



UNIVERSIDAD LAICA

“ELOY ALFARO” DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

CARRERA DE INGENIERÍA MARÍTIMA

Trabajo de titulación, modalidad Proyecto Técnico

TÍTULO:

**“ANÁLISIS PREDICTIVO DE MOTORES ELÉCTRICOS DE
CORRIENTE ALTERNA ASÍNCRONOS MEDIANTE EL USO DE SMART
SENSOR”**

AUTOR

AVILA FLORES JEREMY JAIR

TUTOR:

ING. ACEBO ARCENTALES ALEPH

MANTA – ECUADOR

2026

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto Técnico, bajo la autoría del estudiante AVILA FLORES JEREMY JAIR, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Marítima, período académico 2026-2027, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es “ANÁLISIS PREDICTIVO DE MOTORES ELÉCTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA ASÍNCRONOS MEDIANTE EL USO DE SMART SENSOR”.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 24 de julio de 2026.

Lo certifico,



Ing. Aleph S. Acebo Arcentales, Mg.
Docente Tutor

Área: Ingeniería, Industria y Arquitectura

Nota 1: Este documento debe ser realizado únicamente por el/la docente tutor/a y será receptado sin enmendaduras y con firma física original.

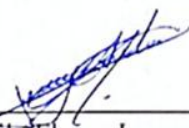
Nota 2: Este es un formato que se llenará por cada estudiante (de forma individual) y será otorgado cuando el informe de similitud sea favorable y además las fases de la Unidad de Integración Curricular estén aprobadas.

	NOMBRE DEL DOCUMENTO:	CÓDIGO: PAT-01-F-010
	CERTIFICADO DE TUTOR	
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO	REVISIÓN: 1
		Página III de 70

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **Avila Flores Jeremy Jair**, con cedula de identidad; **131668467-7**, egresado de la **UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ**, de la carrera de Ingeniería Marítima, expongo que cada uno de los contenidos, referencias bibliográficas, recopilación de los datos obtenidos, análisis, conclusiones y recomendaciones de esta investigación con el nombre de **“ANÁLISIS PREDICTIVO DE MOTORES ELÉCTRICOS DE CORRITENTE ALTERNA ASÍNCRONOS MEDIANTE EL USO DE SMART SENSOR”**, período académico **2025-2026**, son de mi total autoría.

Manta, 28 de julio de 2026.



 Sr. Avila Flores Jeremy Jair



 Ing. Aleph Acebo Arcentales
 Docente Tutor

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo en primer lugar a Dios, por brindarme el apoyo y darme las fuerzas necesarias durante momentos en donde más necesité aliento, a mi familia por animarme y por sacarme una sonrisa cada vez que podían, a mis padres José Avila Muentes y Janeth Flores Pilozo por siempre estar presentes y tratar de entenderme, a mis hermanos que juntos hemos salido adelante, también se la dedico a todas las personas que se fueron quedando en el camino e igual a los que siguen conmigo; esto es para ustedes, por hacer que todo fuera un poquito más fácil.

Avila Flores Jeremy Jair

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por mantenerme en el camino que el considera correcto, por brindarme apoyo, sabiduría y salud durante todo este proceso para alcanzar uno de los tantos objetivos y sueños que tengo y sobre todo por poner ante mí a gente tan maravillosa.

Agradezco a la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí” por permitirme formar parte de esta carrera, a aquellos docentes que siempre estuvieron prestos a orientarnos en base a sus experiencias con sus conocimientos, amabilidad y motivación.

A las autoridades de la carrera por siempre mostrarse abiertos y disponibles ante cualquier inquietud durante nuestra vida universitaria, y como no, agradezco a mi tutor Ing. Aleph Acebo Arcentales que con su sabiduría y firmeza fue guía en cada proceso de mi trabajo de titulación.

Avila Flores Jeremy Jair

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

TÍTULO	17
ANTECEDENTES	17
JUSTIFICACION.....	18
PROPUESTA	19
OBJETIVO GENERAL.....	19
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	19
1. CAPÍTULO I – MARCO TEÓRICO	20
1.1. Motores eléctricos de corriente alterna	20
1.2. Principio de funcionamiento de motores de corriente alterna	20
1.2.1. Componentes principales del motor eléctrico.....	20
1.2.2. Aplicaciones de los motores de corriente alterna.....	22
1.2.3. Motor de inducción trifásico tipo jaula de ardilla	23
1.2.4. Placa de motores de motores eléctricos trifásicos.....	24
1.3. Fallas en motores eléctricos.....	25
1.3.1. Fallas comunes en motores eléctricos de corriente alterna.....	26
1.4. Mantenimiento Predictivo	32
1.4.1. Criticidad	32
1.4.2. Técnicas de mantenimiento predictivo	33

1.4.3.	Importancia del mantenimiento predictivo en la industria moderna.....	35
1.5.	Vibración	36
1.5.1.	Norma ISO 20816-1	36
1.5.2.	Extracción de las fuentes de vibración	39
1.5.3.	Vibración global.....	40
1.5.4.	Desalineación.....	41
1.5.5.	Desequilibrio.....	43
1.5.6.	Holguras/Flojes	45
1.6.	Sensores inteligentes y la industria 4.0	46
1.6.1.	Industria 4.0	46
1.6.2.	Sensores Inteligentes	46
1.6.3.	Sensores en motores eléctricos	47
1.7.	Smart Sensor – ABB Ability TM.....	50
1.7.1.	Descripción	51
1.7.2.	Relación con el mantenimiento predictivo	51
1.7.3.	Evolución del Smart sensor de ABB AbilityTM.....	53
1.7.4.	Smart Sensor ABB Ability™ Generación 2	54
1.7.5.	Capacidad de monitoreo	56
1.8.	Powertrain.....	56
1.8.1.	Beneficios claves.....	59

1.8.2.	¿Cómo el Powertrain digital permite mantenimiento predictivo?	59
2.	CAPÍTULO II – METODOLOGÍA.....	61
2.1.	Tipo de investigación	61
2.1.1.	Según su finalidad	61
2.1.2.	Según su enfoque	61
2.1.3.	Según el diseño	61
2.2.	Área de estudio	62
2.3.	Levantamiento e identificación de motores.....	64
2.4.	Equipos y materiales utilizados	65
3.	CAPITULO III - Configuración e Instalación del Smart Sensor	66
3.1.	Configuración del Smart Sensor de ABB Ability™	66
3.1.1.	Activación de sensor	68
3.1.2.	Incorporación de datos de placa del motor Siemens al Smart Sensor.....	68
3.1.3.	Instalación física del Smart Sensor a los activos	69
3.2.	Activación de suscripción luego de prueba gratuita	69
3.3.	Incorporación de datos del motor ABB al Smart Sensor.....	70
3.3.1.	Instalación física del Smart sensor a motor ABB	70
4.	CAPITULO IV - Recolección de datos motor Siemens	70
4.1.	Tiempo de monitoreo y frecuencia de adquisición de datos.....	70
4.2.	Parámetros registrados	71

4.3.	Análisis de datos	72
4.3.1.	Horas de trabajo	72
4.3.2.	Número de arranques entre mediciones	73
4.3.3.	Skin Temperature	74
4.3.4.	Condición de rodamiento.....	76
4.3.5.	Vibración General	78
4.3.6.	Vibración radial, tangencial y axial.....	80
5.	CAÍTULO V – Recolección de datos motor ABB	84
5.1.	Tiempo de monitoreo y frecuencia de adquisición de datos.....	84
5.2.	Parámetros registrados	84
5.3.	Análisis de datos	85
5.3.1.	Horas de trabajo	86
5.3.2.	Numero de arranque	87
5.3.3.	Skin Temperature	88
5.3.4.	Condición de rodamiento.....	90
5.3.5.	Vibración general	90
5.3.6.	Vibración axial, radial y tangencial.....	92
	CONCLUSIONES.....	97
	RECOMENDACIONES.....	99
	BIBLIOGRAFÍA.....	100

ANEXOS	104
--------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Partes de motor tipo jaula de ardilla	22
Figura 2: ejemplo de placa de motor eléctrico	24
Figura 3: Rodamientos de motor eléctrico.....	27
Figura 4: Fallas de alineamiento	28
Figura 5: Rotor con diseño de barra abierta.....	30
Figura 6: Rotor con diseño de barras cerrado	31
Figura 7: Puntos de medición para pequeñas máquinas eléctricas.....	37
Figura 8: Rango de valores típicos para los límites de las zonas A/B, B/C y C/D para piezas no giratorias	39
Figura 9: Ejemplo de tendencias de alarmas globales	40
Figura 10: Desalineación Angular	42
Figura 11: Desalineación Paralela	42
Figura 12: Desequilibrio Estático.....	43
Figura 13: Desequilibrio de pareja	44
Figura 14: ABB Next Generation Smart Sensor	52
Figura 15: Generación 1 para área segura y Generación 2 para área peligrosa	53
Figura 16: Lado y lado del Smart Sensor G1 y G2	53
Figura 17: Portal Digital Powertrain	58
Figura 18: Facultad de Ingeniería Marítima	62
Figura 19: Taller de electricidad de la facultad de Ingeniería Marítima.....	62
Figura 20: PuertoMar S.A.....	63
Figura 21: Motor en PuertoMar S.A. para cisterna 4	63

Figura 22: Placa motor Siemens 5Hp	64
Figura 23: Placa de motor ABB 30Hp.....	64
Figura 24: App Digital Powertrain en APP Store.....	66
Figura 25: Registro de usuario en MyABB	66
Figura 26: Creación de Organización	67
Figura 27: Sincronización desde APP	67
Figura 28: Pasos para activar Smart Sensor.....	68
Figura 29: Configuración de Sensor con datos de placa del motor.....	68
Figura 30: Instalación de Smart Sensor en activos.....	69
Figura 31: Requerimientos para activar suscripción	69
Figura 32: Correo de confirmación de suscripción	70
Figura 33: Fechas de monitoreo registrado.....	70
Figura 34: Horas de trabajo motor Siemens	72
Figura 35: Tiempo total durante el período de monitoreo	73
Figura 36: Número de arranques entre mediciones	73
Figura 37: Número de arranques entre mediciones en Excel.....	74
Figura 38: Temperatura de piel de motor Siemens.....	74
Figura 39: Temperatura de piel de motor Siemens en Excel	75
Figura 40: Condición de rodamiento motor Siemens.....	76
Figura 41: Condición de rodamiento durante el monitoreo de motor Siemens	76
Figura 42: Vibración General motor Siemens.....	78
Figura 43: Vibración General de motor Siemens.....	78
Figura 44: Vibración Radial motor Siemens.....	80

Figura 45: Vibración Radial motor Siemens.....	80
Figura 46: Vibración Tangencial motor Siemens.....	81
Figura 47: Vibración Tangencial de motor Siemens en Excel	81
Figura 48: Vibración Axial motor Siemens.....	82
Figura 49: Vibración Axial motor Siemens en Excel	82
Figura 50: Portal Digital Powertrain	85
Figura 51: Horas de trabajo motor ABB.....	86
Figura 52: Mensaje por Portal Digital Powertrain	86
Figura 53: Número de arranques motor ABB	87
Figura 54: Temperatura de piel motor ABB.....	88
Figura 55: Condición de rodamiento motor ABB	90
Figura 56: Vibración general motor ABB.....	90
Figura 57: Vibración general/condición de rodamiento motor ABB.....	91
Figura 58: Vibración Axial motor ABB.....	92
Figura 59: Vibración Radial motor ABB	93
Figura 60: Vibración Tangencial motor ABB	94
Figura 61: Comparación de tres direcciones de vibración (axial, radial y tangencial), temperatura y condición de rodamiento motor ABB	95
Figura 62: Comparación de tres direcciones de vibración (axial, radial y tangencial)	96

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1	64
Tabla 3	71
Tabla 4	71
Tabla 5	84
Tabla 6	84

RESUMEN

Tanto el análisis como el mantenimiento predictivo de motores eléctricos es una base fundamental para prevenir paradas inesperadas en activos, basándonos en parámetros de salud y operación del equipo. En este contexto la presente investigación tuvo como objetivo diagnosticar parámetros de salud y operación de los motores eléctricos de corriente alterna por medio de la intervención del dispositivo inteligente Smart Sensor y el Portal Digital Powertrain de ABB Ability, examinando parámetros como vibración, temperatura de piel y condición de rodamiento.

Se analizó gráficas de tendencia evaluadas por el portal digital Powertrain de ABB durante el tiempo de monitoreo establecido, donde los datos de vibración general, radial, axial y tangencial, condición de rodamiento y temperatura de piel permitieron diagnosticar e identificar eventos transitorios que pueden perjudicar la vida útil del activo.

El Smart Sensor de ABB Ability es una herramienta eficaz para un monitoreo de máquinas rotativas, contribuyendo a la toma de decisiones para próximos mantenimientos gracias a un análisis predictivo.

Palabras clave: Mantenimiento, Activos, Diagnóstico, Parámetros, Smart, Monitoreo

ABSTRACT

Both the analysis and predictive maintenance of electric motors is a fundamental basis to prevent unexpected shutdowns in assets, based on health parameters and equipment operation. In this context, the present investigation aimed to diagnose health and operation parameters of alternating current electric motors by means of the intervention of the Smart Sensor smart device and the ABB Ability Digital Powertrain Portal, examining parameters such as vibration, skin temperature and rolling condition.

Trend graphs evaluated by ABB's Powertrain digital portal were analyzed during the established monitoring time, where general, radial, axial and tangential vibration data, rolling condition and skin temperature allowed to diagnose and identify transient events that may impair the useful life of the asset.

The ABB Ability Smart Sensor is an effective tool for monitoring rotating machines, contributing to decision-making for future maintenance thanks to predictive analysis.

Keywords: Maintenance, Assets, Diagnostics, Parameters, Smart, Monitoring

INTRODUCCIÓN

La industria moderna cada año se encuentra en búsquedas de mejoras en sus equipos y sus sistemas, para así poder alcanzar una mayor eficiencia y por ende mayor ganancia para que todo funcione de la manera correcta. Existe una gran problemática que engloba lo mencionado anteriormente, y esta es, un adecuado mantenimiento, pocas industrias tienen el conocimiento que un adecuado mantenimiento de sus equipos es primordial para alcanzar el éxito, tenemos muchos tipos de mantenimiento, unos mejores que otros, entre los principales, mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo. Cada uno de estos mantenimientos poseen ventajas y desventajas para las industrias, pero uno de los mejores para equipos con una criticidad elevada es el predictivo, ya que su principal característica es evitar paradas inesperadas pero posee un costo de inversión alto; para este tipo de mantenimiento se necesita la ayuda de la tecnología de sensores y software para su correcto funcionamiento, dicho en otras palabras, en la industria 4.0.

Se necesitan muchos sensores para abarcar un monitoreo adecuado, tanto de velocidad, vibración, temperatura, presión, etc, pero la industria ABB creó un equipo que puede tener todas esas opciones de monitoreo e incluso más desde un solo sensor, el Smart Sensor de la familia de ABB Ability™ centrándose en el monitoreo de motores eléctricos. Este proyecto se enfoca en el análisis predictivo de los motores eléctricos por medio del Smart Sensor de ABB Ability™, para su desarrollo se necesitó subir datos constantemente a la nube de ABB y monitorearlos por medio del software powertrain de la misma marca.

Lo propuesto busca contribuir a la optimización del mantenimiento en los motores eléctricos de las industrias mediante la predicción de fallas gracias a un solo sensor inteligente otorgando confiabilidad y eficiencia gracias a su sistema operativo.

TÍTULO

“ANÁLISIS PREDICTIVO DE MOTORES ELÉCTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA ASÍNCRONOS MEDIANTE EL USO DE SMART SENSOR”

ANTECEDENTES

En el bienestar de las industrias, la eficiencia de las máquinas y la formación académica y profesional para un mejor desarrollo enfocado en el mantenimiento, es indispensable contar con equipos tecnológicos o asociados a la industria 4.0 para enriquecer el conocimiento y orientar al estudiante la dirección que está tomando el mundo industrial.

En la actualidad, los motores eléctricos constituyen uno de los activos más importantes dentro del ámbito de los procesos industriales y navales. Debido a su operación continua, requieren estrategias de mantenimiento que permitan conocer su estado sin necesidad de detenerlos. En este contexto, el uso de sensores inteligentes y plataformas digitales representa una alternativa para realizar análisis de salud y operación del equipo en tiempo real. Hoy en día la carrera de Ingeniería Marítima no cuenta con recursos de análisis didácticos enfocados al mantenimiento predictivo para un mejor entendimiento y aprendizaje del estudiante.

La incorporación de un Smart Sensor de ABB Ability para el análisis predictivo de motores eléctricos como parte del presente proyecto de titulación responde a la necesidad de instruir y preparar al estudiante permitiéndole adquirir competencias en un ambiente controlado.

JUSTIFICACION

El mantenimiento adecuado de cada máquina incluyendo un motor eléctrico es esencial, debido a prolongar su vida útil y cada uno de sus elementos que la componen. Existen en la industria diferentes tipos de mantenimientos, uno de los principales es el mantenimiento predictivo, este tipo de mantenimiento se caracteriza por utilizar elementos externos para la obtención de datos y realizar un diagnóstico que servirá como advertencia para el operador y luego proceder a tomar una decisión al respecto. En el panorama industrial, cada minuto de producción cuenta, por ejemplo, en el sector pesquero/alimenticio una parada imprevista de un motor eléctrico puede llevar consigo una parada total de la planta y desechos de materia prima, esto termina a grandes rasgos una pérdida económica excesiva, además, la producción, competitividad y la reputación se vería afectada; en el ámbito naval, un motor eléctrico se vuelve un equipo crítico para actividades tanto de operación y producción, ya que aplicaciones como, sistema de lastre, contra incendios y refrigeración depende exclusivamente de un buen rendimiento del equipo para un funcionamiento óptimo. Aquellos problemas se pueden prevenir hoy en día, una de las mejores opciones es la técnica del mantenimiento predictivo por medio de un sensor inteligente; el Smart Sensor adquiere datos de vibración, temperatura, gráficas de arranque del motor, estado del rodamiento, entre otros.

Aplicar esta técnica gracias al sensor trae consigo beneficios, tanto económicos como ambientales, también, minimiza la intervención humana en el equipo teniendo así un ambiente más seguro tanto para la industria como para la mano de obra y solo se llevará a la manipulación cuando es necesario, es decir, cuando el sensor lo indique.

PROPUESTA

Este proyecto propone implementar una metodología en el análisis predictivo para el monitoreo de motores eléctricos asíncronos de corriente alterna mediante el sistema del Smart Sensor de ABB Ability con el objetivo de contribuir al conocimiento y desarrollo de competencias en la industria 4.0. Esta metodología ayuda a la detección temprana de anomalías y a desarrollar una adecuada planificación de mantenimiento, aquello representa una herramienta de apoyo para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Marítima, al proporcionar un caso de aplicación real sobre análisis predictivo.

OBJETIVO GENERAL

Diagnosticar los parámetros de salud y operación de los motores eléctricos de corriente alterna mediante el dispositivo inteligente Smart Sensor y el Portal Digital Powertrain de ABB Ability.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar el levantamiento de información de motores eléctricos trifásicos monitoreados.
- Identificar las posibles fallas y anomalías en los motores eléctricos de corriente alterna en diferentes condiciones.
- Verificar el desempeño del dispositivo inteligente Smart Sensor para el mantenimiento predictivo y el análisis de condición aplicado a motores eléctricos.
- Analizar los datos obtenidos mediante el portal digital Powertrain de ABB Ability, aplicando su manejo operativo y su algoritmo de aprendizaje.

1. CAPÍTULO I – MARCO TEÓRICO

1.1.Motores eléctricos de corriente alterna

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas rotatorias que aprovechan la energía eléctrica que reciben para transformarla en energía mecánica. Los motores de corriente alterna son aquellos que funcionan en base a corriente alterna. Un motor asíncrono, es una máquina sincrónica que convierte potencia eléctrica en potencia mecánica realizando un movimiento rotatorio caracterizado por ser una velocidad constante. (León Ledesma María Carolina, 2015)

La velocidad sincrónica depende de:

- La frecuencia de voltaje aplicado
- Número de polos de la máquina

1.2.Principio de funcionamiento de motores de corriente alterna

El estator es alimentado por un sistema polifásico de corriente, que por estar en la parte fija de la máquina, produce un campo rotante. En el estator, por la acción del bobinado trifásico, existe un campo rotante que gira a velocidad constante, función de la frecuencia y número de polos y que produce que el rotor esté algo atrasado. Entonces, se genera un “enganche” entre los polos ficticios del estator (campo rotante) y los del rotor. (León Ledesma María Carolina, 2015)

1.2.1. Componentes principales del motor eléctrico

Los componentes que principales para un funcionamiento adecuado de un motor eléctrico son:

- Caja de bornes: construida en el mismo material de la carcasa, permite una fácil conexión del motor. (Caceres, 2002)

- Estator: está formado por chapas de acero magnético, aisladas y tratadas térmicamente en el cual se insertan bobinas. (Caceres, 2002)
- Bobinas del estator: están formadas por muchos hilos de alambre de cobre electrolítico, esmaltado con un barniz a base de poliéster, aisladas de las ranuras del estator y aisladas entre fases con materiales de alta rigidez dieléctrica y alta resistencia mecánica. Este conjunto se presiona o se ensambla al interior de una estructura cilíndrica, dentro de la carcasa. (Caceres, 2002)
- Rodamientos: dependiendo del tamaño estos pueden ser: rodamiento de bolas, engrasados de por vida a los que son tipo ZZ, tipo semiprotegido o abierto, tipo abierto reengrasables. (Caceres, 2002)
- Eje: es de acero tratado térmicamente, con el objeto de soportar tensiones internas y aumentar la resistencia para tolerar esfuerzos externos.
- Carcasa: está construida de hierro fundido o de aleación de aluminio.
- Tapas: Las tapas de cualquier motor cumplen varios y muy importantes requerimientos físicos. Además de proteger el ventilador deben ser lo suficientemente fuertes como para soportar los rodamientos del eje del motor bajo las condiciones de carga más severas y deben ser rígidos, a fin de mantener la alineación de los orificios de rodamiento a lo largo de la vida del motor. (Caceres, 2002)
- Ventilador: comúnmente está construido en aleación de aluminio y produce un gran volumen de aire para el enfriamiento del motor. Los pesos montados sobre el eje o colgando del mismo, tales como una cadena o rueda dentada o impulsores de correa deben ser sostenidos por la tapa del eje de salida. Este tipo de carga radial

usualmente determina el tamaño de los rodamientos del eje y la forma de las tapas. Otra función de gran importancia de las tapas es la de centrar el rotor de forma segura al interior del estator a fin de mantener una brecha de aire constante entre los núcleos estacionarios (estator) y móvil (rotor). (Caceres, 2002)

- Rotor: : al igual que el estator también está construido por chapa magnética y barras de aluminio, posee un conjunto de ranuras inclinadas y está equilibrado dinámicamente. (Caceres, 2002)

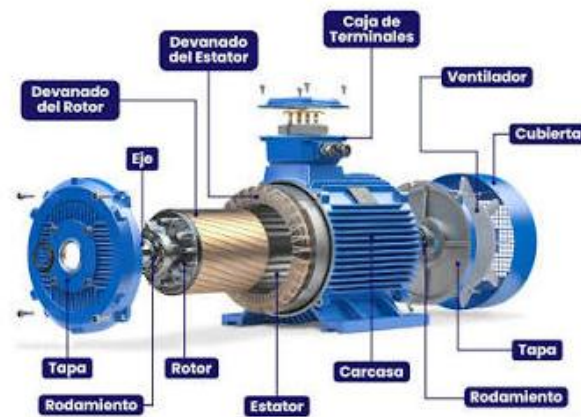


Figura 1: Partes de motor tipo jaula de ardilla

Fuente: Suiler Altamirano

1.2.2. Aplicaciones de los motores de corriente alterna

Los motores asíncronos son fabricados específicamente para atender las necesidades de cada aplicación, aquellos pueden ayudar a reducir los costos y mejorar el rendimiento del sistema de energía, corrigiendo el factor de potencia en la red eléctrica donde están instalados.

Debido a sus características constructivas, operación con alto rendimiento y adaptabilidad a todo tipo de ambiente, son utilizados en prácticamente todos los sectores de la industria, tales como:

- Minería (chancadoras, molinos, cintas transportadoras y otros)
- Siderurgia (laminadoras, ventiladores, bombas y compresores)
- Saneamiento (bombas)
- Química y petroquímica (compresores, ventiladores, extractores y bombas)
- Cemento (chancadoras, molinos, cintas transportadoras)
- Transmisión de energía (compensadores asíncronos)
- En cualquier aplicación que requiera una velocidad constante no muy elevada
(León Ledesma María Carolina, 2015)

1.2.3. Motor de inducción trifásico tipo jaula de ardilla

El motor asíncrono o de inducción trifásico con jaula de ardilla es el motor industrial por excelencia. Se pueden incluir dentro de las máquinas eléctricas más fiables que existen en la actualidad, por lo que las intervenciones de mantenimiento son muy reducidas, y adaptándose a las diferentes prestaciones en función de las exigencias deseadas.

Una de las maneras en las que pueden clasificarse los motores de inducción son:

- Con movimiento giratorio o lineal.
- Con fuente de alimentación trifásica o monofásica.
- Con rotor tipo jaula de ardilla o rotor devanado.

Específicamente, el motor de inducción trifásico con rotor de jaula de ardilla, también denominado rotor de cortocircuito, es el más sencillo y el más utilizado. El núcleo del rotor está construido de chapas estampadas, es el más sencillo y el más utilizado. El núcleo del rotor está construido de chapas estampadas de acero de silicio en el interior de las cuales se disponen unas barras, generalmente de aluminio moldeado a presión.

La baja resistencia del rotor hace que los motores de jaula de ardilla tengan excelentes características para marchar a velocidad constante. (Pacheco-Chica & Santos-Moreira, 2020)

SIEMENS

Made in P.R.China

3~Mot. 1LE0141-2CB86-4AA4	250M IMB3	IP55	LMH- 1002 / 80000388993 / 001
V	A	EFF.	cos φ
220/380 ΔΔ/YY	60	75	240/139
440 Δ	60	75	120
BRG DE 6316 C3	BRG NDE 6316 C3	Th.Cl.155(F)	
GREASE: Unirex N3		IEC60034-30	
Re-grease interval: 5000h	Quantity: 30g	AME40°C	
OCV1280B	Q/321081 KJA001-2014	Net:	540 kg

Fuente: Siemens

1. Motor trifásico	12. Velocidad nominal
2. Referencia	13. Peso motor (Kg)
3. Número serial	14. Norma de fabricación
4. Tipo de construcción	15. Clase térmica
5. Grado de protección	16. Tamaño constructivo
6. Rango de tensión	17. Temperatura amb max.
7. Frecuencia (Hz)	18. Tipo de rodamientos lado accionamiento

- | | |
|--------------------------|--|
| 8. Potencia (Hp) | 19. Tipo de rodamiento lado no accionamiento |
| 9. Corriente nominal (A) | 20. Clase de eficiencia |
| 10. Factor de potencia | 21. Método de balanceo |
| 11. Valor de eficiencia | |

1.3.Fallas en motores eléctricos

En la actualidad es de mayor importancia saber detectar una falla ya que todo genera un costo y por consiguiente genera pérdidas tener un equipo eléctrico parado. El porcentaje de fallas de los componentes en los motores de inducción es típicamente:

- Estator 38%
- Rotor 10%
- Rodamientos 40%
- Otros 12%

Por mencionar algunas fallas en las máquinas eléctricas (motores)

- Fallas del estator que resultan en la apertura o cortocircuito de uno o más de los devanados de fase del estator.
- Conexión anormal de los devanados del estator.
- Barra de rotor rota o anillos de extremo de rotor agrietados.
- Irregularidades estáticas y dinámicas del entrehierro.
- Eje doblado (similar a la excentricidad dinámica) que puede resultar en un roce entre el rotor y el estator, causando graves daños al núcleo del estator y a los devanados.
- Bobinado de campo de rotor cortocircuito.

- Fallas en los rodamientos y cajas de conexiones. (Salmerón Ochoa, Cruz Torres, & Gonzáles Parada, 2024)

1.3.1. Fallas comunes en motores eléctricos de corriente alterna

1.3.1.1. Fallas en rodamientos

Todas las máquinas que necesitan movilidad disponen de estas piezas para trabajar con las cargas que generan. Utilizando bolas o rodillos, encasillados en anillos que permiten su giro, este elemento es usado generalmente en cualquier componente mecánico del campo de automoción, industria o navegación.

Los rodamientos se utilizan para facilitar el movimiento de las piezas que giran sobre un eje, como ruedas, los engranajes o los ventiladores. Los rodamientos también permiten soportar cargas radiales y axiales, es decir, las que actúan perpendicular y paralelamente al eje. En definitiva, el objetivo de los rodamientos es permitir un giro lo más suave y estable posible del eje motor.

En un elemento tan complejo como este, hay muchos tipos distintos de problemas que pueden ocurrir, que se manifiestan en distintas formas y en distintos lugares del rodamiento o rodaje, cada uno con un valor de componente frecuencial distinto.

Estos problemas y fallos pueden ser causados por una combinación de factores, como un mantenimiento inadecuado, condiciones de trabajo adversas, selección incorrecta de rodamiento o falta de lubricación adecuada. (Serrano Prieto & Luis Magadán, 2024)

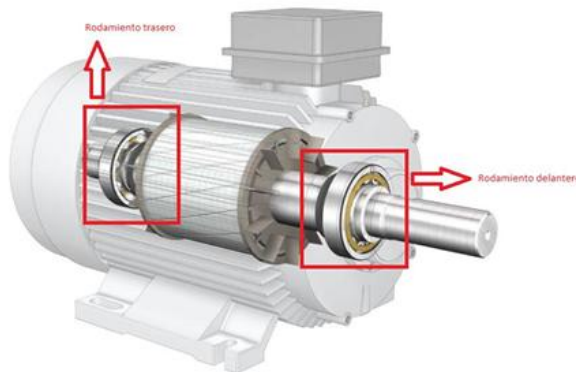


Figura 3: Rodamientos de motor eléctrico

Fuente: Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón

1.3.1.2. Fallos de balanceo

El desbalanceo en un motor se produce cuando la masa de este está distribuida de forma asimétrica respecto al eje de rotación. Estos desbalances se pueden presentar como en rodamientos, por un diseño impreciso en puntos clave como el eje de rotación, por tolerancias en la fabricación que ocasionen una pérdida de simetría o concentricidad, o por el uso de materiales que no son homogéneos, los cuales su densidad no es uniforme en su volumen.

De igual forma la corrosión y desgaste de vida útil es también un motivo de desbalanceo, la aglomeración del polvo en las ventilaciones, erosión o corrosión de estos, peso no distribuido de forma balanceada o deformaciones en el eje o rotor son casos típicos. (Serrano Prieto & Luis Magadán, 2024)

1.3.1.3. Fallos de alineamiento

Este tipo de defectos aparecen cuando el eje principal del rotor eléctrico no está alineado con el de la maquina acoplada. De igual manera a novel de piezas del motor, pueden ocurrir desalineaciones entre rodamientos y otras piezas del sistema.

Esta desalineación, que puede ser vertical y horizontal, también denominada paralela o angular respectivamente provoca entre otros, que ocurran fallas entre rodamientos y otros acoplamientos, se rompan los ejes, el consumo de energía se vea muy incrementado o se produzcan fugas de aceite o lubricantes. (Serrano Prieto & Luis Magadán, 2024)

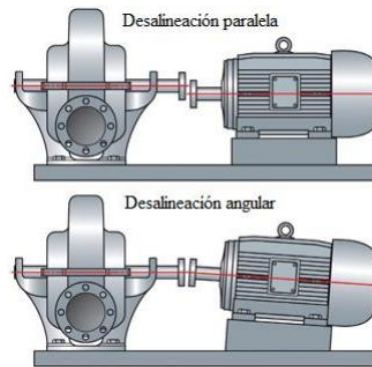


Figura 4: Fallas de alineamiento

Fuente: Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón

1.3.1.4. Falla en el circuito de potencia

Circuito de potencia se refiere a todos los conductores y conexiones que existen desde las barras que suministra potencia hasta las terminales en el motor. Esto puede incluir interruptores, fusibles, contactores, protecciones contra sobrecarga, seccionadores y borneras. Muchas veces un motor, aunque inicialmente está en perfecto estado de salud, es alimentado con un circuito defectuoso, causando problemas como desequilibrios de voltaje, desequilibrios de corriente, etc. Cuando estos problemas se hacen severos, se requiere de corrientes mayores para sostener la potencia de salida, provocando incrementar la temperatura y daños de aislamiento. Altas resistencias por las conexiones en el circuito provocan un desbalance en el voltaje terminal del motor. Las consecuencias de esto son: sobrecalentamiento de los elementos adyacentes a las conexiones, pérdida de par o torque, descomposición de corrientes entre fases, sobrecalentamiento

del aislamiento y disminución de la eficiencia del motor. Desequilibrio de voltajes causarán que el motor necesite más corriente para realizar el trabajo requerido. Por lo tanto hace que el cliente no solo se enfrente a daño prematuro del motor sino también a pagos potenciales de kilovatios-hora extra y probablemente penalización.

Otra consecuencia del desequilibrio de voltaje es la aparición de corrientes de secuencia negativa. Las cuales desarrollan un campo magnético que se opone a la rotación del motor. Esta carga adicional requiere un aumento de corriente. El efecto a largo plazo será la disminución de la vida del aislamiento.

Una entrega de potencia desequilibrada, no solamente causa desequilibrio de voltajes sino también un alto porcentaje de desequilibrio de corriente. El desequilibrio de voltaje causará que el motor marche a temperaturas por encima de la temperatura de diseño. Este sobrecalentamiento es debido a la aparición de las corrientes de secuencia negativa que causan en el motor una rotación opuesta a la rotación de funcionamiento. Estas temperaturas también provocarán la degradación de aislamiento y disminución de la vida del motor. (PdMA Corporation)

1.3.1.5. Falla en el estator

Las fallas en la carcasa del motor eléctrico pueden surgir de una instalación incorrecta, daños físicos, corrosión y acumulación de partículas. Si bien la carga del motor puede no parecer un verdadero componente de desempeño, estas deficiencias pueden afectar la forma en que otros se desempeñan. (Inducom, 2020)

1.3.1.6. Rotor

Encendiendo un motor con las barras rotas en el rotor, causa calor excesivo generado alrededor de la vecindad de las barras rotas. Esto puede propagarse a otras barras del rotor y destruir el aislante alrededor de las placas o laminaciones. Esto también puede afectar a otras partes

del motor. Según (PdMA Corporation) el aislante del estator no puede aguantar el calor intenso desarrollado por las barras rotas del rotor y fallará. Muchas veces las barras rotas del rotor no son fácilmente vistas sin la tecnología y pueden ser la causa de la falla del rotor. Esto puede resultar en un rebobinado y cambio de rodamientos, pero no una reparación del rotor. Cuando el motor se vuelve a servicio, tiene el mismo problema y presenta los mismos síntomas junto con el daño del aislamiento.

1.3.1.7. Diseño del rotor

El diseño del rotor es de gran importancia en la severidad de la identificación de las anomalías del rotor. Si el rotor es un diseño cerrado de barras (ilustración 4) la severidad será baja debido a que el rotor de hierro actúa para mantener las barras rotas del rotor en su lugar. Sin embargo, si el rotor es un diseño de barra abierta (ilustración 5) entonces la severidad se incrementa significativamente con la identificación de un defecto del rotor. Esta gran preocupación proviene de la posibilidad de que las barras del rotor se sacuden y se mueven hacia afuera de las ranuras del rotor haciendo contacto con el estator. (PdMA Corporation)



Figura 5: Rotor con diseño de barra abierta

Fuente: PdMA Corporation



Figura 6: Rotor con diseño de barras cerrado

Fuente: PdMA Corporation

1.3.1.8. Fallas mecánicas

Por definición, excentricidad del entrehierro es una falla mecánica del motor. Posibles consecuencias severas se generan por estas variaciones de distancia entre el rotor y estator. Pueden ocurrir cinco tipos básicos de excentricidad:

- El rotor es excéntrico al eje de rotación
- El estator es excéntrico al eje de rotación
- El rotor y el estator forman circunferencias perfectas, pero no tienen el mismo eje de rotación
- El rotor y el eje describen perfectas circunferencias perfectas, pero no tienen el mismo eje de rotación
- Alguna combinación de las anteriores

Las siguientes son solo unas de las posibles causas de excentricidad del entrehierro.

El inapropiado montaje del motor puede llevar a una desuniformidad del entrehierro. Un perno o tornillo suelto permitiría un desajuste durante la expansión térmica de la carcasa. Lo cual

con el tiempo, podría provocar deterioro del chasis y posible excentricidad del estator. (PdMA Corporation)

1.4.Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, a partir de un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza. (Garcia, 2024)

El mantenimiento predictivo surge como respuesta a la necesidad de reducir los costos de los métodos tradicionales del mantenimiento, preventivo y correctivo, y parte del conocimiento del estado de los equipos. Se apoya en dos pilares fundamentales (Cesáreo, 1998) que son la existencia de parámetros funcionales indicadores del estado del equipo y la vigilancia continua de los equipos, con la finalidad de detectar la falla antes de que ocurra para asegurar el correcto funcionamiento, observar su evolución y predecir la vida residual de sus componentes. (Saldivia, 2013)

1.4.1. Criticidad

La mejora de la confiabilidad operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componentes está asociada con cuatro aspectos fundamentales: confiabilidad humana, confiabilidad del proceso, confiabilidad del diseño y la confiabilidad del mantenimiento. El análisis de criticidad genera una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, diferenciando tres zonas de clasificación: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad. Una vez identificadas estas zonas, es mucho más fácil diseñar una estrategia, para realizar estudios o proyectos que mejoren la confiabilidad operacional,

iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que formen parte de la zona de alta criticidad. (Garcia, 2024)

1.4.1.1. Análisis de criticidad

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, lo cual permitirá subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlado y auditable.

Desde el punto de vista matemático, la criticidad se puede expresar como:

$$\textit{Criticidad} = \textit{Frecuencia} \times \textit{Consecuencia}$$

Aquí la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y, la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente. (Garcia, 2024)

1.4.2. Técnicas de mantenimiento predictivo

1.4.2.1. Análisis de vibraciones

Todas las máquinas presentan niveles de vibración cuando se encuentran en funcionamiento, considerados como normales, cuando se predice una avería el nivel de vibración cambia lo cual indica que algo no está funcionando correctamente y que es momento de realizar una revisión, debido a que existe una relación causa y efecto entre las vibraciones y las averías.

Entonces se puede entender que el nivel de vibración de un equipo nos puede indicar el “estado de salud” de la máquina, convirtiéndose en un buen índice para determinar si se va a presentar falla, la interpretación de las señales de vibración facilitarán la identificación del lugar y el tipo de falla que se está presentando, basándose en los niveles de tolerancia de la máquina dado por el fabricante o las normas técnicas. (Sánchez Gómez, 2017)

1.4.2.2. Análisis de termografía

Como su nombre lo indica es una herramienta que se encargará de evaluar la temperatura de los equipos, para determinar su correcto funcionamiento. Es una herramienta que permite conocer el estado del equipo y predecir la falla sin interrumpir el proceso de producción y de una manera no invasiva, da resultados rápidos debido a que una mínima de temperatura que no cumpla las especificaciones del fabricante en condiciones normales de funcionamiento del equipo indica que algo está funcionando mal. (Sánchez Gómez, 2017)

1.4.2.3. Análisis de ultrasonido

El análisis de ultrasonido está basado en el estudio de las ondas de sonido de alta frecuencia producidas por las máquinas cuando presentan algún tipo de problema.

Los instrumentos encargados de convertir las ondas de ultrasonido en ondas audibles se llaman medidores de ultrasonido o detectores ultrasónicos. Por medio de estos instrumentos las señales ultrasónicas transformadas se pueden escuchar por medio de audífonos o se puede observar en una pantalla. (Olarte C., Botero A., & Cañón A., 2010)

El análisis de ultrasonido permite:

- Detectar fricción en máquinas rotativas
- Detectar fallas y/o fugas en válvulas
- Detectar fugas en fluidos
- Detectar pérdidas vacío
- Detectar arco eléctrico
- Verificar la integridad de juntas de recintos estancos

1.4.2.4. Análisis de aceite

El análisis de aceites determina el estado de operación de las máquinas a partir del estudio de las propiedades físicas y químicas de su aceite lubricante.

La técnica de análisis de aceites permite cuantificar el grado de contaminación y/o degradación del aceite por medio de una serie de pruebas que se llevan a cabo en laboratorios especializados sobre una muestra tomada de la máquina cuando está operado o cuando acaba de detenerse. (Olarte C., Botero A., & Cañón A., 2010)

La contaminación en una muestra de aceite está determinada por medio de la cuantificación de:

- Partículas metálicas de desgaste
- Combustible
- Materiales carbonosas
- Insolubles

La degradación en una muestra de aceite está determinada por medio de la cuantificación las siguientes propiedades:

- Viscosidad
- Detergencia
- Basicidad
- Constante dieléctrica

1.4.3. Importancia del mantenimiento predictivo en la industria moderna

El mantenimiento predictivo (Pdm) ha cobrado cada vez más importancia de líneas de investigación multidisciplinarios, proponiendo la creación e integración de líneas de investigación relacionadas con la adquisición, la infraestructura almacenamiento, distribución, seguridad e

inteligencia de datos. El impacto del mantenimiento representa un total del 15% al 60% de los costos totales de operación de toda la fabricación (Haarman et al., 2017; Mobley, 2002). Sin embargo las empresas no miden correctamente la cantidad gastada relacionada. Por lo tanto, podemos justificar la necesidad de estudios sobre cómo utilizar nuevas tecnologías que puedan cambiar este escenario.

Los datos recopilados de los múltiples sensores en entornos de la industria 4.0 proporcionan nuevas oportunidades para soluciones de predicción de vida restante de un activo (Yan et al., 2017). La idea del Pdm puede generar acción de programación basada en el rendimiento o las condiciones del equipo a lo largo del tiempo se vuelve emocionante e incluso primordial para el futuro de la industria (Wu et al., 2016). Uno de los principales requisitos para el logro efectivo del Pdm es una cantidad suficiente de datos de todas las partes del proceso de fabricación (Kiangala & Wang, 2018). Como resultado, puede disminuir los costos de mantenimiento y el tiempo de inactividad, y también mejorar la productividad y la calidad. (Zonta., y otros, 2020)

1.5.Vibración

1.5.1. Norma ISO 20816-1

Este documento establece las condiciones y procedimientos generales para la medición y evaluación de las vibraciones mediante mediciones realizadas en piezas giratorias, no giratorias y no reciprocas de máquinas completas. (International Organization for Standardization, 2016)

1.5.1.1. Tipos de medidas

1.5.1.1.1. Medición de vibraciones en piezas no giratorias

Las mediciones de las vibraciones en las piezas no giratorias se realizan generalmente con un transductor sísmico que detecta la velocidad o la aceleración absoluta de las piezas de la estructura en la que está montado (por ejemplo, el alojamiento del rodamiento). (International Organization for Standardization, 2016)

1.5.1.1.2. Medición de la vibración relativa del eje

Las mediciones de la vibración relativa del eje se realiza generalmente con un transductor sin contacto que detecta el desplazamiento vibratorio entre el eje y un miembro estructural en el que está montado (por ejemplo, el alojamiento del rodamiento). (International Organization for Standardization, 2016)

1.5.1.2. Posiciones de medición

1.5.1.2.1. Posiciones de medición en piezas no giratorias

Las mediciones en las partes no giratorias deben realizarse en los rodamientos, en la carcasa del soporte de los rodamientos o en otras partes estructurales que responden significativamente a las fuerzas dinámicas transmitidas desde los elementos giratorios en los lugares de los rodamientos y caractericen la vibración global de la máquina (International Organization for Standardization, 2016)

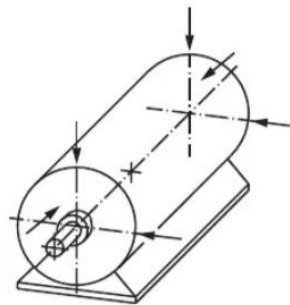


Figura 7: Puntos de medición para pequeñas máquinas eléctricas

Fuente: ISO 20816-1

1.5.1.3. Límites operativos

Para el funcionamiento a largo plazo, es una práctica común para algunos tipos de máquinas establecer límites de vibración operativos. Estos límites adoptan la forma de ALARMAS y TRIPS.

ALARMAS: para avisar de que se ha alcanzado un valor definido de vibración o de que se ha producido un cambio significativo, a partir del cual puede ser necesario tomar medidas correctoras. En general, si se produce una situación de ALARMA, el funcionamiento puede continuar durante un tiempo mientras se llevan a cabo investigaciones para identificar la razón del cambio de vibración y definir cualquier acción correctiva. (International Organization for Standardization, 2016)

TRIPS: Para especificar la magnitud de la vibración más allá de la cual el funcionamiento posterior de la máquina puede causar daños. Si se supera el valor TRIP, se deben tomar medidas inmediatas para reducir la vibración o se debe parar la máquina. (International Organization for Standardization, 2016)

1.5.1.4. Directrices para fijar los límites de las zonas

Dado que este documento es un documento base que establece directrices generales para la medición y evaluación de las vibraciones mecánicas de las máquinas, no define criterios de evaluación específicos para cada máquina.

Los criterios de evaluación de los tipos de máquinas para los que no se han desarrollado normas internacionales específicas se basarán normalmente en la experiencia de funcionamiento con máquinas de diseño similar y deberán ser objeto de acuerdo entre el proveedor de la máquina y el cliente. (International Organization for Standardization, 2016)

Rango de valores típicos del límite de la zona para las piezas no giratorias velocidad de vibración r.m.s. mm/s				
0,28				0,28
0,45				0,45
0,71				0,71
1,12	Límite de la zona A/B 0,71 a 4,5			1,12
1,8				1,8
2,8				2,8
4,5				4,5
7,1	Límite de la zona B/C 1,8 a 9,3			7,1
9,3				9,3
11,2				11,2
14,7				14,7
18				18
28				28
45				45
NOTA 1 Esta tabla sólo se aplica a las máquinas para las que no se han elaborado normas internacionales específicas y para las que no se dispone de experiencia adecuada. NOTA 2 Las máquinas pequeñas (por ejemplo, los motores eléctricos con una potencia de hasta 15 kW) tienden a situarse en el extremo inferior de la gama y las máquinas grandes (por ejemplo, los motores primarios con soportes flexibles en la				

Figura 8: Rango de valores típicos para los límites de las zonas A/B, B/C y C/D para piezas no giratorias

Fuente: ISO 20816-1

1.5.2. Extracción de las fuentes de vibración

Por supuesto, podríamos examinar una señal de vibración con solo verla en un osciloscopio o guardarla como una forma de onda. Alternativamente, podríamos proyectar una medición global como un valor Peak o RMS en un período de tiempo para detectar el desgaste. Sin embargo, podemos comprender mejor el comportamiento de la máquina al examinar la manera como la señal de vibración se construye a partir de componentes de frecuencias diferentes. Por lo tanto, sería útil si los datos complejos pueden ser desglosados a través de componentes individuales que los crean. Afortunadamente, una herramienta tal existe y se llama la Transformada Rápida de Fourier – en inglés Fast Fourier Transform (FFT). (SKF, 2010)

Una transformación toma los datos de un dominio y lo convierte en otro dominio sin ninguna pérdida de información. En el caso de las vibraciones, los dos dominios son el dominio de tiempo (amplitud en función del tiempo) y el dominio de la frecuencia (amplitud función de la frecuencia). El concepto más importante a entender es que hay una herramienta que analiza complicados datos de tiempo a través de componentes de frecuencia y amplitud. (SKF, 2010)

1.5.3. Vibración global

En general la vibración es la energía total de las vibraciones medidas en un rango de frecuencias específicas. Un valor superior al valor normal global proporciona una indicación de que algo está causando que la máquina o el componente vibren más.

La gama de frecuencias para las que la lectura de vibración se lleva a cabo está determinada por el equipo de monitoreo. Algunos recolectores de datos tienen su propia gama de frecuencias predefinidas para realizar mediciones de vibración en general. Otros colectores de datos permiten al usuario seleccionar el rango total de medición de frecuencia. Al comprar los valores en general, es importante que todos los valores en general se obtengan de la misma gama de frecuencia. (SKF, 2010)

1.5.3.1. Niveles de alerta y alarma globales

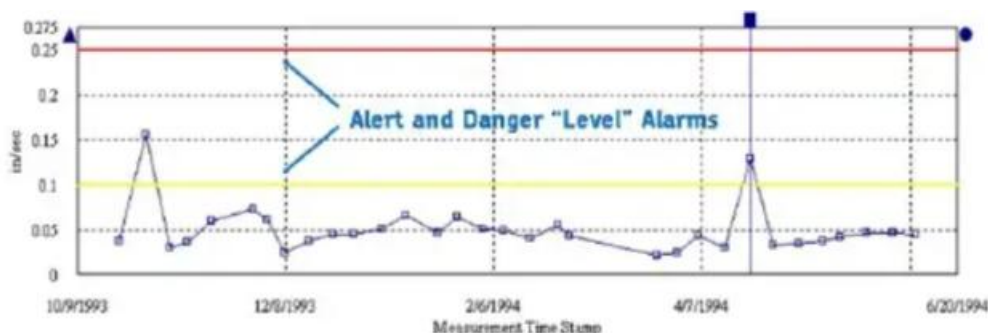


Figura 9: Ejemplo de tendencias de alarmas globales

Fuente: Curso de vibración SKF

Por lo general, los niveles de alerta y alarma, son difíciles de determinar la hora de establecer una nueva base de datos debido a las variaciones en las características de la máquina, montaje, carga, etc. Por lo tanto, el analista de mantenimiento predictivo a menudo opta por utilizar las directrices de la industria. Hay dos áreas de consideración en la aplicación de estas pautas:

- Las directrices pueden ser dependientes de la frecuencia, en comparación con las diseñadas para aplicaciones generales.
- Las directrices se aplican a las clasificaciones específicas de las máquinas.

Es muy conveniente especificar un umbral de alerta lo suficientemente alto como para reducir al mínimo las alarmas externas, pero lo suficiente conservador para no perder una condición crítica el estado de la máquina. (SKF, 2010)

Hay que subrayar que hay que extremar las precauciones cuando se utilicen mediciones de vibraciones en general para las máquinas, como la velocidad de la máquina puede afectar negativamente a los valores de aceleración, velocidad, y el desplazamiento. (SKF, 2010)

1.5.4. Desalineación

La desalineación se crea cuando los ejes, acoplamientos y rodamientos no están correctamente alineados a lo largo de sus líneas centrales. Los dos tipos de desalineación son angular y paralela, o una combinación de ambas. (SKF, 2011)

Desalineación angular

La desalineación angular ocurre cuando dos ejes se unen en un acoplamiento de tal manera que inducen una fuerza de flexión en el eje. (SKF, 2011)

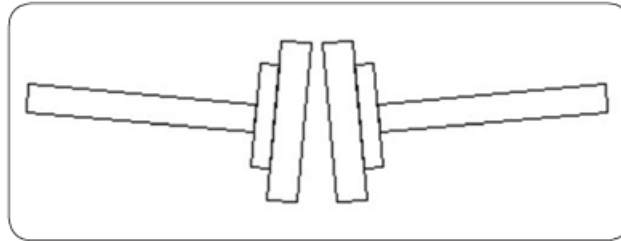


Figura 10: Desalineación Angular
Fuente: Vibration Diagnostic Guide SKF

Desalineación paralela

La desalineación paralela ocurre cuando las líneas centrales del eje son paralelas pero desplazadas entre sí. (SKF, 2011)

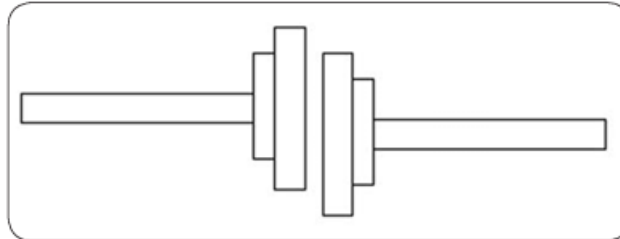


Figura 11: Desalineación Paralela
Fuente: Vibration Diagnostic Guide SKF

1.5.4.1. Causas

Las posibles causas son:

- Expansión térmica debido a un proceso que funciona con calor (como con una turbina). La mayoría de las máquinas están alineadas en frío, luego a medida que funcionan y se calientan, el crecimiento térmico hace que crezcan desalineadas.
- La máquina acoplada directamente no está correctamente alineada.
- Fuerzas transmitidas a la máquina por tuberías y miembros de soporte.

- Cimentación desigual, desplazada o asentándose. (SKF, 2011)

1.5.4.2. Efectos

La desalineación generalmente hace que el rodamiento lleve una carga más alta que su especificación de diseño, lo que a su vez causa un fallo del rodamiento debido a la fatiga. La fatiga es el resultado de las tensiones aplicadas inmediatamente debajo de las superficies de carga y se observa como astillado del metal de la superficie. (SKF, 2011)

1.5.4.3. Diagnóstico

Utilice la vibración general, los espectros FFT y las mediciones de fase para diagnosticar problemas de desalineación. (SKF, 2011)

La desalineación angular causa vibración axial a la velocidad de frecuencia de carrera (1X).

La desalineación paralela produce vibración radial al doble de frecuencia de velocidad de funcionamiento (2X). (SKF, 2011)

1.5.5. Desequilibrio

El desequilibrio ocurre cuando la línea central de masa del eje no coincide con su línea central geométrica. Hay tres tipos de desequilibrio: desequilibrio estático, desequilibrio de pareja y desequilibrio dinámico (una combinación de los dos primeros). (SKF, 2011)

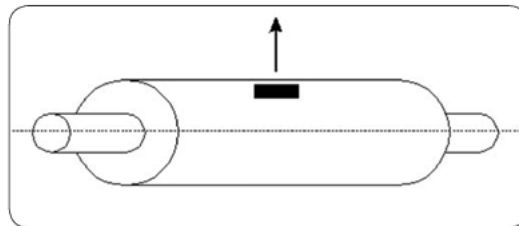


Figura 12: Desequilibrio Estático

Fuente: Vibration Diagnostic Guide SKF

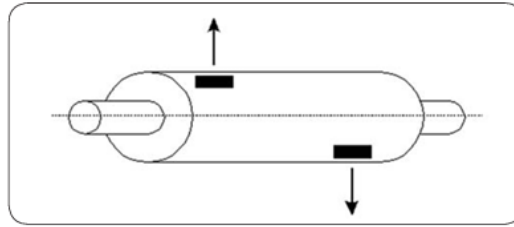


Figura 13: Desequilibrio de pareja

Fuente: Vibration Diagnostic Guide SKF

1.5.5.1. Causa

El desequilibrio puede ser causado por una serie de factores, incluida la fabricación inadecuada, una acumulación desigual de escombros en los rotores/palas/patas, o la adición de accesorios de eje sin un procedimiento adecuado de equilibrio de la cuenta. Con las bombas, el desgaste irregular de los impulsores se indica como desequilibrio. Las características calve de la vibración causada por el desequilibrio son: (SKF, 2011)

- Es una vibración de una sola frecuencia cuya amplitud es la misma en todas la direcciones radiales.
- Es sinusoidal que ocurre a una frecuencia de una vez por revolución (1X).
- El espectro generalmente no contiene armónicos de 1X la velocidad de funcionamiento, a menos que sea severos.
- La amplitud aumenta con la velocidad hasta la primera velocidad critica de la máquina.

1.5.5.2. Efectos

El desequilibrio generalmente hace que el rodamiento lleve una carga dinámica más alta que su especificación de diseño, lo que a su vez hace que el rodamiento falle debido a la fatiga. (SKF, 2011)

1.5.5.3. Diagnóstico

Utilice la vibración general, los espectros FFT y las mediciones de fase para diagnosticar problemas de desequilibrio. (SKF, 2011)

1.5.6. Holguras/Flojes

La holgura mecánica, o el ajuste inadecuado entre las partes componentes, generalmente se caracteriza por una larga cadena de armónicos de frecuencia giratoria armónicos de frecuencia giratoria de $\frac{1}{2}$ amplitudes normalmente altas. (SKF, 2011)

1.5.6.1. Causas

- La máquina se ha soltado de su montaje
- Un componente de la máquina se ha soltado
- El rodamiento ha desarrollado una falla que ha desgastado los elementos del rodamiento o el asiento del rodamiento. (SKF, 2011)

1.5.6.2. Efectos

- Si la holgura está relacionada con el soporte, los efectos son los mismos que el desequilibrio, solo que más graves.
- Si se genera holgura a partir de un componente, existe la posibilidad de que la pieza se desprenda, causando daños secundarios. (SKF, 2011)

1.5.6.3. Diagnóstico

Utilice los espectros y la fase FFT para diagnosticar la holgura. (SKF, 2011)

1.6.Sensores inteligentes y la industria 4.0

1.6.1. Industria 4.0

La industria 4.0 consiste en la digitalización de los procesos productivos en las fábricas mediante sensores y sistemas de información para transformar los procesos productivos y hacerlos más eficientes. El objetivo de la industria 4.0, es un ambicioso proyecto de alta tecnología, el cual es promover la automatización de la manufactura. (Serna M., 2017)

1.6.1.1. Big data y análisis de grandes datos

Según (Arntz & Gregpry, 2016) se refiere a datos caracterizados por su volumen (gran cantidad), velocidad (a la que se genera, acceden, procesan y analizan) y variedad de datos estructurados y no estructurados. Estos datos pueden ser reportados por máquinas y equipos, sensores, cámaras, micrófonos, teléfonos móviles, software de producción, y pueden provenir desde diversas fuentes, como empresas, proveedores, clientes y redes sociales. El análisis de estos datos mediante algoritmos avanzados es clave para la toma de decisiones en tiempo real, permite alcanzar mejores estándares de calidad de producto y procesos, y facilita el acceso a nuevos mercados (fenómeno que se conoce como innovación basada en datos). (Basco, 2018)

1.6.2. Sensores Inteligentes

Según (De Jonge, 2020) el mantenimiento predictivo se considera como el tipo de mantenimiento más actualizado y tecnológico y para su correcta implementación se requiere de medios técnicos/ tecnológicos avanzados. También (Lillstrang, 2022) afirma que estos ayudan con actividades que son naturalmente complejas para las capacidades del ser humano. Este requerimiento tecnológico se encuentra factible debido a la actual Cuarta Revolución Industrial o también denominada Industria 4.0 de acuerdo con lo previo, se puede llevar a cabo el uso de

sensores inteligentes, dispositivos que permiten medir en tiempo real distintos parámetros . (Tirado Kulieva, 2023)

1.6.3. Sensores en motores eléctricos

Los motores eléctricos requieren una variedad de sensores estratégicamente situados para monitorizar parámetros operativos críticos. El tipo y la colocación correcta del sensor influye directamente en la capacidad del sistema para detectar fallos a tiempo, optimizar el rendimiento y permitir el mantenimiento predictivo. (Habyarimana, 2025)

1.6.3.1. Tipos de sensores aplicados en motores eléctricos

Los sensores son esenciales para optimizar el rendimiento de los motores eléctricos monitorizando la temperatura, vibración, corriente y posición en tiempo real. Los sensores de temperatura evitan el sobrecalentamiento, los sensores de vibración detectan problemas mecánicos y los sensores de posición aseguran un control preciso del movimiento. Estos sensores mejoran la eficiencia reducen el consumo de energía y prolongan la vida útil del motor.

1.6.3.1.1. Sensores de temperatura

Los sensores de temperatura en los motores eléctricos monitorean y protegen contra el sobrecalentamiento, lo que garantiza la eficiencia y la seguridad.

Entre los tipos más comunes se encuentran los detectores de temperatura por resistencia, los termistores, los termopares y los sensores integrados. (Habyarimana, 2025)

1.6.3.1.2. Sensores de vibración

Los sensores de vibración se utilizan en varios motores (síncronos, asíncronos y de CC) para detectar problemas mecánicos como desalineación, desequilibrio, desgaste de cojinetes y

fallas estructurales. Estos sensores miden las vibraciones y las convierten en señales eléctricas que pueden ser analizado para evaluar la salud motora. (Habyarimana, 2025)

1.6.3.1.3. Sensores de corriente

Los sensores de corriente son componentes esenciales para el monitoreo y control de máquinas y sistemas eléctricos. Miden la corriente que fluye a través de un circuito y la convierten en señales legibles-analógicas o digitales-para aplicaciones como detección de fallas, optimización de la eficiencia, protección contra sobrecargas y análisis de la calidad de energía. La corriente se puede detectar mediante el campo magnético que genera o midiendo directamente la caída de voltaje a través de una resistencia conocida. (Habyarimana, 2025)

1.6.3.1.4. Sensores de velocidad y posición

Los sensores de velocidad y posición desempeñan un papel crucial en la determinación de la velocidad del rotor y posición angular en motores eléctricos. Estos sensores mejoran la precisión del control y del sistema. (Habyarimana, 2025)

1.6.3.2. Factores para la selección de un sensor y su ubicación

1.6.3.2.1. Tipos de medición

Diferentes tipos de mediciones requieren sensores específicos para garantizar la recopilación precisa de datos.

Tanto para temperatura, velocidad, posición, etc, se utilizan sensores específicos para cada aplicación.

La efectividad de la monitorización de vibraciones depende de no solo del tipo del tipo de sensor, sino también de la ubicación del sensor, típicamente de la carcasa cerca de los rodamientos u otras interfaces mecánicas críticas donde las vibraciones son más indicativas de fallas. (Habyarimana, 2025)

1.6.3.2.2. Precisión y resolución

La precisión y la resolución son factores críticos en la selección de sensores, especialmente para aplicaciones de alta precisión como servomotores, robótica y máquinas CNC, que requieren codificadores o solucionadores de alta resolución para garantizar un control y posicionamiento preciso. (Habyarimana, 2025)

1.6.3.2.3. Tiempo de respuesta

El tiempo de respuesta es una consideración importante a la hora de seleccionar sensores para diferentes aplicaciones. Los sensores de respuesta rápida, como los codificadores ópticos y los sensores de efecto Hall, son esenciales para el control del motor a alta velocidad en aplicaciones como los servomotores y los motores de CC sin escobillas (BLCD), donde la retroalimentación en tiempo real es crucial para un funcionamiento preciso.

Sin embargo, los sensores de respuesta más lenta, como los termopares utilizados para el monitoreo de la temperatura, son adecuados para aplicaciones en las que los cambios rápidos no son críticos, ya que las variaciones de temperatura generalmente ocurren gradualmente. La elección del sensor depende de la velocidad y la capacidad de respuesta requeridas para un rendimiento efectivo del sistema. (Habyarimana, 2025)

1.6.3.2.4. Condiciones ambientales

- Temperatura

En entornos de alta temperatura, como hornos industriales o motores en máquinas de servicio pesado, los sensores deben ser capaces de soportar calor extremo, manteniendo un rendimiento preciso. (Habyarimana, 2025)

- Resistencia a la vibración y a los golpes

Los entornos industriales con maquinaria pesada a menudo exponen los sensores a altos niveles de vibración y choque, lo que hace que la durabilidad sea un factor clave en la selección de sensores.

Para los propios sensores de vibración, la colocación adecuada es esencial. Los acelerómetros deben montarse lo más cerca posible de la fuente de vibración, generalmente en carcasas de rodamientos o escudos del extremo del motor, para garantizar la detección precisa de fallas como desequilibrio, desalineación y desgaste de rodamiento. (Habyarimana, 2025)

- Resistencia al polvo y a la humedad

Los sensores utilizados en exteriores o entornos industriales agresivos deben ser resistentes al polvo y a la humedad, para garantizar una funcionalidad a largo plazo.

Los sensores magnéticos se utilizan comúnmente en tales condiciones debido a su capacidad para operar de manera efectiva incluso en presencia de contaminantes.

Además, los codificadores con clasificación IP proporcionan protección adicional contra la entrada de polvo y humedad, lo que los hace ideales para aplicaciones en las que la exposición a estos elementos es inevitable. La selección de sensores con características de protección apropiadas mejora su vida útil y garantiza un rendimiento constante en entornos desafiantes. (Habyarimana, 2025)

1.7.Smart Sensor – ABB Ability TM

En 2016, ABB lanzó una solución de sensores inteligentes que conecta los motores eléctricos de baja tensión a la internet industrial, lo que permite monitorizarlos continuamente a través de un teléfono inteligente o una aplicación web.

El sensor inteligente ABB Ability TM se instala fácilmente en casi cualquier motor y transmite datos sobre vibraciones, temperatura, cargas y consumo de energía a la nube para su

análisis. Se generan alertas en cuanto alguno de los parámetros se desvía de la norma, lo que permite al operador tomar medidas preventivas antes de que el motor falle. (ABB, 2026)

1.7.1. Descripción

El ABB Ability Smart Sensor G2 permite el monitoreo remoto y la gestión de todos los componentes claves en el sistema de tren motriz, por ejemplo, motores, generadores, bombas, ventiladores, etc.

El Smart Sensor G2 se puede montar en equipos giratorios como motor, ventilador o bomba. Después de la puesta en marcha, el Smart Sensor G2 recopila datos y los procesa en un intervalo de medición configurado. En cada intervalo de medición, el sensor produce ciertos datos preprocesados. Estos datos se transfieren automáticamente al portal a través de una puerta de enlace conectada o se transfieren manualmente a través de una aplicación móvil. (ABB, 2025)

1.7.2. Relación con el mantenimiento predictivo

El análisis predictivo abarca una variedad de relaciones físicas, técnicas estadísticas de minería de datos, modelado predictivo y aprendizaje automático que analizan hechos actuales e históricos para hacer predicciones sobre eventos futuros o desconocidos.

Los diagnósticos predictivos en el campo de mantenimiento tienen el propósito de identificar un fallo incipiente y aún no manifestado (sin efectos claramente visibles o activación de umbrales de alarma) con suficiente tiempo de antelación y proporcionar un análisis de la causa raíz.

Los estudios modernos de fiabilidad muestran que casi todas las fallas de las máquinas ocurren al azar, a menudo con señales de advertencia temprana que pueden ser detectadas por un análisis de monitoreo de vibraciones.

Smart sensor- sensor inalámbrico ABB para monitoreo de condiciones de bajo costo (ABB, 2022), entre sus principales características:

- Vibraciones (3 ejes), temperatura, campo magnético y acústica ultrasónica (0,1-80 kHz)
- Mide vibración radial de hasta 20.000 Hz
- El sensor puede funcionar entre -40 y +85°C
- Aplicable para motores con un tamaño de cuadro de hasta IEC 500
- Aplicable a bombas, ventiladores, compresores y otros equipos rotativos estándar

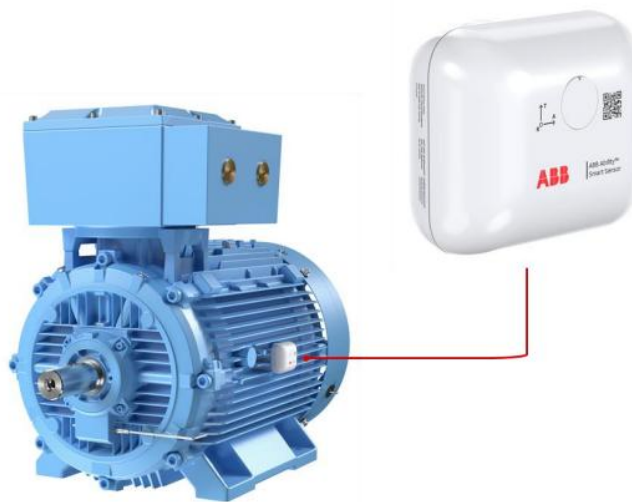


Figura 14: ABB Next Generation Smart Sensor

Fuente: myABB business portal-ABB Ability™ Digital Solutions – Asset Performance Management

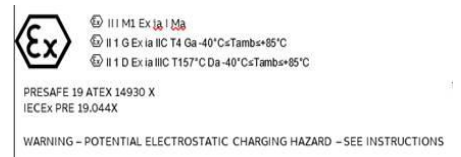
1.7.3. Evolución del Smart sensor de ABB Ability™



Figura 15: Generación 1 para área segura y Generación 2 para área peligrosa

Fuente: myABB business portal - ABB Ability™ Motor Smart Sensor for hazardous areas

1.7.3.1. Smart Sensor ABB Ability™ para área segura/área peligrosa



	Smart Sensor safe area (G1)	Smart Sensor hazardous area (G2)
Wireless communication	Bluetooth® 4, Bluetooth® Low Energy	Bluetooth® 5.0, Bluetooth® Low Energy
Certifications	- Safe area only - Local radio certificates	Hazardous areas IECEX, ATEX, NEC 500
Battery life	< 5 years	Up to 15 years
Ingress protection	IP66	IP66/67. Design for F&B (Round Edges)
Sensor activation	By flipping	By NFC
Measurement quality	- Frequency bandwidth 1,3 kHz - Microphone not really in use	Superior sensors for dramatically better measurements - Z axis max frequency bandwidth 20 kHz (approx. 10kHz utilized today) - Ultrasonic microphone
Hardware	Separate sensor for motors and pumps	Same sensor for all applications. Firmware to be chosen during commissioning. - Motor Firmware available today - Coming next: Pump Firmware December 2020

Figura 16: Lado y lado del Smart Sensor G1 y G2

Fuente: myABB business Portal- ABB Ability™ Motor Smart Sensor for hazardous areas

1.7.4. Smart Sensor ABB Ability™ Generación 2

Acerca de la supervisión de la condición de ABB para motores y equipos giratorios.

- Un dispositivo de monitoreo de ABB Ability™ Smart Sensor
 - Supervisar los parámetros operativos clave, la salud y el rendimiento de los activos.
- Fácil de implementar
 - Sin cableado ni mecanizado, transmisión de datos a través de Bluetooth
- Fácil de poner en marcha y operar
 - A través de la aplicación o portal web dedicado
- Algoritmo internos de ABB basados en más de 100 años de experiencia
 - Convierte los datos en información significativa
 - Fácil de entender
- Compatible con casi todos los motores
 - Ya sea nuevo o antiguo, de ABB u otros proveedores (ABB, 2024)

1.7.4.1. Características y Beneficios

Diseñado para áreas peligrosas

- Certificado NEC: cumple con los requisitos más estrictos para equipos que operan en atmósferas explosivas
- IP 66/67

Precisión de detección puntual

Los sensores superiores permiten la detección incluso de ligeras anomalías en el estado del equipo en una etapa muy temprana

Batería de larga duración

Hasta tres veces más largo que la mayoría de los diseños de la competencia

Facilidad de uso

- Instalación y activación rápidas a través de NFC para un monitoreo instantáneo
- Fácilmente reconfigurado para diferentes activos, ahorrando tiempo y reduciendo las existencias
- Para ABB o equipos de terceros (ABB, 2020)

1.7.4.2. Interfaz intuitiva

Los usuarios pueden comprobar el estado de sus motores en cualquier momento con su teléfono inteligente a través de la aplicación ABB Ability™ Smart Sensor. La interfaz incluye una pantalla de “semáforo” para dar una visión general rápida de todos los motores que se están monitoreando. Los usuarios también reciben recomendaciones claras sobre cómo optimizar el mantenimiento y ahorrar costes. (ABB, 2019)

 Rojo

Problema crítico – fallo probable pronto. Actúa lo antes posible.

 Amarillo

La operación puede continuar, pero el motor debe ser vigilado de cerca y reparado en la próxima oportunidad posible.

 Verde

Motor bien – la operación puede continuar (ABB, 2019)

1.7.5. Capacidad de monitoreo

Recopila una amplia gama de KPI

- Vibraciones (radiales, tangenciales, axiales)
- Velocidad
- Horario de funcionamiento
- Número de inicios
- Frecuencia de suministro
- Potencia de salida
- Temperatura de superficie
- Indicadores clave de rendimiento electromagnético

Aplicable a ABB o proveedores externos

- Motores de CA industriales, de inducción o sincrónicos
- IEC: 56 – 500 tamaño de marco
- NEMA: 42 – 449 tamaño de marco (ABB, 2024)

1.8. Powertrain

El ABB Ability™ Digital Powertrain es un conjunto de soluciones digitales que incluye dispositivos, software y servicios. Combina la conectividad y el análisis de datos con nuestra experiencia para hacer que sus operaciones sean eficientes, predecibles y seguras. (ABB, 2026)

Las operaciones industriales no pueden permitirse un fracaso inesperado. El powertrain digital ABB Ability™ permite el mantenimiento predictivo en motores, unidades y equipos accionados en sitios individuales o flotas globales. Al combinar análisis avanzados con al

experiencia en el dominio de ABB, le ayuda a detectar riesgos emergentes temprano, evaluar la probabilidad de fallas y actuar antes de que el tiempo de inactividad afecte la producción.

El resultado es un mantenimiento predictivo estructurado y escalable que mejora la fiabilidad y reduce el riesgo operativo. (ABB, 2026)

El Portal Digital Powertrain incluye varias funcionalidades para apoyar a los usuarios en:

- **Gestión de activos y análisis históricos:** el portal permite mantener la base de datos de activos, sus especificaciones y métricas de rendimiento. Los usuarios pueden realizar análisis históricos, rastrear el estado de los activos a lo largo del tiempo y tomar decisiones basadas en datos para el mantenimiento y la optimización. (ABB, 2026)
- **Monitoreo y visualizaciones en tiempo real:** el portal proporciona paneles de monitoreo en tiempo real y herramientas de visualización para mostrar tendencias, gráficos de dispersión y análisis más profundos como FFT para equipos rotativos. Los usuarios pueden monitorear el estado de los activos y la presencia de malas condiciones a través de interfaces gráficas intuitivas. (ABB, 2026)
- **Análisis y mantenimiento predictivo:** se emplean técnicas de análisis avanzadas para analizar datos históricos y proporcionar capacidades de análisis específica con respecto a la tipología de dispositivos. Detección de tendencias para motores y posibles fallas para unidades. El algoritmo de mantenimiento basado en la condición ayuda a optimizar los horarios de mantenimiento y minimizar los tiempos de inactividad. (ABB, 2026)
- **Alertas y notificaciones:** el portal genera alertas y notificaciones basadas en umbrales o algoritmos predefinidos. Los usuarios reciben alertas por correo

electrónico o a través de la interfaz del portal, lo que permite una respuesta oportuna a problemas críticos. (ABB, 2026)

- **Seguimiento de eventos:** el portal permite clasificar e insertar comentarios a eventos específicos relacionados con un activo u hacerlos visibles para todos los usuarios para fomentar el intercambio de conocimientos y el entorno colaborativo entre ingenieros de mantenimiento, especialistas en fiabilidad y otras partes interesadas. (ABB, 2026)
- **Generación de informes:** los informes basados en el tiempo están diseñados para activos o grupos de activos específicos, para dar a los usuarios toda la información necesaria de un vistazo para realizar un análisis más profundo y una toma de decisiones informadas. (ABB, 2026)

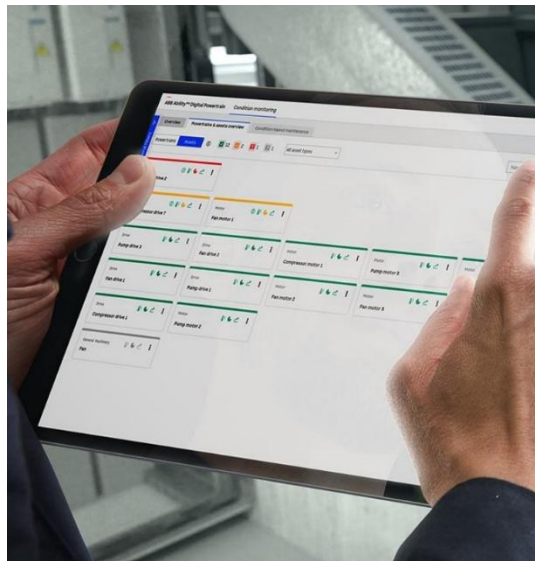


Figura 17: Portal Digital Powertrain
Fuente: ABB ABILITY™ DIGITAL POWERTRAIN

1.8.1. Beneficios claves

Desde inteligencia predictiva hasta resultados comerciales medibles

- **Fiabilidad**

Evitar el tiempo de inactividad no planificada a través de una intervención temprana.

- **Seguridad**

Reducir el riesgo operativo y las intervenciones de emergencia.

- **Eficiencia**

Optimice la planificación de mantenimiento y reduzca el costo total.

- **Sostenibilidad**

Extienda la vida útil de los activos y reduzca el consumo de energía. (ABB, 2026)

1.8.2. ¿Cómo el Powertrain digital permite mantenimiento predictivo?

Al combinar la tecnología de detección y conectividad de ABB con los servicios de monitoreo digital, obtiene inteligencia basada en datos para predecir problemas, optimizar el rendimiento y actuar con confianza. (ABB, 2026)

12. DETECTAR

Supervise continuamente los motores, los accionamientos y el equipo giratorio para identificar patrones anormales y los primeros signos de degradación.

13. PREDECIR

Utiliza análisis avanzados y experiencia en el dominio de ABB para evaluar la probabilidad de fallo y el impacto operativo.

14. RECOMENDAR

Proporciona orientación clara y priorizada para permitir que los equipos de mantenimiento actúen antes de que la falla interrumpa la producción. (ABB, 2026)

2. CAPÍTULO II – METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

2.1.1. Según su finalidad

La siguiente investigación es de tipo aplicada, ya que se integra una tecnología ya existente para poder diagnosticar y analizar tanto parámetros de salud como de operación de los motores eléctricos de corriente alterna mediante el uso de un sensor inteligente como lo es el Smart Sensor de la familia de ABB Ability™.

2.1.2. Según su enfoque

Debido a que se analiza mediante datos numéricos, en otras palabras, todos los parámetros que nos proporciona la data del Smart Sensor de ABB Ability™ como de, temperatura, vibración, velocidad, horas de funcionamiento, potencia, número de arrancadas, etc, son valores medibles, por ende, la investigación posee un enfoque cuantitativo.

2.1.3. Según el diseño

Según el diseño, se considera una investigación de campo, porque no se utilizó únicamente libros, simulaciones o manuales; los datos son obtenidos directamente de los motores en funcionamiento asignados, incluso, se necesita asistir para la instalación del sensor y subir la información por la aplicación mediante una tecnología NFC

2.2.Área de estudio

1era área de estudio

Facultad de ingeniería marítima/Taller de electricidad



*Figura 18: Facultad de Ingeniería Marítima
Fuente: Propia*

Ubicación del motor

Motor integrado en módulo didáctico para demostrar curvas de arranque



*Figura 19: Taller de electricidad de la
facultad de Ingeniería Marítima
Fuente: Propia*

2da área de estudio

Puertomar S.A.



Figura 20: PuertoMar S.A.

Fuente: GoogleMaps

Ubicación: Km 8 1/2 vía Jaramijó – Rocafuerte Ecuador

Ubicación del motor

Área de bombeo, cisterna



Figura 21: Motor en PuertoMar S.A. para cisterna 4

Fuente: Propia

2.4.Equipos y materiales utilizados

EQUIPOS	FUNCIÓN
Smart Sensor	Captura de datos
Plataforma Powertrain de ABB	Monitoreo
Celular	Actúa como intermediario con tecnología NFC
Motores eléctricos	Equipos de estudio
Torquímetro	Aplicar torque de 10 Nm
Hexagonales	Ajuste de sensor a base

3. CAPITULO III - Configuración e Instalación del Smart Sensor

3.1. Configuración del Smart Sensor de ABB Ability™

15. Descargar app desde el celular



Figura 24: App Digital Powertrain en APP Store

16. Crear usuario en MyABB ^{Fuente: Propia}

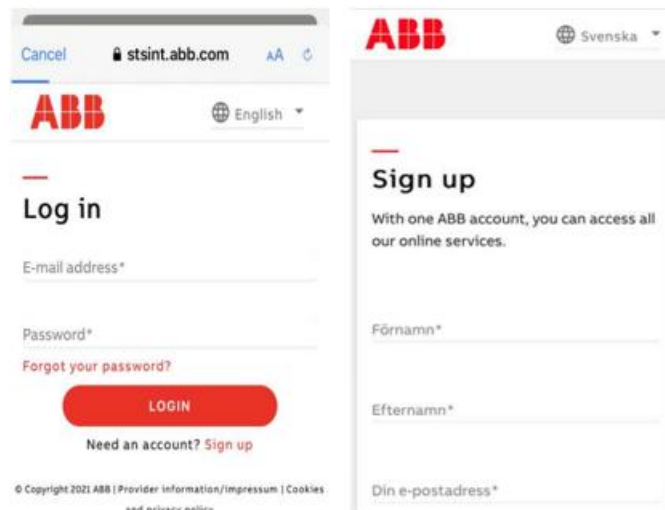


Figura 25: Registro de usuario en MyABB

Fuente: Propia

17. Crear organización

The screenshot shows the ABB Motion web interface for creating an organization. The header features the ABB logo. Below it, a progress bar indicates three steps: 'Crear organización' (completed), 'Agregar sitio' (current step), and 'Completo'. The main heading is 'Comience a usar ABB Motion' with a subtext: 'Crea tu cuenta aquí para crear tu propia organización o unirte a una organización existente.' There are two main options: 'Crear organización' (with a subtext 'Comienza tu viaje creando tu organización.') and 'Únete a la organización existente' (with a subtext 'Solicitar acceso para una organización existente.'). A link 'Ver firmware público de Drive' is present. At the bottom, there are buttons for 'Cancelar', 'Próximo', and 'Cerrar sesión'. The right panel, titled 'Agregue detalles relacionados con su sitio', contains several form fields: 'Nombre del sitio' (filled with 'Taller Eléctrico Facultad de Ingeniería Marítima'), 'Dirección del sitio' (filled with 'Facultad de Ingeniería, Manta'), 'Ciudad del emplazamiento (opcional)' (filled with 'Intrase la ciudad del sitio'), 'Código postal del sitio (opcional)' (filled with 'Introduzca el código postal del sitio'), 'Planta/edificio (opcional)' (filled with 'Entrar en la planta/edificio'), and 'País' (filled with 'Ecuador'). Navigation buttons 'Anterior' and 'Próximo' are at the bottom of the right panel.

Figura 26: Creación de Organización

Fuente: Propia

18. Ingresar a app

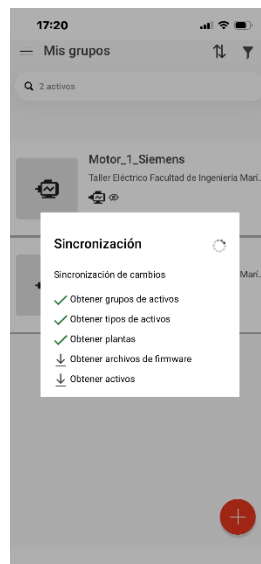


Figura 27: Sincronización desde APP

Fuente: Propia

3.1.1. Activación de sensor

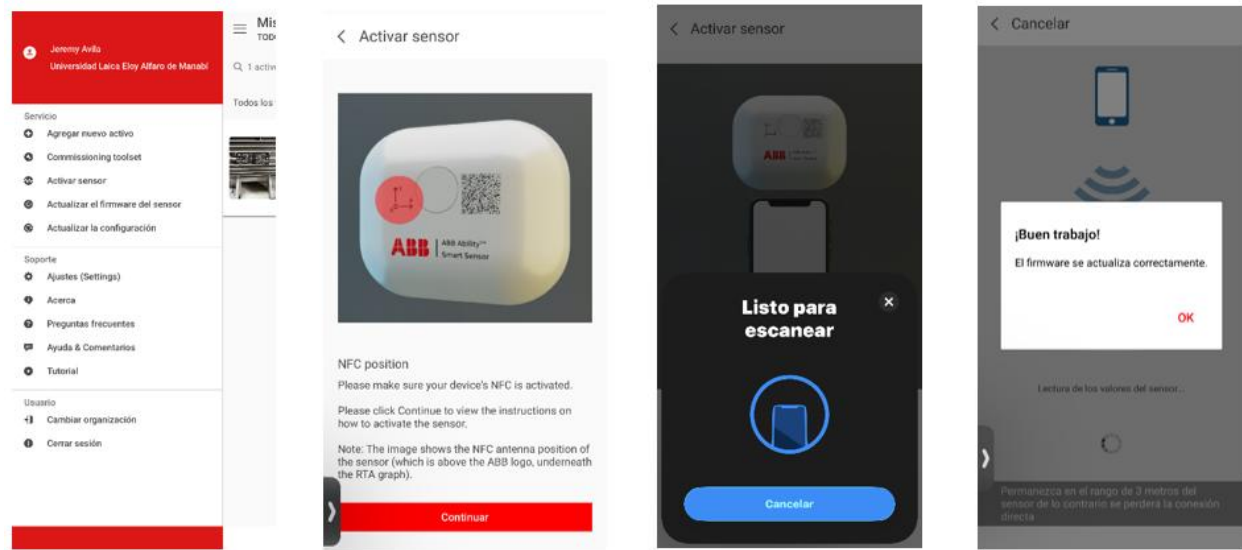


Figura 28: Pasos para activar Smart Sensor

Fuente: Propia

3.1.2. Incorporación de datos de placa del motor Siemens al Smart Sensor

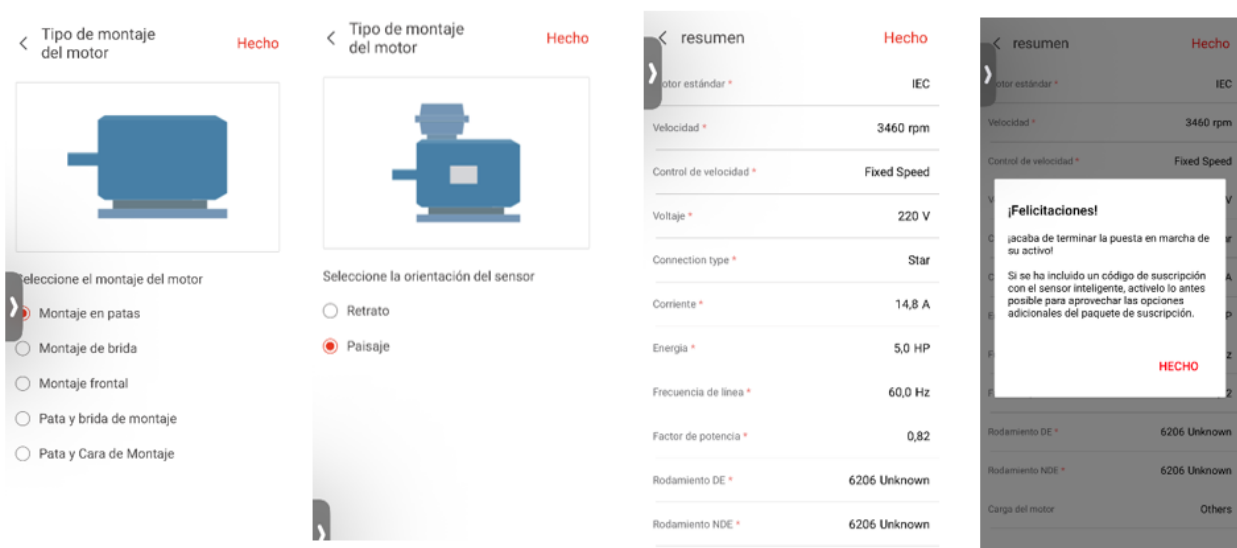


Figura 29: Configuración de Sensor con datos de placa del motor

Fuente: Propia

3.1.3. Instalación física del Smart Sensor a los activos

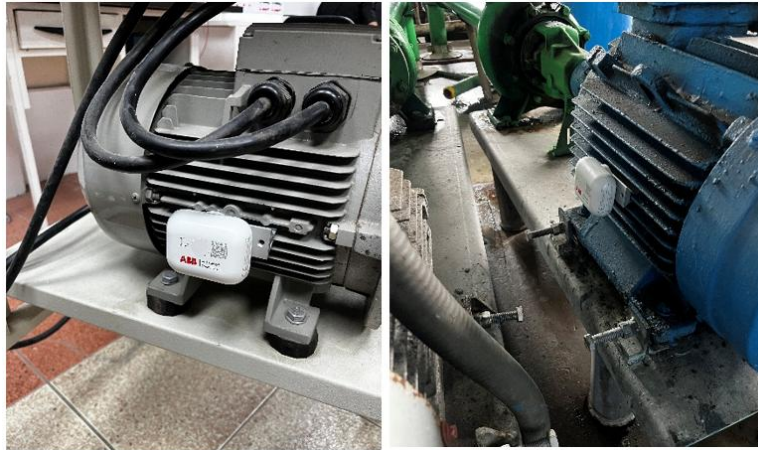


Figura 30: Instalación de Smart Sensor en activos

Materiales:

- Juego de hexagonales
- Platina suministrada por ABB
- Maso de goma

3.2.Activación de suscripción luego de prueba gratuita

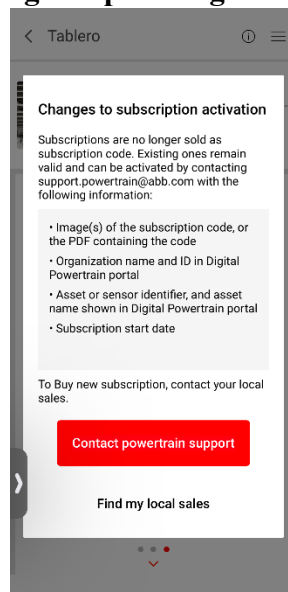


Figura 31: Requerimientos para activar suscripción

Fuente: APP Digital Powertrain

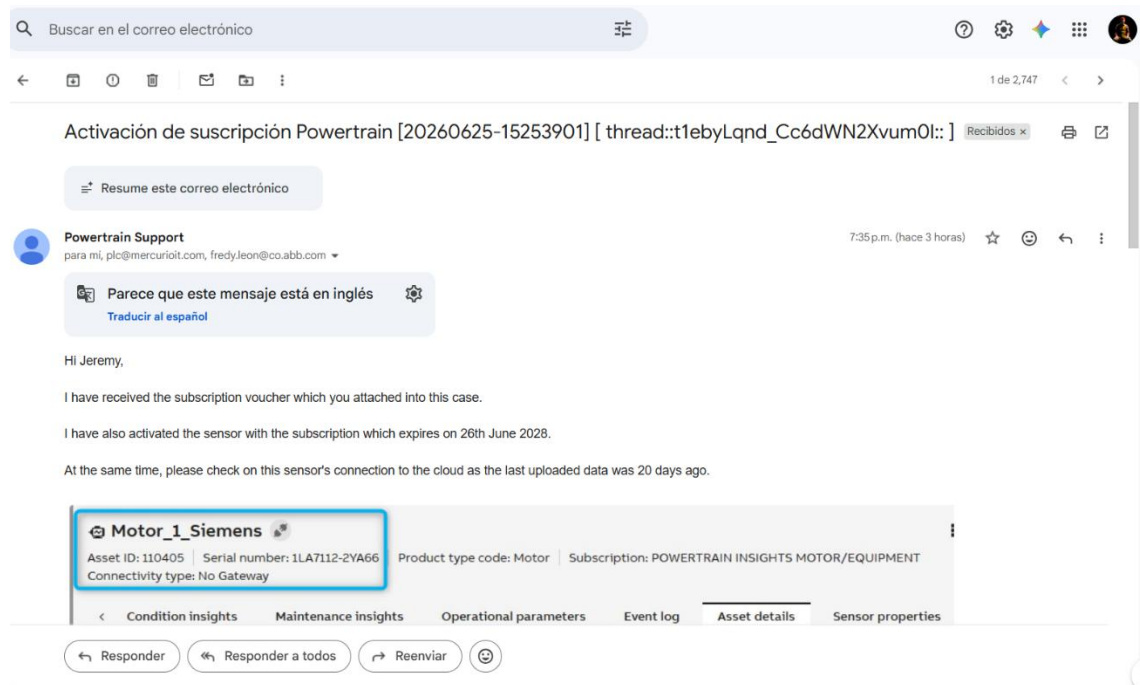


Figura 32: Correo de confirmación de suscripción

Fuente: Propia

3.3.Incorporación de datos del motor ABB al Smart Sensor

3.3.1. Instalación física del Smart sensor a motor ABB

4. CAPITULO IV - Recolección de datos motor Siemens

4.1.Tiempo de monitoreo y frecuencia de adquisición de datos

El monitoreo se realizó desde el 5 de mayo del 2026 hasta el 5 de junio del 2026.

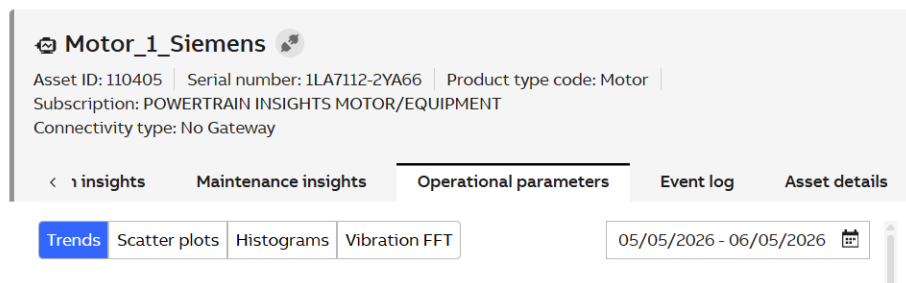


Figura 33: Fechas de monitoreo registrado

Tabla 2*Mediciones registradas motor Siemens*

Número de Mediciones	Fecha
1	5/5/2026
2	6/5/2026
3	7/5/2026
4	11/5/2026
5	12/5/2026
6	14/5/2026
7	18/5/2026
8	19/5/2026
9	20/5/2026
10	21/5/2026
11	22/5/2026
12	27/5/2026
13	28/5/2026
14	29/5/2026
15	1/6/2026
16	2/6/2026
17	3/6/2026
18	5/6/2026

*Nota: Datos extraídos mediante plataforma Powertrain***4.2. Parámetros registrados****Tabla 3***Alcance de parámetros monitoreados ofrecidos por Powertrain*

Parámetros Registrados	Unidad de medida
Vibración general	mm/s RMS
Condición de rodamiento	
Temperatura	°C
Peak to peak	g
Vibración radial	mm/s RMS
Vibración tangencial	mm/s RMS
Vibración axial	mm/s RMS
Velocidad	RPM
Número de arranque entre mediciones	
Frecuencia de suministro del motor	Hz
Potencia de salida	kW
Peak to peak axial	g
Peak to peak tangencial	g
Peak to peak radial	g
Tiempo total de ejecución	h
Aceleración RMS axial	g RMS
Aceleración RMS tangencial	g RMS
Aceleración RMS radial	g RMS

Nota: Parámetros extraídos por el portal digital Powertrain

4.3. Análisis de datos

Gracias al Smart sensor de ABB Ability se pudo recolectar los datos para que luego puedan ser monitoreados desde el portar Powertrain para su debido diagnóstico. El motor de marca Siemens de 5 Hp con serie 1LA7 112-2YA66 que se encuentra ubicado en la facultad de Ingeniería Marítima, específicamente, en el taller de electricidad se encuentra sin carga (vacío).

En la incorporación de datos de placa del motor y configuración de este, se tuvo que poner opción de, tipo de carga: otras.

Esta información es importante debido a que el análisis de datos, junto con su respectivo monitoreo y su diagnóstico de salud se va a ver afectado por la interpretación del sensor con un motor con carga.

4.3.1. Horas de trabajo

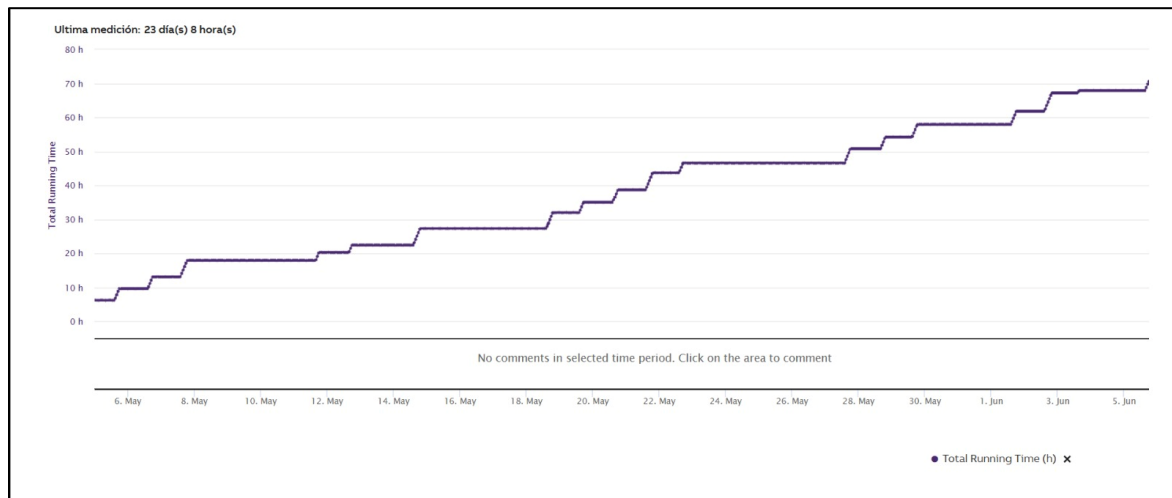


Figura 34: Horas de trabajo motor Siemens

Fuente: Portal Digital Powertrain

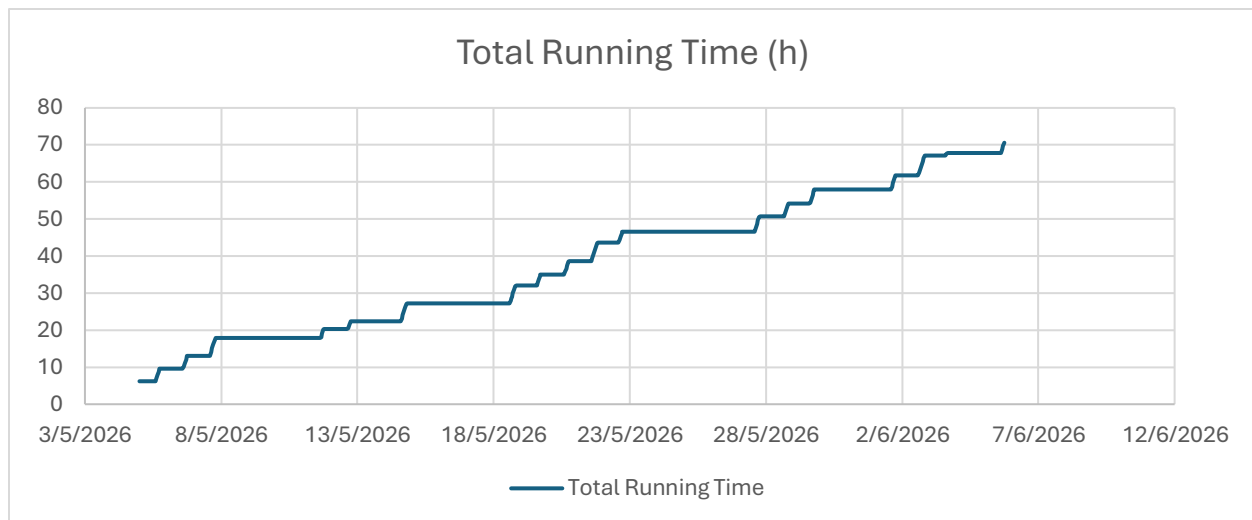


Figura 35: Tiempo total durante el periodo de monitoreo

Fuente : Elaboración Propia

Análisis: El motor estuvo con un total de funcionamiento de 70,6 horas desde el 5 de mayo de 2026 hasta el 5 de junio del mismo año. Hay que tener en cuenta que el tiempo no empieza desde cero, por ende se deduce que el sensor registró un movimiento y lo interpretó como arranque de funcionamiento del motor. Así mismo se tendría que restarle dicha cantidad para dar a conocer la hora de funcionamiento correcta. $70,6 - 6,2 = 64,4$ horas de funcionamiento reales.

4.3.2. Número de arranques entre mediciones

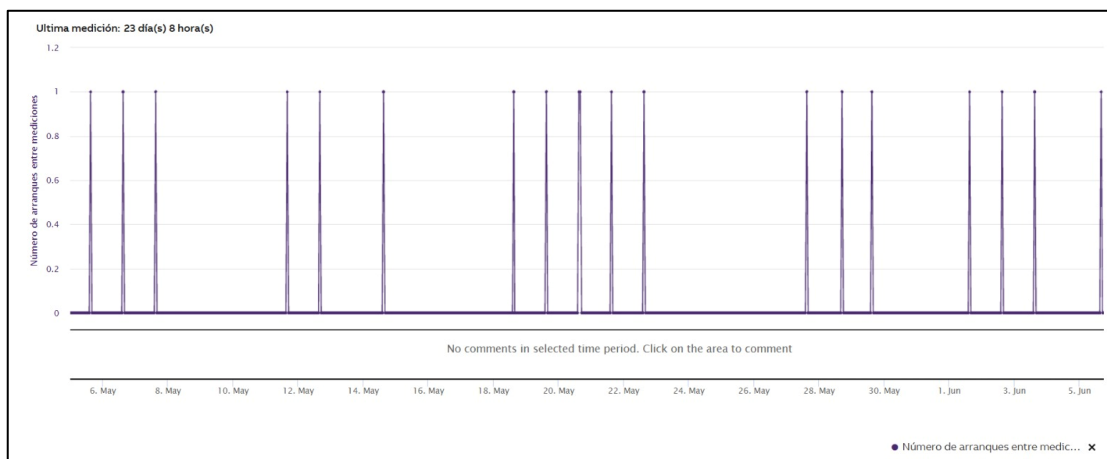


Figura 36: Número de arranques entre mediciones

Fuente: Portal Digital Powertrain

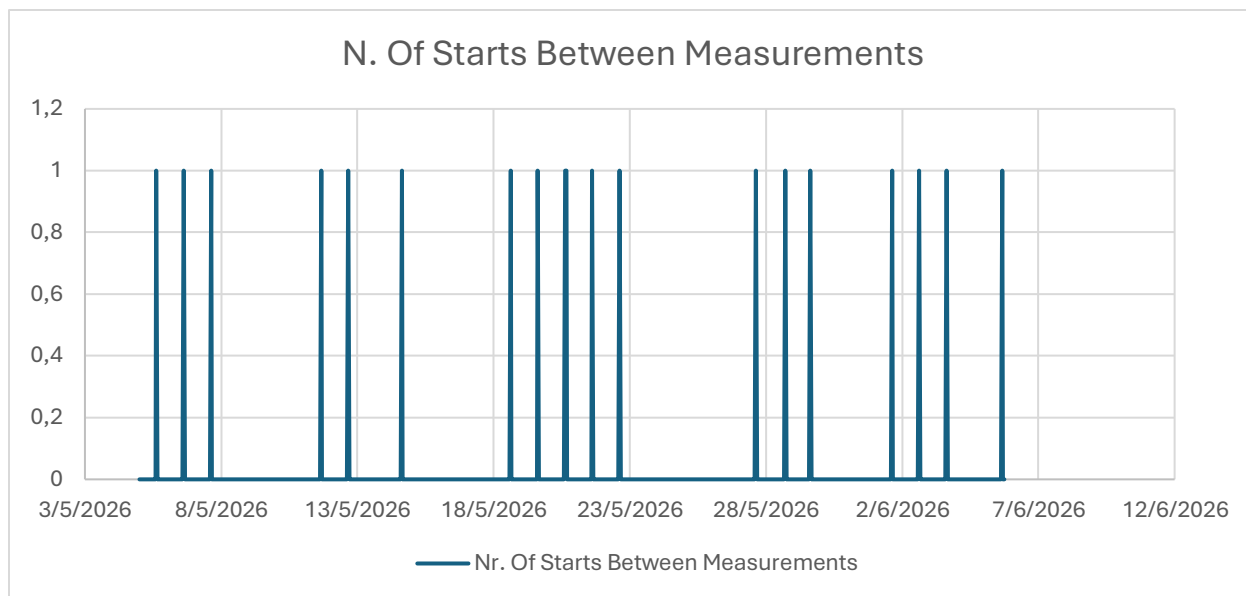


Figura 37: Número de arranques entre mediciones en Excel

Fuente: Elaboración propia

Análisis: Durante el tiempo de monitoreo el sensor registró 18 arranques entre mediciones, esta información se puede corroborar ya que concuerda con el número de mediciones (tabla 3) registradas en el tiempo estipulado entre el 5 de mayo de 2026 al 5 de junio del mismo año.

4.3.3. Skin Temperature

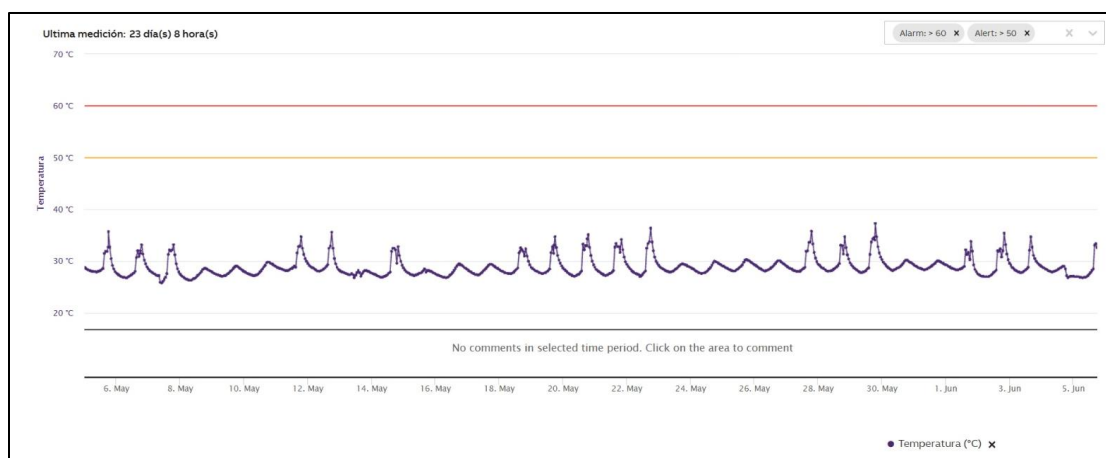


Figura 38: Temperatura de piel de motor Siemens

Fuente: Portal Digital Powertrain

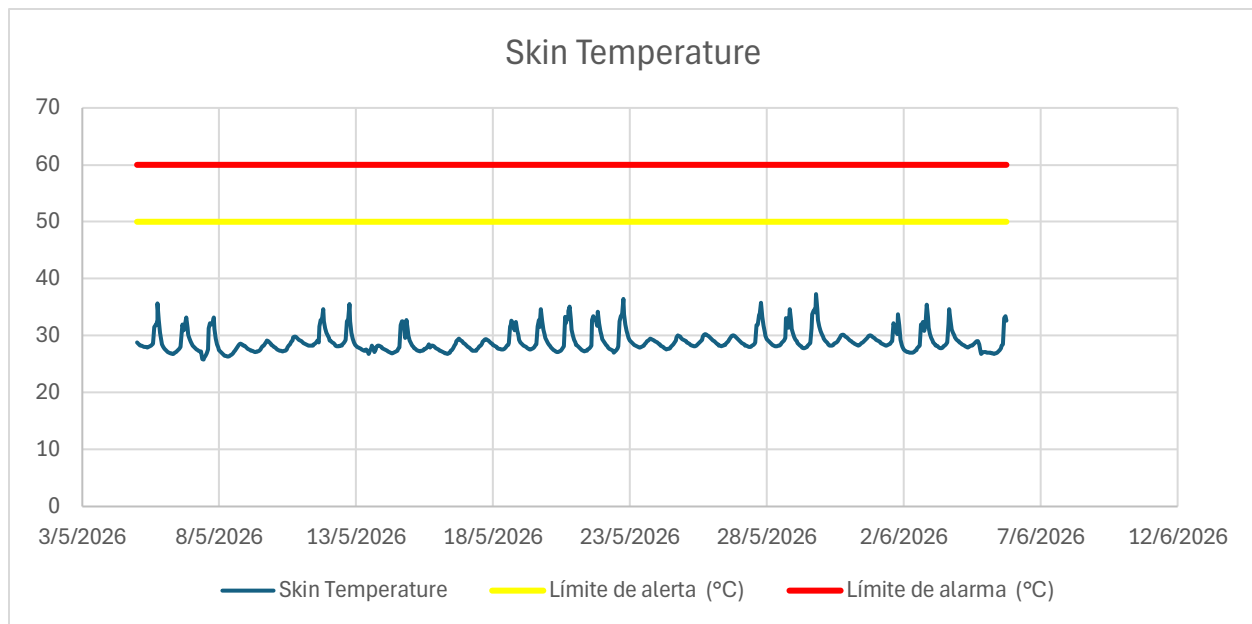


Figura 39: Temperatura de piel de motor Siemens en Excel

Fuente : Elaboración propia

Diagnóstico

El sensor registró varios picos de temperaturas pero ninguno pasó los 40°C, el valor máximo registrado durante el tiempo de monitorio fue de 37.3 °C.

Análisis

ABB junto con el Software Powertrain por defecto poseen parámetros críticos de monitoreo en donde se centra sus diagnósticos, la temperatura es uno de esos parámetros, con una señal de alerta de 50 °C y una señal de alarma de 60 °C; estos mismos límites son suministrados por el Smart Sensor de ABB Ability basándose en su propio algoritmo de aprendizaje durante el monitoreo de miles de motores.

Gracias a la placa del motor, se puede determinar que tiene aislamiento tipo F junto con la norma IEC34 que hoy día se la conoce como IEC 60034 y una temperatura de operación de 15/40 °C.

Los motores Siemens están dimensionados para funcionar normalmente con una elevación de temperatura en la clase B (130 °C). Pero sus materiales, están dimensionados para la clase F (155 °C). (Siemens, 2020)

Cabe recalcar que el motor se encuentra sin carga alguna, por ende es normal y razonable que el sensor de valores por debajo de la temperatura de operación admisible máxima como fue el valor máximo de 37.3 °C, valor que no evidencia una condición térmica crítica durante el período de monitoreo.

4.3.4. Condición de rodamiento

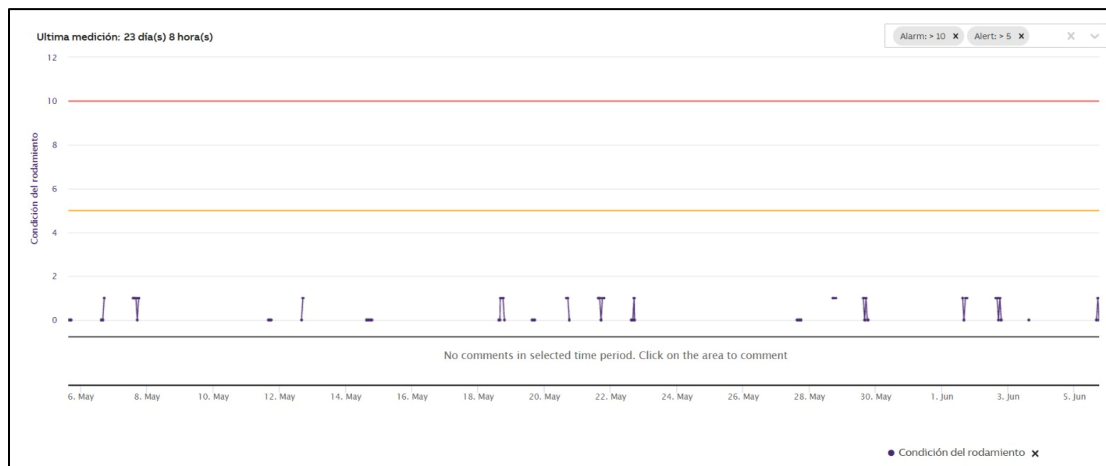


Figura 40: Condición de rodamiento motor Siemens

Fuente: Portal Digital Powertrain

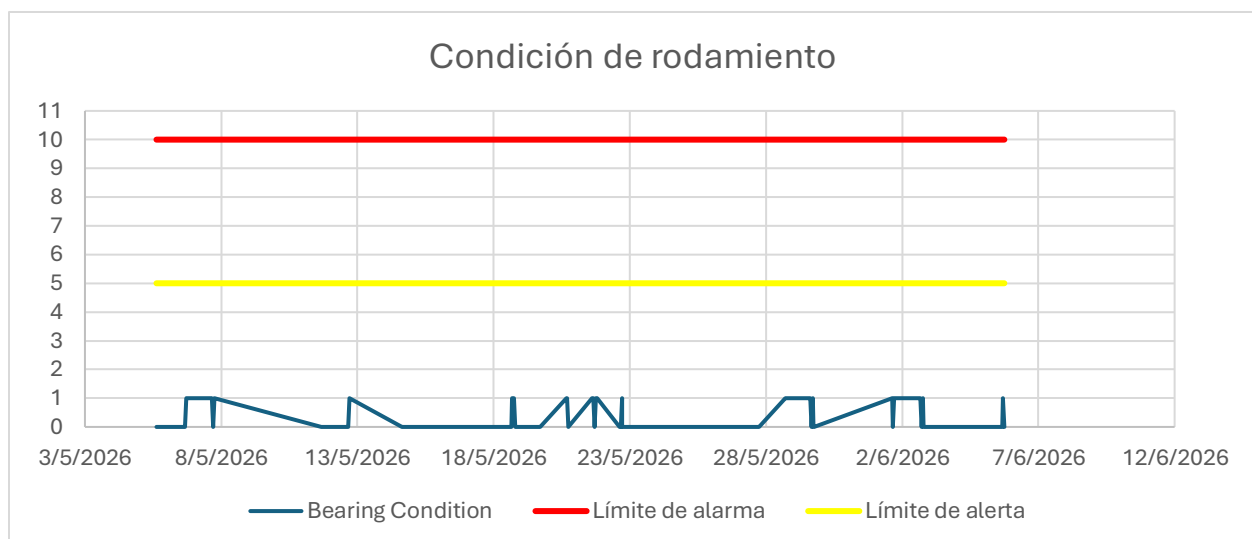


Figura 41: Condición de rodamiento durante el monitoreo de motor Siemens

Fuente: Elaboración Propia

Diagnóstico

Durante el monitoreo el sensor registró una condición de rodamiento de valor 1, valor que está por debajo de los límites de alarma y alerta; no evidencia una condición de rodamiento crítica del motor.

Análisis

Con un valor de alerta de 5 y un valor de alarma de 10 dados por el portal digital powertrain, dichos valores de alarma y alerta funcionan como umbrales de decisión los cuales son dados por el mismo portal digital asegurando la mejor interpretación del usuario como un índice de condición calculado por el algoritmo de ABB en base a miles de monitoreos de motores eléctricos, junto con el valor de 1 suministrado por el Smart Sensor de ABB Ability durante el período de monitoreo del motor Siemens de 5 Hp, el valor no presenta una condición de rodamiento crítico.

Cabe recalcar que el motor presentó el primer día de monitoreo ruidos extraños, al principio se interpretó como una condición de rodamiento dañina, pero, al paso de los días y a las horas de trabajo el ruido se detuvo, lo cual se interpreta como un fenómeno transitorio de puesta en marcha ya que el motor no se encontraba con una puesta en marcha constante. Este comportamiento se atribuye a la redistribución de la grasa lubricante dentro de los rodamientos y a la consolidación de las partes mecánicas y térmicas, el valor diagnosticado por el Smart Sensor valida dicha interpretación.

4.3.5. Vibración General

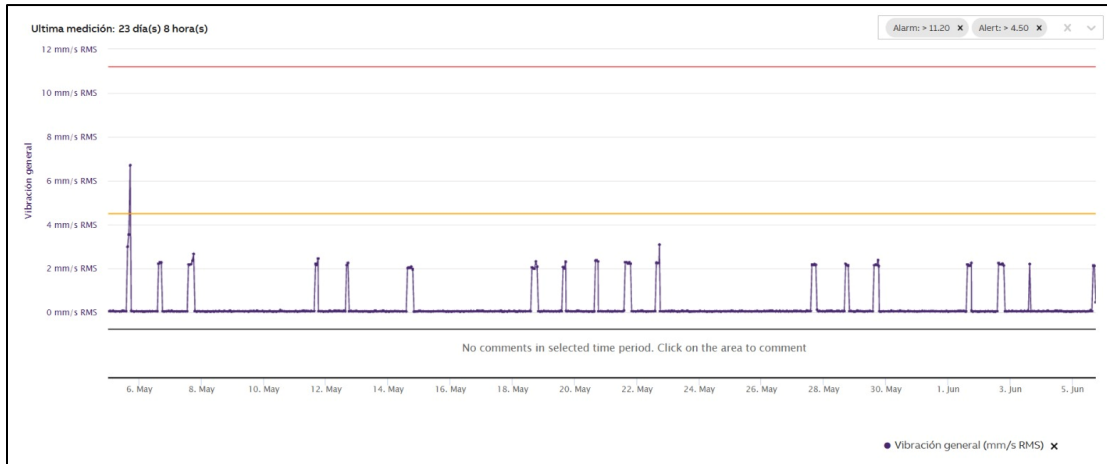


Figura 42: Vibración General motor Siemens

Fuente: Portal Digital Powertrain

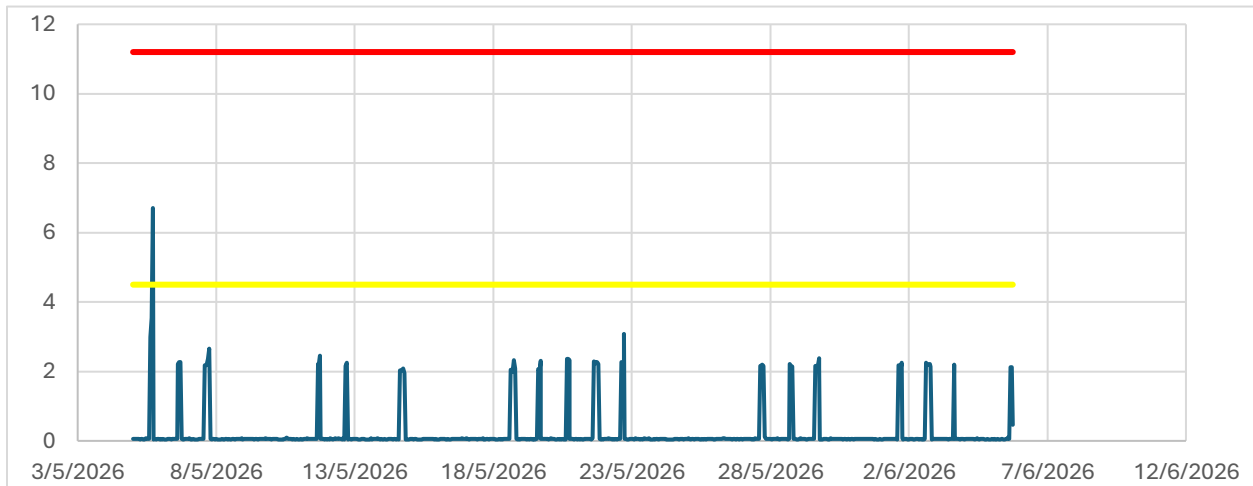


Figura 43: Vibración General de motor Siemens

Fuente: Vibración General durante el monitoreo de Motor Siemens 5Hp

Diagnostico

Durante el tiempo de monitoreo, el Smart Sensor de ABB Ability registró y almacenó diferentes datos de magnitud mm/s RMS que corresponden a vibración, siendo en este caso el parámetro de vibración general cuyos valores no tuvieron una misma tendencia pero a su vez no

sobrepasaron el límite de alerta de 4,5 RMS mm/s, a diferencia de la primer puesta en marcha con un valor de 6,7 mm/s RMS dando una señal de alerta.

Análisis

Los valores de alerta (4,5 RMS mm/s) y de alarma (11,2 RMS mm/s) establecidos por el portal digital de ABB son consistentes con los rangos orientados por la norma ISO 20816-1 para evaluación de la vibración medida en partes ni giratorias de las máquinas, específicamente en la transición entre las zonas C/D donde requiere una intervención urgente en el equipo para prolongar su vida útil.

Durante el período de monitoreo que observó que únicamente en la primer puesta en marcha el motor registró un valor de 6,7 mm/s RMS, superando el límite de alerta establecido por ABB Ability. En los días posteriores a dicho acontecimiento, la vibración permaneció por debajo de los niveles de alerta y alarma, evidenciando un comportamiento estable.

Considerando que el incremento de vibración se presentó únicamente al inicio del monitoreo y no volvió a repetirse, este comportamiento se asocia a una condición transitoria debido a la puesta en marcha del motor después de un período de inactividad y a su posterior estabilización de operación.

4.3.6. Vibración radial, tangencial y axial

RADIAL

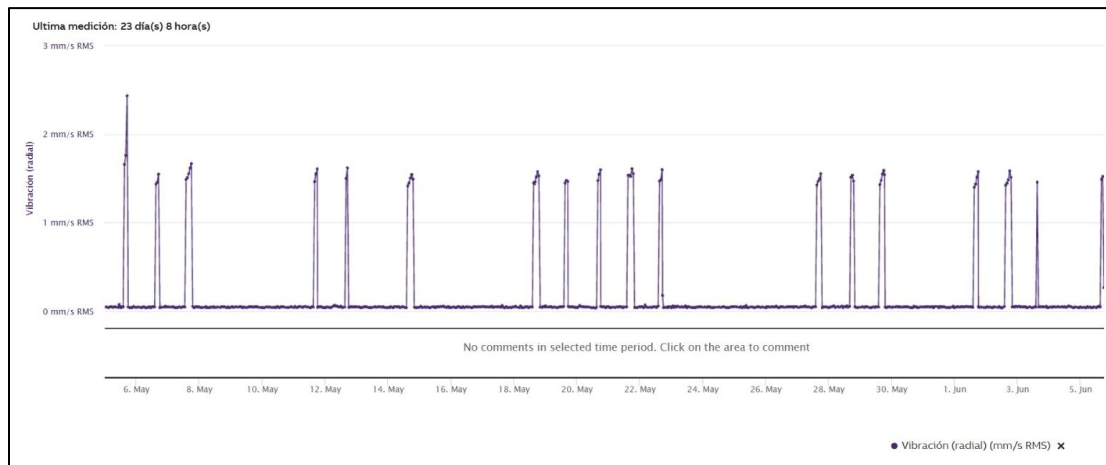


Figura 44: Vibración Radial motor Siemens

Fuente: Portal Digital Powertrain

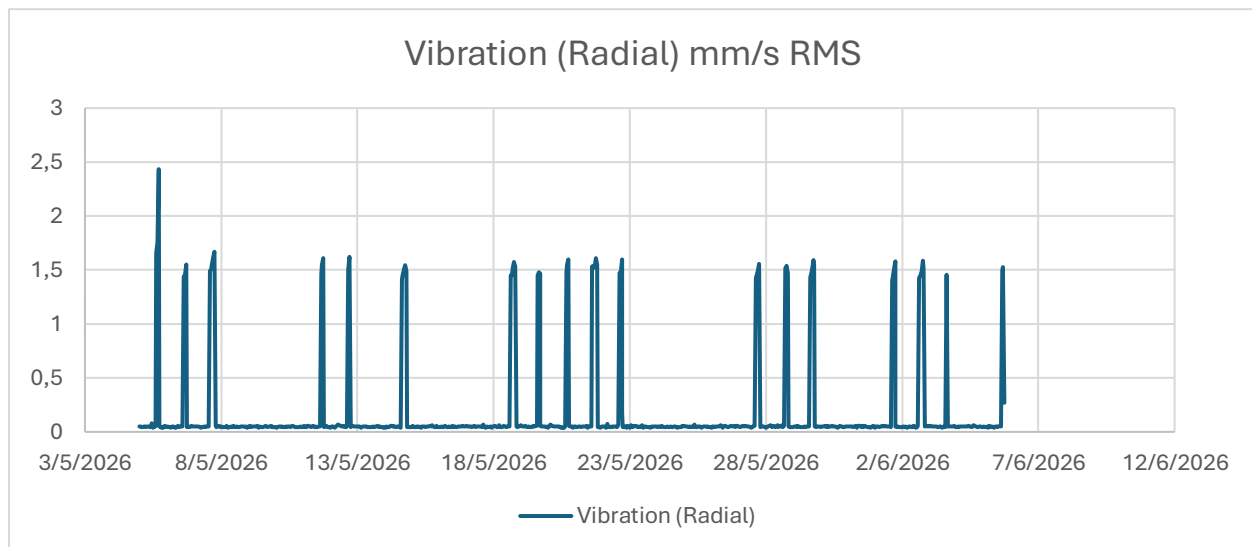


Figura 45: Vibración Radial motor Siemens

Fuente: Elaboración Propia

TANGENCIAL

Vibración Tangencial

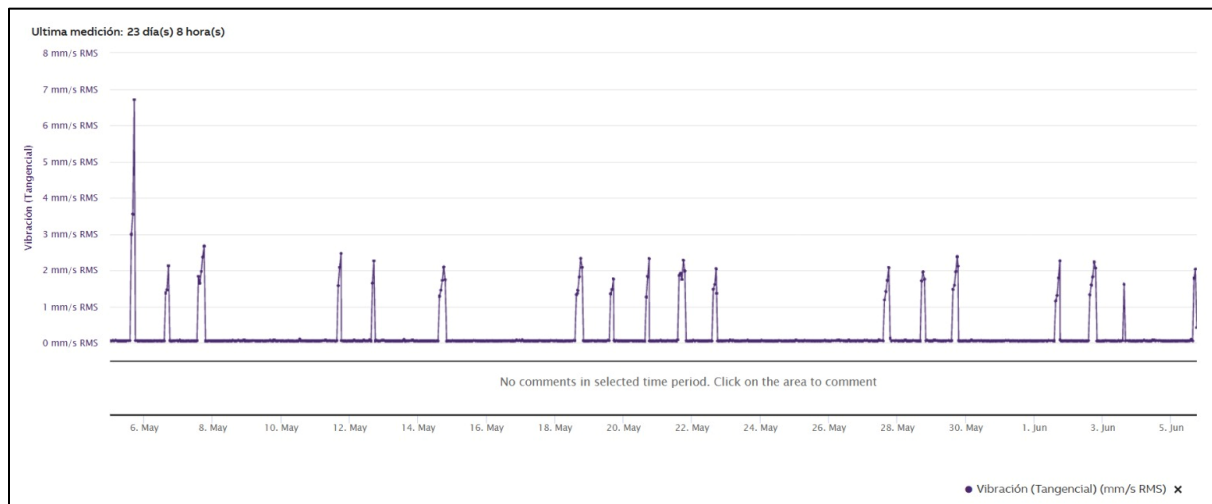


Figura 46: Vibración Tangencial motor Siemens

Fuente: Portal Digital Powertrain

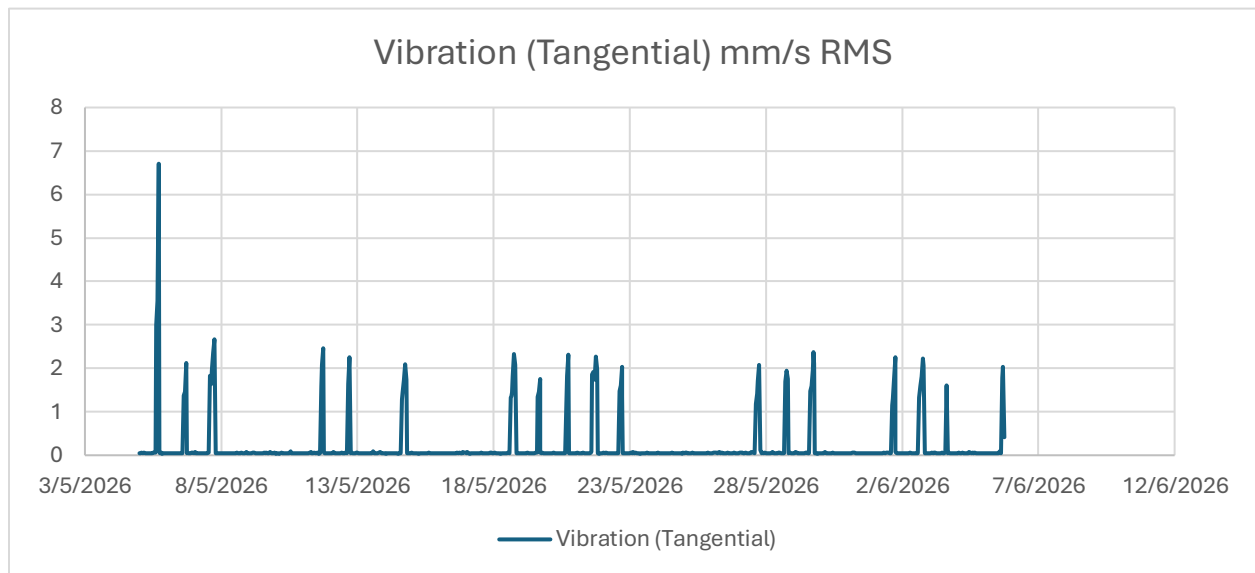


Figura 47: Vibración Tangencial de motor Siemens en Excel

Fuente: Elaboración Propia

Axial

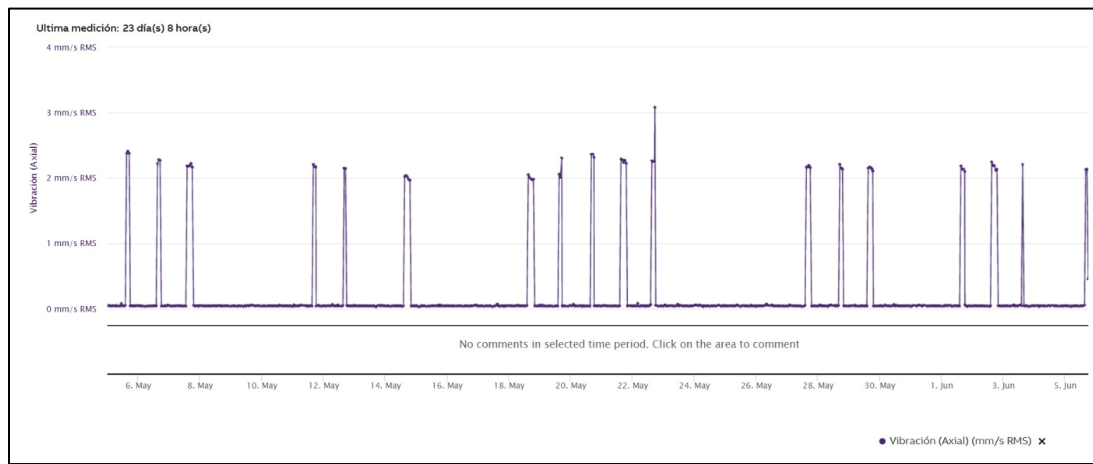


Figura 48: Vibración Axial motor Siemens

Fuente: Portal Digital Powertrain

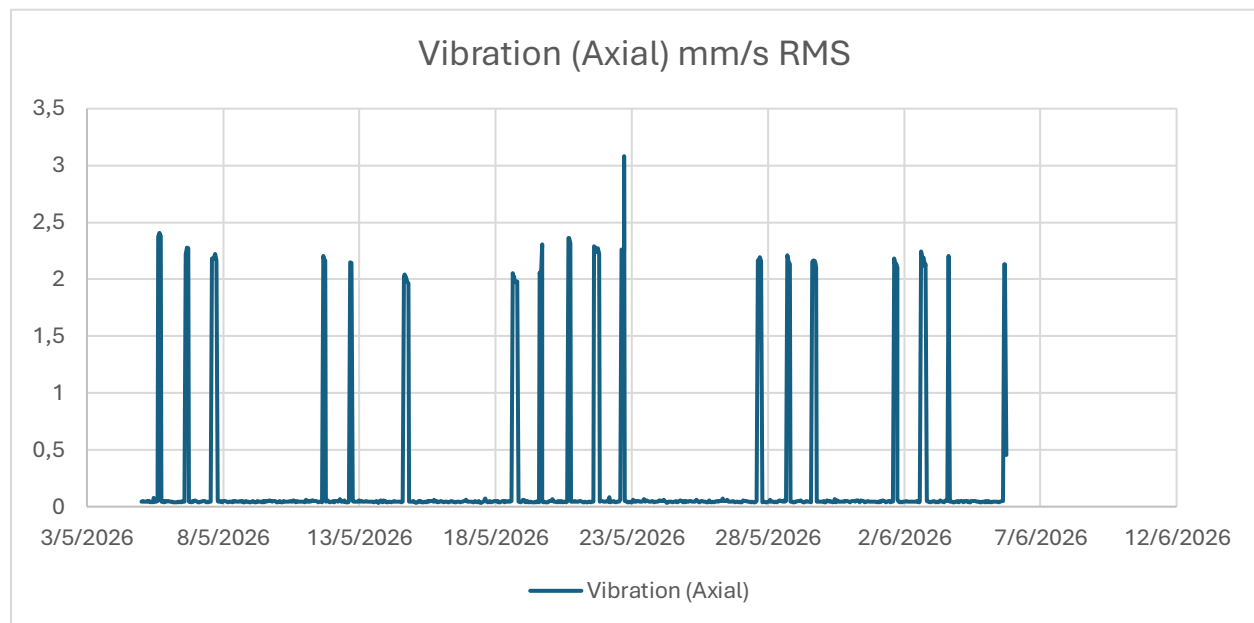


Figura 49: Vibración Axial motor Siemens en Excel

Fuente: Elaboración Propia

Diagnóstico

Durante el tiempo de monitoreo se registraron datos de vibración en tres direcciones (radial, tangencial y axial) cada uno con valores diferentes pero con valores pico elevados:

Radial: 2,43 mm/s RMS

Tangencial: 6,7 mm/s RMS

Axial: 3,08 mm/s RMS

Análisis

En este monitoreo los niveles de alerta y alarma no están predefinidos por ABB Ability debido a que corresponden a variables de diagnóstico, a diferencia de la vibración general, el sistema no establece dichos umbrales, por lo que su interpretación se realiza mediante el análisis de tendencias y el comportamiento de cada dirección de medición.

Durante el monitoreo, la vibración tangencial alcanzó un valor elevado de 6,7 mm/s RMS, la vibración radial alcanzó un valor máximo de 2,43 mm/s RMS, ambos valores pico tomaron lugar en la primer puesta en marcha, luego de aquel comportamiento los valores bajaron y se mantuvieron. La vibración axial, por su parte, alcanzó un valor máximo de 3,08 mm/s RMS surgiendo a mitad del monitoreo, siendo un incremento puntual para luego mantener valores bajos en comparación con el valor máximo alcanzado antes y después del registro, sin mostrar una tendencia creciente.

Dado que estos parámetros de vibración no disponen de umbrales predefinidos, su evaluación se fundamentó en la estabilidad de la tendencia y en la ausencia de incrementos sostenidos que pudieron indicar un falla.

5. CAÍTULO V – Recolección de datos motor ABB

5.1. Tiempo de monitoreo y frecuencia de adquisición de datos

El monitoreo se realizó desde el 7 de julio del 2026 hasta el 14 de julio del 2026 donde se tomaron 2 mediciones durante el tiempo de trabajo establecido.

Tabla 4

Mediciones registradas motor ABB

Número de Mediciones	Fecha
1	13/7/2026
2	14/7/2026

Nota: Datos extraídos mediante plataforma Powertrain

5.2. Parámetros registrados

Tabla 5

Alcance de parámetros monitoreados ofrecidos por Powertrain

Parámetros Registrados	Unidad de medida
Vibración general	mm/s RMS
Condición de rodamiento	
Temperatura	°C
Peak to peak	g
Vibración radial	mm/s RMS
Vibración tangencial	mm/s RMS
Vibración axial	mm/s RMS
Velocidad	RPM
Número de arranque entre mediciones	
Frecuencia de suministro del motor	Hz
Potencia de salida	kW
Peak to peak axial	g
Peak to peak tangencial	g
Peak to peak radial	g
Tiempo total de ejecución	h
Aceleración RMS axial	g RMS
Aceleración RMS tangencial	g RMS
Aceleración RMS radial	g RMS

Nota: Parámetros extraídos por el portal digital Powertrain

5.3. Análisis de datos

El motor de marca ABB con serie M2QA160L2B de 30 Hp se encuentra ubicado en la fábrica PuertoMar S.A. integrado a un grupo de activos en una cisterna con un promedio de 14 horas de trabajo diarias, teniendo una carga tipo bomba, siendo un equipo crítico en el sistema de enfriamiento de agua del área de autoclave, con la finalidad de impulsar el fluido para reutilizarlo.

Se tuvo conocimiento sobre un comportamiento anormal del motor, principalmente reflejado en una vibración excesiva al simple tacto. Para corroborar dicha especulación se procedió a la instalación del equipo de monitoreo Smart Sensor de ABB Ability, el cual nos ayuda a tener mucho más detalle de dichas anomalías y conocer el condiciones actuales del motor. Durante el monitoreo se recibió dos señales de alerta, las cuales se verán en los parámetros críticos monitoreados de vibración.

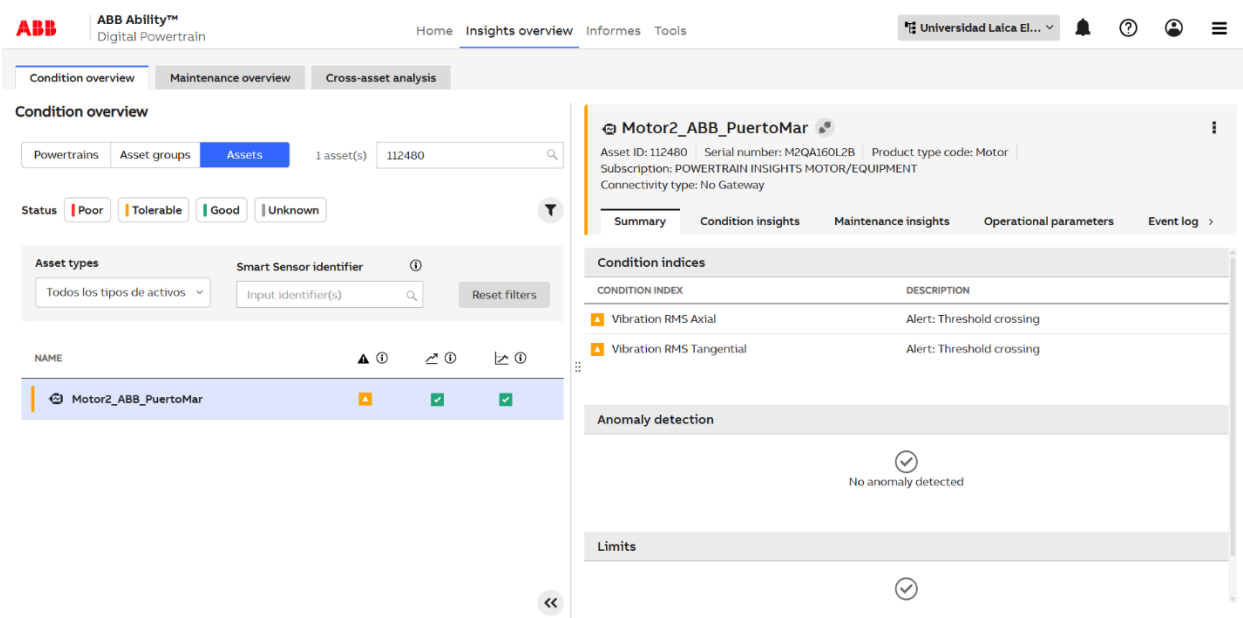


Figura 50: Portal Digital Powertrain

Fuente: Propia

5.3.1. Horas de trabajo

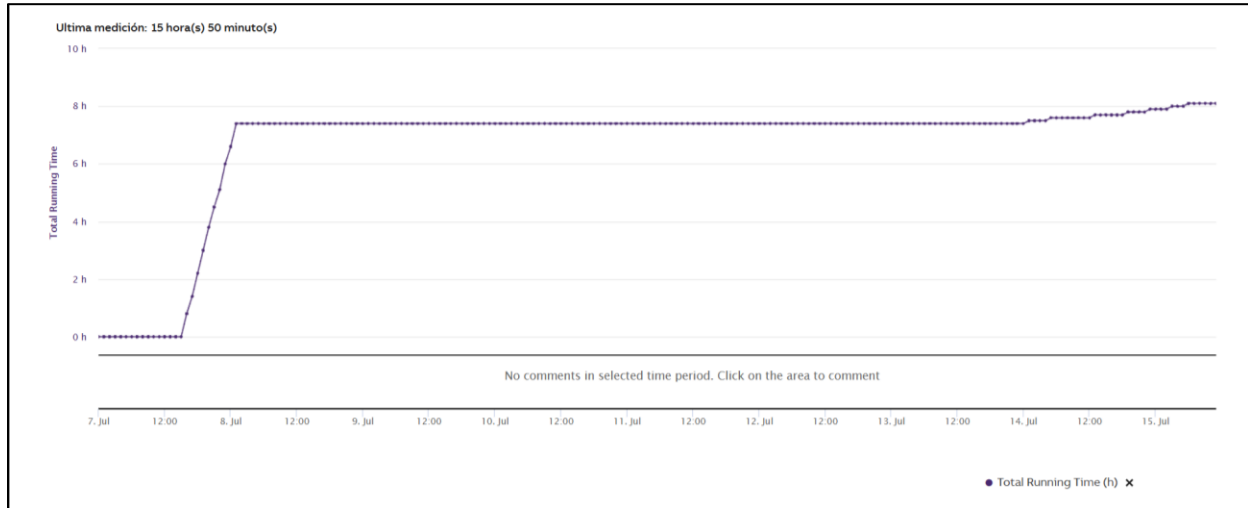


Figura 51: Horas de trabajo motor ABB

Fuente: Portal Digital Powertrain

Diagnóstico

El sensor registró durante el tiempo de monitoreo varios datos de horas de trabajo, con un valor medio de 6.7 h y una última medición de 8.1 h. En este parámetro, Powertrain nos dio una señal de advertencia sobre el poco tiempo total de horas de trabajo.

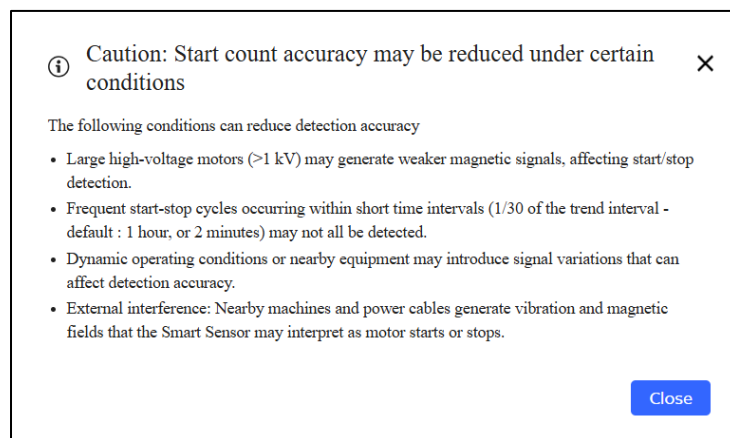


Figura 52: Mensaje por Portal Digital Powertrain

Fuente : Portal Digital Powertrain

Análisis

De acuerdo con los datos suministrados por el portal digital, vemos que el valor no llega a tener la coherencia suficiente en comparación con las fechas de monitoreo del Smart Sensor.

Powertrain nos proporciona una señal de advertencia donde nos da a conocer que la precisión de la detección de datos puede reducir por varias condiciones, como lo es, los ciclos frecuentes de inicio-parada cortos y equipos cercanos los cuales pueden introducir variaciones de señal que pueden afectar la precisión de la detección.

Dado mensaje, se interpreta y se corrobora que existió una mala práctica de instalación del Sensor en el activo, donde existió una interferencia externa por un segundo motor que se encontraba a aproximadamente 30 cm de distancia interfiriendo en la precisión de la toma de datos.

5.3.2. Numero de arranque

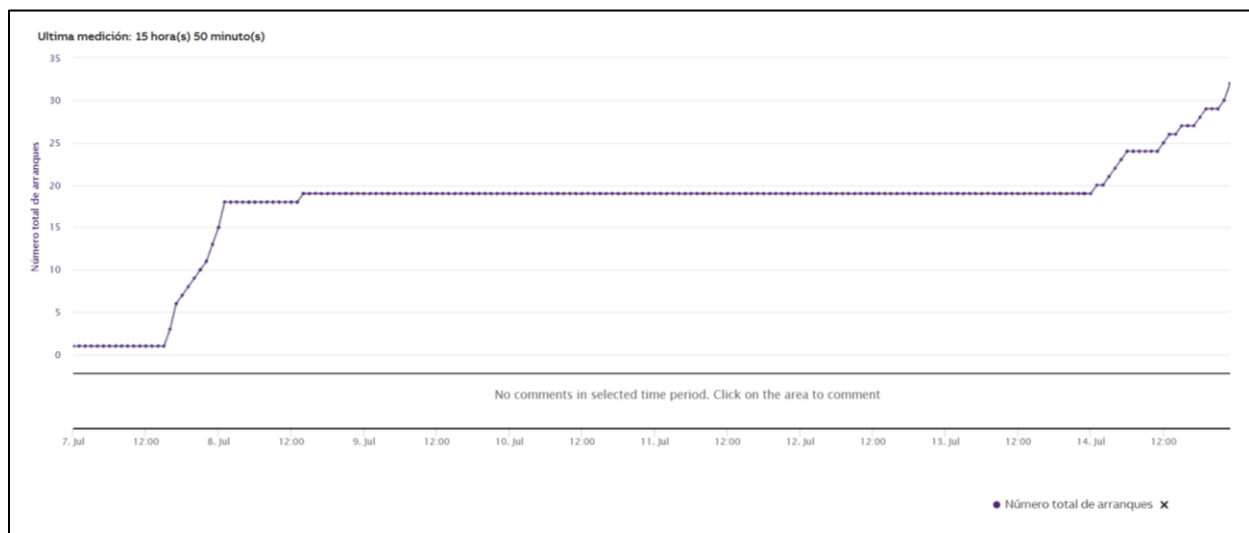


Figura 53: Número de arranques motor ABB

Fuente: Portal Digital Powertrain

Diagnostico

Durante el tiempo de monitoreo, el Smart Sensor almacenó varios datos sobre el número de arranques del motor eléctrico, con un valor medio de 18 arranques y un último valor registrado de 39 arranques.

Análisis

Una vez que el Portal Digital Powertrain realizó el análisis, interpretó que el valor monitoreado no es coherente a la aplicación del motor, manda la misma señal de advertencia que mandó en el caso anterior, donde se interpreta que la poca eficiencia de recolección de detección de datos fue por una mala práctica de instalación.

5.3.3. Skin Temperature

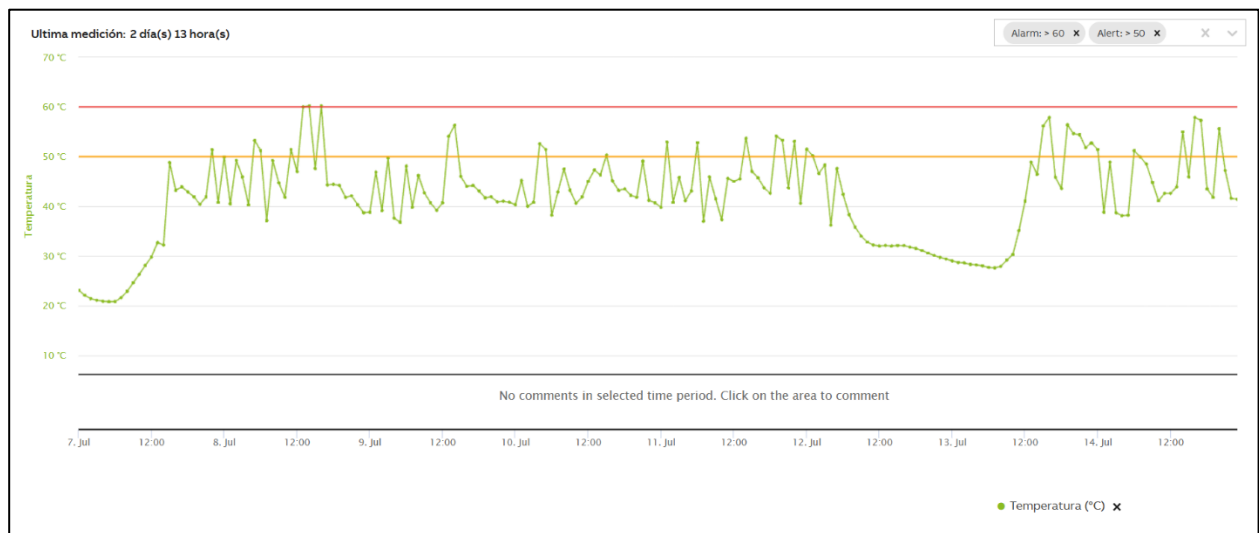


Figura 54: Temperatura de piel motor ABB

Fuente: Portal Digital Powertrain

Diagnóstico

Durante el período de monitoreo se registraron valores de varios picos dentro de la zona de alerta, empezando el primer evento el 8 de julio a las 5 de la mañana con una temperatura de 53.3

°C, luego, lo que más destaca, existieron sucesos donde la temperatura alcanzo el límite de alarma con una temperatura máxima de 60.2 °C.

Análisis

En base al algoritmo de aprendizaje de ABB, el portal digital indicó umbrales de alerta y alarma, marcando una zona entre 50 °C y 60 °C, cabe destacar que existieron medidas donde se alcanzaron ciertos límites, incluso sobrepasando por muy poco el umbral de alarma. Este resultado no indica una temperatura de alarma máxima o un indicio de que el motor fallará pronto, de igual manera, no es un parámetro que se debe pasar desapercibido, por lo que se recomienda realizar un seguimiento de su evolución para determinar si corresponde a una condición transitoria o al inicio de una anomalía.

También, hay que considerar el factor de instalación, durante la inspección visual se observó que el motor está bajo condiciones que limitan la circulación natural del aire y próximo a otro motor con una distancia de 30 cm de separación, factores que pueden afectar a la disipación de calor. Aquello solo queda planteado como hipótesis ya que no se realizó una evaluación experimental para comprobarlo.

5.3.4. Condición de rodamiento

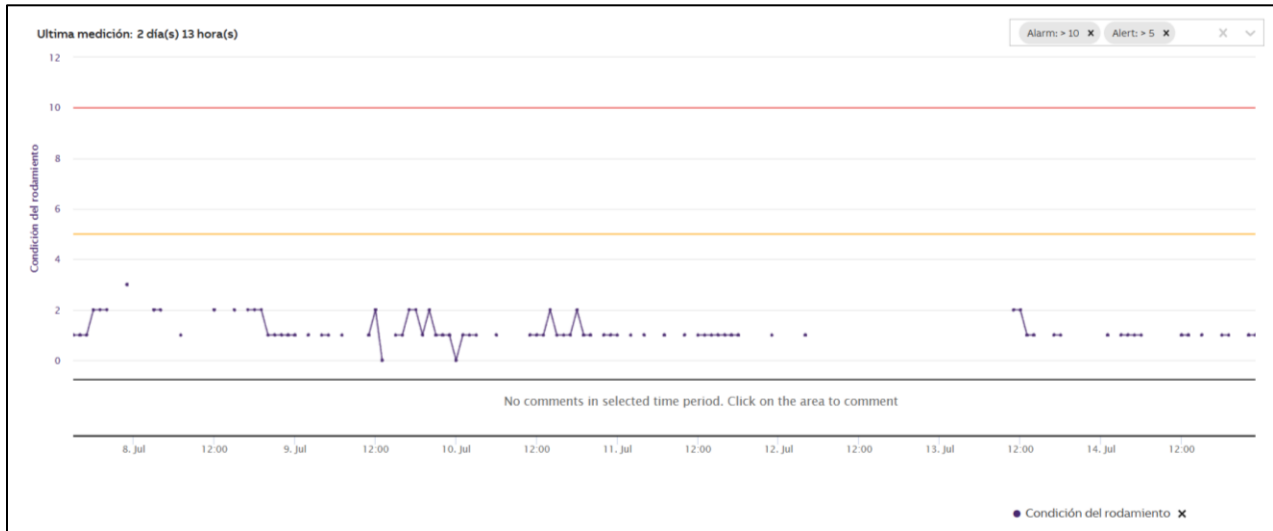


Figura 55: Condición de rodamiento motor ABB
Fuente : Portal Digital Powertrain

Diagnóstico: Durante el tiempo de monitoreo, el sensor registró datos de condición de rodamiento entre 2 y 1, los cuales están por debajo del umbral de alerta y alarma, indicando que no existe un comportamiento anormal en los rodamientos.

5.3.5. Vibración general



Figura 56: Vibración general motor ABB
Fuente: Portal Digital Powertrain

Diagnóstico:

El Smart Sensor de ABB registró valores en la zona que marca los límites de alerta y alarma, con una vibración máxima de 11.2 mm/s RMS, tener en cuenta que en ningún momento el valor estuvo por debajo de aquella zona y solo disminuyó cuando el motor no estaba operando.

5.3.5.1. Análisis de vibración general y condición de rodamiento

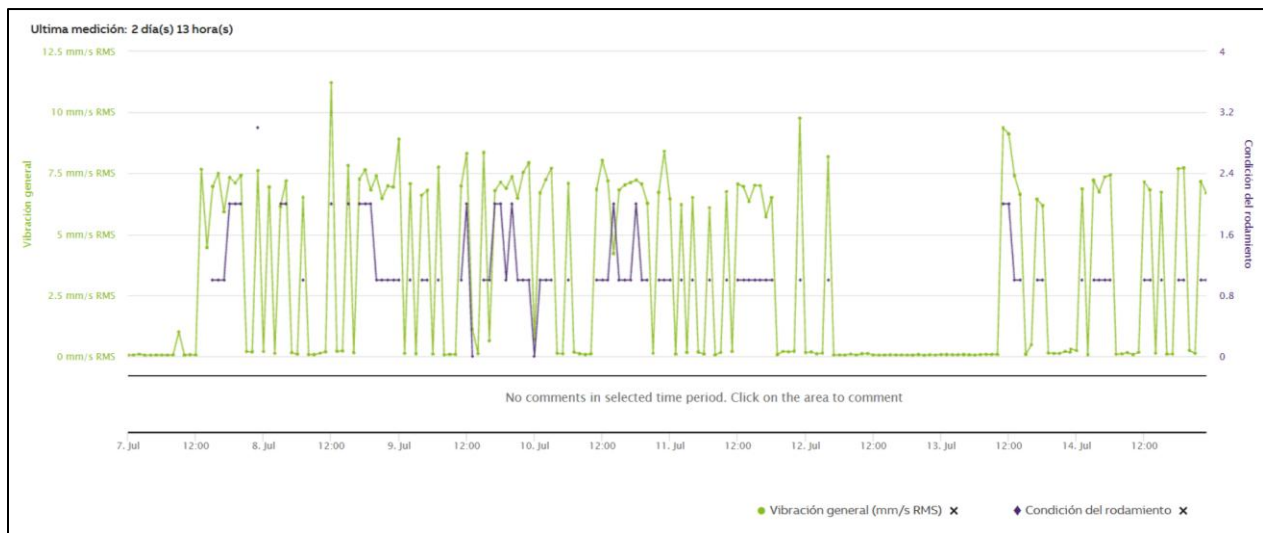


Figura 57: Vibración general/condición de rodamiento motor ABB

Fuente: Portal Digital Powertrain

Se realiza este análisis comparando ambos parámetros para descartar problemas que pueden originar la falla. Se puede apreciar que el valor de rodamiento dado por el Smart Sensor y luego siendo monitoreado por el portal digital con un valor de 2, está muy por debajo de una condición de falla o de próxima falla tomando de referencia los umbrales suministrados por el portal digital y algoritmo de aprendizaje (alerta 5, alarma 10).

Si nos centramos en la gráfica de tendencia de vibración general, vemos que se encuentra dentro de la zona C/D de la norma ISO 20816-1 para evaluación de la vibración medida en partes

Al realizar la comparación de ambas gráficas de tendencia juntas, sugiere que el incremento de la vibración no estaría asociado, al menos de acuerdo con el algoritmo del Smart Sensor, a un deterioro significativo del rodamiento, sino que podría estar relacionado con otros fenómenos mecánicos, como desbalance, desalineación, holguras o condiciones propias de la operación.

Vibración Axial



Durante el tiempo de monitoreo, se registraron picos de vibración axial altos, entrando en la zona que limita el umbral de alerta y alarma, la tendencia se mantuvo cuando el motor se encontraba en operación, el día 8 de julio justamente al medio día se registró un valor de 11,22 mm/s RMS sobrepasando el límite de alarma.

Vibración Radial

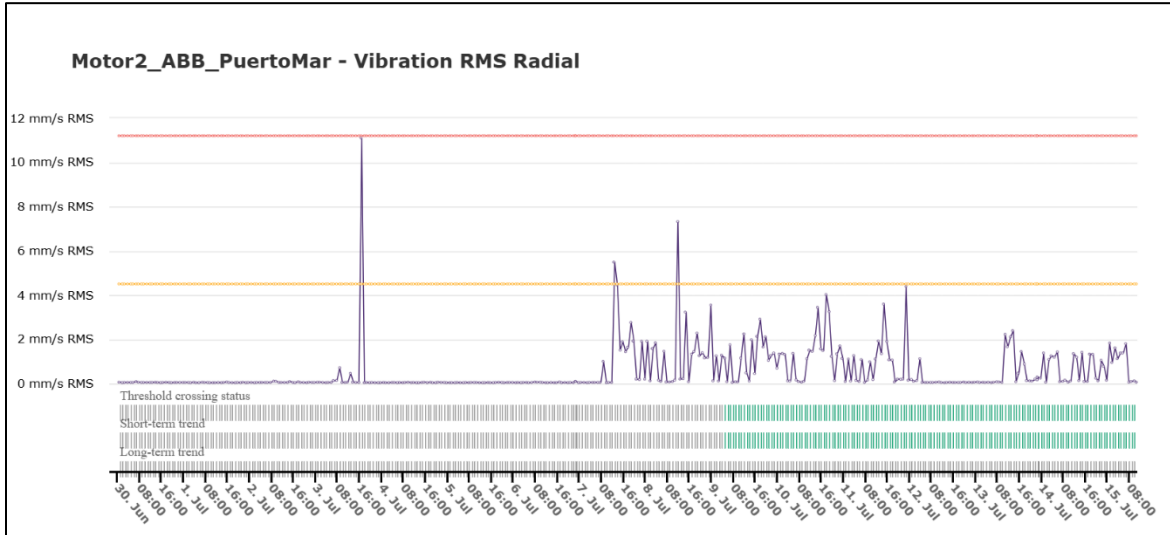


Figura 59: Vibración Radial motor ABB

Fuente: Portal Digital Powertrain

Diagnóstico

Por otro lado, vemos que en la gráfica de tendencia de vibración radial existen diferentes picos de mm/s RMS durante el periodo de monitoreo, destacando que el día 8 de julio de 2026 al medio día se registró una señal de alerta por un valor de 7,32 mm/s RMS, luego de aquella anomalía los valores fueron disminuyendo hasta llegar a un estado de operación normal y fuera de peligro.

Vibración Tangencial

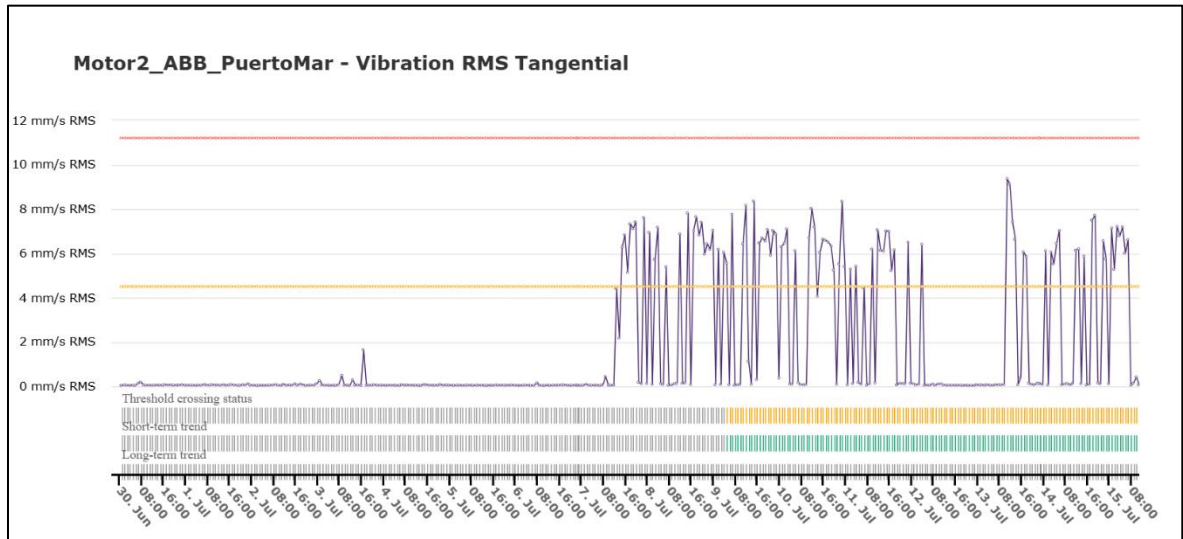


Figura 60: Vibración Tangencial motor ABB

Fuente : Portal Digital Powertrain

Diagnóstico

La gráfica de tendencia de vibración tangencial, gracias a los datos suministrados por el Smart Sensor y el análisis de portal digital de ABB Ability durante el tiempo de monitoreo, nos indica que existe una tendencia de picos por encima del límite del umbral de alerta (4,5 mm/s RMS) que se mantuvo constante, con un valor máximo registrado de 9,73 mm/s RMS el 13 de julio de 2026 a las 11:00 a.m. que no haya alcanzado el umbral de alarma no significa que se le deba realizar un monitoreo constante.

5.3.6.1. Análisis de vibración axial, radial y tangencial

Para poder descartar que el incremento de vibración fue producto de la condición de vibración o por el aumento de temperatura, se realiza la comparación entre aquellos parámetros.

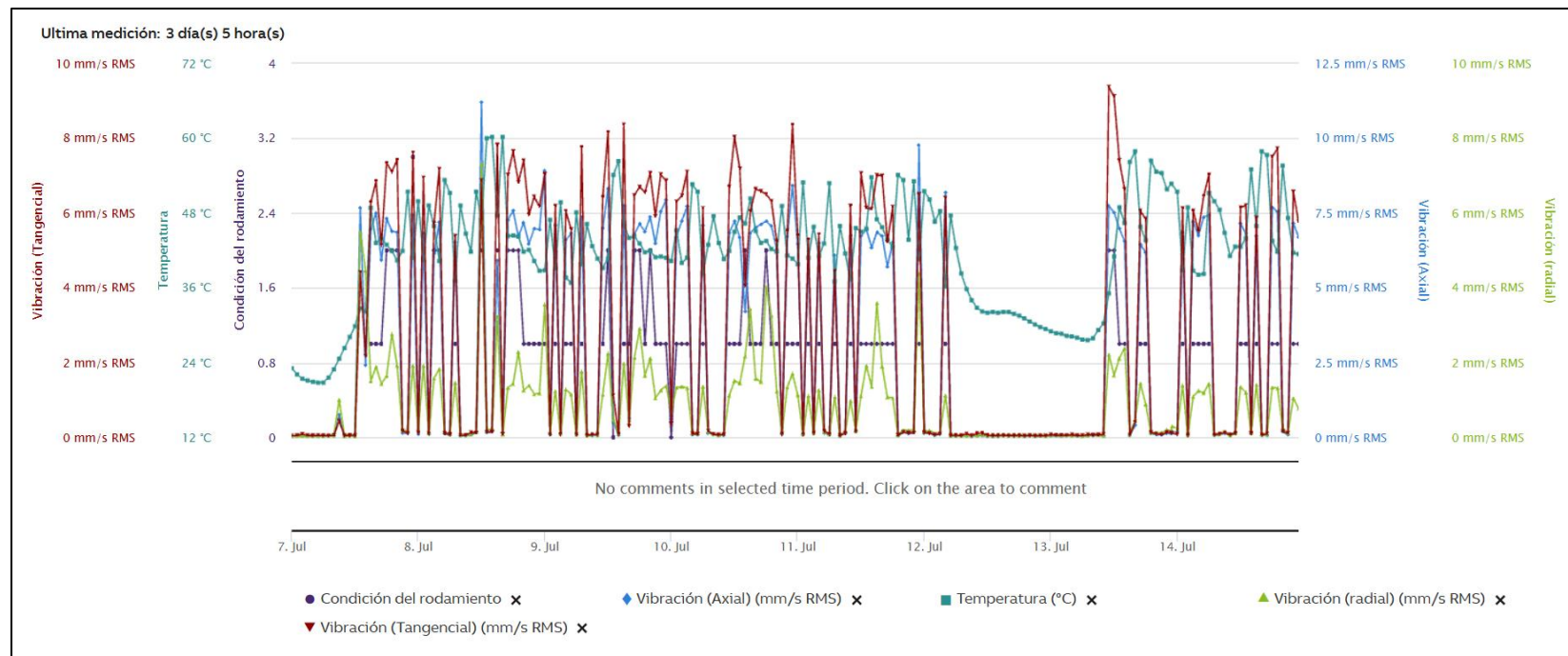


Figura 61: Comparación de tres direcciones de vibración (axial, radial y tangencial), temperatura y condición de rodamiento motor ABB

Fuente : Portal Digital Powertrain

Vemos que el indicador de condición de rodamiento con un valor máximo de 3, inferior al umbral de alerta establecido por ABB y la temperatura con un valor máximo de 60 °C alcanzando el umbral de alarma no se eleva junto con las vibraciones seleccionadas. Estos resultados indican que el incremento de la vibración no estuvo acompañado por un deterioro significativo del rodamiento ni por un aumento importante de la temperatura, por lo que el origen de la vibración podría estar asociado a otros fenómenos mecánicos.

Se analizará ahora las tres direcciones de vibraciones.

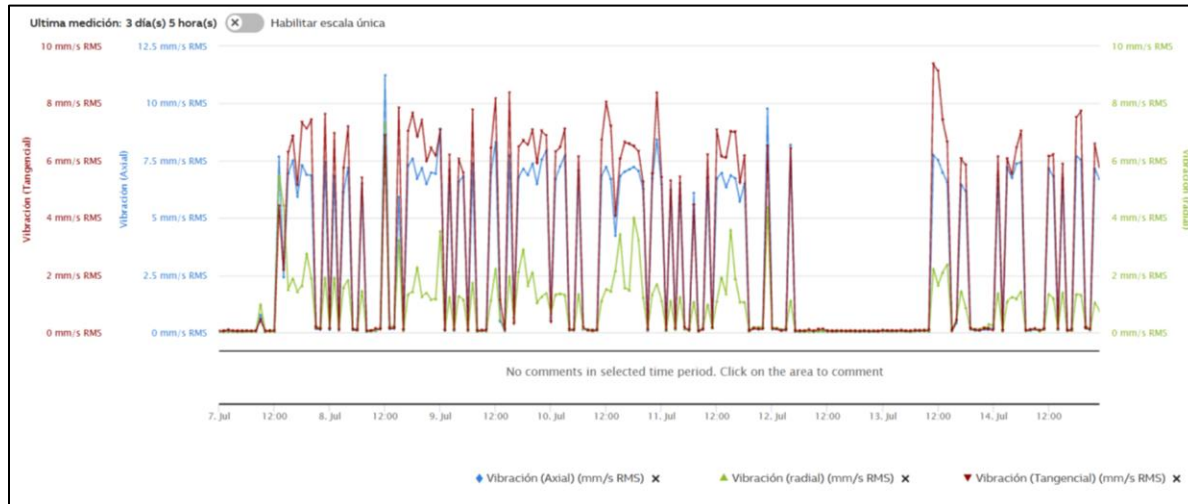


Figura 62: Comparación de tres direcciones de vibración (axial, radial y tangencial)

Fuente: Portal Digital Powertrain

Este comportamiento indica que las variaciones de vibración no se manifestaron de manera uniforme en las tres direcciones de medición, lo que podría estar asociado a cambios en las condiciones dinámicas u operativas del conjunto monitoreado, aunque la única vibración que alcanzó el umbral de alarma fue la vibración axial, la literatura especializada indica que este comportamiento puede estar asociado a indicios de problemas de desalineación, esto queda como una hipótesis hasta el momento en donde se realice un análisis de espectro con FFT para determinar exactamente el problema raíz de la vibración, así mismo se recomienda realizar un seguimiento diario para evitar paradas inesperadas.

Aquellos valores pueden estar de la mano con el funcionamiento del motor para la aplicación designada, al estar acoplado a una bomba, pueden existir diversas condiciones de operación que, con el tiempo, elevan los valores de vibración y genera problemas mecánicos en sus componentes, como el cierre de una válvula o el cambio de caudal.

CONCLUSIONES

Se logró monitorear los parámetros de operación y salud de los motores eléctricos seleccionados gracias al dispositivo Smart sensor de ABB Ability, siendo los datos registrados procesados, analizados y diagnosticados por el portal digital Powertrain, utilizando el análisis de las tendencias de vibración, temperatura y condición de rodamientos como indicadores del estado del equipo, así mismo se realizó el levantamiento de información para interpretar posibles fallas de los motores eléctricos seleccionados.

El análisis de tendencia y evaluación de datos por el portal digital Powertrain ayudó a interpretar e identificar eventos transitorios de vibración global, diferencias entre los componentes axiales, radiales y tangenciales para interpretar el posible origen de fenómenos detectados que causan dichas anomalías, el indicador de rodamientos permaneció dentro de los niveles normales y la temperatura de piel no llega a ser excesiva como para determinar una falla por dichas condiciones.

Los resultados obtenidos permitieron identificar que el dispositivo Inteligente Smart Sensor de ABB Ability proporcionó información útil para el monitoreo de condición de los motores eléctricos analizados, identificando variaciones en parámetros de temperatura, condición de rodamientos y vibración en conjunto con el portal digital Powertrain, el sistema representa una herramienta fundamental para un mantenimiento predictivo ayudando a detectar posibles anomalías durante el periodo de monitoreo.

Gracias a los parámetros, diagnóstico y análisis durante el tiempo de monitoreo de ambos activos por el Portal digital Powertrain, el motor Siemens diagnosticado presentó un comportamiento estable considerado en operación óptima, sin una próxima anomalía que pueda concluir en una falla repentina de trabajo; por otro lado, el motor de marca ABB ubicado en

PuertoMar S.A. el cual es aplicado a una operación de criticidad elevada, presentó mayores variaciones en los niveles de vibración, especialmente en la dirección axial aunque sin evidenciar un deterioro significativo en la condición de rodamientos, esto ayuda a concluir que el motor se encuentra dentro de un rango de falla y parada repentina lo que puede llevar a consecuencias elevadas como una parada de producción inesperada.

RECOMENDACIONES

Se recomienda una buena instalación del equipo, fuera de interferencias que afectan a una obtención y evaluación de datos eficaz, tener en cuenta los términos de suscripción del equipo para cada activo y sobre todo la fecha y hora de instalación.

Para una buena interpretación de datos de vibración basarse en normativa que ayuden a seleccionar el criterio de falla correcto, tener en cuenta las condiciones del motor y realizar una inspección visual. Por último, y muy importante, para futuras investigaciones, se recomienda habilitar la adquisición de datos en modo RAW, con el fin de realizar un análisis espectral de las señales de vibración.

Dicha operación nos ayuda a tener información del dominio de la frecuencia por medio de la transformada de Fourier, facilitando la identificación de componentes asociados a fallas mecánicas como desalineación, desbalance o holgura. Esto ayuda a complementar el estudio de vibración del motor eléctrico siendo más eficaz y detallado en el análisis y diagnóstico de vibración y contribuir a un adecuado plan de mantenimiento, así mismo se recomienda que el segundo activo marca ABB sea sometido a un plan de mantenimiento que no interfiera en actividades de producción para evitar una parada inesperada del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

- ABB . (19 de Mayo de 2022). *ABB myABB business portal*. Obtenido de ABB myABB business portal: <https://myportal.abb.com/abblibrary>
- ABB. (7 de Noviembre de 2019). *ABB Ability™*. Obtenido de ABB Ability™: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK106713A3853&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ABB. (Octubre de 2020). *myABB business portal*. Obtenido de myABB business portal: <https://myportal.abb.com/abblibrary>
- ABB. (30 de Abril de 2024). *myABB business portal*. Obtenido de myABB business portal: <https://myportal.abb.com/abblibrary>
- ABB. (11 de 09 de 2025). *ABB myABB business portal*. Obtenido de ABB myABB business portal: <https://myportal.abb.com/abblibrary>
- ABB. (2026). *ABB*. Obtenido de New ABB: <https://new.abb.com/drives/es/abb-ability-condition-monitoring-powertrains>
- ABB. (2026). *ABB Innovation*. Obtenido de ABB Innovation: <https://new.abb.com/innovation/abb-ability-smart-sensor>
- ABB. (2026). *ABB Motors & Drives*. Obtenido de ABB Motors & Drives: <https://www.abb.com/global/en/areas/motion/services/asset-health-and-monitoring/abb-ability-digital-powertrain>
- ABB. (25 de Mayo de 2026). *myABB business portal*. Obtenido de myABB business portal-ABB Library: <https://myportal.abb.com/abblibrary>

- Arntz, M., & Gregpry, T. y. (2016). *The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis*. París: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).
- Basco, A. I. (2018). *Industria 4.0: Fabricando el futuro*. Buenos Aires: Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Caceres, B. D. (2002). *Selección del control de motores de inducción de corriente alterna*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- De Jonge, B. &. (2020). *European Journal of Operational Research*. Obtenido de European Journal of Operational Research: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.09.047>
- Garcia, J. E. (2024). *Mantenimiento Predictivo*. Catalunya: Universidad Oberta de Catalunya.
- Habyarimana, M. A. (1 de July de 2025). *MDPI*. doi:<https://doi.org/10.3390/en18133484>
- Inducom. (2 de Enero de 2020). *Inducomicc S.A.* Obtenido de Inducomicc S.A.: <https://inducom.com.bo/posibles-fallas-en-los-motores-electricos/>
- International Organization for Standardization. (2016). *ISO 20816-1:2016. Mechanical vibration - Measurement and evaluation of machine vibration - Part 1: General guidelines*. Geneva: International Organization for Standardization.
- León Ledesma María Carolina, A. F. (Junio de 2015). *Motores de Corriente Alterna síncrono y Corriente Directa*. Obtenido de Pistas Educativas: <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/355/344>
- Lillstrang, M. H. (2022). *Building and Environment*. Obtenido de Building and Environment: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108529>
- Olarte C., W., Botero A., M., & Cañón A., B. (Agosto de 2010). *Scientia et Technica*. Obtenido de Scientia et Technica: <https://ojs2.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/355/117>

- Pacheco-Chica, W. N., & Santos-Moreira, k. D. (9 de Noviembre de 2020). *Dialnet*. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8385965>
- PdMA Corporation. (s.f.). *Análisis por zonas de falla*. Tampa: PdMA Corporation.
- Saldivia, F. (2013). Aplicación de mantenimiento predictivo. Caso de estudio: Análisis de aceite usado en un motor de combustión interna. *Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI 2013)* (págs. 1-10). Cancún, México: LACCEI. Obtenido de https://www.academia.edu/83624925/Aplicaci%C3%B3n_de_mantenimiento_predictivo_Caso_estudio_Analisis_de_aceite_usado_en_un_motor_de_combusti%C3%B3n_interna
- Salmerón Ochoa, D., Cruz Torres, R., & Gonzáles Parada, A. (2 de Octubre de 2024). *Jóvenes en la Ciencia*. Obtenido de Jóvenes en la Ciencia : <http://repositorio.ugto.mx/bitstream/20.500.12059/13929/1/101517420244282.pdf>
- Sánchez Gómez, A. M. (2017). *Técnicas de Mantenimiento Predictivo. Metodología de Aplicación en las Organizaciones*. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia .
- Serna M., E. (2017). *Desarrollo e Innovación en Ingeniería* (2 ed.). Medellín, Antioquia: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación (IAI).
- Serrano Prieto, J., & Luis Magadán, C. (2024). *Detección de anomalías de funcionamiento en motores eléctricos*. Universidad de Oviedo. Oviedo, España: Universidad de Oviedo. Obtenido de https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/74043/TFG_JuanSerranoPrieto.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Siemens. (2020). *Simotics El portafolio de motores eléctricos más amplio del mundo*. SIEMENS Ingenuity for life.

SKF. (2010). *Análisis de vibraciones SKF*. Colombia: SKF.

SKF. (2011). *Vibration Diagnostic Guide*. San Diego: SKF.

Tirado Kulieva, V. A. (2023). *Aypate | Revista de Investigación Científica de la Universidad Nacional de Frontera*. doi:<https://doi.org/10.57063/ricay.v2i1.31>

Zonta., T., André da Costa., C., da Rosa Righi., R., de Lima., M. J., Silveria da Trindade., E., & Pyng Li., G. (2020). *ELSEVIER Computers & Industrial Engineering*. Obtenido de ELSEVIER Computers & Industrial Engineering: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835220305787>

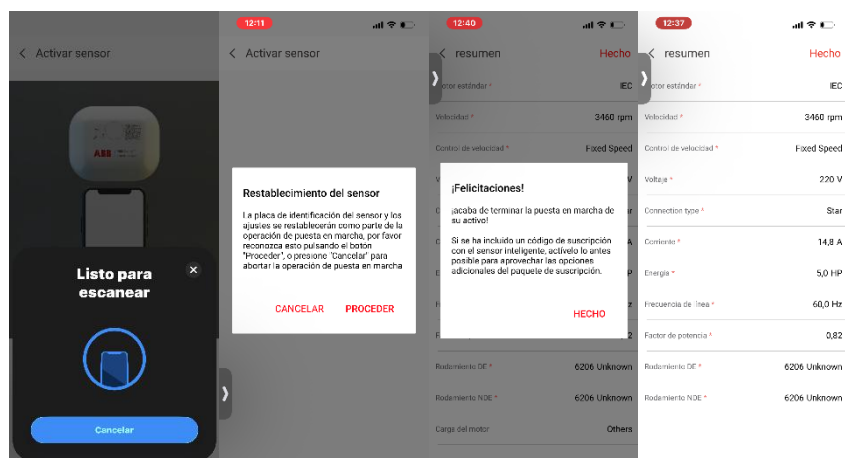
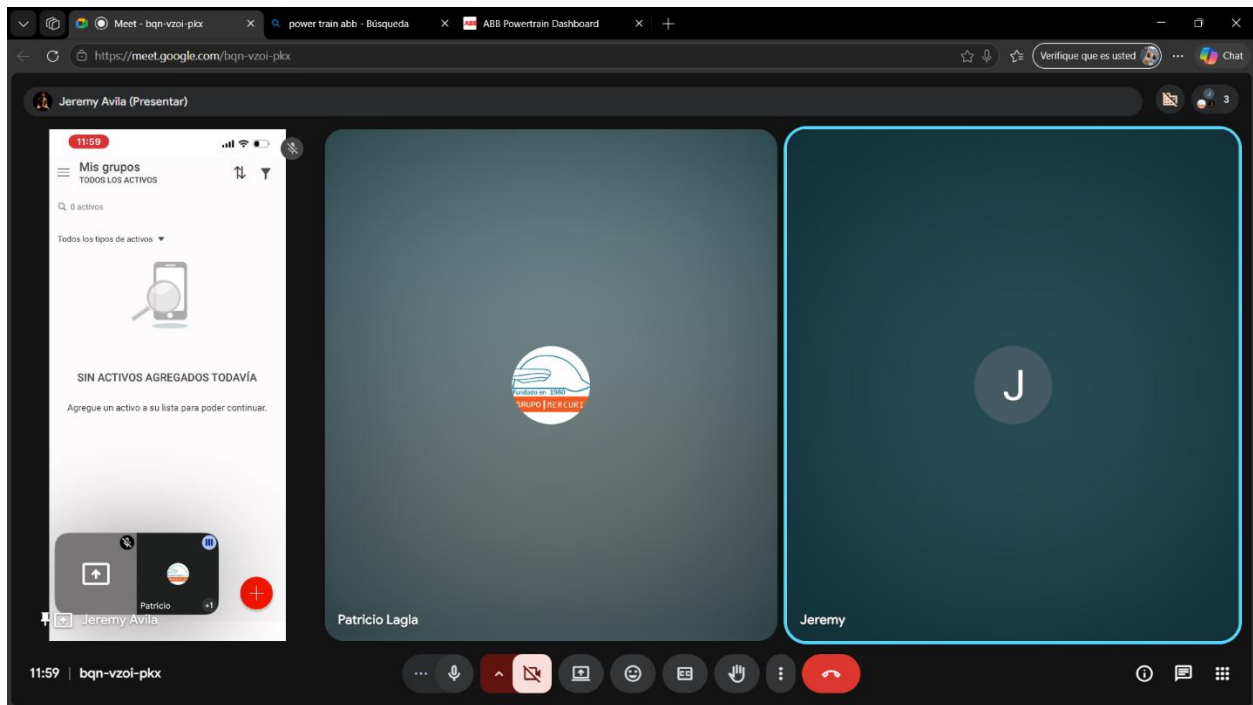
ANEXOS

Manuales y Brochure de Smart Sensor y Portal Digital Powertrain

Carpeta en drive:

https://drive.google.com/drive/folders/1DHdN2-3b2DXdaO4OZ0iBtM-S6248_PpJ?usp=drive_link

Capacitación

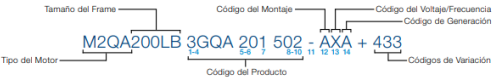


Ficha Técnica de motor ABB

Información sobre pedidos

Código del Producto

El código del producto es construido de acuerdo al siguiente ejemplo:



Descripción del Código del Producto

Table with 2 columns: Posiciones 1-4, Posiciones 5-6, Posiciones 7-10, Posición 11, Posición 12. It details the meaning of each part of the motor code, such as motor type, frame size, mounting, and connection details.

1 - Catálogo ABB | Motores de aplicación general en hierro fundido | Baja tensión

Motores de aplicación general en hierro fundido - 60 Hz
Datos técnicos generales

Los motores de ABB de aplicación general han sido diseñados para aplicaciones de uso general. Sin embargo, estos pueden ser modificados localmente para atender la mayoría de las aplicaciones. Construidos con los más altos estándares internacionales de fabricación y con los mejores materiales disponibles, los motores de aplicación general de ABB ofrecen competitividad de precios, calidad, confiabilidad, disponibilidad y una red de profesionales que le darán un rápido soporte en todo el proceso de venta.

Table with 3 columns: N°, Descripción, Detalle. It lists technical specifications for the motor, including general information, protection type, ventilation system, frame size, speed, power, service factor, service type, nominal speed, frequency, form factor, mounting class, ambient temperature, and insulation class.

*La amplitud efectiva constituye las características convencionales de los motores de aplicación estándar, especiales y accesorios especiales deben ser consultados con ABB

Estándar

- Placa característica en acero inoxidable
- Número de serie individual para cada equipo
- Rodamientos reemplazables a partir de carcasa 250
- Tapa protectora de ventilador metálica
- Color: Ribs Mursall BB 45/5,25
- Anillo de coque desde carcasa 100
- Caja de conexiones rotativa (4 x 90° - carcasa 71 - 130)
- Caja de conexiones rotativa (2 x 180° - carcasa 190 - 305)
- Terminales en elevador de rotor desde carcasa 190
- Habilitado para arranque estrella - triángulo

Opcionales:

- Terminales/terminales/Resistencia de calentamiento
- Protección IP55/IP56/IPW
- Rodamientos aislados
- Rodamientos de rotillo (carcasa 190 a 305)
- Color especial de pintura
- Ventilación independiente
- Aislamiento Clase H
- Caja de conexión en posición lateral
- Montaje con brida BS-D14
- Otras tensiones nominales

10 - Catálogo ABB | Motores de aplicación general en hierro fundido | Baja tensión

Table with 10 columns: Tipo de motor, S, D, H, E, 60Hz, F, T, U, X. It provides technical data for different motor types and their specifications.

Posición 14

Código de Generación. El código del producto debe estar, si es necesario, seguido de los códigos de variación.

Ejemplo sobre Pedidos

- 1) Diseño Estándar. Cuando vaya a ordenar un motor, por favor tome en cuenta los siguientes datos como mínimo en su orden: Tipo del Motor, Código del producto, Velocidad Nominal, Potencia Nominal, Tipo de Montaje, Voltaje de Alimentación, Frecuencia, Grado de Protección, Clase de Aislamiento.
- 2) Notas. Si la Orden está basada en una cotización por favor indicar el número. Si el mismo motor fue comprado antes (Motor de reemplazo), por favor indicar su serial (observar la placa del motor).

Características estándares

Table with 10 columns: Estado, Material, 71, 80, 90, 100, 112, 120, 140, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 315, 355. It lists standard features and materials for different motor sizes.

- 1) 50 Hz, 6 terminales para motores de 6 cables dando posibilidades de conexión 0 / V, 60 Hz, 6 terminales para motores de 12 cables dando posibilidades de conexión de 220 VΔ, 380 VY y 440 VΔ
- 2) 50 Hz, 6 terminales para motores de 6 cables dando posibilidades de conexión 0 / V, 60 Hz, 12 terminales para motores de 12 cables dando posibilidades de conexión 220 VΔ, 380 VY y 440 VΔ

Motores de aplicación general en hierro fundido | Baja tensión | Catálogo ABB - 1

Motores de aplicación general en hierro fundido - 60 Hz.
Datos técnicos para motores trifásicos del tipo jaula de araña totalmente cerrados y autoventilados
IP55 - IC 411 - Aislamiento clase F / ΔT B - 220-230/380/440-460V

Table with 10 columns: Potencia, Eficiencia [%], Factor de potencia, In, Is, Iav, Tn, Tm, Tmáx, Momento de arranque, Peso, Ruido. It provides detailed technical data for different motor power ratings.

*Incremento de temperatura clase F. Corriente nominal a 400V. Para obtener la corriente en 230V multiplicar por 2. En 230V multiplicar por 1,01. En 380V multiplicar por 1,08. En 460V multiplicar por 0,95. Eficiencia determinada según método IEC 60398-2-1999

Motores de aplicación general en hierro fundido | Baja tensión | Catálogo ABB - 11

Ficha técnica de motor Siemens

Motores y Ventiladores

Standard three-phase motors series 1LA5 / 1LA7 and 1LG4

Descripción



Generalities

Our extensive technical knowledge, which has over 150 years in the world consolidated experience results in an engine prepared for the future: design universal and technical advantages. Our engines meet the demanding requirements market techniques, demonstrating once again our leadership on a global level.

Thanks to its aluminum casing, it ensures excellent thermal conductivity and a low weight. Its design allows it to operate at two voltages and for its starting to be carried out already be directly, in star triangle (From size AH 132), with soft starter or with a speed variator which makes its application possible in all conditions available. In order to provide even more peace of mind to its user, the entire family includes 1 year of warranty and the support of our network of authorized distributors and workshops.



Electrical Characteristics:

- * Superior efficiency IE1 up to a construction size of 225.
- * Switchable voltages 230 / 440 VAC at 60 Hz.
- * Possibility of direct start in construction sizes 71, 80, 90, and 112. Additionally, start Y - Δ from size 132.
- * Thermal class F.
- * Service type S1.
- * Service factor (SF) between 1.05 to 1.15.
- * Operating temperature: -15/40°C.
- * Suitable for operation with a speed variator.
- * Type 1LG4 engines from Germany.

Mechanical Characteristics:

- * Aluminum casing that ensures low weight and excellent thermal conductivity.
- * Rigid ball bearings, double sealed and with internal clearance C3. Completely sealed and maintenance-free, with a lifespan of up to 20,000 hours of service if continue.
- * Execution IMB3 / IMB5 / IMB5.
- * With C10 ring retainer on the AS plate.
- * Mechanical Protection IP55.
- * For the 1LA7 series, aluminum plates and for the 1LA5, cast iron plates.
- * RAL 7032 color paint.

Accessories on request:

- * Thermistors.
- * Heating bands.
- * Power supply voltage out of standard.

Additional benefits:

- * Extended warranty for the purchase of a "Motor + Variator" combo, 3 years warranty without additional cost.
- * Authorized technical workshops in Guayaquil and Quito.
- * Direct technical support through the free Technical HotLine 1800-101355.

Three-phase motors with 2-pole flange (3,600 rpm, IBM35, 60Hz, IP55)

Motores y Ventiladores

No. de Depósito	Descripción						Precio Lista Unit. US \$	
	 Motor brida 2 polos Tipo 1LA7 090  Motor brida 2 polos Tipo 1LA5 180  Your engine It is very valuable! Protect it only with Siemens products: 							
Type	Size Constructive	Power HP	kW	Service Efficiency %	FS	Current (A) 220 VAC 440 VAC		
SPEED 3,600 rpm (2 poles)								
100160472	1LA7070-2YA66	71	0.75	0.56	77.4	1.15	2.4 1.2 130.00	
100160476	1LA7073-2YA66	71	1.0	0.75	62.8	1.15	3.5 1.75 138.00	
100160487	1LA7083-2YA66	80	2.0	1.50	73.4	1.15	6.2 3.1 186.00	
100160494	1LA7090-2YA66	90	3.0	2.20	82.3	1.15	9.0 4.5 229.00	
100160499	1LA7096-2YA66	90	4.0	3.00	84.5	1.15	12.2 6.1 272.00	
100160509	1LA7112-2YA66	112	5.0	3.73	85.2	1.15	16.0 8.0 306.00	
100160518	1LA7114-2YA66	112	7.5	5.60	86.0	1.15	21.8 10.9 437.00	
100160521	1LA7130-2YA76	132S/M	10.0	7.50	88.1	1.15	28.0 14.0 566.00	
100160526	1LA7132-2YA76	132S/M	15.0	11.2	88.1	1.15	41.0 20.5 847.00	
100160534	1LA7163-2YA76	160 M/L	20.0	14.9	88.5	1.15	53.6 26.8 981.00	
100160538	1LA7165-2YA76	160M/L	25.0	18.7	89.5	1.15	63.6 31.8 1,028.00	
100160540	1LA7167-2YA76	160 M/L	30.0	22.4	89.6	1.15	77.2 38.6 1,192.00	
100160442	1LA5184-2YA86	180 M	40.0	29.8	91.5	1.05	102.0 51.0 2,148.00	
100160449	1LA5206-2YA86	200L	50.0	37.3	92.5	1.15	124.0 62.0 3,117.00	
100160451	1LA5207-2YA86	200L	60.0	44.5	92.4	1.15	148.0 74.0 3,223.00	
100160455	1LA5223-2YA86	225M	75.0	55.5	93.1	1.15	188.0 94.0 3,579.00	



More information:
Motor configurator: www.siemens.com/sd-configurator
Catálogo: www.siemens.com/motores
Notes:
Dimensions of the engines see pages 1/9 - 1/10

Visit our engine factory video at:



June 30, 2011 - The List Price does not include current VAT - Prices subject to change without prior notice

1/6

Siemens Ecuador

Activación de suscripción

ACTIVACIÓN DE SUSCRIPCIÓN

1. CÓDIGO DE ACTIVACIÓN

Subscription code:	Supported sensor types: Smart Sensor For Motors, Smart Sensor For Pumps, Smart Sensor High Performance, Smart Sensor For General Machinery, Smart Sensor Standard Performance, Smart Sensor High Performance WirelessHART, Integer
	Subscription type: ABB Ability™ Smart Sensor Subscription
	Subscription duration: 24 months
	Subscription code must be used before: 05 Jul, 2028
	ABB Ability™ Digital Powertrain web portal: https://smartsensor.abb.com

2. NOMBRE DE LA ORGANIZACIÓN E ID DE POWERTRAIN

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (427240)

3. IDENTIFICADOR DE ACTIVO O SENSOR, Y NOMBRE DE ACTIVO MOSTRADO EN EL PORTAL POWERTRAIN

Identificador de sensor:

Nombre de activo:

 Motor_1_Siemens 

Asset ID: 110405 | Serial number: 1LA7112-2YA66 | Product type code: Motor

4. FECHA DE INICIO DE SUSCRIPCIÓN

25 de junio de 2026

Instalación y toma de datos durante los monitoreos

