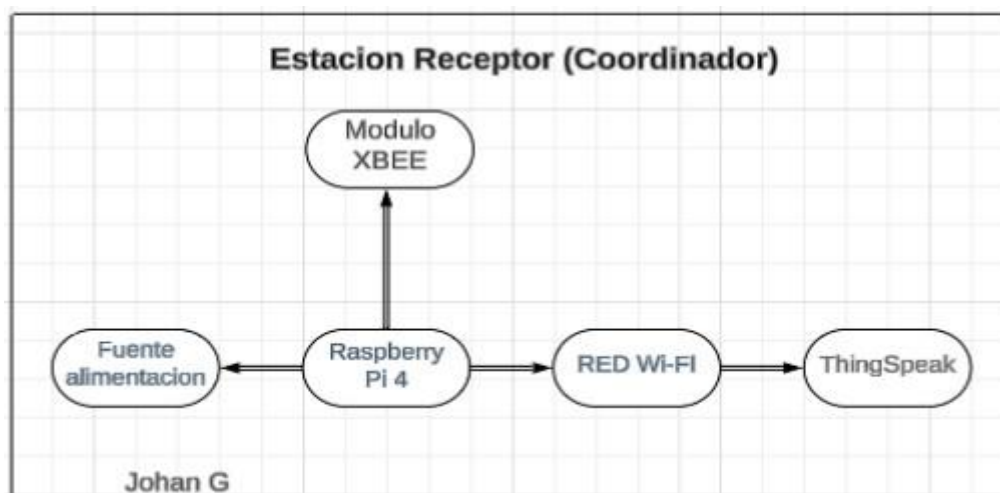


Nota. Controlador usado para la transmisión de datos.

Figura 16*Estación Final Emisor*

Nota. Estación final emisor inalámbrica para transmitir los datos del sensor.

Se presenta a continuación el diagrama de la estación final del receptor:

Figura 17*Diagrama General de la Estación Final Receptor*

Nota. Diagrama general para la recepción de datos transmitidos por el sensor.

Figura 18*Estación Final Receptor*

Nota. Estación final procesamiento de datos recibidos por el sensor.

La estación final receptor es la encargada de recibir los datos enviados por el emisor y procesarlos para realizar un determinado análisis en pro del mejorar en el mantenimiento. Esta en una sala de control permitiendo su seguridad y analizando los datos. El Xbee3 coordinador toma los datos recibidos de modo AT con el final y los entrega por medio de UART se alimenta de la Raspberry pi4 tomando un voltaje de 3.3 Volt.

Figura 19*Xbee3 Coordinador*

Nota. Controlador encargado de recibir los datos coordinador.

Figura 20*Raspberry pi4 Coordinador*

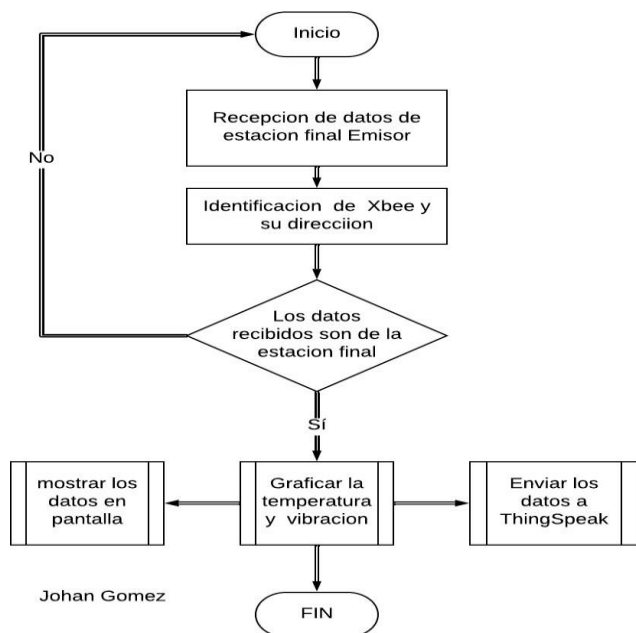
Nota. La Raspberry pi 4 toma los datos entregados por la Xbee3.

La Raspberry pi 4 toma los datos entregados por la Xbee3 y los procesa de la siguiente manera: La Xbee3 usa comunicación UART con la tarjeta de Raspberry donde al conectarlo directamente a los pines de GPIO se hace más fácil la comunicación con configuraciones adecuadas para el procesamiento de las señales. Se crea y ejecuta un código Python donde la Raspberry podrá recibir, graficar los datos registrados por el sensor.

El código es creado y ejecutado tomando los datos recibidos, donde se crean gráficos a partir de estos donde nos mostraran el estado actual y real del motor, estos datos también son enviados por medio de WI-FI a ThingSpeak.

Figura 21

Diagrama de Flujo de Estación Coordinador



Nota. Diagrama de flujo para un sistema de adquisición de datos.

De acuerdo con el diagrama anterior, el Código Python es un sistema de adquisición de datos en tiempo real que lee los datos del puerto serial del módulo Xbee3, mostrando gráficos con Matplotlib. Y enviando datos a ThingSpeak para su almacenamiento en la nube.

Usa funciones donde puede hacer tareas al mismo tiempo como la visualización y la lectura de datos.

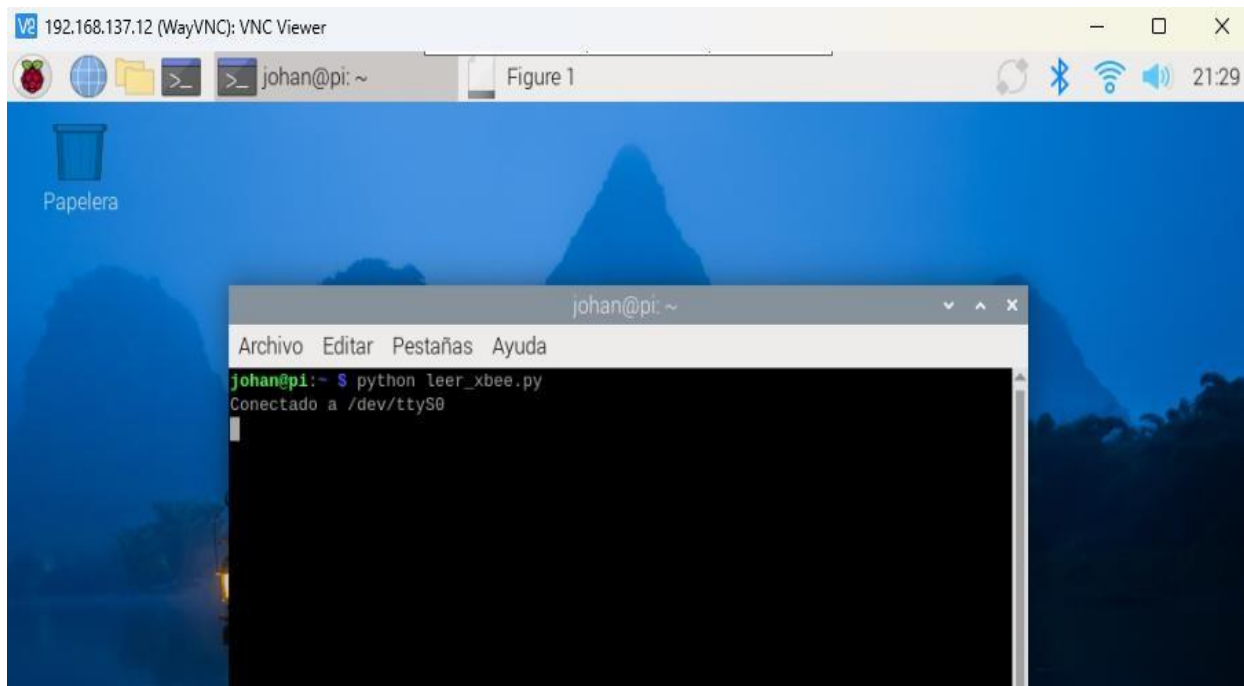
El Código inicia con la importación de librerías para el manejo del puerto serie (lectura de datos) y una vez inicia el puerto serie se crean las figura s que representaran los datos de vibración en (mm/s) y temperatura (°C). Los datos recopilados se van actualizando en tiempo real de acuerdo con la escala de los valores. Se establece la configuración con la nube donde se enviarán los datos cada 15 segundos mostrando el estado actual del equipo, donde usara una

función de solicitud y se verificara si los datos fueron enviados correctamente para comprobar el estado de la transmisión. El abre el puerto serie y comienza a leer los datos, lee una línea completa desde el módulo de Xbee3 y busca las palabras Vibración y Temperatura, para string recibido extrae los datos numéricos y los convierte en valores flotantes para guardarlos en dos listas y graficarlos eliminando puntos anteriores para no saturar la memoria. Si han pasado 15 segundos del último envió el vuelve a enviar los datos.

El código completo, con mayor exactitud, se encuentra en el Apéndice B. Si se desea comprobar el funcionamiento o el orden de ejecución del algoritmo, se puede revisar el Apéndice.

Figura 22

Código de Python en Ejecución

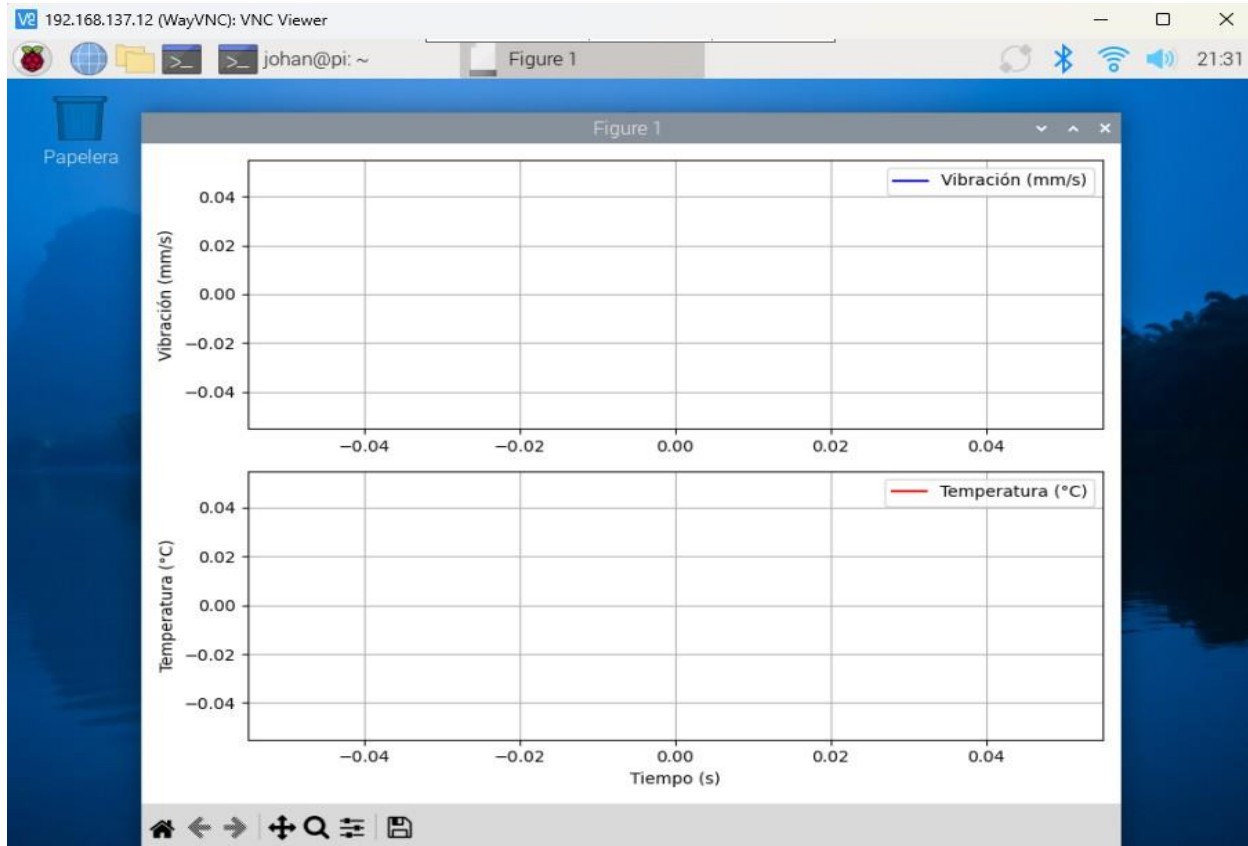


The image shows a screenshot of a Raspberry Pi desktop environment accessed via VNC. The window title is '192.168.137.12 (WayVNC): VNC Viewer'. The desktop background is a blue night scene with mountains. A terminal window titled 'johan@pi: ~' is open, displaying the command 'python leer_xbee.py' and the output 'Conectado a /dev/ttyS0'. The terminal window has a menu bar with 'Archivo', 'Editar', 'Pestañas', and 'Ayuda'. The system tray at the top right shows icons for Bluetooth, Wi-Fi, and a speaker, along with the time '21:29'. A trash icon labeled 'Papelera' is visible on the desktop.

Nota. Código en ejecución en la Raspberry pi.

Figura 23

Graficas generadas por Python



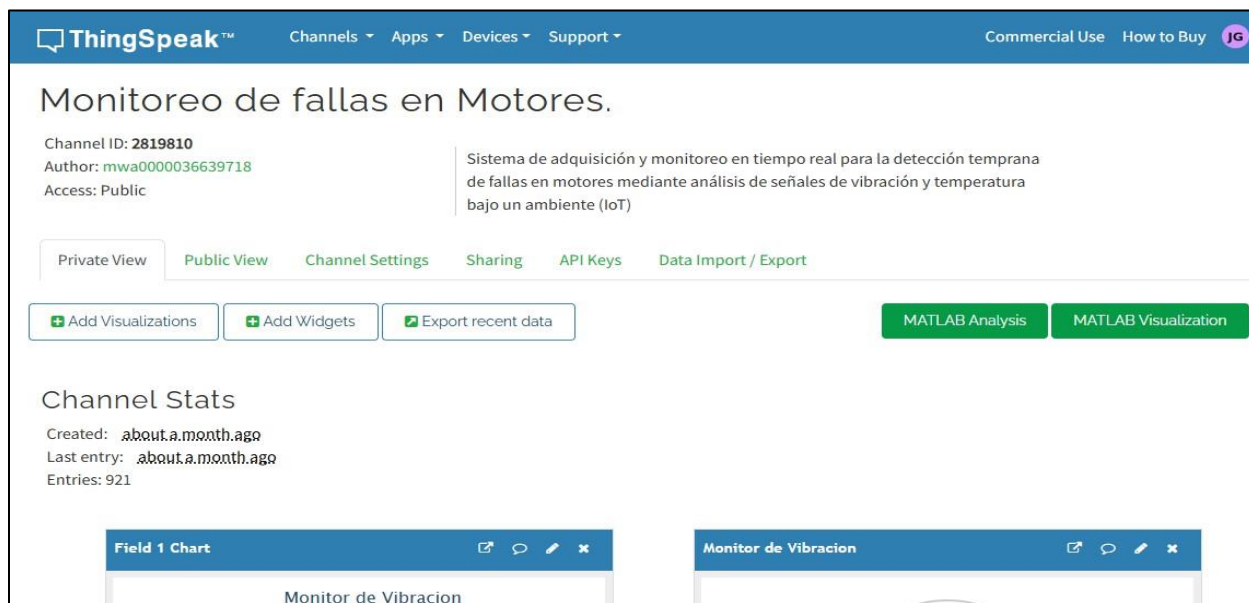
Nota. Código en ejecución en la Raspberry pi.

ThingSpeak es una plataforma en la nube que permite recopilar analizar y visualizar datos en tiempo real desde dispositivos IoT (Internet de las cosas). Es desarrollada por MathWorks la misma empresa que desarrollo Matlab y permite el acceso a dispositivos como Raspberry pi para enviar datos a la nube y visualizar graficas sin necesidad de servidores propios.

Se usa principalmente para aplicaciones de monitoreo remoto y análisis de datos IoT donde podemos tomar el sensor de vibración y temperatura para graficar datos tomados.

Figura 24

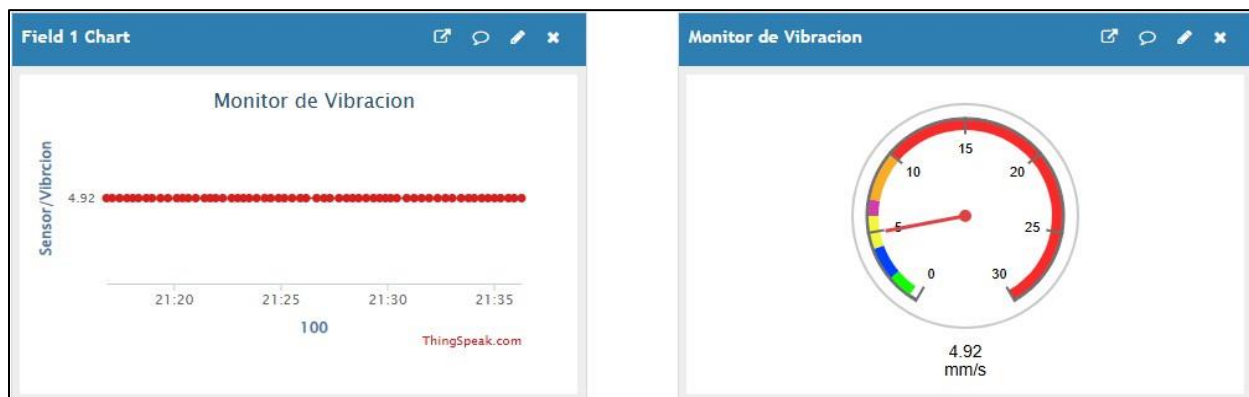
Plataforma ThingSpeak donde se Almacenan los Datos Recopilados



Nota. Es una página web donde almacenan los datos de ThingSpeak.

Figura 25

Datos de vibración recopilados en ThingSpeak



Nota. Representación de los datos de vibración recopilados del sensor en ThingSpeak.

Figura 26

Datos de Temperatura recopilados en ThingSpeak



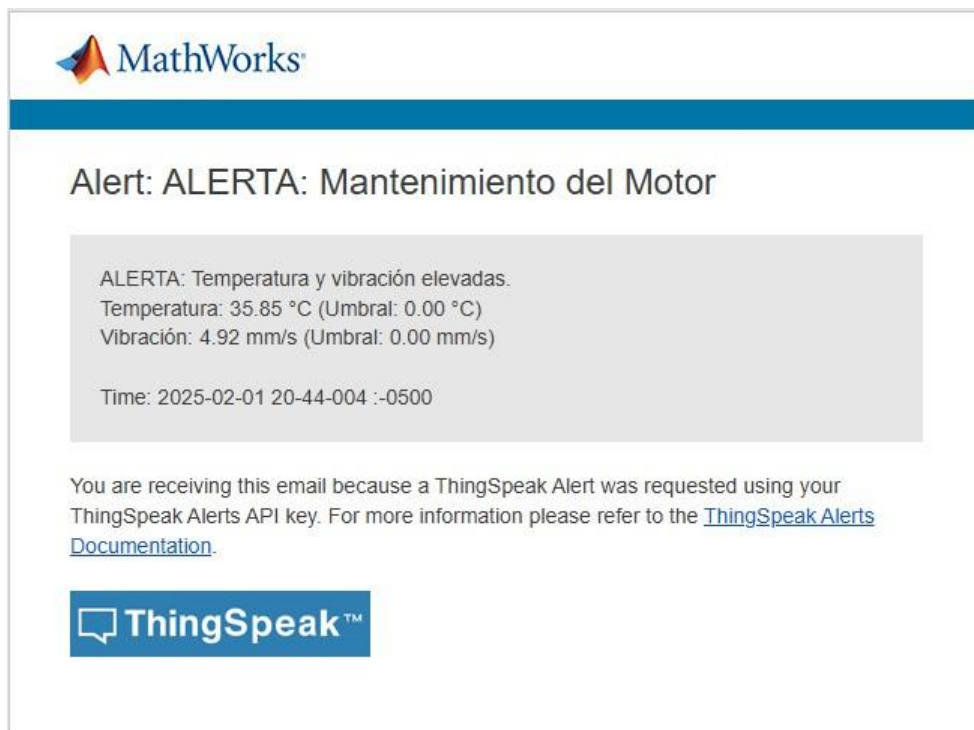
Nota. Representación de los datos de temperatura recopilados del sensor en ThingSpeak.

Este código desarrollado en Matlab que se enfoca en el análisis de los datos se encarga de monitorear los datos de vibración y temperatura de un motor de ThingSpeak, enviar alertas si los valores superan un umbral. El Código analiza el ID del canal donde están recopilándose los datos, e inicia la lectura de los datos almacenados en el último día donde en las figuras anteriores podemos ver que son los datos de alimentación para el análisis. El código procede a hacer un análisis y verificación de datos que no estén vacíos antes de procesarlos y utiliza el último dato registrado de cada variable donde de acuerdo con unos umbrales configurados establecen los límites de seguridad del equipo. Si alguna medición excede el umbral se genera una alerta y se construye un mensaje de alerta dinámico dependiendo de que valores están fuera del rango permitido. Envía un mensaje de alerta a el correo electrónico.

El código completo, con mayor exactitud, se encuentra en el Apéndice C. Si se desea comprobar el funcionamiento o el orden de ejecución del algoritmo, se puede revisar el Apéndice.

Figura 27

Correo Electrónico de Alerta de MATLAB Análisis ThingSpeak



Nota. Correo electrónico de alerta se muestran los datos en tiempo de falla.

Integración del Sistema de Monitoreo

Dos aspectos clave en este proceso son el análisis de vibraciones y el comportamiento de la temperatura los cuales proporcionan información valiosa para la detención temprana de irregularidades y la realización de mantenimientos.

El análisis de vibraciones permite observar cambios en el comportamiento operativo de los equipos estandarizando patrones que facilitan la identificación de los incrementos en los niveles de ruido y vibración.

El análisis de temperatura es un indicativo crítico del estado de los equipos, variaciones anormales en la temperatura pueden ser síntoma de problemas como falta de lubricación, sobrecargas en el sistema, fricción excesiva o desalineación del motor.

Este análisis se presentan los resultados obtenidos a partir del monitoreo de dos variables con el objetivo de identificar posibles riesgos y proponer recomendaciones para mantener la operatividad de los equipos.

La investigación se lleva a cabo en un motor trifásico de inducción de 55 kW que esta conectado con un variador de frecuencia, genera tracción a un sistema de poleas y bandas encargado de girar a altas revoluciones.

Tabla 1

Datos técnicos del motor

ELECTRITEX					
3~MOT 14BP 223 – 4FA90 – Z 225M			UC1010/075942		
VOLTAJE	Hz	A	kW	$\cos \varphi$	RPM
380 Δ	85	104	55	0.86	2525
IEC/EN 60034		IC 418		WEIGHT 300kg	
	FROMDKUEHL/SEP COOLING >0.36mm				

Nota: La tabla muestra los datos del motor asíncrono.

Figura 28

Motor de 55 KW en Máquina



Nota. Motor ubicado en la maquina industrial.

El motor está ubicado en la maquina donde el sistema de refrigeración es generado por un sistema de succión.

El sensor seleccionado sensor de Temperatura y vibración, de modelo CWT-TVS-1A - 1600-M-I este sensor tiene las siguientes características que nos proporciona el fabricante.

Tabla 2

Datos técnicos del Sensor de Vibración Y Temperatura

Fuente de alimentación	10-30 V DC
Clase de protección	IP67
Rango de frecuencia (HZ)	10-1600
Dirección de medición de vibraciones	1 eje
Entorno de trabajo	-40 °C ~+80 °C, 0 % HR ~ 80 % HR
Rango de medición de la velocidad de vibración (mm/s)	0-50
Precisión de la medición de la velocidad de vibración (mm/s)	±1,5 % de la escala completa (a 1 kHz, 10 mm/s)
Resolución de visualización de la velocidad de vibración (mm/s)	0.1
Rango de medición de temperatura de la superficie (°C)	-40~+80
Resolución de visualización de temperatura (°C)	0.1
Salida de señal	4-20 mA
Ciclo de detección	tiempo real

Nota. La tabla muestra los parámetros más relevantes del sensor. Tomada de (ComWinTop,

2025)

La carcasa es de acero inoxidable done esta roscada para un anclaje magnético donde se elimina la necesidad de perforar agujeros y facilita la instalación, este sensor tiene un chip MEMS de alto rendimiento que incorpora una tecnología donde ofrece un bajo consumo de energía, dónde du alimentación es de un amplio voltaje. Puede medir parámetros como la velocidad de vibración de un solo eje y desplazamiento de vibración además se puede medir la temperatura de la superficie del motor.

Figura 29

Sensor de Vibración y Temperatura en el Motor



Nota. Sensor de vibración y temperatura instalado en el motor.

La base del sensor es el encargado de resguardar el control del sensor permitiendo el funcionamiento adecuado, tiene imanes que permiten que se puedan adherir a la base de la máquina para mayor seguridad, cuenta con una caja de IP67 donde resguardara adecuadamente.

Figura 30

Caja Donde se Almacenado Todos los Elementos



Nota. Estación final emisor donde se recopilan y envían los datos.

Según la norma ISO2372 equipamiento estándar de vibración el sensor puede detectar la velocidad de vibración de tres ejes en el rango de 0-50 mm/s y el desplazamiento de vibración de tres ejes en el rango de 0-5000 mm, lo cual es adecuado para pruebas de vibración y reducción de emisión de fallas.

Figura 31

Figura de Eje del Motor



Nota. El tamaño de la polea puede ser un factor importante para la lectura de vibraciones.

Figura 32*Norma ISO 2372*

Vibration range	ISO2372 equipment vibration standard			
	Device Category			
Unit (mm/s)	Class I	Class II	Class III	Class IV
0.71	A	A	A	A
1.12	B	A	A	A
1.8	B	B	A	A
2.8	C	B	B	A
4.5	C	C	B	B
7.1	D	C	C	B
11.2	D	D	C	C
18	D	D	D	C
28	D	D	D	D

Class I	Small equipment under 15KW	A:	Good
Class II	15-75KW medium equipment	B:	Acceptable
Class III	Large hardware-based equipment	C:	Pay attention
Class IV	Equipment with rotating speed higher than natural frequency	D:	Unacceptable

Nota. Estándar de regulaciones para el nivel de vibraciones. Tomado de. (ComWinTop, 2025)

Validación del Funcionamiento del Sistema en un Entorno Controlado Mediante Pruebas de Operación del Sistema Embebido

Durante la investigación, se implementó un sistema IoT que utilizó sensores de vibración y temperatura instalados en un motor industrial de 55 kW en un entorno textil. Los datos se recopilaron durante un período de cinco días, empleando un prototipo desarrollado específicamente para la detección temprana de fallas.

Para una mejor visualización, se analizaron las figuras que muestran el comportamiento del motor en las dos variables registradas. Los parámetros específicos de los sensores revelaron que el motor exhibió vibraciones excesivas, registrando picos de 24 mm/s RMS, mientras que la temperatura se mantuvo estable en un rango de 39 °C. Estos resultados indican un comportamiento anormal en comparación con la norma ISO 2372, lo que sugiere la presencia de una falla potencial en el motor.

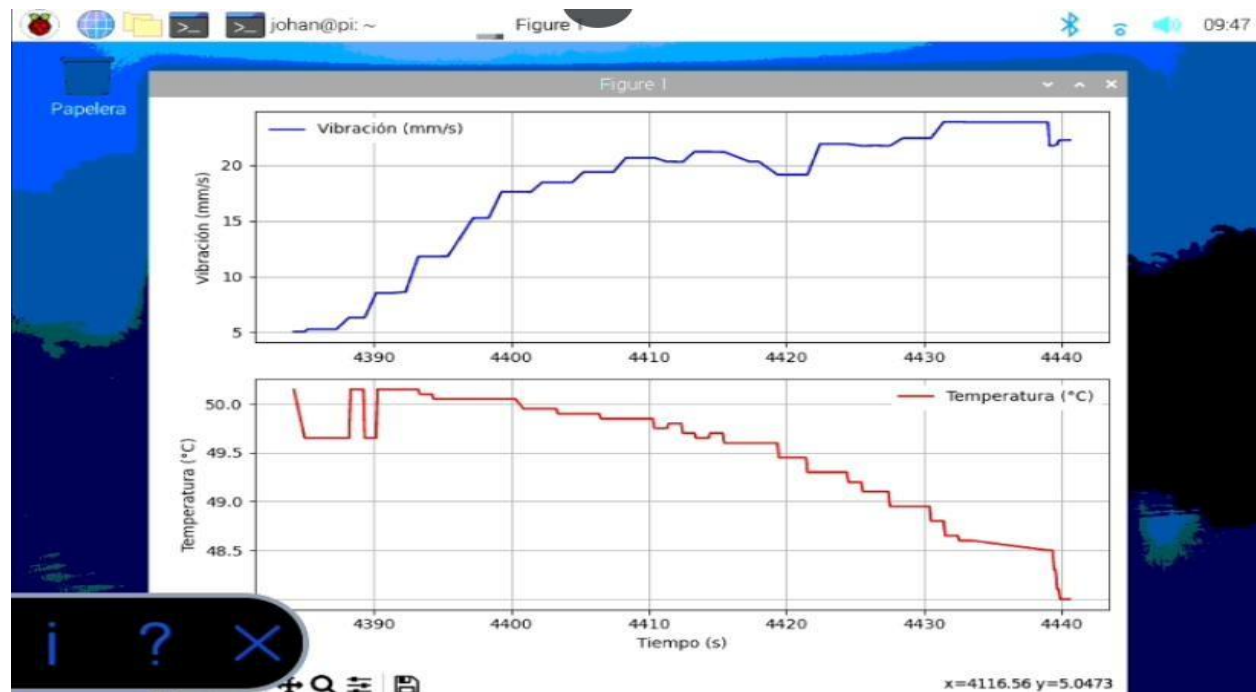
Es importante destacar que estas mediciones permiten evaluar el estado actual del motor, lo que es crucial para prevenir fallas en momentos no esperados. De acuerdo con los datos registrados, el comportamiento anómalo del motor podría corregirse mediante mantenimientos preventivos, evitando fallas más costosas que requerirían mayor tiempo, más recursos y posiblemente más personal.

A continuación, se presentan las diferentes figuras analizadas. Algunas de ellas se generan con Python en una Raspberry Pi para visualizar en tiempo real el funcionamiento del motor. Debido a la limitación de espacio en la memoria, no se almacenan localmente, por lo que se opta por utilizar ThingSpeak para su gestión y visualización.

Análisis durante el arranque del motor

Figura 33

Grafica Python en el Arranque del Motor



Nota. Se muestra una representación grafica de las variables en el inicio del motor.

En la figura de vibración la línea azul representa las mediciones de vibración en mm/s a lo largo del tiempo (eje x, en segundos, desde 4390 hasta 4440). Se observa un aumento gradual desde aproximadamente 5 mm/s en los 4390 segundos hasta un valor estable de alrededor de 20 mm/s entre los 4420 y 4440 segundos. Este patrón indica un incremento típico durante el arranque, asociado al esfuerzo mecánico inicial.

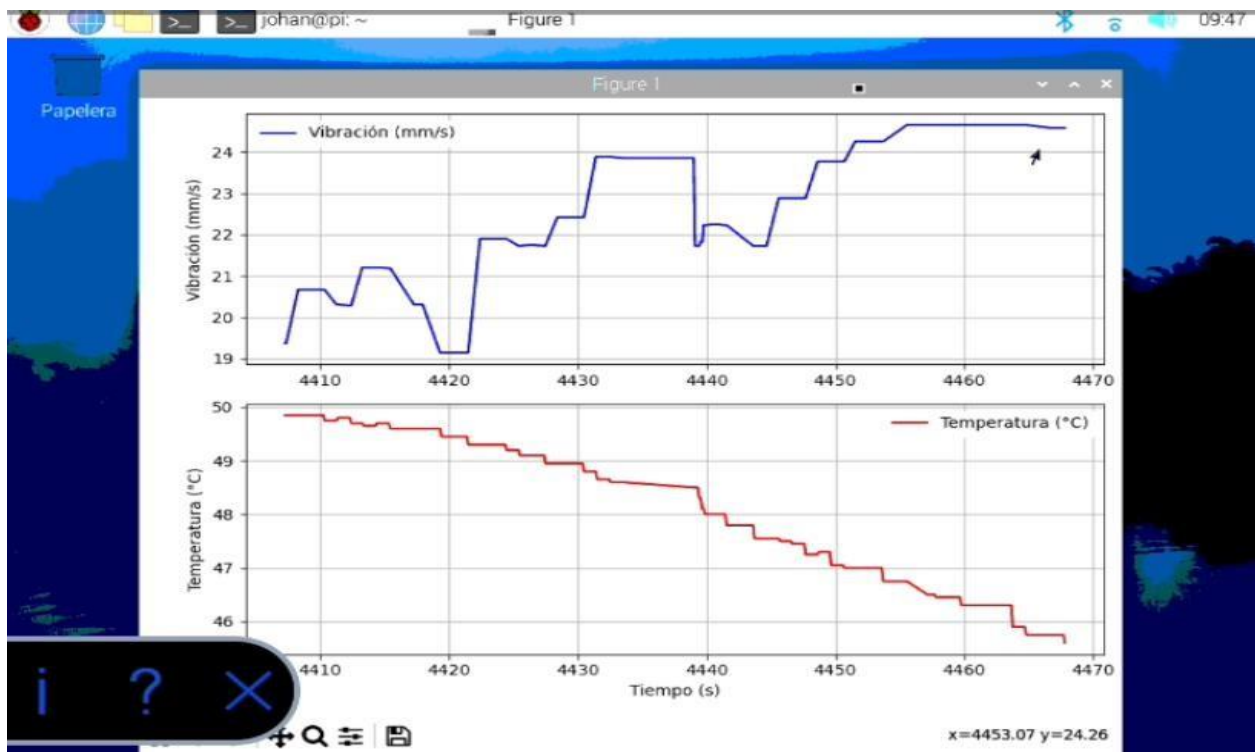
En la figura de temperatura: La línea roja muestra las variaciones de temperatura en °C durante el mismo intervalo de tiempo. La temperatura inicia en 49.5 °C en los 4390 segundos, presenta picos intermitentes alrededor de 49.0 °C entre 4390 y 4410 segundos, y luego desciende de manera constante hasta estabilizarse en aproximadamente 48.5 °C hacia los 4440 segundos.

Este descenso se explica por la activación del ventilador, que regula el calor generado. La figura captura el comportamiento del motor durante el arranque, destacando la interacción entre las vibraciones iniciales y la gestión térmica. Los datos reflejan un funcionamiento dentro de parámetros normales.

Análisis de Estabilización del Arranque del Motor

Figura 34

Grafica de Python Estabilización del Arranque



Nota. Se muestra una representación gráfica de las variables en estabilidad del motor.

La figura de vibración la línea azul representa las mediciones de vibración en mm/s a lo largo del tiempo (eje x, en segundos, desde 4410 hasta 4470). La vibración inicia en aproximadamente 19 mm/s en los 4410 segundos, muestra un incremento progresivo con un pico de 24 mm/s alrededor de los 4440 segundos, y luego fluctúa entre 22 y 23 mm/s hasta

estabilizarse cerca de 4470 segundos. Este patrón indica ajustes mecánicos tras el arranque, dentro de límites operativos normales. En la figura de temperatura la línea roja muestra las variaciones de temperatura en °C durante el mismo intervalo de tiempo. La temperatura comienza en 50 °C en los 4410 segundos y desciende de manera constante hasta estabilizarse alrededor de 46 °C hacia los 4470 segundos. Este descenso gradual se explica por la acción continua del ventilador, que regula el calor residual.

La figura captura la fase de estabilización del motor tras el arranque, destacando la interacción entre las variaciones de vibración y la gestión térmica efectiva. Los datos reflejan un funcionamiento dentro de parámetros normales.

Análisis durante la operación constante del motor

Figura 35

Grafica de Python de Trabajo Constante



Nota. Se muestra una representación gráfica de las variables en el trabajo del motor.

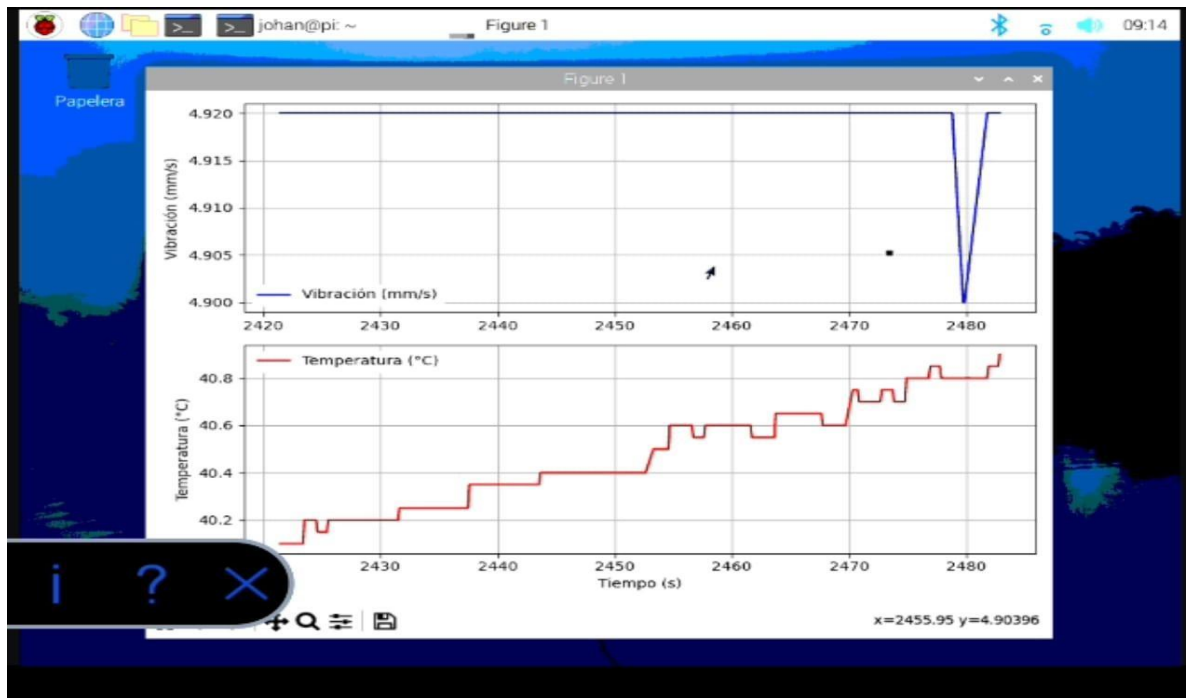
En la figura de vibración: La línea azul representa las mediciones de vibración en mm/s a lo largo del tiempo (eje x, en segundos, desde 7510 hasta 7560). Se observa una tendencia inicial estable alrededor de 20 mm/s, seguida de un pico pronunciado que alcanza aproximadamente 24 mm/s cerca de los 7530 segundos, con una disminución posterior, pero con fluctuaciones adicionales hasta los 7560 segundos. Este patrón sugiere una posible desalineación o desgaste mecánico donde se hace necesario programar un manteniendo adecuado.

En la figura de temperatura: La línea roja muestra las variaciones de temperatura en °C durante el mismo intervalo de tiempo. La temperatura se mantiene en un rango basal de 39.00 °C, con picos intermitentes que alcanzan 39.10 °C a 39.15 °C entre los 7530 y 7560 segundos. Estos incrementos son moderados y no indican un sobrecalentamiento significativo, lo que sugiere que el motor está recibiendo una refrigeración adecuada.

Análisis del motor en paro después del trabajo.

Figura 37

Grafica de Python Motor Apagado



Nota. Se muestra una representación gráfica de las variables en el motor apagado.

La figura de vibración la línea azul representa las mediciones de vibración en mm/s a lo largo del tiempo (eje x, en segundos, desde 2430 hasta 2480). La vibración inicia en aproximadamente 4.915 mm/s en los 2430 segundos, muestra una ligera disminución con fluctuaciones menores, y se estabiliza cerca de 4.900 mm/s hacia los 2480 segundos. Este patrón indica una reducción progresiva de la actividad mecánica durante la desaceleración.

La grafica de temperatura: La línea roja muestra las variaciones de temperatura en °C durante el mismo intervalo de tiempo. La temperatura comienza en 40.2 °C en los 2430 segundos, aumenta gradualmente con pequeños picos, y alcanza aproximadamente 40.8 °C en los 2480 segundos. Este incremento se explica por la ausencia de refrigeración, que permite la acumulación de calor.

La figura captura la fase de desaceleración del motor, destacando la interacción entre la disminución de vibraciones y el aumento de temperatura debido a la falta de enfriamiento. Los datos reflejan un funcionamiento dentro de parámetros operativos, aunque el incremento térmico sugiere la necesidad de monitoreo continuo.

Los datos obtenidos en las siguientes figuras fueron recolectados de forma simultánea con las figuras anteriores generadas en Python. Sabemos que el almacenamiento de las figuras generadas en Python consumiría un espacio considerable, estas no se guardan localmente. Entonces los datos se envían a la plataforma ThingSpeak, que permite monitorear, registrar y generar alertas en tiempo real. De esta forma facilita la visualización de la información y contribuye a la toma de decisiones a tiempo, garantizando una reacción eficiente de los datos en tiempo real.

Análisis de los Resultados de la Vibración en la Nube ThingSpeak.

Figura 38

Graficas en ThingSpeak donde se Observa la Vibración



Nota. Se muestra una representación gráfica de vibración en ThingSpeak.

La grafica de vibración la línea roja representa las mediciones de vibración en mm/s a lo largo del tiempo (eje x, en formato de hora, de 07:40 a 07:50). La vibración comienza en aproximadamente 12 mm/s, muestra un aumento con un pico de 18 mm/s alrededor de las 07:45, y luego desciende con fluctuaciones entre 14 y 16 mm/s hasta las 07:50. Este patrón sugiere variaciones operativas dentro de un período corto, posiblemente relacionado con cambios de carga o ajustes mecánicos.

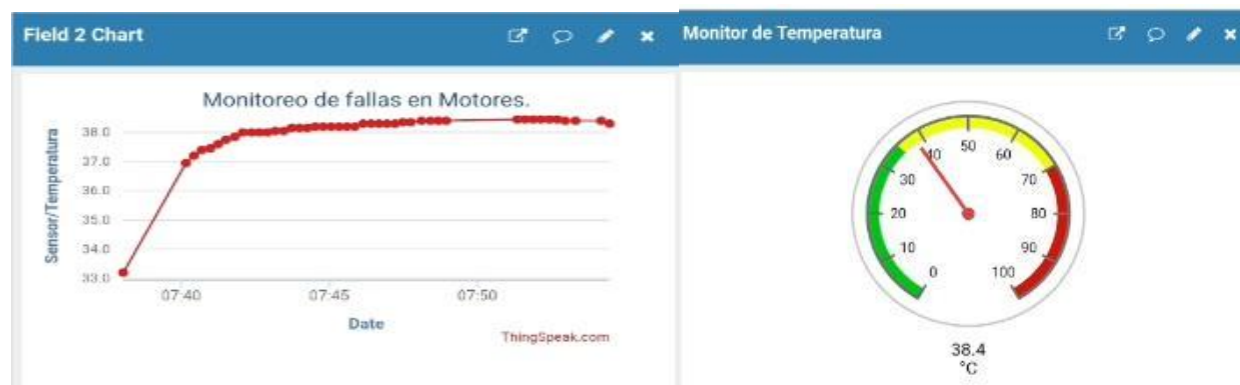
El medidor circular muestra el valor actual de vibración en mm/s, registrado a las 12:21, con una lectura de 15 mm/s. La escala va de 0 a 30 mm/s, con colores que indican rangos (verde para 0-10, amarillo para 10-20, rojo para 20-30), situando el valor actual en una zona amarilla, lo que podría indicar un estado intermedio que requiere atención.

Las figuras reflejan el monitoreo continuo del motor, con datos actualizados cada 15 segundos y almacenados a lo largo de semanas o meses. Esto permite un análisis a largo plazo de las tendencias de vibración, apoyando la detección temprana de fallas y la planificación de mantenimientos.

Análisis de los Resultados de la Temperatura en la Nube ThingSpeak.

Figura 39

Graficas en ThingSpeak donde se Observa la Temperatura



Nota. Se muestra una representación gráfica de temperatura en ThingSpeak.

La graficade temperatura la línea roja representa las mediciones de temperatura en °C a lo largo del tiempo (eje x, en formato de hora, de 07:40 a 07:50). La temperatura comienza en aproximadamente 33 °C, muestra un aumento constante con pequeñas fluctuaciones, y alcanza cerca de 38 °C hacia las 07:50. Este patrón sugiere un incremento térmico asociado a la operación del motor, posiblemente debido a la ausencia de enfriamiento activo o a una carga sostenida.

El medidor circular muestra el valor actual de temperatura en °C, registrado en un momento no especificado pero relacionado con los datos del gráfico, con una lectura de 38.4 °C. La escala va de 0 a 100 °C, con colores que indican rangos (verde para 0-30, amarillo para 30-50, rojo para 50-100), situando el valor actual en una zona amarilla, lo que podría indicar un estado intermedio que merece atención.

Las figura s reflejan el monitoreo continuo de la temperatura del motor, con datos actualizados cada 15 segundos y almacenados a lo largo de semanas o meses. Esto permite un análisis a largo plazo de las tendencias térmicas, apoyando la detección temprana de fallas y la planificación de mantenimientos.

Alertas del sistema.

Figura 40

Graficas en ThingSpeak donde se Observa las Alertas

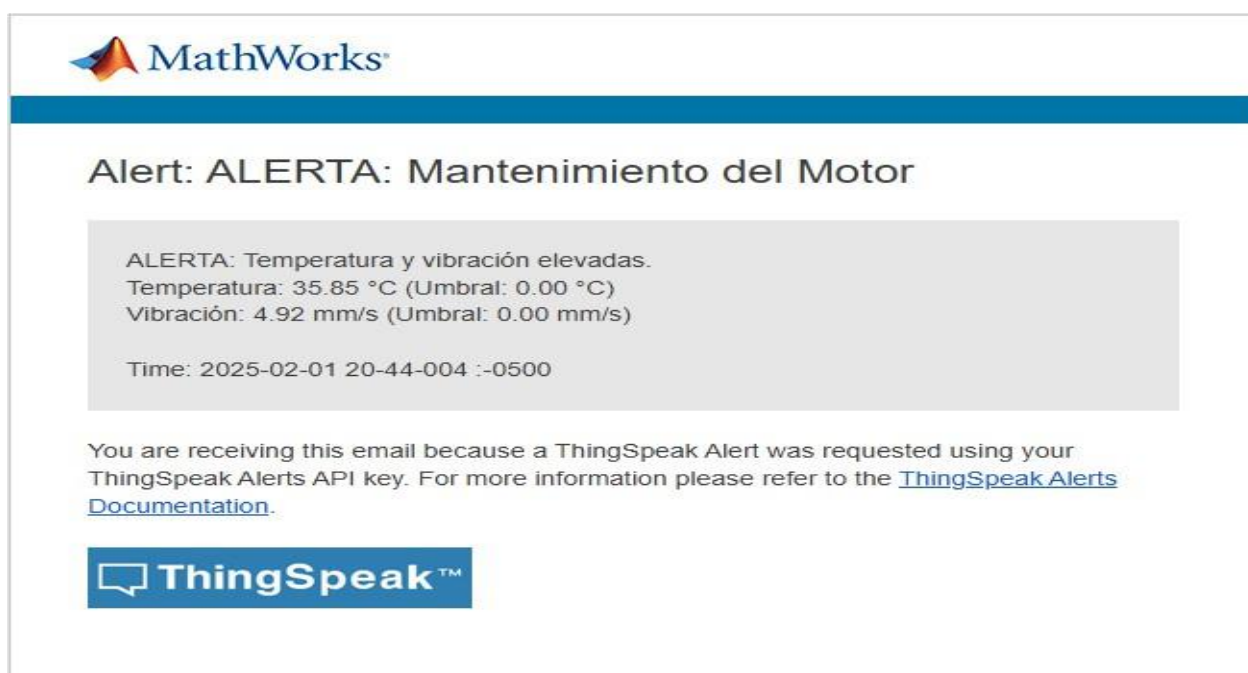


Nota. Se muestra una representación gráfica de indicadores de estado en ThingSpeak.

Las imágenes muestran dos indicadores de alarma generados por un sistema de monitoreo en tiempo real. "Alerta de Vibración", presenta un círculo naranja que refleja la falla actual de vibración en la que se debe poner atención, registrada hace unos segundos. El "Monitor de Temperatura", muestra un círculo blanco que indica que el monitor de temperatura está apagado, lo que sugiere que no se está registrando la falla actual.

Figura 41

Correo Electrónico Indicador de Falla



Nota. La figura muestra un correo electrónico de alerta generado por ThingSpeak.

La figura muestra un correo electrónico de alerta generado por ThingSpeak, titulado "Alert: ALERTA: Mantenimiento del Motor". El mensaje indica una alerta por niveles elevados de temperatura y vibración en el motor, con los siguientes detalles: Temperatura: 35.85 °C (umbral: 0.00 °C) y Vibración: 4.92 mm/s (umbral: 0.00 mm/s). La alerta fue registrada el 20 de febrero de 2025 a las 20:44:04 (hora: 05:00). El correo explica que se recibió debido a una solicitud de alerta usando la API key de ThingSpeak Alerts y sugiere consultar la documentación

de ThingSpeak para más información. Esta alerta señala problemas potenciales en el motor que requieren atención inmediata.

Conclusiones

Las figuras demuestran que el sistema IoT desarrollado monitorea el estado en tiempo real de un motor industrial de 55 kW capturando vibraciones y temperaturas cada 15 segundos a lo largo de semanas. Durante el arranque y la desaceleración se identifican patrones consistentes como el aumento y disminución de vibraciones, variaciones térmicas debido a la falta de refrigeración esto confirma la capacidad del sistema para detectar fallas tempranas, respaldando la hipótesis del mantenimiento adecuado para potenciar el tiempo de vida útil.

El desarrollo del sistema IoT para la adquisición y monitoreo en tiempo real ha mostrado ser capaz de identificar patrones de vibración y temperatura que preceden a fallas críticas como se evidenció en picos de 24 mm/s y temperaturas de 38.4 °C en el funcionamiento donde la integración de sensores embebidos y plataformas en la nube ha permitido ayudar el mantenimiento. cumpliendo con su propósito de detección temprana y estableciendo una base sólida para la prevención de fallas costosas, contribuyendo significativamente al avance del mantenimiento predictivo al ofrecer datos accionables en tiempo real, es un aspecto importante para optimizar la eficiencia.

El diseño del sistema embebido ha dado buen resultado, capturando datos de vibración y temperatura cada 15 segundos con precisión como se observó en las figuras que registraron variaciones desde 4.92 mm/s hasta 24 mm/s y temperaturas entre 33 °C y 50 °C. La importancia radica en su potencial para integrar tecnología de bajo costo en entornos industriales mostrando una solución práctica que enriquece el conocimiento sobre el monitoreo embebido y fomenta su adopción en aplicaciones similares.

La construcción del prototipo ha permitido evaluar escenarios como arranque desaceleración y operación continua revelando patrones distintivos que validan su funcionalidad.

La capacidad de detectar anomalías, como el aumento de temperatura sin refrigeración o picos de vibración, subraya su utilidad práctica. Esto muestra la importancia de probar sistemas en condiciones reales, contribuyendo un análisis donde podemos replicar la compresión para detectar fallas de motores.

La integración de una plataforma en la nube como ThingSpeak, ha facilitado el registro y consulta de datos a lo largo de semanas como se evidenció en las alertas enviadas el 20 de febrero de 2025. Esta innovación no solo optimiza la accesibilidad de la información, sino que también permite un análisis histórico que potencia la toma de decisiones. Su importancia se da en la transformación digital del mantenimiento industrial, aportando un conocimiento del estado actual del motor.

Las pruebas en un entorno controlado han confirmado que el sistema identifica fallas potenciales como vibraciones excesivas y alertas térmicas. Esta validación refuerza la confianza en el diseño propuesto y su adaptabilidad. La contribución más notable es la demostración de que un enfoque controlado puede sentar las bases para su implementación en entornos industriales más complejos avanzando el conocimiento sobre la robustez de los sistemas IoT en condiciones reales.

Bibliografía

- Agüero, M. B. (2017). *Sistema de adquisición de datos*. Obtenido de <https://materias.df.uba.ar/mta2019c1/files/2014/08/Adquisicion-de-datos-Aguero.pdf>
- Arce Molina, G. E. (2024). *Diseño y construcción de un prototipo electrónico para diagnosticar fallas en equipos rotativos mediante el análisis de vibraciones mecánicas y temperatura*.
- Barrios Morales, J. D. (2022). *Diseño de investigación para un plan de mantenimiento preventivo para tableros de arranque de motores eléctricos con variador de frecuencia*.
- Bueno, M. (2022). *Mantenimiento preventivo y predictivo para motores eléctricos*.
- Chávez, D. I. (2021). *Monitoreo y obtención de la caracterización de un motor dc mediante el desarrollo de un sistema de adquisición de datos en LabView para prácticas de estudiantes de electrónica del ISTCT*.
- ComWinTop. (2025). *Single Three axis vibration monitoring Fan motor vibrating string instrument RS485 Industrial temperature vibration sensor*. Obtenido de ComWinTop: <https://store.comwintop.com/products/single-three-axis-vibration-monitoring-fan-motor-vibrating-string-instrument-rs485-industrial-temperature-vibration-sensor?variant=45451873714403>
- Coveñas, C. E. (s.f.). *Análisis de la aplicación de pruebas predictivas eléctricas, dinámicas y estáticas, a motores de inducción en la industria minera*.
- Cruz Ticona, E. J. (2022). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo y adquisición de datos de parámetros eléctricos y ambientales de un sistema fotovoltaico conectado a la red de 3Kw*.
- Dávila, L. R.-B. (s.f.). *Análisis y monitoreo de corriente RMS a un motor eléctrico para un mantenimiento predictivo*.

- Espinoza Lima, L. F. (2024). *Diseño de una Plataforma IOT para la Industria 4.0 en Motores de Inducción Eléctricos con Tiempos de Muestreo Menores a 50ms.*
- Espinoza Orbe, A. S. (2022). *Arquitectura colaborativa de datos para monitoreo de equipos industriales basada en Internet of things.*
- Espinoza Orbe, A. S. (2024). *Arquitectura colaborativa de datos para monitoreo de equipos industriales basada en Internet of things.*
- Esquivia, S. C. (2022). *Sistema inalámbrico basado en IoT para la medición temperatura y velocidad en un motor de inducción.*
- Farez Chasi, C. O. (2024). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo IoT de Temperatura y Vibración para protección de Motores Eléctricos.*
- Farez Chasi, C. O. (2024). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo IoT de Temperatura y Vibración para protección de Motores Eléctricos.*
- Fernandez, A. (2018). *Power-MI*. Obtenido de <https://power-mi.com/es/content/componentes-y-frecuencias-de-fallo-de-un-rodamiento>
- Fernández, M. J. (2010). *Motores de corriente alterna.*
- Flores, A. V. (2015). *Kimerius Aircraft*. Obtenido de MANUAL DE MOTORES ELECTRICOS: <https://www.kimerius.com/app/download/5783169262/Manual+de+motores+el%C3%A9ctricos.pdf>
- FRENCH, A. (1974). *Vibraciones Y Ondas*. reverté, s.a.
- González, C. J. (2003). *Fundamentos del Analisis de fourier* . Obtenido de https://grupo_ene.webs.uvigo.es/wordpress/publicaciones/Apuntes_Fourier.pdf
- Guerrero-Castro, O. &.-G. (2007). *Tecnología en Marcha*. Obtenido de Tecnológico de Costa Rica: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/134

Guzmán Díaz González, A. B.-A. (2002). *Variación de la velocidad de los motores eléctricos*.
universidad de oviedo.

Jesús Bausà Aragonés, C. G. (s.f.). *SENSORES DE TEMPERATURA*.

Jesús Román Blanquero, L. M. (2024). *DSP ANALYTIC*. Obtenido de Works with DSP:

<https://dspanalytic.com/en/vibrations/understanding-the-iso-10816-3-vibration-severity-table/>

Lescano, Á. A. (2021). *Sistema de captación de datos del funcionamiento de motores para la toma de decisiones en empresas de producción*.

Leyva, R. E. (2023). *Sistema de monitoreo remoto para mantenimiento predictivo en un motor eléctrico*.

Leyva, R. E. (2023). *Sistema de monitoreo remoto para mantenimiento predictivo en un motor eléctrico*. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação (E55), 128-144.

LOZANO BAYONA, I. D. (2023). *Análisis de vibración en motores eléctricos de la planta Frigo-Andes de Floridablanca en el año*.

Martínez Jiménez, N. (2022). *Sistema IIoT para monitorización de motores eléctricos y detección de anomalías mediante el análisis de vibraciones en rodamientos*.

Peñaloza, G. (2022). *Mantenimiento industrial aplicado*. Imaginante editoria.

Primera Pérez, A. (2023). *Elaboración del plan de mantenimiento preventivo para un motor eléctrico trifásico de 4 kW y 1500 rpm con arrancador estrella-triángulo*.

Sedeño, M. J. (2022). *Normas Aplicables y Mantenimiento Preventivo a Motores Eléctricos de Inducción de Baja Tensión*.

Serrano Prieto, J. (2024). *Detección de anomalías de funcionamiento en motores eléctricos*.

- Shukla, A., & Shukla, S. P. Recent trends on IOT based condition monitoring of AC motors: a review. *Research Journal of Engineering Sciences* ISSN, 2278, 9472.
- Stipp Zadinelo, C. J. (2022). *Desarrollo de un sistema de monitoreo IoT de anomalías de vibración y temperatura de bajo costo para motores eléctricos trifásicos*.
- Tavira, J. V. (s.f.). *Mantenimiento predictivo de motores de corriente directa empleando redes neuronales artificiales*.
- Ticona Saavedra, J. C. (2021). *Diseño e implementación de un equipo portátil registrador de vibraciones de motores electricos*.
- Ugwiri, M. A., Carratù, M., Pietrosanto, A., Paciello, V., & Lay-Ekuakille, A. (2020). Vibrations measurement and current signatures for fault detection in asynchronous motor. In *2020 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)* (pp. 1-6). IEEE.
- Vedan, A. (2025). *TRACTIAN*. Obtenido de ¿Cómo funcionan los motores eléctricos?: <https://traction.com/es/blog/como-funcionan-los-motores-electricos>
- White, G. (2010). *Introduccion al Analisis de Vibraciones* . U.S.A: Azima DLI.
- Zamudio Ramírez, I. ((2023)). *Diagnóstico de fallos electromecánicos en motores eléctricos mediante el análisis avanzado del flujo magnético y su implementación en hardware*. Obtenido de (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València): <http://hdl.handle.net/10251/197989>

Apéndices

Apéndice A

Código de Esp8266

```
//Johan Gomez
```

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <Adafruit_ADS1X15.h>
```

```
// ADS1115
```

```
Adafruit_ADS1115 ads;
```

```
const float resistencia = 240.0; // Resistencia en ohms
```

```
const float corriente_min = 0.0; // Ajusta este valor si es necesario
```

```
const float corriente_max = 20.0; // Corriente máxima en mA
```

```
const float rango_vibracion = 50.0; // Rango de vibración en mm/s
```

```
const float rango_temperatura = 120.0; // Rango de temperatura en °C
```

```
const float voltaje_referencia = 4.096; // Voltaje de referencia del ADS1115
```

```
const float correccion_temperatura = -5.20; // Factor de corrección para la temperatura
```

```
// Función para convertir corriente a vibración
```

```
float convertirCorrienteAVibracion(float corriente) {
```

```
    corriente = fmax(corriente, corriente_min); // Limitar la corriente mínima
```

```
    return (corriente - corriente_min) / (corriente_max - corriente_min) * rango_vibracion;
```

```
}
```

```
// Función para convertir corriente a temperatura

float convertirCorrienteATemperatura(float corriente) {

    float temperatura = ((corriente - corriente_min) / (corriente_max - corriente_min)) *
rango_temperatura - 40;

    return temperatura + correccion_temperatura; // Aplicar corrección
}

void setup() {

    Serial.begin(9600);

    if (!ads.begin()) {

        Serial.println("Error al inicializar ADS1115");

        while (1); // Detener el programa si no se puede inicializar el ADS1115
    }

    ads.setGain(GAIN_ONE); // Configurar ganancia a ±4.096 V
}

void loop() {

    // Leer valores ADC

    int16_t vibracion_adc = ads.readADC_SingleEnded(1);

    int16_t temperatura_adc = ads.readADC_SingleEnded(3);

    // Validar valores ADC

    if (vibracion_adc == 0x7FFF || temperatura_adc == 0x7FFF) {

        Serial.println("Error al leer valores ADC");

        delay(1000);
    }
}
```

```
    return;
}

// Convertir valores ADC a voltaje
float voltaje_vibracion = (vibracion_adc * voltaje_referencia) / 32768.0;
float voltaje_temperatura = (temperatura_adc * voltaje_referencia) / 32768.0;

// Convertir voltaje a corriente (mA)
float corriente_vibracion = (voltaje_vibracion / resistencia) * 1000.0;
float corriente_temperatura = (voltaje_temperatura / resistencia) * 1000.0;

// Convertir corriente a unidades físicas
float vibracion_mm_s = convertirCorrienteAVibracion(corriente_vibracion);
float temperatura_C = convertirCorrienteATemperatura(corriente_temperatura);

// Limitar la vibración a un valor mínimo de 0 (si es necesario)
vibracion_mm_s = fmax(vibracion_mm_s, 0.0);

// Imprimir resultados (sin caracteres especiales)
Serial.print("Vibracion (mm/s): ");
Serial.println(vibracion_mm_s, 2);
Serial.print("Temperatura (C): ");
Serial.println(temperatura_C, 2);
```

```
delay(1000); // Esperar 1 segundo antes de la siguiente lectura  
}
```

Apéndice B

Código de Python

```
import serial

import time

import threading

import requests

import matplotlib.pyplot as plt

import matplotlib.animation as animation

import signal

import sys

# Configuración del puerto serial

SERIAL_PORT = '/dev/ttyS0' # Ajusta según tu sistema

BAUD_RATE = 9600

# Listas para almacenar datos

x_data, vibracion_data, temperatura_data = [], [], []

MAX_POINTS = 100 # Número máximo de puntos a graficar

# Configuración de las gráficas

fig, (ax1, ax2) = plt.subplots(2, 1, figsize=(8, 6))

line_vibracion, = ax1.plot([], [], label="Vibración (mm/s)", color="blue")
```

```
ax1.set_ylabel("Vibración (mm/s)")
ax1.legend(), ax1.grid()

line_temperatura, = ax2.plot([], [], label="Temperatura (°C)", color="red")
ax2.set_xlabel("Tiempo (s)", ax2.set_ylabel("Temperatura (°C)")
ax2.legend(), ax2.grid()

running = True # Control del hilo
vibracion = None
temperatura = None

# Claves API de ThingSpeak
WRITE_API_KEY = "M1NDV9YD5T9M14VV"
THINGSPEAK_URL = "https://api.thingspeak.com/update"

# Tiempo en segundos para enviar datos a ThingSpeak
SEND_INTERVAL = 15
last_send_time = time.time()

def update_graph():
    if x_data:
        line_vibracion.set_data(x_data, vibracion_data)
        line_temperatura.set_data(x_data, temperatura_data)
```

```

ax1.relim(), ax1.autoscale_view()

ax2.relim(), ax2.autoscale_view()

return line_vibracion, line_temperatura

def enviar_datos_thingspeak(vibracion, temperatura):
    try:
        # Enviar los datos a ThingSpeak
        payload = {
            "api_key": WRITE_API_KEY,
            "field1": vibracion,
            "field2": temperatura
        }
        response = requests.post(THINGSPEAK_URL, data=payload)
        if response.status_code == 200:
            print(f'Datos enviados a ThingSpeak: Vibración={vibracion},
Temperatura={temperatura}')
        else:
            print(f'Error al enviar los datos: {response.status_code}')
    except Exception as e:
        print(f'Error al enviar datos a ThingSpeak: {e}')

def leer_serial():

```

```
global running, vibracion, temperatura, last_send_time
```

```
try:
```

```
    ser = serial.Serial(SERIAL_PORT, BAUD_RATE, timeout=1)
```

```
    print(f"Conectado a {SERIAL_PORT}")
```

```
    start_time = time.time()
```

```
while running:
```

```
    if ser.in_waiting > 0:
```

```
        data = ser.readline().decode(errors="ignore").strip()
```

```
        if "Vibracion" in data:
```

```
            vibracion = float(data.split(":")[1].strip())
```

```
        elif "Temperatura" in data:
```

```
            temperatura = float(data.split(":")[1].strip())
```

```
        if vibracion is not None and temperatura is not None:
```

```
            elapsed_time = time.time() - start_time
```

```
            if len(x_data) >= MAX_POINTS:
```

```
                x_data.pop(0), vibracion_data.pop(0), temperatura_data.pop(0)
```

```
            x_data.append(elapsed_time)
```

```
            vibracion_data.append(vibracion)
```

```

temperatura_data.append(temperatura)

# Imprimir los datos

print(f"Vibracion (mm/s): {vibracion}")

print(f"Temperatura (C): {temperatura}")

# Verificar si han pasado 15 segundos desde el Ãºltimo envÃ­o

if time.time() - last_send_time >= SEND_INTERVAL:

    enviar_datos_thingspeak(vibracion, temperatura)

    last_send_time = time.time() # Actualizar el tiempo del Ãºltimo envÃ­o

time.sleep(0.1)

except serial.SerialException as e:

    print(f"Error serial: {e}")

finally:

    if 'ser' in locals() and ser.is_open:

        ser.close()

def signal_handler(sig, frame):

    global running

    print("\nCerrando el programa...")

    running = False # Detener el hilo de lectura serial

```

```
plt.close() # Cerrar la ventana de la gr̃fica

# Configurar el manejador de se±ales
signal.signal(signal.SIGINT, signal_handler)

# Iniciar el hilo de lectura serial
threading.Thread(target=leer_serial, daemon=True).start()

# Configurar la animacion de las gr̃ficas
ani = animation.FuncAnimation(fig, update_graph, interval=100) # Se mantiene la referencia a
ani

plt.tight_layout()

# Mostrar la gr̃fica
plt.show()
```

Apéndice C

Código de Matlab

```
% Johan Gomez
```

```
% Detección de niveles excesivos de temperatura y vibración en motores.
```

```
% ID del canal de ThingSpeak.
```

```
channelID = 2819810;
```

```
% API Key para las alertas de ThingSpeak.
```

```
alertApiKey = 'TAKZfUbGPJw8mkF2Onw';
```

```
% URL para enviar alertas.
```

```
alertUrl = "https://api.thingspeak.com/alerts/send";
```

```
% Configuración de las opciones para webwrite.
```

```
options = weboptions("HeaderFields", ["ThingSpeak-Alerts-API-Key", alertApiKey]);
```

```
% Asunto del correo de alerta.
```

```
alertSubject = "ALERTA: Mantenimiento del Motor";
```

```
% Leer los datos recientes del canal (últimos 1 días).
```

```
vibracionmedida = thingSpeakRead(channelID, 'NumDays', 1, 'Fields', 1);
```

```
temperaturamedida = thingSpeakRead(channelID, 'NumDays', 1, 'Fields', 2);
```

```

% Verificar si los datos fueron leídos correctamente.

if ~isempty(vibracionmedida) && ~isempty(temperaturamedida)

    % Obtener los valores más recientes de temperatura y vibración.

    ultimaTemperatura = temperaturamedida(end);

    ultimaVibracion = vibracionmedida(end);

% Umbrales para las alertas.

umbralTemperatura = 70; % Umbral para la temperatura en grados Celsius.

umbralVibracion = 40; % Umbral para la vibración en mm/s.

% Verificar si se superan los umbrales.

if ultimaTemperatura > umbralTemperatura || ultimaVibracion > umbralVibracion

    % Generar el mensaje de alerta.

    if ultimaTemperatura > umbralTemperatura && ultimaVibracion > umbralVibracion

        alertBody = sprintf("ALERTA: Temperatura y vibración elevadas.\nTemperatura: %.2f
°C (Umbral: %.2f °C)\nVibración: %.2f mm/s (Umbral: %.2f mm/s)", ...

            ultimaTemperatura, umbralTemperatura, ultimaVibracion,
umbralVibracion);

    elseif ultimaTemperatura > umbralTemperatura

        alertBody = sprintf("ALERTA: Temperatura elevada.\nTemperatura: %.2f °C (Umbral:
%.2f °C)", ...

            ultimaTemperatura, umbralTemperatura);

```

```
elseif ultimaVibracion > umbralVibracion

    alertBody = sprintf("ALERTA: Vibración elevada.\nVibración: %.2f mm/s (Umbral:
%.2f mm/s)", ...

        ultimaVibracion, umbralVibracion);

end

% Enviar la alerta a través de la API de ThingSpeak.

try

    webwrite(alertUrl, "body", alertBody, "subject", alertSubject, options);

    fprintf("Alerta enviada exitosamente.\n");

catch someException

    fprintf("Error al enviar la alerta: %s\n", someException.message);

end

end

end
```


Conclusión de Matriz De Pugh:

El sensor de temperatura y vibración CWT-TVS-1A-1600-M-I es la opción más adecuada. Su frecuencia de medición de vibraciones (10-1600 Hz) y su rango de temperatura (-40°C a 80°C), ambos con salida de 4-20 mA, garantizan un monitoreo preciso y compatible con sistemas industriales. Tiene una alimentación de 10-30 VDC y protección IP67 lo hacen eficiente y resistente en ambientes hostiles, en comparación con Fluke 3563 con escalabilidad y seguridad, según la matriz de Pugh. Estas características lo convierten en una solución ideal para un sistema IoT de monitoreo de condiciones en tiempo real, asegurando un mantenimiento predictivo efectivo en entornos industriales exigentes.

Apéndice E

Video de YouTube

Se comparte a continuación un video donde se pueden visualizar los resultados obtenidos del desarrollo e implementación del sistema en el lugar de las pruebas.

Enlace: <https://youtu.be/4xmr3Z19bWk>