



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA IIoT ORIENTADA POR IIRA PARA  
MONITOREO DE SEÑALES DE VIBRACIÓN DEL MIXER 1 DE  
CONTINENTAL TIRE ANDINA S.A.**

Trabajo de titulación previo a la obtención  
del título de Ingeniero en Mecatrónica

**AUTORES: CRISTOFER ESTIBEN SARAGURO BRAVO  
JUAN FERNANDO URGILÉS CANTOS**

**TUTOR: ING. MARIELA CERRADA LOZADA, M.SC. PH.D.**

Cuenca – Ecuador

2025

# CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Cristofer Estiben Saraguro Bravo con documento de identificación N° 1720934585 y Juan Fernando Urgilés Cantos con documento de identificación N° 0150266666; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 9 de febrero del 2025

Atentamente,



Cristofer Estiben Saraguro Bravo  
1720934585



Juan Fernando Urgilés Cantos  
0150266666

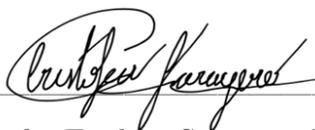
# **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Cristofer Estiben Saraguro Bravo con documento de identificación N° 1720934585 y Juan Fernando Urgilés Cantos con documento de identificación N° 0150266666, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores de la Propuesta Tecnológica: "Diseño de una Arquitectura IIoT Orientada por IIRA para Monitoreo de Señales de Vibración del Mixer 1 de Continental Tire Andina S.A.", la cual ha sido desarrollada para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 9 de febrero del 2025

Atentamente,



Cristofer Estiben Saraguro Bravo  
1720934585



Juan Fernando Urgilés Cantos  
0150266666

# **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Mariela Cerrada Lozada con documento de identificación N° 0151771813, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA IIoT ORIENTADA POR IIRA PARA MONITOREO DE SEÑALES DE VIBRACIÓN DEL MIXER 1 DE CONTINENTAL TIRE ANDINA S.A., realizado por Cristofer Estiben Saraguro Bravo con documento de identificación N° 1720934585 y Juan Fernando Urgilés Cantos con documento de identificación N° 0150266666, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Propuesta Tecnológica que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 9 de febrero del 2025

Atentamente,



---

Ing. Mariela Cerrada Lozada PhD.

0151771813

# Dedicatoria

## *Estudiante 1*

Con inmenso agradecimiento y cariño, dedico este trabajo a quienes han sido el soporte esencial en mi vida y formación. A Dios, por ser mi luz y guía en cada paso y por darme fuerza en los desafíos. A mis padres, Jhony Saraguro y Catalina Bravo, cuyo amor infinito, sacrificios invaluable y ejemplo de perseverancia, me han inspirado a seguir adelante. Este logro es también suyo, porque sin su apoyo incondicional, este sueño no habría sido posible. A mis amigos, quienes con su aliento y compañía han sido un faro en los momentos de duda y un motivo de alegría en este viaje. Y finalmente, a todas aquellas personas como Samantha, que de una u otra manera, han influido en este proceso, contribuyendo de manera invaluable en mi vida. A ustedes, gracias por ser parte de este logro, que es tanto mío como suyo.

Con todo mi cariño y respeto, Cristofer Saraguro

## *Estudiante 2*

A mi madre, por ser el pilar de mi vida, por su amor incondicional y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. A mi padre, quien, aunque ya no está físicamente, siempre me ha guiado con su ejemplo y sabiduría. Este logro es también suyo. A mis hermanos, por su apoyo constante, por creer en mí y ser fuente de inspiración en todo momento. A toda mi familia, por estar presente en los momentos importantes y brindarme el aliento necesario para superar cada desafío.

# Agradecimientos

## *Estudiante 1*

Al cerrar este capítulo trascendental en mi vida, expreso mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que, de alguna manera, hicieron posible la realización de este trabajo. A la Universidad Politécnica Salesiana y al grupo de investigación GIDTEC, por brindarme las herramientas y el conocimiento que hicieron posible este proyecto, así como un espacio para crecer académica y profesionalmente. A mi tutora, la Dra. Mariela Cerrada, por su orientación experta, su paciencia y su compromiso inquebrantable con la excelencia. Su apoyo fue clave para alcanzar este objetivo y superar los momentos más complejos del proceso. A Continental Tire Andina S.A., por permitirme acceder a sus instalaciones y brindarme la posibilidad de desarrollar esta investigación. Su apoyo y disposición fueron fundamentales para llevar a cabo este trabajo en un entorno real, enriqueciendo mi aprendizaje y fortaleciendo mis habilidades profesionales.

Con mi más sincero agradecimiento, Cristofer Saraguro

## *Estudiante 2*

Agradezco profundamente a la ING. Mariela Cerrada Lozada, M.Sc., Ph.D., por su invaluable orientación, paciencia y dedicación durante todo el desarrollo de esta tesis. Su conocimiento y guía han sido esenciales para la culminación de este trabajo. Extiendo mi gratitud a Continental Tire Andina S.A. por brindarme la oportunidad de trabajar en un entorno profesional desafiante y por facilitar los recursos y el acceso necesario para llevar a cabo esta investigación. Su colaboración ha sido fundamental en este proceso

Este documento fue realizado enteramente en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

# Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	XII
Abstract	XIII
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Problema</b>	<b>2</b>
2.1. Antecedentes . . . . .	2
2.2. Importancia y alcances . . . . .	5
2.3. Delimitación . . . . .	6
2.3.1. Espacial o geográfica . . . . .	6
2.3.2. Temporal . . . . .	7
2.3.3. Sectorial o institucional . . . . .	7
<b>3. Objetivos</b>	<b>7</b>
3.1. Objetivo general . . . . .	7
3.2. Objetivos Específicos . . . . .	8
<b>4. Hipótesis</b>	<b>8</b>
4.1. Hipótesis General . . . . .	8
4.2. Hipótesis Específicas . . . . .	9
<b>5. Marco Teórico</b>	<b>9</b>
5.1. Equipo MIXER 1 . . . . .	9
5.2. Arquitectura IIRA para aplicaciones IIoT . . . . .	12

5.2.1. Industrial Internet of Things (IIoT) . . . . .	12
5.2.2. Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) . . . . .	15
5.2.3. Componentes clave del IIRA . . . . .	16
5.3. Monitoreo de Vibraciones en Sistemas Industriales con IIoT . . . . .	20
<b>6. Marco metodológico</b>	<b>24</b>
6.1. Especificaciones de las recetas del MIXER 1 . . . . .	24
6.2. Cálculo de frecuencias teóricas de la caja de engranajes . . . . .	29
6.3. Mediciones en la caja reductora del MIXER 1 con el acelerómetro WiSER 3X	33
6.4. Análisis exploratorio de los datos disponibles en el SCADA del MIXER 1 . .	43
6.5. Propuesta de Arquitectura IIoT Orientada por IIRA . . . . .	55
6.5.1. Punto de Vista del Negocio . . . . .	56
6.5.2. Punto de Vista de Uso . . . . .	67
6.5.3. Punto de Vista Funcional . . . . .	85
6.5.4. Punto de Vista de Implementación . . . . .	93
6.5.5. Selección del Sensor de Vibración IIoT . . . . .	98
<b>7. Resultados</b>	<b>111</b>
<b>8. Cronograma</b>	<b>113</b>
<b>9. Presupuesto</b>	<b>115</b>
9.1. Talento humano . . . . .	115
9.2. Recursos materiales . . . . .	115
<b>10. Conclusiones</b>	<b>116</b>
<b>11. Recomendaciones</b>	<b>117</b>
<b>Referencias</b>	<b>121</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>122</b>

## Lista de Tablas

1.	Frecuencias de elementos rotatorios . . . . .	12
2.	Diferencias clave entre IoT e IIoT . . . . .	14
3.	Comparación entre tipos de sensores . . . . .	23
4.	Tabla de parámetros de una receta . . . . .	25
5.	Tabla de parámetros de la receta 1 . . . . .	27
6.	Tabla de parámetros de la receta 2 . . . . .	27
7.	Tabla de parámetros de la receta 3 . . . . .	28
8.	Tabla de parámetros de la receta 4 . . . . .	28
9.	Especificaciones de las ruedas dentadas de cada etapa . . . . .	29
10.	Ecuaciones para el cálculo de frecuencias. . . . .	30
15.	Intervalos de frecuencias de la caja de engranes del MIXER 1 de la receta 1, 2, 3, 4. . . . .	33
18.	Valores de las frecuencias observadas en los tres ejes. . . . .	42
23.	Requisitos para el sensor de vibración IIoT . . . . .	102
24.	Características del sensor Phantom Expert Gen 3 . . . . .	104
26.	Características del sensor HS-420 . . . . .	107
27.	Puntuación para la evaluación de sensores . . . . .	108
28.	Evaluación de sensores por puntuaciones . . . . .	109
29.	Cronograma de actividades. . . . .	114
30.	Recurso de talento humano . . . . .	115
31.	Recursos materiales. . . . .	115
32.	Información general del plan experimental . . . . .	123
33.	Elementos mecánicos de la caja reductora del MIXER 1 . . . . .	125
34.	Características del sensor WiSER 3X . . . . .	126
47.	Valores de las frecuencias observadas en los tres ejes. . . . .	140
48.	Matriz de consistencia . . . . .	141

## Lista de Figuras

1.	Ubicación de la empresa Continental Tire Andina S.A . . . . .	6
2.	Ubicación de la Universidad Politécnica Salesiana. . . . .	7
3.	Caja de engranajes del MIXER 1 de Continental Tire Andina S.A . . . . .	11
4.	Conexiones del IIoT en una red industrial . . . . .	13
5.	Punto de vista del Negocio . . . . .	17
6.	Punto de Vista de Uso . . . . .	17
7.	Punto de Vista Funcional . . . . .	19
8.	Punto de Vista de Implementación . . . . .	19
9.	Comparación de los métodos tradicionales y los modernos basados en IIoT .	21
10.	HMI del MIXER 1 de la receta 1. . . . .	26
12.	Directorio en la plataforma EI Analytic. . . . .	35
13.	Señal de vibración visualizada en la plataforma de EI Analytic. . . . .	37
14.	Diagrama de flujo del procesamiento y análisis de la señal de vibración. . . .	38
15.	FFT - P1 M2 R3 - Eje horizontal. . . . .	39
16.	FFT - P1 M2 R3 - Eje horizontal. . . . .	39
17.	FFT - P1 M2 R3 - Eje vertical. . . . .	40
18.	FFT - P1 M2 R3 - Eje vertical. . . . .	40
19.	FFT - P1 M2 R3 - Eje axial. . . . .	41
20.	FFT - P1 M2 R3 - Eje axial. . . . .	41
21.	Potencias del MIXER 1 medidas en la receta 1. . . . .	44
22.	Temperaturas del MIXER 1 medidas en la receta 1. . . . .	45
23.	Velocidades de salida del MIXER 1 medidas en la receta 1. . . . .	45
24.	Gráfica de las series temporales de la variable potencia correspondientes a la receta 1. . . . .	46
25.	Potencias del MIXER 1 medidas en la receta 2. . . . .	48
26.	Temperaturas del MIXER 1 medidas en la receta 2. . . . .	48
27.	Velocidades de salida del MIXER 1 medidas en la receta 2. . . . .	49
28.	Gráfica de las series temporales de la variable potencia correspondientes a la receta 2. . . . .	49
29.	Potencias del MIXER 1 medidas en la receta 3. . . . .	50
30.	Temperaturas del MIXER 1 medidas en la receta 3. . . . .	51
31.	Velocidades de salida del MIXER 1 medidas en la receta 3. . . . .	51

32.	Gráfica de las series temporales de la variable potencia correspondientes a la receta 3. . . . .	52
33.	Potencias del MIXER 1 medidas en la receta 4. . . . .	53
34.	Temperaturas del MIXER 1 medidas en la receta 4. . . . .	53
35.	Velocidades de salida del MIXER 1 medidas en la receta 4. . . . .	54
36.	Pirámide de jerarquía en Planta Común . . . . .	60
37.	Diagrama de flujo en la vista de negocios . . . . .	66
38.	Diagrama de flujo en la vista de uso . . . . .	68
39.	Diagrama de la jerarquía de los casos de uso . . . . .	72
40.	Diagrama de actividades del caso de uso 1 . . . . .	75
41.	Diagrama de actividades del caso de uso 2 . . . . .	77
42.	Diagrama de actividades del caso de uso 3 . . . . .	79
43.	Diagrama de actividades del caso de uso 4 . . . . .	81
44.	Diagrama de actividades del caso de uso 5 . . . . .	83
45.	Diagrama general de los casos de uso . . . . .	84
46.	Diagrama de Arquitectura de Implementación Propuesta . . . . .	96
47.	Diagrama de la arquitectura de implementación . . . . .	97
48.	Medición de la temperatura sobre la superficie de la caja de engranajes del MIXER 1. . . . .	101
49.	Sensor Phantom Expert Gen 3 (EPH-V11E) . . . . .	103
50.	Sensor Model 3713D1FD3G . . . . .	105
51.	Sensor HS-420-M12 . . . . .	106
52.	Planos de la caja reductora del MIXER 1 . . . . .	124
53.	Ubicación del sensor en los distintos puntos de la caja de engranajes . . . . .	126

## Resumen

**E**l presente trabajo de titulación se enfoca en el diseño conceptual de una arquitectura de Internet Industrial de las cosas (IIoT, por sus siglas en inglés) basada en el estándar Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) para el monitoreo de señales de vibración del equipo MIXER 1 en la empresa Continental Tire Andina S.A. El objetivo principal es plantear una estructura detallada que sirva de base para una futura implementación, permitiendo visualizar cómo se integrarían los componentes necesarios para el monitoreo continuo mediante sensores de vibración.

Como primer paso, se recopilaron datos de vibración mediante el sensor WiSER 3X, con el fin de verificar la correspondencia entre las frecuencias calculadas y las frecuencias observadas. Posteriormente, se analizaron datos provenientes del sistema SCADA, extrayendo valores promedio que reflejan las condiciones operativas normales del equipo MIXER 1. Estos análisis ayudaron a identificar las frecuencias características de la maquinaria y a seleccionar los sensores adecuados y disponibles comercialmente. Además, se siguió una metodología específica que estableció criterios claros y fundamentó la selección de componentes y disposiciones para el diseño. Todo este trabajo preliminar permitió establecer una arquitectura de monitoreo confiable, fundamentada en el marco IIRA, para una futura implementación en el monitoreo y diagnóstico del MIXER 1.

Los resultados obtenidos presentan el diseño de una arquitectura IIoT, la cual marca la base para la implementación de un sistema de monitoreo y visualización de información. Los resultados obtenidos con este diseño dan a conocer de manera detallada cuál será la estructura de la arquitectura IIRA, permitirán a la empresa una mayor eficiencia en la gestión del MIXER 1, extendiendo su durabilidad y optimizando los costos de mantenimiento. Además, el estudio representa una contribución importante al uso de arquitecturas IIoT en entornos industriales para la implementación de estrategias de mantenimiento basado en la condición.

**Palabras clave: Monitoreo de condición, Internet Industrial de las cosas, arquitectura IIoT, vibraciones, cajas de engranajes.**

## Abstract

**T**his thesis focuses on the conceptual design of an Industrial Internet of Things (IIoT) architecture based on the Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) standard for monitoring vibration signals from the MIXER 1 equipment at Continental Tire Andina S.A. The main objective is to propose a detailed structure that serves as a foundation for future implementation, allowing for the visualization of how the necessary components for continuous monitoring with vibration sensors would be integrated.

As the first step, vibration data were collected using the WiSER 3X sensor to verify the correspondence between the calculated and observed frequencies. Subsequently, data from the SCADA system were analyzed, extracting average values that reflect the normal operating conditions of the MIXER 1 equipment. These analyses helped identify the characteristic frequencies of the machinery and select the appropriate commercially available sensors. Additionally, a specific methodology was followed, which established clear criteria and justified the selection of components and configurations for the design. All this preliminary work allowed for the establishment of a reliable monitoring architecture, based on the IIRA framework, for future implementation in the monitoring and diagnostics of the MIXER 1.

The results obtained present the design of an IIoT architecture, which serves as the foundation for implementing a monitoring and information visualization system. The outcomes of this design provide a detailed overview of the structure of the IIRA architecture, enabling the company to achieve greater efficiency in managing MIXER 1 by extending its durability and optimizing maintenance costs. Furthermore, this study represents a significant contribution to the use of IIoT architectures in industrial environments for the implementation of condition-based maintenance strategies.

**Keywords:** Condition monitoring, Industrial Internet of Things (IIoT), IIoT architecture, vibrations, gearbox.

# 1. Introducción

**E**l monitoreo de vibraciones en sistemas industriales es fundamental para garantizar la eficiencia operativa y prevenir fallos en equipos críticos (Looney, 2014). Este principio adquiere una relevancia particular en la industria de fabricación de llantas, donde los mezcladores industriales, como el MIXER 1 de Continental Tire Andina S.A., desempeñan un papel clave en la producción de compuestos esenciales para la creación de goma. No obstante, el MIXER 1 carece actualmente de un sistema avanzado de monitoreo de vibraciones que permita identificar anomalías y optimizar el mantenimiento, lo que podría comprometer la continuidad de las operaciones.

Para abordar esta necesidad, este proyecto propone una arquitectura del Internet Industrial de las Cosas (IIoT) basada en el marco de referencia Industrial Internet Reference Architecture (IIRA), con el objetivo de desarrollar un sistema de monitoreo de vibraciones para el MIXER 1. Esta propuesta considera los cuatro puntos de vista del IIRA: negocio, uso, funcional e implementación, ofreciendo una solución integral que alinea las necesidades operativas de la planta con las oportunidades de la industria 4.0 (Morkevicius, Bisikirskiene, y Bleakley, 2017).

Como parte del análisis técnico, se caracteriza la caja de engranajes del MIXER 1 mediante un sensor triaxial WiSER 3X, estratégicamente ubicado en puntos clave para recolectar datos de vibración. Estos datos permiten identificar las frecuencias asociadas a las distintas recetas de mezcla procesadas en el equipo. Dicho análisis no solo fundamenta la propuesta de la arquitectura, sino que también es crucial para determinar el sensor ideal que podría emplearse en futuros sistemas de monitoreo, según lo decida la empresa.

La arquitectura planteada busca ofrecer una herramienta práctica para monitorear las vibraciones en tiempo real y analizar tendencias que faciliten decisiones informadas sobre el mantenimiento y la operación del equipo. Al integrar las tecnologías IIoT con un enfoque estructurado, Continental Tire Andina podrá contar con un marco sólido para considerar la implementación de sistemas avanzados en sus procesos productivos (Mirani, Velasco-Hernandez, Awasthi, y Walsh, 2022a).

El estudio presentado en esta tesis combina el diseño de una arquitectura robusta y la selección de un sensor adecuado, permitiendo a la empresa evaluar una posible implementación en el futuro. Este enfoque garantiza que los resultados obtenidos no solo respondan a las

necesidades actuales, sino que también ofrezcan una visión a largo plazo para el monitoreo inteligente en entornos industriales.

La estructura del documento se presenta de la siguiente manera: en las primeras secciones se define la problemática, los objetivos y las hipótesis. Luego se presenta el marco teórico relacionado con las tecnologías IIoT y el estándar IIRA. Posteriormente, en el marco metodológico se detalla el análisis de vibraciones del MIXER 1 en condición normal y la propuesta de la arquitectura IIoT basada en el IIRA. Finalmente, dentro del punto de vista de implementación, se especifica la selección del sensor recomendado con base en la caracterización del MIXER 1, concluyendo con un análisis de los beneficios potenciales de la solución planteada.

## **2. Problema**

La principal dificultad que enfrenta Continental Tire Andina S.A. radica en la falta de un sistema confiable y preciso para el monitoreo de señales de vibración en la caja reductora de su mezcladora industrial, MIXER 1. Actualmente, la empresa depende de servicios externos para realizar este tipo de monitoreo, cuyo propósito es identificar de manera temprana posibles fallas en los equipos y reducir los riesgos de costosos tiempos de inactividad.

Sin embargo, esta dependencia de servicios externos presenta varios desafíos. Por un lado, se ha observado que estos servicios externos a veces proporcionan resultados inexactos, lo que puede llevar a falsos positivos o falsos negativos en la detección de posibles averías en la maquinaria. Esta falta de precisión puede generar costos adicionales y tiempos de inactividad evitables para la empresa.

En este contexto, Continental Tire Andina S.A. busca implementar una solución efectiva que permita monitorear la caja de engranajes del MIXER 1 a través de las señales de vibración generadas por este equipo. Esto facilitaría la detección temprana de posibles fallas, contribuyendo a una gestión más eficiente del mantenimiento.

### **2.1. Antecedentes**

El MIXER 1, en el contexto de la producción de neumáticos de Continental Tire Andina S.A., es un componente esencial utilizado para mezclar diversos materiales con el objetivo de crear compuestos de caucho adecuados para la fabricación de neumáticos. Su función principal

es garantizar una distribución uniforme de los materiales, como caucho natural y sintético, rellenos, materiales de refuerzo, plastificantes y sustancias químicas para la vulcanización, entre otros, según las especificaciones de cada tipo de neumático. Esta mezcla precisa es crucial para asegurar las propiedades específicas requeridas en los neumáticos, como resistencia, durabilidad, tracción y agarre (Continental, s. f.).

El MIXER 1 ejecuta una labor fundamental en el proceso de fabricación de neumáticos, ya que se encuentra en la etapa inicial de la producción, donde se preparan los compuestos de caucho necesarios para la construcción de la banda de rodadura, la carcasa y otros componentes del neumático. Sin una mezcla adecuada y homogénea de los materiales, se comprometería la calidad y el rendimiento final del neumático.

El reconocimiento anticipado de problemas en la caja reductora de la mezcladora industrial MIXER 1 es especialmente crítica debido a la naturaleza de sus operaciones. Los desafíos relacionados con el desgaste, fracturas y deformaciones en los engranajes de las cajas reductoras pueden impactar directamente en la eficiencia operativa del equipo, comprometiendo su capacidad para cumplir con los estándares de producción y aumentando los costos de mantenimiento y reparación.

Una estrategia que responde a esta necesidad es el monitoreo basado en la condición (CBM), que es una estrategia de mantenimiento que se centra en evaluar continuamente el estado de los equipos mediante la medición y análisis de parámetros clave. Su principal objetivo es identificar signos tempranos de fallas o degradación en los sistemas antes de que ocurra un fallo crítico. Este enfoque se distingue del mantenimiento tradicional basado en tiempo (TBM) al permitir la planificación de intervenciones de manera más eficiente y basada en datos reales del estado del sistema (Quatrini, Costantino, Di Gravio, y Patriarca, 2020).

Con este enfoque más claro, podemos avanzar hacia el tema del monitoreo de condición basado en vibraciones, particularmente en el ámbito de las máquinas rotativas con mecanismos de tipo rotor. Este tipo de monitoreo se ha aplicado con éxito a diversos componentes industriales, como rodamientos, cajas de engranajes, ejes y otros elementos críticos. Según investigaciones, el monitoreo de condición permite detectar hasta el 90% de las fallas en máquinas, dado que cada componente presenta una firma vibratoria única que refleja su estado operativo (Tiboni, Remino, Bussola, y Amici, 2022).

Entre estos componentes, los engranajes destacan por su importancia en la transmisión

de energía en aplicaciones industriales. Sin embargo, debido a los esfuerzos de fatiga y las condiciones hostiles en las que operan, son propensos a fallas como grietas en la raíz o desconchados en los dientes, los cuales pueden evolucionar hacia fallas catastróficas si no son detectados a tiempo. Estas fallas suelen manifestarse inicialmente como impulsos transitorios en las señales de vibración, lo que subraya la necesidad de un monitoreo continuo para garantizar la integridad de la maquinaria (Kumar, Gandhi, Zhou, Kumar, y Xiang, 2020).

Para medir las vibraciones, es fundamental instalar sensores capaces de capturar y transmitir datos. En este contexto, la adopción de tecnologías IIoT resulta clave, ya que representa una transformación en los procesos industriales al combinar la tecnología de la información con la tecnología operativa, permitiendo la interconexión de sensores inteligentes y dispositivos en entornos de producción. La importancia del IIoT radica en su capacidad para habilitar la disponibilidad de los datos con el fin de que sean aprovechados con fines de mejorar la calidad, confiabilidad y eficiencia de la producción. Al aprovechar tecnologías como el big data, la inteligencia artificial (IA) y la computación en la nube, el IIoT es parte de la optimización en los procesos de fabricación al cumplir su tarea de recolectar y transferir datos que ayudan en el análisis en tiempo real y la coordinación de operaciones complejas de manera eficiente.

Una red jerárquica bastante común y básica utilizada para el monitoreo mediante dispositivos IIoT está estructurada por tres capas fundamentales: una nube centralizada, una capa de borde y una capa de sensores. En la capa de sensores, los sensores recolectan la señal de vibración proveniente de las máquinas en tiempo real, representando así el estado operativo de las máquinas. Por su parte, las puertas de enlace IIoT en la capa de borde desempeñan funciones como el acondicionamiento de señales, la adquisición de datos y el preprocesamiento de señales; esta puerta de enlace admite conexiones Ethernet y protocolos de red inalámbricos a través de Internet para comunicarse con los servidores en la nube. Mientras tanto, los algoritmos de aprendizaje en los servidores centralizados en la nube monitorean el estado de las máquinas de fabricación y detectan posibles fallas (Z. Li, Fei, y Zhang, 2022).

En este contexto de innovación tecnológica, las arquitecturas de referencia, como IIRA y RAMI 4.0, son fundamentales para la implementación de la Industria 4.0. Mientras que IIRA se enfoca en la construcción y operación de sistemas IIoT, RAMI 4.0 se centra en la cadena de valor y ciclo de vida del producto. Estas arquitecturas proporcionan un marco estructurado para definir, desarrollar y comunicar los procesos de producción interconectados,

lo que resulta crucial para la transformación hacia un modelo de fabricación más flexible y eficiente en la era digital (Velasquez, Estevez, y Pesado, 2018).

De manera concluyente, la problemática en la empresa Continental Tire Andina S.A. se centra en el desgaste, fracturas y deformaciones en los engranajes de las cajas reductoras de su mezclador industrial, denominado MIXER 1. Estos problemas afectan la eficiencia operativa al comprometer la funcionalidad de la caja reductora. Además, la empresa enfrenta dificultades debido a la dependencia de servicios externos para el análisis de vibraciones y la detección de anomalías. La adopción de un sistema interno de monitoreo de vibraciones basado en IIoT proporcionaría autonomía y control, reduciendo la dependencia de terceros y mejorando la capacidad de respuesta ante problemas de mantenimiento de manera más ágil y eficaz.

Este proyecto se realiza en conjunto con el Grupo de Investigación y Desarrollo en Tecnologías Industriales (GIDTEC), cuyas líneas de investigación incluyen el monitoreo de la condición, el mantenimiento industrial, y las técnicas de inteligencia artificial y estadísticas aplicadas a sistemas industriales. La experiencia y el conocimiento de GIDTEC en estas áreas proporcionarán una base sólida para el desarrollo de una solución efectiva de monitoreo de la caja reductora del MIXER 1 de Continental Tire Andina S.A.

## **2.2. Importancia y alcances**

La importancia de diseñar un sistema de monitoreo de señales de vibración para la caja reductora de la mezcladora industrial MIXER 1 de Continental Tire Andina S.A. radica en su potencial para sentar las bases necesarias que permitan una futura implementación exitosa.

Este diseño proporcionará una guía clara y precisa para la selección y ubicación adecuada de sensores, la definición de protocolos de comunicación y la integración con servicios en la nube, entre otros aspectos. Aunque no se llevará a cabo la implementación en este momento, el diseño detallado establecerá las pautas necesarias para que la empresa sea capaz de tomar decisiones fundamentadas en el futuro, en términos de optimización de procesos, gestión de activos y mantenimiento predictivo. Por lo tanto, el alcance del proyecto se centra en el diseño de la arquitectura del sistema de monitoreo, la caracterización exhaustiva de la máquina, la selección y ubicación precisa de sensores.

Estos alcances garantizan que Continental Tire Andina S.A. tenga una base sólida y

bien definida para una futura implementación exitosa, lo que contribuirá significativamente a mejorar la eficiencia y la competitividad en el mercado industrial.

## 2.3. Delimitación

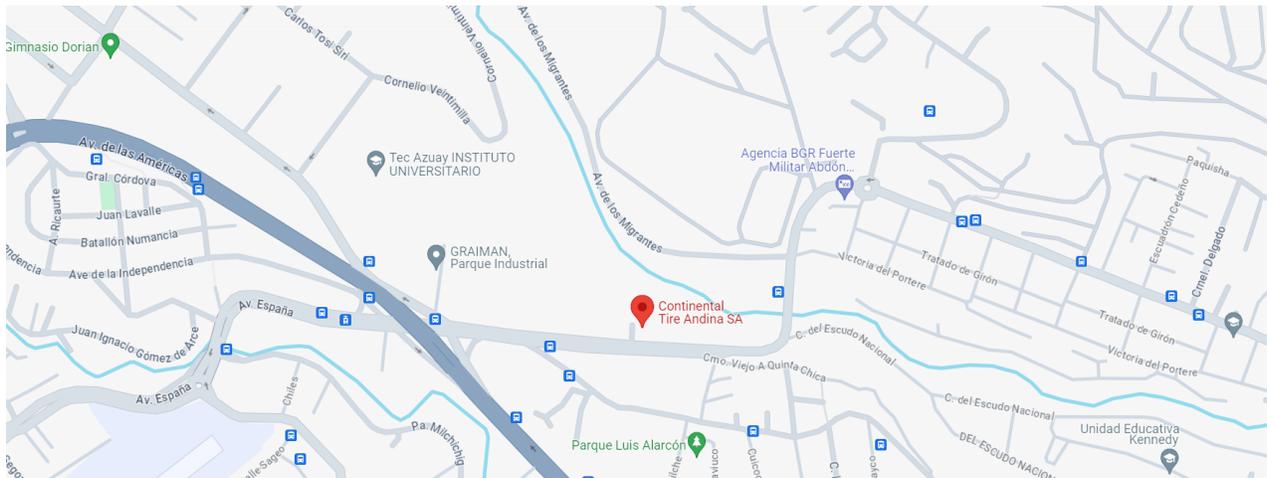
El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

### 2.3.1. Espacial o geográfica

La información para el desarrollo del trabajo de titulación fue tomada de la empresa Continental Tire Andina S.A. la misma que se encuentra ubicada en la Panamericana Norte Km. 1/2, en el cantón Cuenca, provincia del Azuay, sector Machángara Parque Industrial, como se muestra en la Figura 1.

**Figura 1**

*Ubicación de la empresa Continental Tire Andina S.A.*

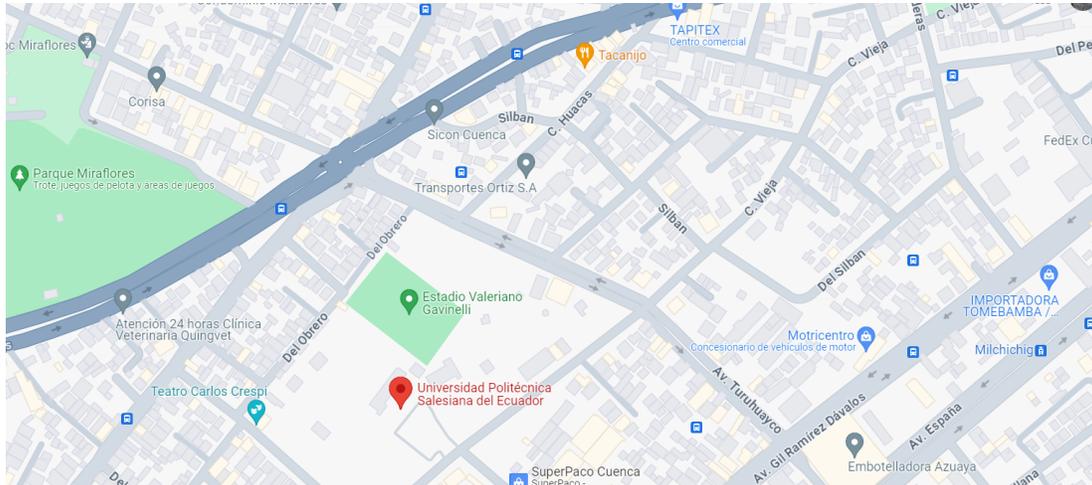


**Nota:** Ubicación georeferenciada de la empresa Continental Tire Andina S.A.

De la misma manera, el desarrollo del proyecto se lo realizará en el Grupo de Investigación GIDTEC ubicada en la Universidad Politécnica Salesiana, que se encuentra ubicada en la Calle Vieja 12-30 y Elia Liut en el cantón Cuenca, provincia del Azuay, sector El Vecino, como se muestra en la Figura 2.

## Figura 2

*Universidad Politécnica Salesiana.*



**Nota:** Ubicación georreferenciada de la Universidad Politécnica Salesiana.

### 2.3.2. Temporal

El desarrollo del trabajo de titulación se llevará a cabo durante la asignatura de Integración Curricular con un total de 240 horas.

### 2.3.3. Sectorial o institucional

La empresa Continental Tire Andina S.A. se encuentra dentro del sector manufacturero.

## 3. Objetivos

### 3.1. Objetivo general

- Diseñar una propuesta de arquitectura detallada que integre la tecnología de Internet Industrial de las Cosas (IIoT) para la transmisión y almacenamiento eficiente de las señales de vibración capturadas por los sensores, estableciendo una conexión robusta con servicios en la nube.

### 3.2. Objetivos Específicos

- Realizar una caracterización exhaustiva de los modos de vibración de la caja de engranajes del “MIXER 1”, identificando a partir de la toma de señales de vibración y condiciones de operaciones en el SCADA.
- Realizar un análisis exploratorio de los datos de condiciones de operación disponibles en el SCADA del “MIXER 1”.
- Especificar la arquitectura IIRA para el monitoreo de señales de vibración en la caja reductora de la mezcladora industrial “MIXER 1”, mediante tecnología IIoT y procesamiento en la nube.
- Evaluar y seleccionar sensores idóneos, considerando el rango de vibraciones obtenido durante la caracterización. Este proceso implicará un estudio detallado del mercado para identificar las mejores opciones disponibles.

## 4. Hipótesis

En este apartado se describen las hipótesis con base a la matriz de consistencia, que se encuentra referenciada en la Tabla 48 del Anexo 3.

### 4.1. Hipótesis General

- Se diseñará una arquitectura IIoT basada en la arquitectura IIRA que a su vez está inspirada en el estándar ISO IEEE 42010-2022 contemplar la implementación de protocolos de comunicación IIoT, la selección de dispositivos y plataformas adecuadas, así como la garantía de la seguridad y escalabilidad del sistema para un monitoreo efectivo y accesible desde cualquier ubicación.

Para respaldar esta hipótesis, se considerarán las cuatro funcionalidades del IIRA: la funcionalidad de negocio, operativa, de información y de aplicación. Estas funcionalidades se integrarán en el diseño de la arquitectura IIoT para asegurar que el sistema cumpla con los requisitos de la empresa, garantice la eficacia operativa y facilite la toma de decisiones informadas.

## 4.2. Hipótesis Específicas

- Se realizará una caracterización exhaustiva de los modos de vibración de la caja de engranajes del “MIXER 1”, se espera identificar diferentes frecuencias y amplitudes de vibración correspondientes a modos naturales de vibración de la caja reductora y otros componentes críticos. Además, se hipotetiza que ciertas condiciones operativas específicas, como cambios en la carga o la velocidad, pueden influir en la intensidad y la frecuencia de estos modos de vibración.
- Se realizará un análisis exploratorio de los datos de condiciones de operación disponibles en el SCADA del “MIXER 1”, se espera encontrar patrones y tendencias que puedan correlacionarse con la caracterización de la máquina en su estado actual, la cual pudiera ser potencialmente una línea base.
- Se especificará la arquitectura IIRA, una arquitectura IIoT para el monitoreo de señales de vibración en la caja reductora de la mezcladora industrial “MIXER 1”, mediante tecnología IIoT y procesamiento en la nube.
- Al desarrollar una propuesta técnica detallada para Continental Tire Andina S.A., que incluya la especificación y justificación de los sensores seleccionados para el monitoreo de vibraciones en las cajas reductoras, se espera que la selección de sensores de alta sensibilidad y precisión permita una detección temprana y precisa de anomalías en el funcionamiento de los engranajes.

## 5. Marco Teórico

En este apartado se presentan datos que son relevantes para el diseño de la arquitectura IIRA para aplicaciones IIoT orientada por el estándar ISO IEEE 42010-2022 para monitoreo de señales de vibración del MIXER 1 para Continental Tire Andina S.A.

### 5.1. Equipo MIXER 1

Los mixers son máquinas esenciales en el proceso de fabricación de neumáticos. Estas máquinas realizan la tarea crucial de mezclar una variedad de materias primas, incluyendo caucho sintético, caucho natural, negro de humo, aceite, pigmentos y otros aditivos. El propósito de este proceso es conseguir una combinación homogénea de estos materiales,

resultando en un compuesto de caucho con propiedades uniformes y consistentes.

Durante la operación de mezclado, las materias primas son dosificadas y alimentadas al MIXER 1, donde son sometidas a un proceso de mezcla intensiva. Este proceso implica la combinación meticulosa de los diversos ingredientes, asegurando que se distribuyan de manera uniforme en toda la masa de caucho. La calidad y precisión de esta mezcla son críticas para garantizar la calidad final del producto.

El MIXER 1 trabaja en conjunto con mecanismos de reducción de velocidad, como las cajas de engranajes reductoras, que están diseñadas para disminuir la velocidad de entrada y, al mismo tiempo, incrementar el par de salida. Esto se logra mediante un conjunto de engranajes interconectados a través de diferentes etapas, cada una de ellas encargada de transmitir y transformar el movimiento de manera progresiva hasta el eje de salida.

Las etapas en una caja reductora son componentes clave que contribuyen a la función global del dispositivo. Cada etapa representa una sección del mecanismo compuesto por una configuración específica de engranajes diseñada para reducir la velocidad de rotación del eje de entrada y aumentar simultáneamente el par de salida. Estas etapas operan en secuencia, cada una construyendo sobre la reducción de velocidad lograda por la etapa anterior (Krishna y Kiran, 2019).

En el caso del MIXER 1 de Continental Tire Andina S.A., cuenta con una caja de engranajes de cuatro etapas de reducción, como se muestra en la Figura 3. Este diseño de cuatro etapas implica que la caja de engranajes está compuesta por cuatro conjuntos distintos de engranajes, cada uno configurado para reducir la velocidad de rotación de manera incremental mientras aumenta el par de salida correspondiente.

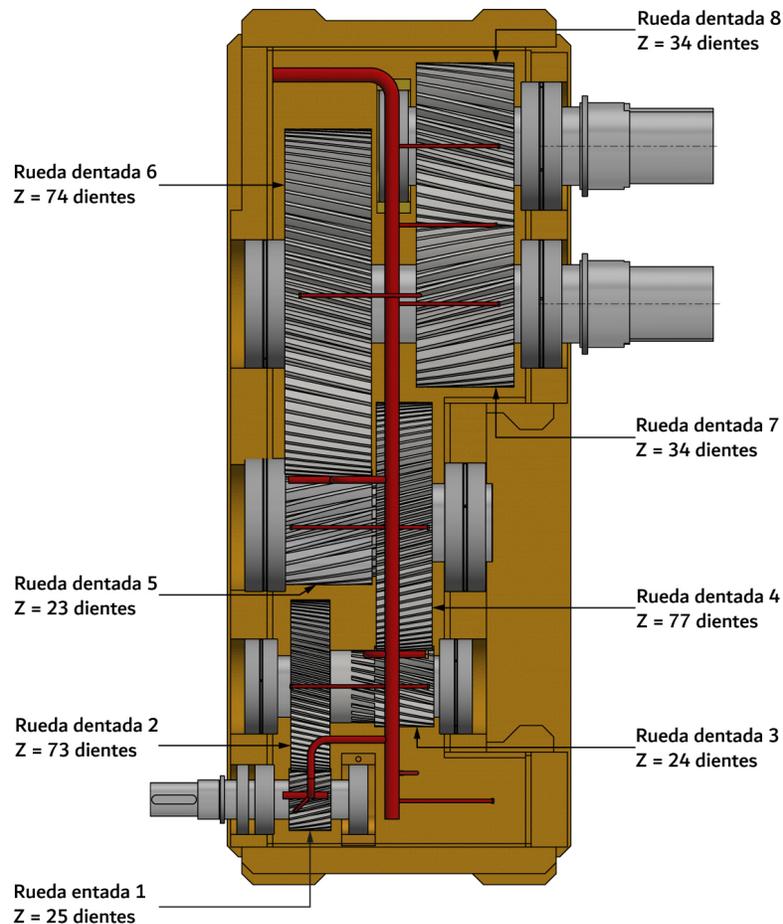
Este diseño de cuatro etapas permite adaptarse eficazmente a las necesidades de rendimiento del MIXER 1, proporcionando la combinación óptima de reducción de velocidad y aumento de par para lograr un funcionamiento eficiente y confiable del equipo.

A continuación, se explicará de manera breve que es una caja de engranajes de una y dos etapas, y las frecuencias características de dichas cajas de engranajes.

- **Caja de Engranajes de una Etapa:** Se basa en un sistema de transmisión de potencia que utiliza un solo juego de engranajes para transferir el movimiento y la potencia de una fuente a una carga.

### Figura 3

*Caja de engranajes del MIXER 1 de Continental Tire Andina S.A*



**Nota:** Caja de engranajes del MIXER 1. Tomado de (T. Continental, 2021)

- **Caja de Engranajes de dos Etapas:** Es un tipo de sistema de transmisión de potencia que utiliza dos juegos de engranajes en serie para transferir el movimiento y la potencia de una fuente a una carga.

Cuando una caja de engranajes funciona correctamente, se producen frecuencias específicas que son influenciadas por la relación de transmisión entre el piñón y el engranaje, así como por la velocidad de rotación (Ortiz Farfán y Pérez Rivera, 2016). A continuación, se presentará la Tabla 1 tomada de (Ortiz Farfán y Pérez Rivera, 2016), en dicha tabla se exponen las ecuaciones que describen las frecuencias de los elementos rotatorios.

**Tabla 1***Frecuencia de elementos rotatorios*

Descripción	Ecuación
Frecuencia de giro	$Fg = \frac{RPM_{motor}}{60} [Hz]$
Frecuencia de giro del piñón	$1x\ piñon = Fg [Hz]$
Frecuencia de giro del engrane	$1x\ engrane = Fg \cdot \frac{Z_1}{Z_2} [Hz]$
Frecuencia de paso de engranes	$GMF = Fg \cdot Z_1$

**Nota:** Estas ecuaciones permiten calcular la frecuencia de giro y las frecuencias características asociadas con el comportamiento dinámico de los componentes rotatorios. Tomado de (Ortiz Farfán y Pérez Rivera, 2016).

Donde,  $RPM_{motor}$  es la velocidad de giro del motor en RPM,  $Z_1$  es el número de dientes del piñón y  $Z_2$  es el número de dientes del engrane.

## 5.2. Arquitectura IIRA para aplicaciones IIoT

El IIoT es una tecnología clave en el avance hacia la Industria 4.0, transformando los procesos industriales al permitir la conexión y comunicación de dispositivos inteligentes en tiempo real. Estas tecnologías permiten optimizar operaciones, reducir tiempos de inactividad y anticipar fallas, lo que las hace esenciales en aplicaciones críticas donde la eficiencia y la confiabilidad son prioridades (Asghari, Rahmani, y Javadi, 2019; Sisinni, Saifullah, Han, Jennehag, y Gidlund, 2018).

Para diseñar e implementar sistemas IIoT, el Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) se presenta como un marco metodológico que organiza las soluciones tecnológicas en cuatro puntos de vista: negocio, uso, funcional e implementación. Este marco guía el desarrollo de sistemas escalables y alineados con las necesidades estratégicas de la industria, integrando sensores, plataformas de análisis y herramientas de visualización (Morkevicius y cols., 2017) (Bloom, Alsulami, Nwafor, y Bertolotti, 2018).

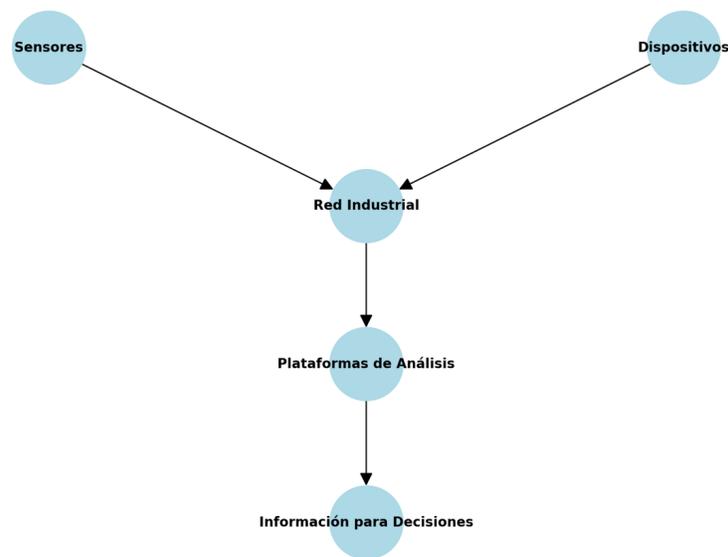
### 5.2.1. Industrial Internet of Things (IIoT)

El IIoT es una extensión del Internet de las Cosas (IoT) que se enfoca en aplicaciones industriales críticas. Mediante la integración de sensores avanzados, dispositivos conectados y

plataformas de análisis, el IIoT permite transformar los datos operativos en información clave para la toma de decisiones. Esta tecnología conecta maquinaria, sensores y sistemas en una red que facilita el monitoreo en tiempo real, la automatización de procesos y la optimización de recursos, lo que resulta esencial en sectores como la manufactura, la energía y el transporte, donde la eficiencia operativa y la seguridad son prioridades (Asghari y cols., 2019; Sisinni y cols., 2018). En la Figura 4 se presenta un diagrama que ilustra las conexiones del IIoT en la red industrial.

#### Figura 4

*Conexiones del IIoT en una red industrial*



**Nota:** La imagen representa un esquema simple que muestra cómo el IIoT conecta sensores, dispositivos y plataformas en una red industrial. Tomado de (Sari, Lekidis, y Butun, 2020)

A pesar de compartir tecnologías base con el IoT, el IIoT se distingue por abordar desafíos únicos de los entornos industriales. Una de sus características más destacadas es la escalabilidad, que le permite gestionar grandes volúmenes de dispositivos conectados de manera simultánea, un requisito esencial en instalaciones industriales de gran envergadura. Otra diferencia clave es su enfoque en la seguridad, implementando sistemas avanzados de protección de datos para garantizar la integridad de la información y prevenir ciberataques que podrían poner en riesgo la continuidad operativa. Este nivel de seguridad es especialmente crítico en aplicaciones donde el acceso no autorizado podría comprometer procesos sensibles o la seguridad humana (Morkevicius y cols., 2017; Sisinni y cols., 2018). En la Tabla 2 se

presentan las diferencias clave entre IoT e IIoT, destacando sus características más relevantes.

**Tabla 2**

*Diferencias clave entre IoT e IIoT*

Aspecto	IoT	IIoT
Escalabilidad	Diseñado para redes pequeñas, como hogares o dispositivos personales.	Gestiona grandes volúmenes de dispositivos conectados simultáneamente en entornos industriales.
Seguridad	Seguridad básica adecuada para usos cotidianos.	Sistemas avanzados de protección para prevenir ciberataques y garantizar la continuidad operativa.
Aplicaciones	Domótica, entretenimiento, dispositivos personales.	Manufactura con énfasis en eficiencia y seguridad.

**Nota:** La tabla representa una comparación simple entre IoT e IIoT. Tomado de (Morkevicius y cols., 2017; Sisinni y cols., 2018)

Además, el IIoT se caracteriza por su alta fiabilidad, ya que está diseñado para operar en condiciones industriales extremas, como temperaturas elevadas, ambientes corrosivos o alta vibración. Esto asegura una disponibilidad constante y una mínima interrupción en las operaciones, lo que es vital en sectores donde cualquier tiempo de inactividad puede resultar en pérdidas significativas. Estas características combinadas hacen del IIoT una herramienta indispensable para la transformación digital en la industria (Morkevicius y cols., 2017; Talavera y cols., 2017).

En términos de aplicaciones, el IIoT ha transformado los entornos industriales al introducir capacidades avanzadas que optimizan procesos y reducen costos operativos. Una de sus aplicaciones más destacadas es el mantenimiento predictivo, que permite prever fallas antes de que ocurran mediante sensores avanzados y análisis de datos. Este enfoque optimiza la gestión estratégica del mantenimiento y minimiza los tiempos de inactividad, asegurando una operación continua y eficiente (Cakir, Guvenc, y Mistikoglu, 2021; Zheng, Paiva, y Gurciullo, 2020).

Asimismo, el monitoreo remoto facilita la supervisión de maquinaria desde ubicaciones

centralizadas o remotas, lo cual es particularmente valioso en industrias con operaciones distribuidas geográficamente. Esta capacidad permite a los operadores identificar problemas en tiempo real, reduciendo significativamente los costos asociados a inspecciones y agilizando las respuestas operativas (Wang, Nixon, y Boudreaux, 2019).

Finalmente, el IIoT desempeña un papel fundamental en la optimización energética, permitiendo gestionar de manera eficiente el consumo de energía a través del monitoreo continuo y el análisis de patrones de uso. Estas estrategias no solo contribuyen a reducir costos operativos, sino que también apoyan los objetivos de sostenibilidad al disminuir el impacto ambiental (Cakir y cols., 2021; Wang y cols., 2019).

### **5.2.2. Industrial Internet Reference Architecture (IIRA)**

El IIRA es un marco metodológico diseñado por el Industrial Internet Consortium (IIC) para estandarizar y guiar la implementación de sistemas IIoT en entornos industriales. Este marco tiene como propósito principal proporcionar un lenguaje común y una estructura clara que permita a las empresas enfrentar los retos tecnológicos de manera sistemática. En esencia, el IIRA busca garantizar la interoperabilidad entre dispositivos heterogéneos, la escalabilidad necesaria para manejar grandes volúmenes de datos y dispositivos, y la seguridad para proteger sistemas críticos de ciberamenazas (Asghari y cols., 2019; Morkevicius y cols., 2017).

En este contexto, el origen y propósito del IIRA se enmarcan en la creciente complejidad de los sistemas IIoT, donde múltiples tecnologías emergentes necesitan integrarse para satisfacer las demandas industriales. Este marco proporciona una guía integral que facilita a las empresas la alineación de sus inversiones tecnológicas con sus objetivos estratégicos, maximizando el valor obtenido de las implementaciones de IIoT. Un aspecto central del IIRA es su organización en cuatro puntos de vista clave: negocio, uso, funcional e implementación. Estos puntos de vista aseguran que las soluciones desarrolladas no solo respondan a necesidades técnicas, sino que también estén alineadas con los objetivos empresariales. Por ejemplo, el punto de vista de negocio aborda metas como la mejora de la eficiencia operativa y la reducción de costos, mientras que el punto de vista de implementación detalla los componentes tecnológicos específicos requeridos para materializar estas metas (Sisinni y cols., 2018; Talavera y cols., 2017).

Además, el IIRA ofrece múltiples beneficios para las organizaciones industriales. Entre ellos:

- **Interoperabilidad:** Establece estándares para conectar dispositivos y plataformas de diferentes proveedores, asegurando una integración fluida (Asghari y cols., 2019).
- **Flexibilidad:** Permite personalizar soluciones según las necesidades específicas de la industria, desde manufactura hasta energía (Sisinni y cols., 2018).
- **Escalabilidad:** Facilita el crecimiento y la expansión de sistemas a medida que las operaciones se vuelven más complejas (Sisinni y cols., 2018).
- **Optimización operativa:** Mejora la toma de decisiones mediante la integración de análisis avanzados y monitoreo en tiempo real (Talavera y cols., 2017).

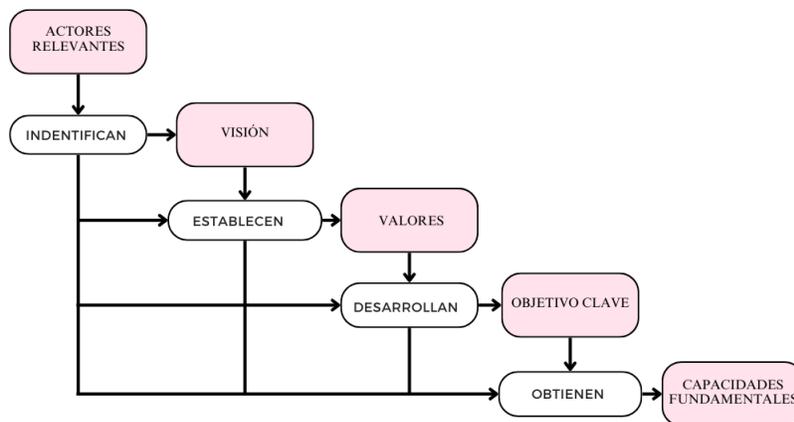
### 5.2.3. Componentes clave del IIRA

El IIRA organiza las soluciones en cuatro pilares principales, o puntos de Vista, que estructuran el diseño de una arquitectura IIoT: negocio, uso, funcional e implementación. Cada uno de estos puntos de vista proporciona una perspectiva única para diseñar sistemas que sean robustos, seguros y alineados con los objetivos estratégicos (Asghari y cols., 2019). A continuación se explican estos pilares:

1. **Negocio:** La vista del negocio es un enfoque arquitectónico que aborda las preocupaciones relacionadas con la visión, los valores y los objetivos estratégicos de los stakeholders al establecer un sistema IIoT dentro de su contexto empresarial y normativo. Este enfoque evalúa aspectos clave como el valor comercial esperado, el retorno de inversión (ROI), los costos de mantenimiento y la interacción con el entorno físico (Morkevicius y cols., 2017). La Figura 5 presenta la jerarquía del punto de vista del negocio.
2. **Uso:** La vista de uso se enfoca en cómo los diferentes actores, tanto humanos como digitales, interactúan con el sistema IIoT para realizar actividades específicas. Esta perspectiva considera tanto las interfaces funcionales como las características no funcionales del sistema, como la seguridad y la confiabilidad. Además, incluye usuarios que supervisan y controlan entidades físicas a través del sistema, así como subsistemas digitales que actúan de manera automatizada (Sisinni y cols., 2018). La Figura 6 muestra un esquema representativo que ilustra estas interacciones clave entre los actores, el sistema IIoT y las entidades físicas que supervisan.
3. **Funcional:** La vista funcional del sistema organiza las capacidades necesarias en una

**Figura 5**

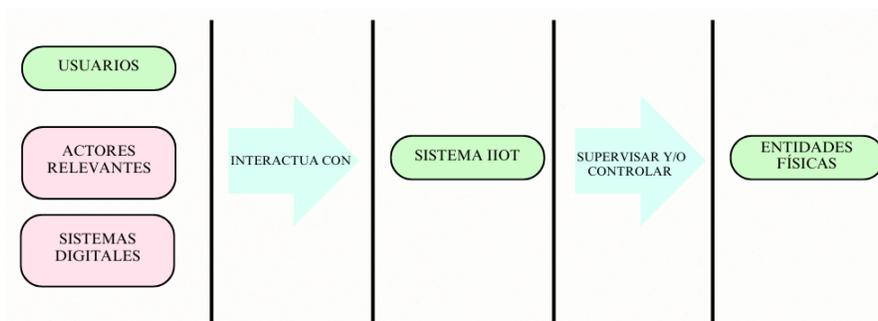
*Punto de vista del Negocio*



**Nota:** La figura ilustra la jerarquía que muestra cómo estos conceptos, como la visión, los valores, los objetivos clave y las capacidades fundamentales, están interrelacionados para respaldar las metas organizacionales y garantizar un diseño eficaz del sistema. Tomado de (Lin y cols., 2022)

**Figura 6**

*Punto de Vista de Uso*



**Nota:** La figura ilustra las interacciones clave en la vista de uso, destacando cómo los usuarios, actores relevantes y sistemas digitales interactúan con el sistema IIoT para supervisar y controlar entidades físicas. Adaptado de (Lin y cols., 2022).

estructura basada en dominios, permitiendo una implementación eficiente y alineada con los objetivos tecnológicos y organizacionales. Los dominios principales incluyen:

- **Dominio de Control y Monitoreo:** Responsable de la adquisición de datos en tiempo real y la supervisión de los componentes críticos del sistema (Bloom y cols.,

2018).

- **Dominio de Gestión de Sistemas:** Encargado de la configuración, mantenimiento y aseguramiento de la integridad del sistema, incluyendo actualizaciones y protocolos de seguridad (Bloom y cols., 2018).
- **Dominio de la Información:** Enfocado en el procesamiento, almacenamiento y transmisión segura de datos para su posterior análisis y toma de decisiones (Bloom y cols., 2018).
- **Dominio de Aplicación:** Proporciona herramientas y aplicaciones específicas, como dashboards y algoritmos de análisis predictivo, para visualizar y gestionar los datos recopilados (Bloom y cols., 2018).
- **Dominio de Negocios:** Alinea los resultados del sistema con los objetivos estratégicos de la planta, asegurando que las decisiones operativas estén respaldadas por datos precisos y actualizados (Bloom y cols., 2018).

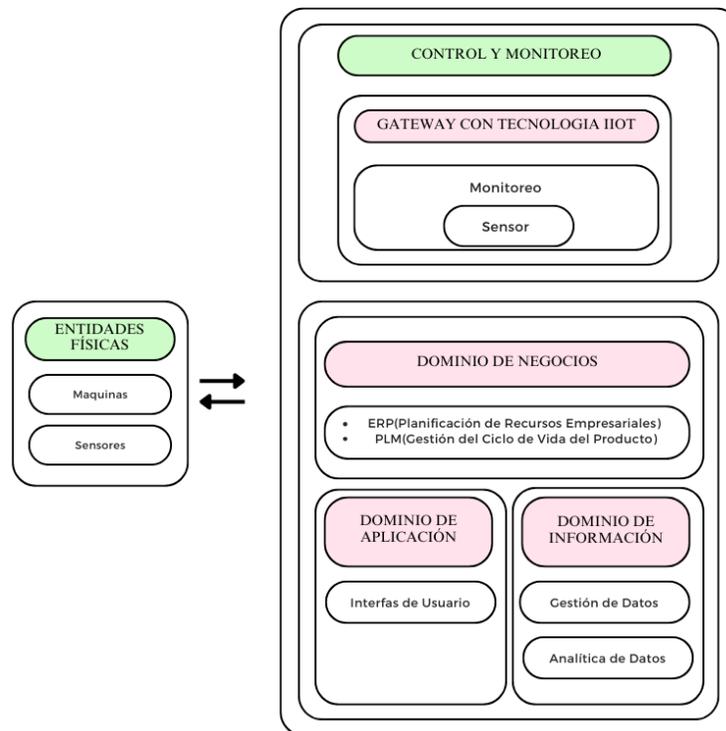
La Figura 7 presenta un esquema que ilustra cómo estos dominios interactúan para respaldar las funcionalidades clave del sistema IIoT.

4. **Implementación:** La vista de implementación se centra en las tecnologías específicas que deben integrarse para garantizar un sistema IIoT efectivo. Esto incluye sensores avanzados, gateways inteligentes y plataformas en la nube, que trabajan de manera conjunta para capturar, transmitir y analizar datos en tiempo real. Además, se consideran los protocolos de comunicación y estándares de seguridad que aseguran la protección de los datos transmitidos (Chataut, Phoummalayvane, y Akl, 2023; Talavera y cols., 2017).

La Figura 8 muestra un esquema que representa cómo estos componentes se distribuyen en los niveles de borde, plataforma y dominio, destacando las interacciones necesarias para cumplir con los requisitos del sistema.

**Figura 7**

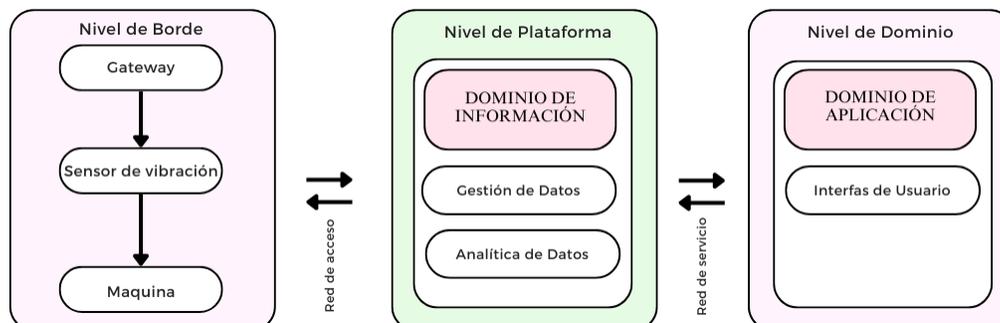
*Punto de Vista Funcional*



**Nota:** La figura muestra cómo los diferentes dominios funcionales, incluyendo el Control y Monitoreo, el Dominio de Información, el Dominio de Aplicación, el Dominio de Negocios y el Dominio de Gestión del Sistema, se interrelacionan para garantizar un diseño eficaz y alineado con los objetivos del sistema IIoT. Tomado de (Lin y cols., 2022).

**Figura 8**

*Punto de Vista de Implementación*



**Nota:** La figura ilustra la distribución de los componentes tecnológicos en los niveles de borde, plataforma y dominio. Este modelo destaca las interacciones necesarias entre sensores, gateways, y plataformas de análisis para garantizar una implementación efectiva del sistema IIoT. Adaptado de (Lin y cols., 2022).

### 5.3. Monitoreo de Vibraciones en Sistemas Industriales con IIoT

El monitoreo de vibraciones en máquinas es una práctica esencial para el mantenimiento predictivo de equipos industriales, ya que permite detectar posibles problemas mecánicos, eléctricos o estructurales antes de que deriven en fallas críticas. En términos básicos, la vibración se refiere al movimiento repetitivo u oscilación de un objeto alrededor de una posición de equilibrio, es decir, aquella donde las fuerzas que actúan sobre él se anulan (Strauß, Schmitz, Wöstmann, y Deuse, 2018).

Además, la firma de vibración de una máquina en funcionamiento proporciona información invaluable sobre su operación interna. Este nivel de detalle supera al de otros métodos de prueba no destructiva, ya que cualquier cambio en el comportamiento de la máquina se refleja directamente en su vibración (Strauß y cols., 2018).

Por estas razones, el monitoreo de vibraciones tiene una importancia crítica en el mantenimiento predictivo y preventivo. Su implementación no solo es clave para identificar problemas en etapas tempranas, sino que también resulta indispensable para evitar tiempos de inactividad inesperados. Esto permite optimizar los recursos de mantenimiento al facilitar reparaciones planificadas en lugar de recurrir a soluciones reactivas, lo que contribuye a optimizar la eficiencia operativa y disminuir costos (Cakir y cols., 2021).

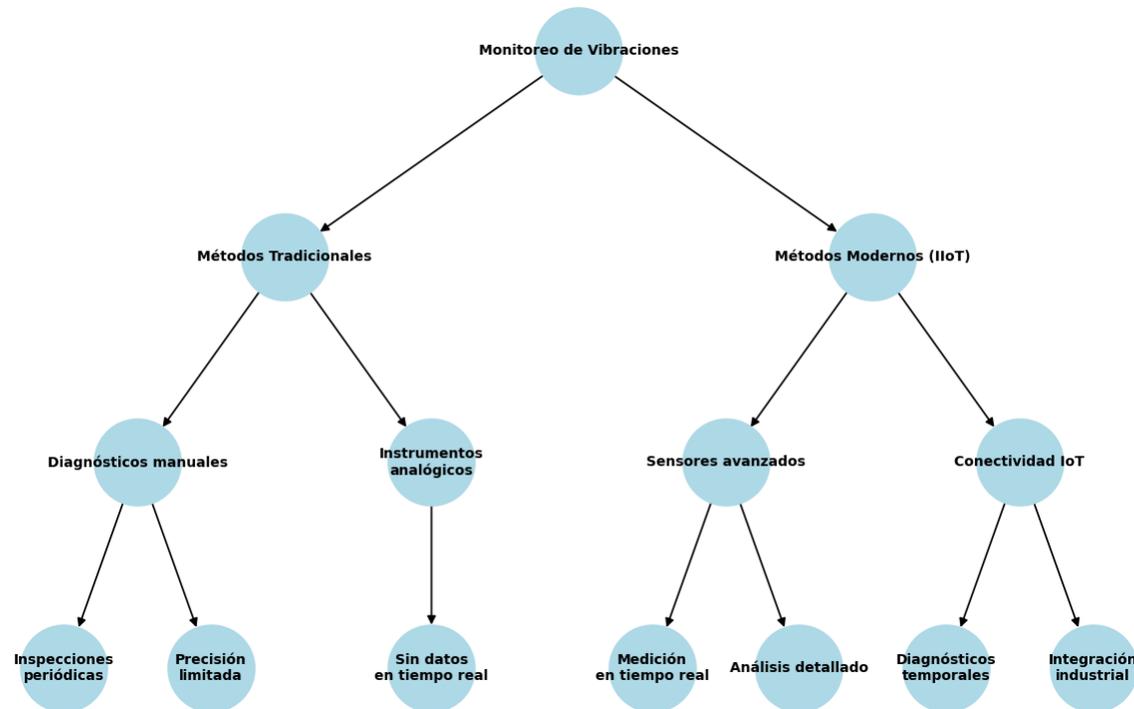
A lo largo del tiempo, los métodos utilizados en el monitoreo de vibraciones han evolucionado significativamente. Los métodos tradicionales, como las herramientas manuales o analógicas, fueron fundamentales en sus inicios, pero presentan limitaciones significativas en cuanto a precisión y oportunidad del diagnóstico. Estas metodologías, aunque útiles en entornos con pocas exigencias, no responden a los requerimientos de la industrial moderna. La Figura 9 presenta un cuadro sinóptico que resume las diferencias clave entre los métodos tradicionales y los modernos basados en IIoT.

Los métodos modernos basados en IIoT han revolucionado el monitoreo industrial al integrar sensores avanzados y análisis en tiempo real. Estos sistemas detectan fallas incipientes, analizan el comportamiento dinámico de las máquinas y optimizan el mantenimiento, reduciendo costos y mejorando la planificación. Así, se han vuelto esenciales en la transformación digital de la industria (J. Li y cols., 2020; Wang y cols., 2019).

La integración de estas tecnologías no sería posible sin la incorporación de sensores avanzados, que actúan como el vínculo entre el estado físico de las máquinas y los sistemas de

**Figura 9**

*Comparación de los métodos tradicionales y los modernos basados en IIoT*



**Nota:** La figura ilustra las diferencias clave entre los métodos tradicionales, limitados a diagnósticos manuales e instrumentos analógicos, y los métodos modernos basados en IIoT, que destacan por el uso de sensores avanzados y conectividad IoT para diagnósticos en tiempo real. Adaptado de (Asghari y cols., 2019; Sisinni y cols., 2018)

análisis digital. Estos dispositivos permiten la recopilación continua de datos, proporcionando la base para diagnósticos precisos y estrategias de mantenimiento optimizadas.

Los sensores son el núcleo de los sistemas IIoT, desempeñando un papel fundamental en la captura de datos operativos esenciales para el análisis y la toma de decisiones informadas. A través de ellos, se obtiene información en tiempo real sobre el estado de los equipos, lo que permite implementar estrategias de mantenimiento predictivo, optimización de procesos y mejoras en la eficiencia energética.

Este tipo de monitoreo es una práctica esencial en el mantenimiento predictivo, ya que permite detectar posibles problemas mecánicos, eléctricos o estructurales antes de que deriven en fallas críticas. Además, la firma de vibración de una máquina en funcionamiento

proporciona información invaluable sobre su operación interna, superando a otros métodos de prueba no destructiva. Los cambios en esta firma suelen ser un indicador claro de fallas incipientes (Cakir y cols., 2021; J. Li y cols., 2020).

Algunos de los aspectos prácticos en la medición de vibraciones que se deben considerar son:

- **Ubicación de los Puntos de Prueba:** Es crucial ubicar el transductor lo más cerca posible del rodamiento y sobre un material sólido que optimice la transmisión de vibraciones. Las tapas de los rodamientos, al estar hechas de metal delgado, no transmiten bien la energía de vibración, por lo que deben evitarse. Además, es importante seleccionar ubicaciones donde no existan juntas directas entre el metal del rodamiento y el sensor para garantizar una medición precisa (J. Li y cols., 2020).
- **Orientación de los Sensores de Vibración:** Mantener consistencia en cada medición asegura que los datos sean replicables, lo que permite establecer tendencias a lo largo del tiempo y facilita el análisis predictivo (Medina y cols., 2019).
- **Mediciones Triaxiales:** Obtener datos de vibración en tres direcciones específicas (Axial, Radial y Tangencial) mejora significativamente la detección de problemas y proporciona un análisis más completo del comportamiento dinámico de las máquinas (J. Li y cols., 2020).

Entre las distintas categorías de sensores disponibles, los sensores triaxiales inalámbricos destacan por su capacidad para medir vibraciones en tres ejes. Esto no solo proporciona una visión más completa del comportamiento de las máquinas, sino que su conectividad inalámbrica simplifica la instalación en puntos críticos y reduce los costos asociados al cableado (J. Li y cols., 2020; Medina y cols., 2019). La Tabla 3 presenta las ventajas y limitaciones de diferentes tipos de sensores, incluyendo los sensores triaxiales inalámbricos, analógicos y digitales, para ofrecer una visión más clara de sus aplicaciones industriales.

Elegir el sensor adecuado para una aplicación específica es un paso crítico en el diseño de sistemas IIoT. Algunos de los factores clave a considerar incluyen:

1. **Rango de frecuencia:** Es fundamental que el sensor capture tanto frecuencias bajas como altas, asegurando un análisis completo de las condiciones de las máquinas (Medina y cols., 2019).

**Tabla 3***Comparación entre tipos de sensores*

Tipo de Sensor	Ventajas	Limitaciones
Triaxiales inalámbricos	Fácil instalación, bajo costo de cableado.	Dependencia de conectividad inalámbrica.
Sensores analógicos	Simples y económicos.	Limitados a mediciones locales, no adaptados al IIoT.
Sensores digitales	Alta precisión, integrables con IIoT.	Mayor costo inicial.

**Nota:** La tabla compara las ventajas y limitaciones de diferentes tipos de sensores utilizados en aplicaciones industriales. Tomado de (Bloom y cols., 2018; Chataut y cols., 2023; Mirani, Velasco-Hernandez, Awasthi, y Walsh, 2022b).

2. **Conectividad:** Garantiza la integración con plataformas IIoT mediante protocolos como MQTT o PROFINET, que aseguran la transmisión eficiente de datos (J. Li y cols., 2020).
3. **Durabilidad:** Los sensores deben resistir temperaturas extremas, alta humedad y exposición a químicos en entornos industriales para operar de manera confiable durante largos períodos (J. Li y cols., 2020; Medina y cols., 2019).
4. **Precisión y sensibilidad:** Son esenciales para detectar pequeñas variaciones que permitan identificar problemas incipientes antes de que evolucionen en fallas mayores (Medina y cols., 2019).
5. **Facilidad de instalación:** Es especialmente importante en entornos de difícil acceso, donde los sensores inalámbricos son preferidos por su practicidad y bajo mantenimiento (J. Li y cols., 2020; Medina y cols., 2019).

La selección e implementación de sensores no solo influye en la calidad de los datos recopilados, sino también en la eficiencia general del sistema IIoT. Sensores mal seleccionados o de baja calidad pueden generar datos inexactos o insuficientes, comprometiendo el análisis y la toma de decisiones. Por ello, la integración de sensores adecuados es un paso crucial para garantizar el éxito de cualquier solución IIoT en la industria (Mirani y cols., 2022b; Sisinni y cols., 2018).

## 6. Marco metodológico

### 6.1. Especificaciones de las recetas del MIXER 1

El MIXER 1 es una máquina destinada a la mezcla homogénea de caucho y pigmento, cuya composición varía en función de las diferentes recetas disponibles. A continuación, se presentan los parámetros de las recetas estudiadas en este trabajo y se describe el proceso de mezcla en detalle. Existen una gran variedad de cauchos, al igual que pigmentos que se pueden mezclar entre sí; esta variedad de combinaciones se llama recetas. Cada una de estas recetas tiene predeterminados varios parámetros, los cuales son: velocidad, tiempo y temperatura.

El proceso comienza con la colocación de la cantidad requerida de caucho y pigmento sobre la banda transportadora, que traslada el material hacia la cámara del MIXER 1. Al ingresar el material a la cámara, un sensor activa automáticamente el inicio del conteo del proceso. Cada receta cuenta con una secuencia predeterminada de pasos, los cuales están organizados de manera específica y, además, cada paso tiene un tiempo establecido para su ejecución.

- **Fase inicial:** La fase inicial va desde el momento que el sensor detecta que el material comenzó a pasar hacia la cámara del MIXER 1 hasta el momento que todo el material está dentro y listo para ser mezclado. Este proceso tiene un tiempo predeterminado.
- **Fase intermedia:** En esta fase se realizan dos acciones las cuales son las de bajar o subir un pistón, este movimiento tiene como finalidad empujar el material de manera que pase entre los dos ejes y se produzca la mezcla. Cada una de estas acciones tiene su tiempo predeterminado para ser ejecutada.
- **Fase final:** Se procede a descarga el material mezclado, el cual está condicionado por dos parámetros, uno de ellos es el tiempo predeterminado para ejecutar la descarga y el otro es la temperatura a la que debe salir el material, es decir que basta que se cumpla uno de los dos para que se ejecute la descarga.

Como se indicó anteriormente, cada receta incluye una tabla que detalla los parámetros a cumplir en cada fase del proceso. La velocidad, expresada en RPM, define el régimen que debe mantenerse; el tiempo especifica el segundo exacto en el que debe concluir cada paso; y la temperatura establece una condición límite que detendrá el proceso si se alcanza el valor indicado. Esta información se ilustra en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Tabla de parámetros de una receta.*

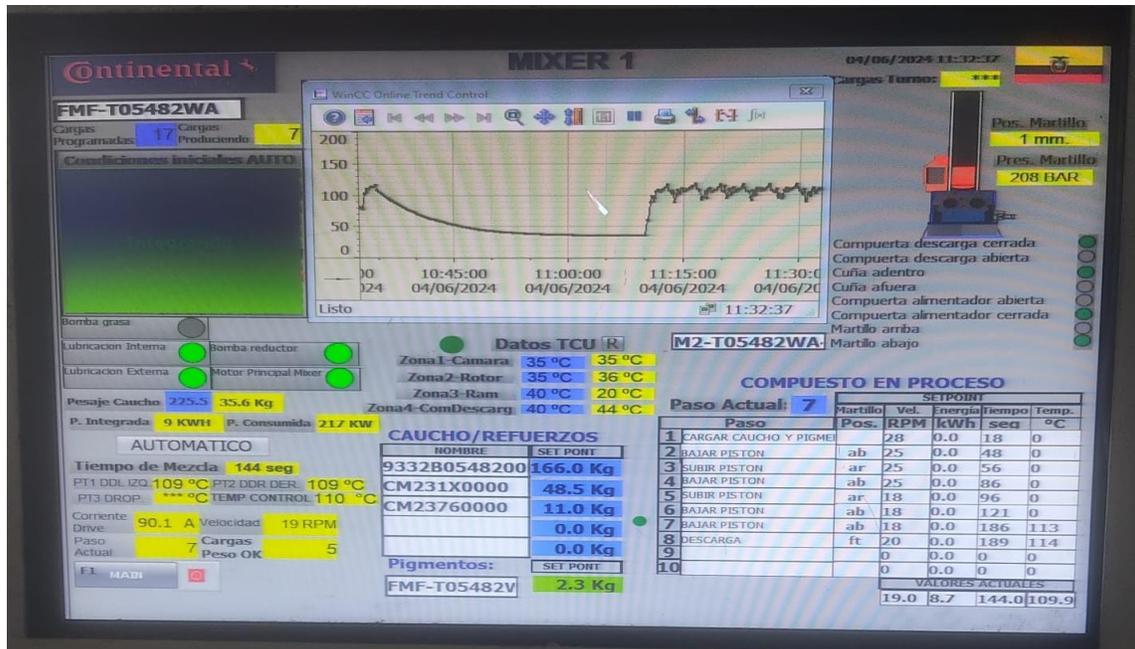
	Fase	Velocidad (RPM)	Tiempo (s)	Temperatura (°C)
1	Fase inicial	-	-	-
2	Fase intermedia	-	-	-
3	Fase intermedia	-	-	-
4	Fase intermedia	-	-	-
5	Fase intermedia	-	-	-
6	Fase intermedia	-	-	-
7	Fase intermedia	-	-	-
8	Fase intermedia	-	-	-
9	Fase intermedia	-	-	-
10	Fase final	-	-	-

**Nota:** La tabla presenta las fases de una receta industrial donde se detallan las velocidades de rotación de salida de la caja reductora (RPM), los tiempos de duración de cada etapa (s) y las temperaturas requeridas (°C). Los valores específicos para cada parámetro no se encuentran definidos en este caso, ya que pueden variar según la receta utilizada o los materiales procesados

La Tabla 4 se obtuvo del HMI del MIXER 1, como se presenta en la Figura 10, que ilustra en tiempo real los parámetros asociados al proceso de mezcla. En ella se detallan los valores de velocidad en RPM, tiempo transcurrido en segundos y la temperatura alcanzada en grados Celsius para cada paso del proceso de la receta 1. Además, se especifican las posiciones del martillo (arriba, abajo o flotante) y la secuencia correspondiente a cada etapa de la receta en ejecución. Esta información permite supervisar y garantizar que el proceso se realice de acuerdo con los parámetros establecidos para cada receta.

**Figura 10**

*HMI del MIXER 1 de la receta 1.*



**Nota:** El HMI del MIXER 1 muestra información clave del proceso de mezcla correspondiente a la receta 1, incluyendo gráficos de parámetros como temperatura y presión, estado actual de las fases del proceso, y cantidades de materiales utilizados. Esta interfaz permite al operador monitorear y supervisar el desempeño del equipo en tiempo real.

En este trabajo se estudiaron 4 recetas, identificadas internamente con códigos de la empresa. Para facilitar su identificación y manejo en este documento, se referirán como receta 1, receta 2, receta 3 y receta 4, respectivamente. A continuación se presentan las Tablas 5, 6, 7, 8 de cada receta medida, donde se observan sus parámetros; dichos parámetros cuentan con la velocidad de salida de la caja de engranajes establecida para cada fase del proceso, la cual será tomada para calcular todas las frecuencias de la caja de engranajes. Estas tablas se obtuvieron luego de observar todo el proceso para cada receta y registrar los datos visualizados en el HMI, en la parte “Compuesto en proceso” como se observa en la Figura 10.

**Tabla 5***Tabla de parámetros de la receta 1.*

	Fase	Velocidad (RPM)	Tiempo (s)	Temperatura (°C)
1	Carga del material	28	18	-
2	Bajar pistón	25	48	-
3	Subir pistón	25	56	-
4	Bajar pistón	25	86	-
5	Subir pistón	18	96	-
6	Bajar pistón	18	121	-
7	Bajar pistón	18	186	113
8	Descarga del material	20	189	114

**Nota:** La tabla presenta los parámetros operativos correspondientes a las diferentes fases de la receta 1 en el MIXER 1. Se incluyen las velocidades de rotación (RPM), los tiempos (s) que indican el momento en que debe concluir cada fase, y las temperaturas requeridas (°C) en las últimas etapas del proceso.

**Tabla 6***Tabla de parámetros de la receta 2.*

	Fase	Velocidad (RPM)	Tiempo (s)	Temperatura (°C)
1	Carga del material	30	20	-
2	Bajar pistón	28	55	-
3	Subir pistón	25	65	-
4	Bajar pistón	18	95	-
5	Subir pistón	15	105	-
6	Bajar pistón	12	130	-
7	Subir pistón	12	140	-
8	Bajar pistón	12	190	110
9	Descarga del material	18	193	112

**Nota:** La tabla presenta los parámetros operativos correspondientes a las diferentes fases de la receta 2 en el MIXER 1. Se incluyen las velocidades de rotación (RPM), los tiempos (s) que indican el momento en que debe concluir cada fase, y las temperaturas requeridas (°C) en las últimas etapas del proceso.

**Tabla 7***Tabla de parámetros de la receta 3.*

	Fase	Velocidad (RPM)	Tiempo (s)	Temperatura (°C)
1	Carga del material	30	20	-
2	Bajar pistón	30	45	-
3	Subir pistón	30	53	-
4	Bajar pistón	30	78	-
5	Subir pistón	30	86	-
6	Bajar pistón	25	111	-
7	Bajar pistón	30	149	107
8	Descarga del material	32	151	108

**Nota:** La tabla presenta los parámetros operativos correspondientes a las diferentes fases de la receta 3 en el MIXER 1. Se incluyen las velocidades de rotación (RPM), los tiempos (s) que indican el momento en que debe concluir cada fase, y las temperaturas requeridas (°C) en las últimas etapas del proceso.

**Tabla 8***Tabla de parámetros de la receta 4.*

	Fase	Velocidad (RPM)	Tiempo (s)	Temperatura (°C)
1	Carga del material	30	15	-
2	Bajar pistón	30	45	-
3	Subir pistón	30	53	-
4	Bajar pistón	25	78	-
5	Subir pistón	25	86	-
6	Bajar pistón	25	116	-
7	Bajar pistón	22	161	107
8	Descarga del material	25	163	108

**Nota:** La tabla presenta los parámetros operativos correspondientes a las diferentes fases de la receta 4 en el MIXER 1. Se incluyen las velocidades de rotación (RPM), los tiempos (s) que indican el momento en que debe concluir cada fase, y las temperaturas requeridas (°C) en las últimas etapas del proceso.

## 6.2. Cálculo de frecuencias teóricas de la caja de engranajes

La caja de engranajes, mostrada en la Figura 3, incluye las especificaciones de los dientes de sus engranajes. Esta información es fundamental para realizar los cálculos necesarios y determinar las frecuencias de cada etapa, así como las frecuencias de modulación. A continuación en la Tabla 9 se presenta un resumen de las etapas y sus respectivas ruedas dentadas y sus dientes.

**Tabla 9**

*Especificaciones de las ruedas dentadas de cada etapa.*

Etapa	Rueda dentada	Número de dientes ( $z$ )
Etapa 1	1	25
Etapa 1	2	73
Etapa 2	3	24
Etapa 2	4	77
Etapa 3	5	23
Etapa 3	6	74
Etapa 4	7	34
Etapa 4	8	34

**Nota:** La tabla presenta las especificaciones de las ruedas dentadas correspondientes a cada etapa del sistema, detallando el número de dientes ( $z$ ) de cada rueda dentada.

A continuación, se tomó como referencia las ecuaciones de la Tabla 1, para calcular las 9 frecuencias: frecuencia de giro, frecuencias de giro de las etapas 1, 2, 3, 4 y las frecuencias GMF de las etapas 1, 2, 3 y 4. En la Tabla 10 se muestra las ecuaciones usadas para calcular todas las frecuencias mencionadas.

**Tabla 10***Ecuaciones para el cálculo de frecuencias.*

Descripción de la frecuencia	Expresión matemática ( $Hz$ )
Frecuencia de giro de entrada	$F_{g0} = \frac{\eta_0}{60} (Hz)$
Frecuencia de giro 1	$F_{g1} = F_{g0} \cdot \frac{z_1}{z_2} (Hz)$
Frecuencia GMF 1	$GMF_1 = F_{g0} \cdot z_1 (Hz)$
Frecuencia de giro 2	$F_{g2} = F_{g1} \cdot \frac{z_3}{z_4} (Hz)$
Frecuencia GMF 2	$GMF_2 = F_{g1} \cdot z_3 (Hz)$
Frecuencia de giro 3	$F_{g3} = F_{g2} \cdot \frac{z_5}{z_6} (Hz)$
Frecuencia GMF 3	$GMF_3 = F_{g2} \cdot z_5 (Hz)$
Frecuencia de giro 4	$F_{g4} = F_{g3} \cdot \frac{z_7}{z_8} (Hz)$
Frecuencia GMF 4	$GMF_4 = F_{g3} \cdot z_7 (Hz)$

**Nota:** La tabla presenta las ecuaciones utilizadas para el cálculo de las frecuencias características de cada etapa del sistema. Estas incluyen las frecuencias de giro y las frecuencias de modulación generadas por las mallas de engranajes (GMF).

Como se indica en la Tabla 10, el cálculo de la frecuencia de giro de entrada requiere conocer la velocidad de entrada ( $\eta_0$ ); no obstante, la empresa no disponía del valor de dicha velocidad del motor, por esta razón, se ejecutó un proceso inverso, utilizando la velocidad de salida ( $\eta_s$ ) para determinar todas las frecuencias. Los valores de la velocidad de salida empleados en este cálculo se encuentran registrados en las Tablas 5, 6, 7 y 8. Al examinar dichas tablas, se puede observar que el parámetro de la velocidad de salida de la caja de engranajes varía según la receta y la fase correspondiente del proceso, afectando las frecuencias de cada etapa y las de modulación. Debido a estos cambios, se realizaron cálculos específicos para las distintas velocidades en cada receta. Las Tablas 11, 12, 13 y 14 presentan las frecuencias resultantes junto con las velocidades de entrada y salida correspondientes.

Como se mencionó previamente, el parámetro de la velocidad varía a lo largo del proceso de mezclado, lo que provoca fluctuaciones en los valores de las frecuencias. Por esta razón, en la Tabla 15 se presenta un resumen de las Tablas 11, 12, 13 y 14. En esta tabla se especifican las bandas o intervalos en los que se encuentran las frecuencias correspondientes a cada una de las cuatro recetas.

**Tabla 11***Velocidades y frecuencias características de la caja de engranajes del MIXER 1 para la receta 1*

$\eta_s$	$\eta_0$	$Fg_0$	$Fg_1$	$Fg_2$	$Fg_3$	$Fg_4$	GMF1	GMF2	GMF3	GMF4
28 RPM	845 RPM	14 Hz	4.82 Hz	1.5 Hz	0.46 Hz	0.46 Hz	352.08 Hz	115.75 Hz	34.57 Hz	15.88 Hz
25 RPM	755 RPM	12.58 Hz	4.30 Hz	1.34 Hz	0.41 Hz	0.41 Hz	314.58 Hz	103.42 Hz	30.89 Hz	14.19 Hz
20 RPM	605 RPM	10.08 Hz	3.45 Hz	1.07 Hz	0.33 Hz	0.33 Hz	252.08 Hz	82.87 Hz	24.75 Hz	11.37 Hz
18 RPM	545 RPM	9.08 Hz	3.11 Hz	0.96 Hz	0.30 Hz	0.30 Hz	227.08 Hz	74.65 Hz	22.30 Hz	10.24 Hz

**Nota:** La tabla muestra las velocidades y frecuencias características de la caja de engranes del MIXER 1 para la receta 1. Estas incluyen las velocidades de salida y de entrada ( $\eta_s$ ,  $\eta_0$ ) y las frecuencias de giro ( $Fg_0$  a  $Fg_4$ ) para cada etapa, así como las frecuencias de modulación generadas por las mallas de engranajes (GMF1 a GMF4).

31

**Tabla 12***Velocidades y frecuencias características de la caja de engranajes del MIXER 1 para la receta 2*

$\eta_s$	$\eta_0$	$Fg_0$	$Fg_1$	$Fg_2$	$Fg_3$	$Fg_4$	GMF1	GMF2	GMF3	GMF4
30 RPM	905 RPM	15.08 Hz	5.16 Hz	1.61 Hz	0.50 Hz	0.50 Hz	377.08 Hz	123.97 Hz	37.03 Hz	17.01 Hz
28 RPM	845 RPM	14 Hz	4.82 Hz	1.5 Hz	0.46 Hz	0.46 Hz	352.08 Hz	115.75 Hz	34.57 Hz	15.88 Hz
25 RPM	755 RPM	12.58 Hz	4.30 Hz	1.34 Hz	0.41 Hz	0.41 Hz	314.58 Hz	103.42 Hz	30.89 Hz	14.19 Hz
18 RPM	545 RPM	9.08 Hz	3.11 Hz	0.96 Hz	0.30 Hz	0.30 Hz	227.08 Hz	74.65 Hz	22.30 Hz	10.24 Hz
15 RPM	455 RPM	7.58 Hz	2.59 Hz	0.80 Hz	0.25 Hz	0.25 Hz	189.58 Hz	62.32 Hz	18.61 Hz	8.55 Hz
12 RPM	362 RPM	6.03 Hz	2.06 Hz	0.64 Hz	0.20 Hz	0.20 Hz	150.83 Hz	49.58 Hz	14.81 Hz	6.80 Hz

**Tabla 13***Velocidades y frecuencias características de la caja de engranajes del MIXER 1 para la receta 3*

$\eta_s$	$\eta_0$	$F_{g0}$	$F_{g1}$	$F_{g2}$	$F_{g3}$	$F_{g4}$	GMF1	GMF2	GMF3	GMF4
32 RPM	965 RPM	16.08 Hz	5.50 Hz	1.71 Hz	0.53 Hz	0.53 Hz	402.08 Hz	132.19 Hz	39.48 Hz	18.14 Hz
30 RPM	905 RPM	15.08 Hz	5.16 Hz	1.61 Hz	0.50 Hz	0.50 Hz	377.08 Hz	123.97 Hz	37.03 Hz	17.01 Hz
25 RPM	755 RPM	12.58 Hz	4.30 Hz	1.34 Hz	0.41 Hz	0.41 Hz	314.58 Hz	103.42 Hz	30.89 Hz	14.19 Hz

**Nota:** La tabla muestra las velocidades y frecuencias características de la caja de engranes del MIXER 1 para la receta 2. Estas incluyen las velocidades de salida y de entrada ( $\eta_s$ ,  $\eta_0$ ) y las frecuencias de giro ( $F_{g0}$  a  $F_{g4}$ ) para cada etapa, así como las frecuencias de modulación generadas por las mallas de engranajes (GMF1 a GMF4).

**Tabla 14***Velocidades y frecuencias características de la caja de engranajes del MIXER 1 para la receta 4*

$\eta_s$	$\eta_0$	$F_{g0}$	$F_{g1}$	$F_{g2}$	$F_{g3}$	$F_{g4}$	GMF1	GMF2	GMF3	GMF4
30 RPM	905 RPM	15.08 Hz	5.16 Hz	1.61 Hz	0.50 Hz	0.50 Hz	377.08 Hz	123.97 Hz	37.03 Hz	17.01 Hz
25 RPM	755 RPM	12.58 Hz	4.30 Hz	1.34 Hz	0.41 Hz	0.41 Hz	314.58 Hz	103.42 Hz	30.89 Hz	14.19 Hz
22 RPM	664 RPM	11.06 Hz	3.79 Hz	1.18 Hz	0.36 Hz	0.36 Hz	276.66 Hz	90.95 Hz	27.16 Hz	12.48 Hz

**Nota:** La tabla muestra las velocidades y frecuencias características de la caja de engranes del MIXER 1 para la receta 3. Estas incluyen las velocidades de salida y de entrada ( $\eta_s$ ,  $\eta_0$ ) y las frecuencias de giro ( $F_{g0}$  a  $F_{g4}$ ) para cada etapa, así como las frecuencias de modulación generadas por las mallas de engranajes (GMF1 a GMF4).

**Tabla 15**

*Intervalos de frecuencias de la caja de engranes del MIXER 1 de la receta 1, 2, 3, 4.*

	Receta 1	Receta 2	Receta 3	Receta 4
$F_{g_0}$	9.08 - 14 Hz	6.03 - 15.08 Hz	12.58 - 16.08 Hz	11.06 - 15.08 Hz
$F_{g_1}$	3.11 - 4.82 Hz	2.06 - 5.16 Hz	4.30 - 5.50 Hz	3.79 - 5.16 Hz
$F_{g_2}$	0.96 - 1.5 Hz	0.64 - 1.61 Hz	1.34 - 1.71 Hz	1.18 - 1.61 Hz
$F_{g_3}$	0.30 - 0.46 Hz	0.20 - 0.50 Hz	0.41 - 0.53 Hz	0.36 - 0.50 Hz
$F_{g_4}$	0.30 - 0.46 Hz	0.20 - 0.50 Hz	0.41 - 0.53 Hz	0.36 - 0.50 Hz
GMF1	227.08 - 352.08 Hz	150.83 - 377.08 Hz	314.58 - 402.08 Hz	276.66 - 377.08 Hz
GMF2	74.65 - 115.75 Hz	49.58 - 123.97 Hz	103.42 - 132.19 Hz	90.95 - 123.97 Hz
GMF3	22.30 - 34.57 Hz	14.81 - 37.03 Hz	30.8 - 39.48 Hz	27.16 - 37.03 Hz
GMF4	10.24 - 15.88 Hz	6.80 - 17.01 Hz	14.19 - 18.14 Hz	12.48 - 17.01 Hz

**Nota:** La tabla presenta un resumen de los intervalos correspondientes a las frecuencias características de la caja de engranajes del MIXER 1, pertenecientes a las cuatro recetas estudiadas.

### **6.3. Mediciones en la caja reductora del MIXER 1 con el acelerómetro WiSER 3X**

El WiSER 3X es un acelerómetro triaxial inalámbrico diseñado por Erbessd Instruments para la medición y análisis de vibraciones, compatible con dispositivos iOS, Android, y Windows. Ofrece conectividad Wi-Fi sin necesidad de un receptor adicional, lo que facilita el análisis tanto en ruta como fuera de ella. Tiene una sensibilidad de 100 mV/g y un rango de frecuencias de 0.5 Hz a 10 kHz (Instruments, s.f.).

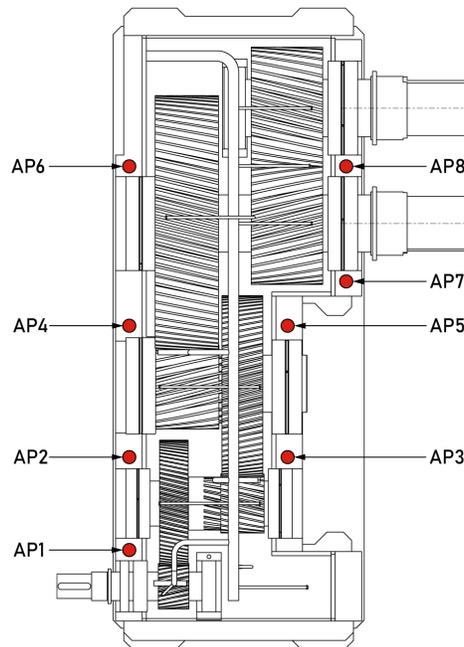
Además, Erbessd Instruments ofrece la aplicación móvil WiSER VIBE, que permite conectarse directamente con el sensor WiSER 3X, facilitando la configuración y el registro de datos en tiempo real. Las mediciones realizadas con este sensor se almacenan en Ei Analytics, una plataforma diseñada para organizar, analizar y gestionar los datos de vibración.

Tras la revisión detallada de los planos de la caja reductora ubicados en la Figura 52 perteneciente al Anexo 1 y una inspección presencial de su estructura, se identificaron 8 puntos estratégicos de medición. Estos puntos fueron seleccionados para captar las diferentes

frecuencias durante las distintas etapas, con el objetivo de obtener una caracterización precisa del comportamiento vibratorio en cada una de las etapas. A continuación, en la Figura 11 se muestra los puntos de medición.

### Figura 11

*Puntos de medición en la caja reductora del MIXER 1*



**Nota:** La figura ilustra la distribución de los ocho puntos de medición en la caja reductora del MIXER 1.

En el Anexo 1 se detalla el plan experimental diseñado para la toma de mediciones. Como parte de este, se implementó un sistema de codificación que permite identificar de manera precisa cada registro según la receta correspondiente, el punto específico de medición y el número de medición realizada. Esta estructura asegura una adecuada organización y facilita tanto el análisis como el seguimiento de los datos obtenidos. Para mayor claridad, en la Tabla 16 se presenta un ejemplo de codificación, P2-M4-R2, que ilustra este sistema.

**Tabla 16**

*Ejemplo de la codificación usada para guardar las mediciones*

Punto medido	Número de medición	Receta a la que pertenece la medición
P2	M4	R2

**Nota:** La tabla muestra un ejemplo del sistema de codificación utilizado para registrar las mediciones, donde cada elemento de la codificación (P2-M4-R2) identifica de manera única el punto específico de medición (P2), el número de medición realizada (M4) y la receta correspondiente (R2).

Con la codificación ya establecida, se generó un directorio en la plataforma de EI Analytic para organizar de manera estructurada cada una de las mediciones. En la estructura del directorio, las mediciones se organizan de manera jerárquica, comenzando con la identificación de la empresa en cuestión, continental, seguida por el área dónde se encuentra la máquina, en este caso el área común, luego, se especifica el punto de medición y la receta correspondiente. Dentro de esta última carpeta mencionada se encuentran las distintas mediciones que se tomaron en ese punto y para esa receta específica, tal como se muestra en la Figura 12.

**Figura 12**

*Directorio en la plataforma EI Analytic.*



**Nota:** La figura muestra la estructura jerárquica del directorio en la plataforma EI Analytic, diseñada para organizar las mediciones de forma estructurada.

Antes de realizar las mediciones, se llevaron a cabo diversas observaciones. Debido a que la empresa opera bajo una programación estricta en su producción y por las limitaciones de tiempo disponibles para la toma de datos, se concluyó que no era posible tomar mediciones en todos los puntos para cada una de las recetas. En la Tabla 17 se detalla la cantidad de mediciones realizadas en cada uno de los puntos específicos en los que se llevaron a cabo para cada receta.

**Tabla 17**

*Número de mediciones tomadas en cada punto para cada receta*

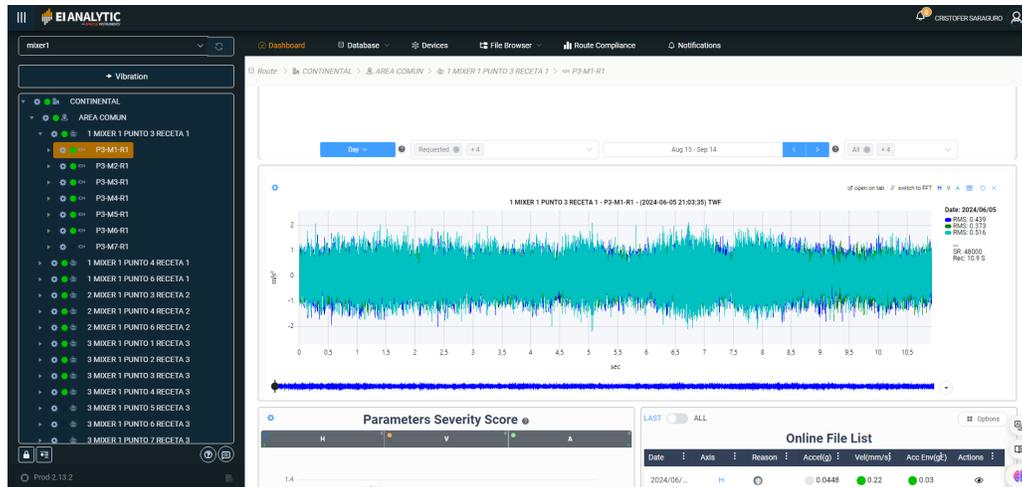
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7	Punto 8
Receta 1	-	-	6	6	-	7	-	-
Receta 2	-	-	6	9	-	6	-	-
Receta 3	6	7	6	-	-	-	-	-
Receta 4	6	-	-	-	-	-	5	6

**Nota:** La tabla presenta el número de mediciones realizadas en cada punto específico para cada una de las recetas. Dado el tiempo limitado disponible para la toma de datos y la estricta programación de producción de la empresa, no fue posible obtener mediciones en todos los puntos para todas las recetas, como se detalla en el registro mostrado.

Con los datos tomados y organizados, se procede al análisis de las señales obtenidas. El WiSER 3X nos proporciona una señal cruda en el dominio del tiempo, es decir, una forma de onda tal como se ilustra en la Figura 13. Sin embargo, para identificar las frecuencias características de la maquinaria, es necesario convertir la señal al dominio de la frecuencia. El Analytics facilita la exportación de la señal en formato CSV, lo que permite su posterior procesamiento y análisis de frecuencia.

**Figura 13**

*Señal de vibración visualizada en la plataforma de EI Analytic.*



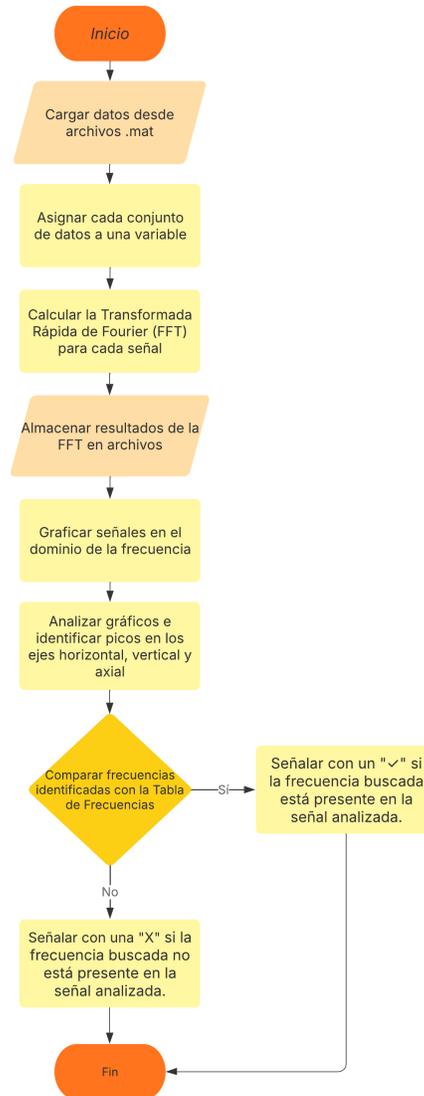
**Nota:** La figura muestra la señal de vibración cruda obtenida con el WiSER 3X, visualizada en la plataforma EI Analytic.

Para procesar la señal cruda obtenida del WiSER 3X y transformarla al dominio de la frecuencia, se utilizó MATLAB para llevar a cabo los siguientes pasos. Primero, se cargaron los datos desde archivos específicos en formato .mat, los cuales contenían las señales de vibración. Cada conjunto de datos se asignó a una variable para su procesamiento. Posteriormente, se calculó la Transformada Rápida de Fourier (FFT) para cada señal, facilitando así la conversión de la información del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. Finalmente, los resultados de la FFT se almacenaron en archivos para su análisis posterior.

Con la señal transformada al dominio de la frecuencia, se graficaron y analizaron los datos para identificar los picos en los ejes horizontal, vertical y axial. Se realizó una revisión exhaustiva de las gráficas obtenidas de cada medición para determinar las frecuencias presentes. Esta identificación permitió comparar las frecuencias observadas con los intervalos especificados en la Tabla 15 correspondientes a las frecuencias de las recetas 1, 2, 3 y 4, respectivamente. A manera de facilitar la comprensión del procesamiento y análisis de la señal, a continuación en la Figura 14 se presenta un diagrama de flujo que resume cada etapa, desde la carga de datos hasta la identificación y comparación de frecuencias.

**Figura 14**

*Diagrama de flujo del procesamiento y análisis de la señal de vibración.*

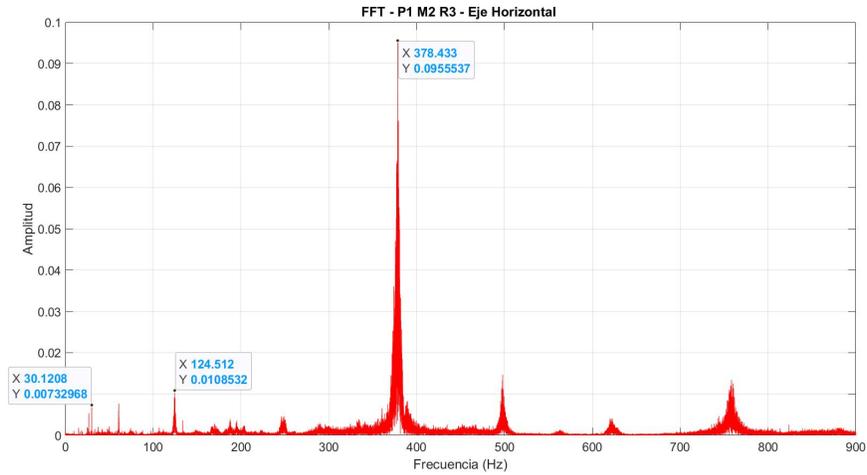


**Nota:** El diagrama de flujo ilustra de manera esquemática el proceso de transformación y análisis de la señal de vibración.

A continuación, se presenta el análisis aplicado a una de las mediciones realizadas. En este caso, se analizará la medición correspondientes al punto 1 de la receta 3. Utilizando la Tabla 15, se identificaron las frecuencias características dentro de las bandas correspondientes a la receta 3. Este procedimiento permitió localizar las frecuencias  $F_{g0}$ , GMF1, GMF2, GMF3 y GMF4, las cuales se visualizan en las Figuras 15, 16, 17, 18, 19 y 20.

**Figura 15**

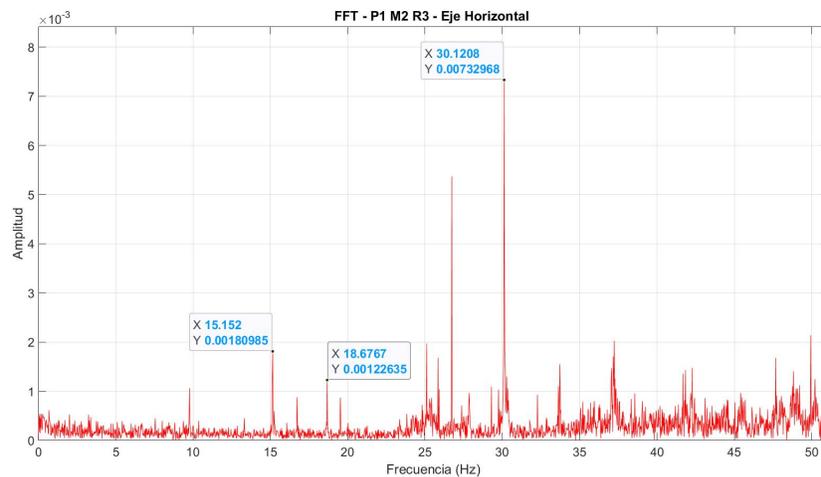
*FFT - P1 M2 R3 - Eje horizontal.*



**Nota:** La figura muestra la gráfica de la FFT correspondiente a la medición 2 del punto 1 de la receta 3, en el eje horizontal, donde se observan los picos asociados a las frecuencias GMF1, GMF2 y GMF3.

**Figura 16**

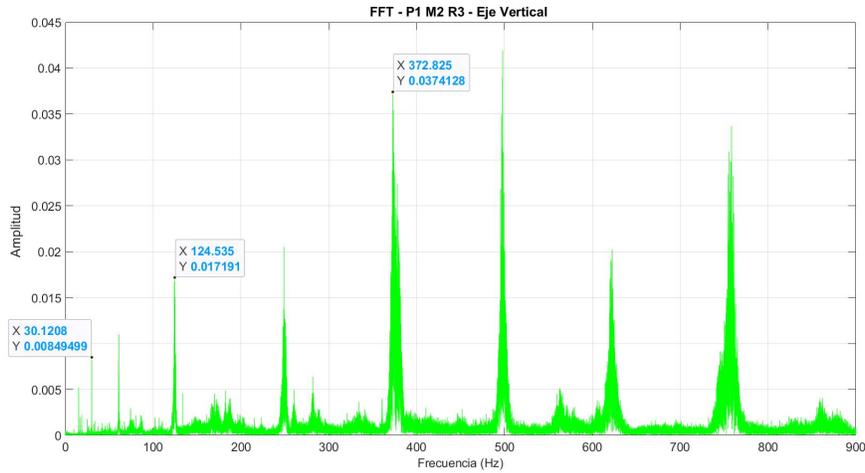
*FFT - P1 M2 R3 - Eje horizontal.*



**Nota:** La figura muestra la gráfica de la FFT correspondiente a la medición 2 del punto 1 de la receta 3, en el eje horizontal, donde se observan los picos asociados a las frecuencias GMF3, GMF4 y  $F_{g0}$ .

### Figura 17

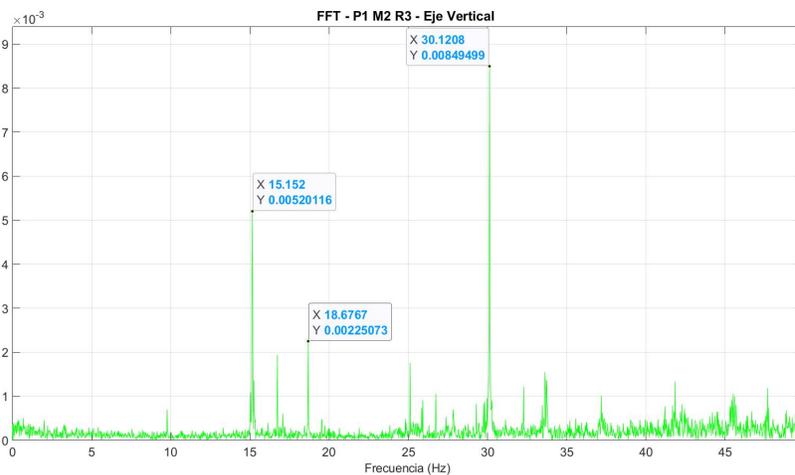
*FFT - P1 M2 R3 - Eje vertical.*



**Nota:** La figura muestra la gráfica de la FFT correspondiente a la medición 2 del punto 1 de la receta 3, en el eje vertical, donde se observan los picos asociados a las frecuencias GMF1, GMF2 y GMF3.

### Figura 18

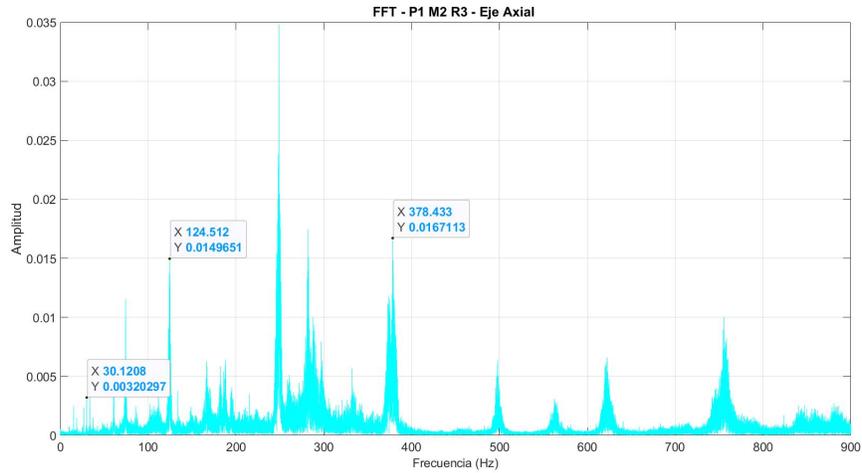
*FFT - P1 M2 R3 - Eje vertical.*



**Nota:** La figura muestra la gráfica de la FFT correspondiente a la medición 2 del punto 1 de la receta 3, en el eje vertical, donde se observan los picos asociados a las frecuencias GMF1, GMF2 y GMF3.

**Figura 19**

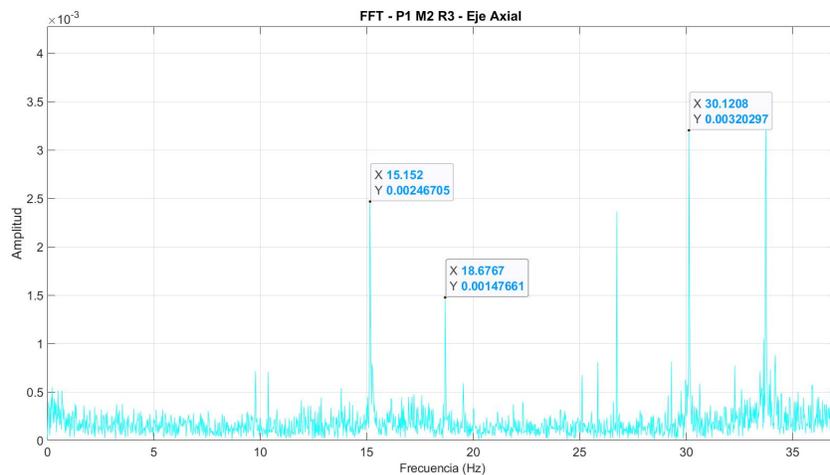
*FFT - P1 M2 R3 - Eje axial.*



**Nota:** La figura muestra la gráfica de la FFT correspondiente a la medición 2 del punto 1 de la receta 3, en el eje axial, donde se observan los picos asociados a las frecuencias GMF1, GMF2 y GMF3.

**Figura 20**

*FFT - P1 M2 R3 - Eje axial.*



**Nota:** La figura muestra la gráfica de la FFT correspondiente a la medición 2 del punto 1 de la receta 3, en el eje axial, donde se observan los picos asociados a las frecuencias GMF1, GMF2 y GMF3.

En la Tabla 47 se presentan los valores identificados dentro de los intervalos de frecuencia correspondientes a la receta 3. Cabe destacar que las frecuencias  $Fg_1$ ,  $Fg_2$ ,  $Fg_3$  y  $Fg_4$  no se detectan, un patrón recurrente en casi todas las mediciones. Esto sugiere que la ausencia de estas frecuencias podría deberse a la limitada capacidad del sensor utilizado para captar valores bajos de frecuencia.

**Tabla 18**

*Valores de las frecuencias observadas en los tres ejes.*

Frecuencia	Intervalo de frecuencias Receta 3	Eje horizontal	Eje vertical	Eje Axial
$Fg_0$	12.58 - 16.08 Hz	15.15 Hz - 0.0018 $m/s^2$	15.15 Hz - 0.0052 $m/s^2$	15.15 Hz - 0.0018 $m/s^2$
$Fg_1$	4.30 - 5.50 Hz	-	-	-
$Fg_2$	1.34 - 1.71 Hz	-	-	-
$Fg_3$	0.41 - 0.53 Hz	-	-	-
$Fg_4$	0.41 - 0.53 Hz	-	-	-
GMF1	314.58 - 402.08 Hz	378.43 Hz - 0.095 $m/s^2$	372.82 Hz - 0.037 $m/s^2$	378.43 Hz - 0.095 $m/s^2$
GMF2	103.42 - 132.19 Hz	124.51 Hz - 0.010 $m/s^2$	124.53 Hz - 0.017 $m/s^2$	124.51 Hz - 0.010 $m/s^2$
GMF3	30.8 - 39.48 Hz	30.12 Hz - 0.007 $m/s^2$	30.12 Hz - 0.008 $m/s^2$	30.12 Hz - 0.007 $m/s^2$
GMF4	14.19 - 18.14 Hz	18.67 Hz - 0.0012 $m/s^2$	18.67 Hz - 0.0022 $m/s^2$	18.67 Hz - 0.0012 $m/s^2$

**Nota:** La tabla muestra los valores encontrados en las gráficas de las FFT, los cuales se encuentran dentro de los intervalos de frecuencia correspondientes a la receta 3.

En el Anexo 2 se llevó a cabo una verificación de las frecuencias calculadas a partir de las gráficas obtenidas mediante MATLAB, las cuales mostraban los picos en los ejes horizontal, vertical y axial. Se analizaron exhaustivamente las gráficas de cada medición, comparando los picos de las frecuencias observadas con los intervalos previamente calculados y especificados en la Tabla 15. Este análisis permitió confirmar la presencia o ausencia de las frecuencias esperadas en las diferentes mediciones realizadas para cada receta.

## 6.4. Análisis exploratorio de los datos disponibles en el SCADA del MIXER 1

El MIXER 1 está equipado con un sistema SCADA que recopila variables como la temperatura, la velocidad del rotor y la potencia. Para poder trabajar con estos datos, se extrajeron las series temporales registradas por el SCADA durante los momentos en que se realizaron las mediciones de frecuencias correspondientes a las recetas 1, 2, 3 y 4. Estas series temporales fueron procesadas en MATLAB para representar los valores de las series temporales mediante la herramienta diagrama de caja ("box plot"). Esto permite visualizar posibles cambios o consistencias en los datos a lo largo del proceso. Para visualizar todos los valores correspondientes a las diferentes cargas de una misma receta, se generaron los diagramas de caja en una sola gráfica.

Dado que en cada receta se procesaron varias cargas, cada una de ellas cuenta con sus propios valores correspondientes a las variables mencionadas previamente: potencia, temperatura y velocidad. Para cada carga, se calcularán los valores específicos de media y mediana, además de obtenerse los valores máximos y mínimos. Una vez obtenidos estos valores para cada carga, se calcularán los promedios de todas las medias, medianas, máximos y mínimos. La mediana se utilizará para ofrecer una medida de tendencia central que refleje el valor típico de los datos recopilados para cada carga. La mediana es especialmente útil en casos donde se presenten valores atípicos, ya que no se ve afectada por estos valores extremos.

También se calculará la media de todas las cargas, otra medida de tendencia central que se obtiene al sumar todos los valores de un conjunto de datos, en este caso los valores de cada carga y dividir esa suma entre el número total de datos. La media es adecuada cuando se busca una representación general de los datos y no hay valores extremos que puedan distorsionar el resultado. Además, se calcularán los promedios de los valores máximos y mínimos de todas las cargas, con el propósito de definir un rango en el que se considere que la máquina está operando dentro de límites "normales".

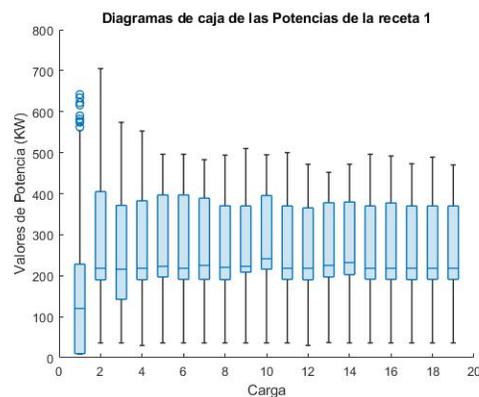
Para comprender mejor los valores y las series temporales, es importante señalar que estas consisten en arreglos de 1000 datos, recolectados a intervalos de 1 segundo. Dado que la duración del proceso es variable, la cantidad total de datos recogidos también varía en consecuencia. A continuación, se realizará un análisis detallado de los diagramas de caja correspondientes a las variables clave del proceso, con el propósito de determinar valores promedio que permitan definir un rango óptimo de operación para cada una de las recetas.

## Datos del SCADA de la Receta 1

Las Figuras 21, 22 y 23 muestran los diagramas de caja de las variables de potencia, temperatura y velocidad para la receta 1. Estos parámetros son clave para evaluar el comportamiento de la máquina y asegurar que el proceso se mantenga dentro de los límites operativos. El análisis permitirá identificar condiciones ideales y detectar posibles desviaciones que requieran ajustes en los parámetros del proceso o en la receta.

### Figura 21

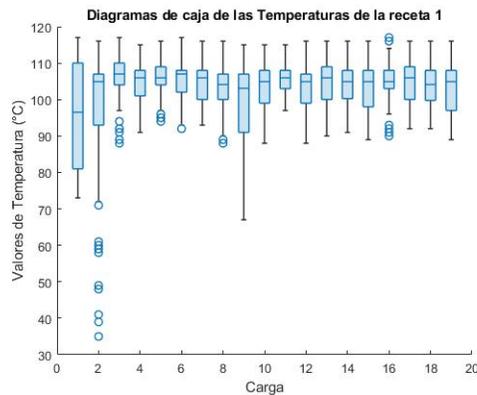
*Potencias del MIXER 1 medidas en la receta 1.*



**Nota:** La figura presenta los diagramas de caja para cada carga, los cuales se construyeron a partir de los valores de potencia proporcionados por el SCADA para la receta 1.

## Figura 22

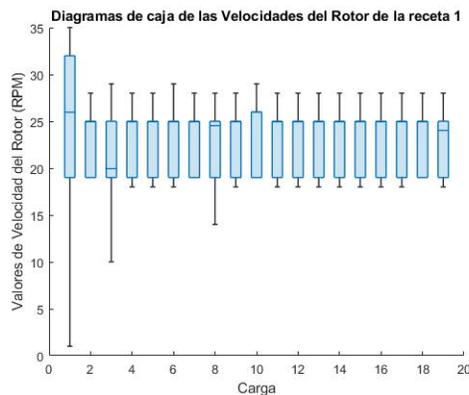
*Temperaturas del MIXER 1 medidas en la receta 1.*



**Nota:** La figura presenta los diagramas de caja para cada carga, los cuales se construyeron a partir de los valores de temperatura proporcionados por el SCADA para la receta 1.

## Figura 23

*Velocidades de salida del MIXER 1 medidas en la receta 1.*



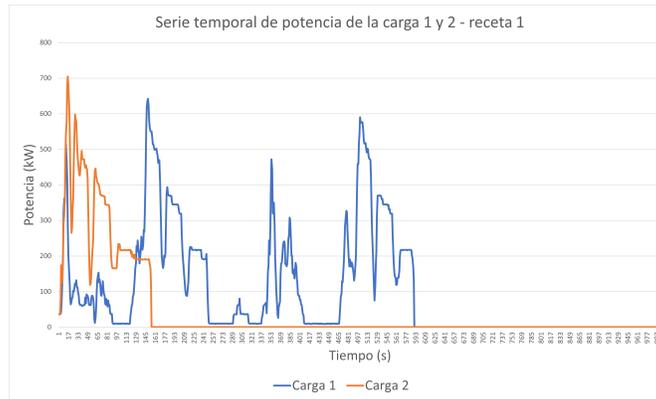
**Nota:** La figura presenta los diagramas de caja para cada carga, los cuales se construyeron a partir de los valores de velocidad proporcionados por el SCADA para la receta 1.

Para entender las desviaciones en algunos diagramas de caja respecto al comportamiento esperado, es útil comparar los diagramas anómalos con los consistentes. En este caso, se identificó un comportamiento inusual en el diagrama de caja de la carga 1, representado en la Figura 21. Para analizar esta anomalía, en la Figura 24 se presentan las series temporales de potencia correspondientes a las cargas 1 y 2 de la receta 1, lo que permite realizar un análisis

comparativo.

### Figura 24

*Gráfica de las series temporales de la variable potencia correspondientes a la receta 1.*



**Nota:** Nota: La gráfica muestra la evolución temporal de la potencia de las cargas 1 y 2 durante la ejecución de la receta 1.

Para una misma receta, se espera que los valores sigan un patrón consistente, ya que cada receta cuenta con parámetros y pasos definidos, y el proceso debería ser uniforme para cada una de las cargas procesadas. En la Figura 24 se observa como la serie temporal de la carga 1 muestra una duración significativamente mayor que la de la carga 2. Este comportamiento sugiere la ocurrencia de un inconveniente durante el procesamiento de la primera carga.

Esta anomalía en la duración y los valores registrados en la carga 1 también se refleja en la variación del diagrama de caja correspondiente que se puede visualizar en la Figura 21, lo que confirma la desviación respecto al comportamiento típico de las series temporales para la receta 1. Por este motivo, se decidió excluir los datos de la carga 1 del cálculo de los valores promedio, ya que su inclusión alteraría considerablemente los resultados. No obstante, es relevante señalar que, aunque los valores de la carga 1 presentan un comportamiento atípico, estos no superan los valores máximos registrados en las demás series temporales, donde el proceso transcurrió con normalidad.

Como se mencionó anteriormente, los valores de la carga 1 no se tomarán en cuenta para calcular los distintos promedios de la receta 1 mostrados en la Tabla 19. Otra de las observaciones realizadas es la presencia de valores atípicos bajos en los diagramas de caja de las temperaturas, se concluye que estos pueden deberse a factores como el traslado de material,

lo que provoca que el mezclador se enfríe, o a que los operadores se toman su respectivo receso alimenticio, lo que también puede resultar en temperaturas más bajas del mezclador al reanudar el procesamiento de material. Por esta razón, se ignorarán en el cálculo de los promedios las cargas que presenten estos valores atípicos bajos, como se observa en las cargas 1, 2 y 9, que se ilustran en la Figura 22.

**Tabla 19**

*Resumen de estadísticas de la receta 1*

Variable	Promedio de medianas	Promedio de medias	Promedio de valores máximos	Promedio de valores mínimos
Potencia (KW)	221.02	265.14	506.77	35.3889
Temperatura ( $^{\circ}C$ )	105.5	104.50	116	90.75
Velocidad (RPM)	24.97	22.68	28.11	18

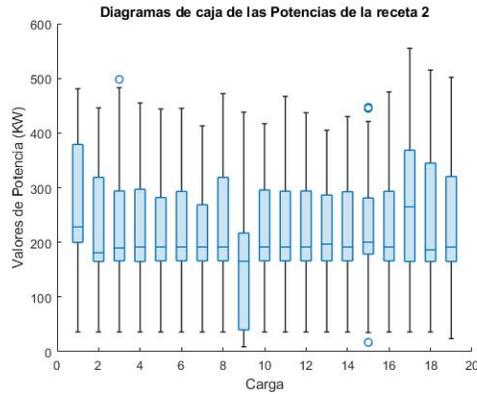
**Nota:** Las estadísticas presentadas corresponden a los valores promedio de las medianas, medias, máximos y mínimos de las variables de potencia, temperatura y velocidad para la receta 1.

### **Datos del SCADA de la Receta 2**

A continuación, en las Figuras 25, 26 y 27 se presentan los diagramas de caja correspondientes a las variables de potencia, temperatura y velocidad, respectivamente para la receta 2.

## Figura 25

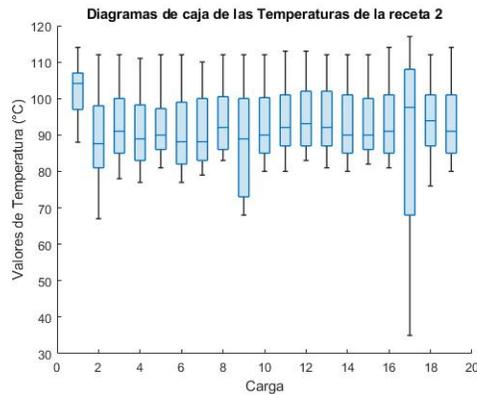
*Potencias del MIXER 1 medidas en la receta 2.*



**Nota:** La figura presenta los diagramas de caja para cada carga, los cuales se construyeron a partir de los valores de potencia proporcionados por el SCADA para la receta 2.

## Figura 26

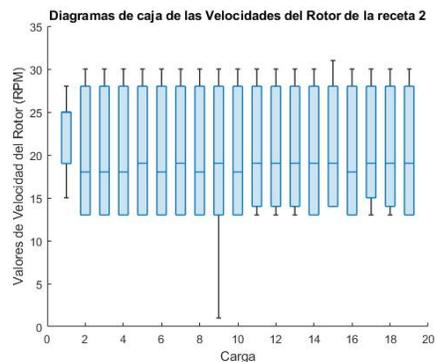
*Temperaturas del MIXER 1 medidas en la receta 2.*



**Nota:** La figura presenta los diagramas de caja para cada carga, los cuales se construyeron a partir de los valores de temperatura proporcionados por el SCADA para la receta 2.

## Figura 27

*Velocidades de salida del MIXER 1 medidas en la receta 2.*

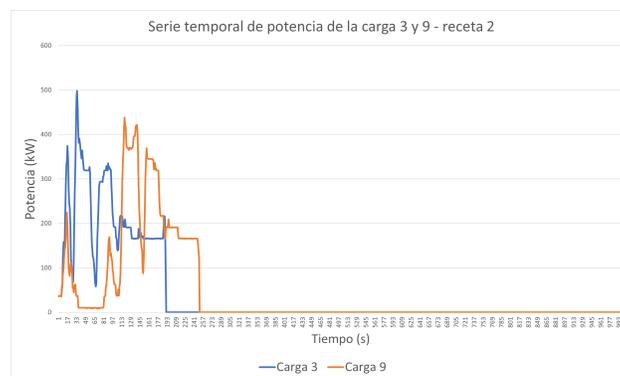


**Nota:** La figura presenta los diagramas de caja para cada carga, los cuales se construyeron a partir de los valores de velocidad proporcionados por el SCADA para la receta 2.

Al analizar el diagrama de caja mostrado en la Figura 25, se identificó que la carga 9 no seguía un patrón consistente con el resto de las cargas. Por ello, en la Figura 28, se presenta una comparación entre la carga 3 y la carga 9 de la receta 2. Este análisis permitió confirmar la irregularidad en la carga 9.

## Figura 28

*Gráfica de las series temporales de la variable potencia correspondientes a la receta 2.*



**Nota:** Nota: La gráfica muestra la evolución temporal de la potencia de las cargas 3 y 9 durante la ejecución de la receta 2.

Siguiendo el mismo criterio, la carga 9 no será considerada para el cálculo de los promedios. Asimismo, se excluirán del análisis los diagramas de caja de las temperaturas correspondientes

a las cargas 1, 2, 9 y 17, debido a las irregularidades que se pueden observar en la Figura 26. En lo que respecta a las velocidades, se omitirán las cargas 1 y 9. Estas exclusiones se hacen con el propósito de evitar que los valores atípicos de estas cargas alteren los rangos a obtener.

**Tabla 20**

*Resumen de estadísticas de la receta 2*

Variable	Promedio de medianas	Promedio de medias	Promedio de valores máximos	Promedio de valores mínimos
Potencia (KW)	197.11	221.05	461.33	34.27
Temperatura ( $^{\circ}C$ )	90.73	92.90	112.2	79.86
Velocidad (RPM)	18.58	19.74	30.05	13.05

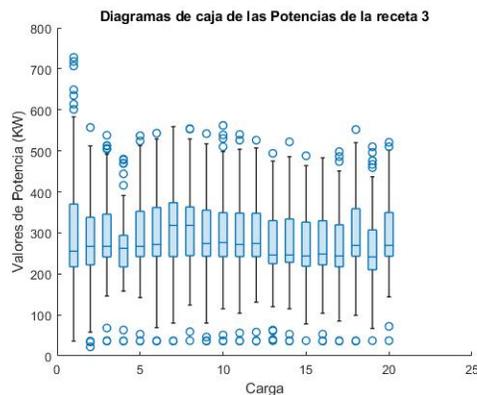
**Nota:** Nota: Las estadísticas presentadas corresponden a los valores promedio de las medianas, medias, máximos y mínimos de las variables de potencia, temperatura y velocidad para la receta 2.

### Datos del SCADA de la Receta 3

A continuación, en las Figuras 29, 30 y 31 se presentan los diagramas de caja correspondientes a las variables de potencia, temperatura y velocidad, respectivamente para la receta 3.

**Figura 29**

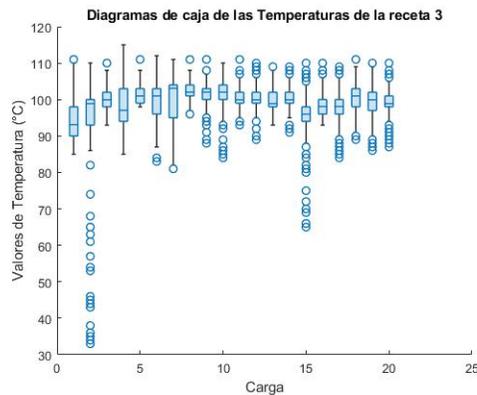
*Potencias del MIXER 1 medidas en la receta 3.*



**Nota:** La figura presenta los diagramas de caja para cada carga, los cuales se construyeron a partir de los valores de potencia proporcionados por el SCADA para la receta 3.

### Figura 30

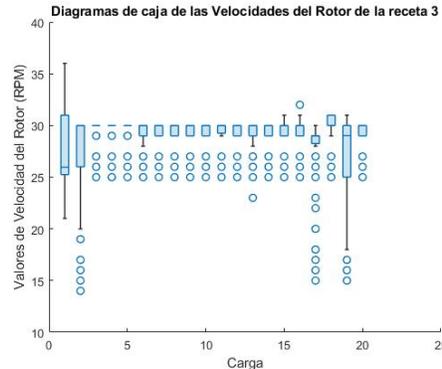
*Temperaturas del MIXER 1 medidas en la receta 3.*



**Nota:** La figura presenta los diagramas de caja para cada carga, los cuales se construyeron a partir de los valores de temperatura proporcionados por el SCADA para la receta 3.

### Figura 31

*Velocidades de salida del MIXER 1 medidas en la receta 3.*



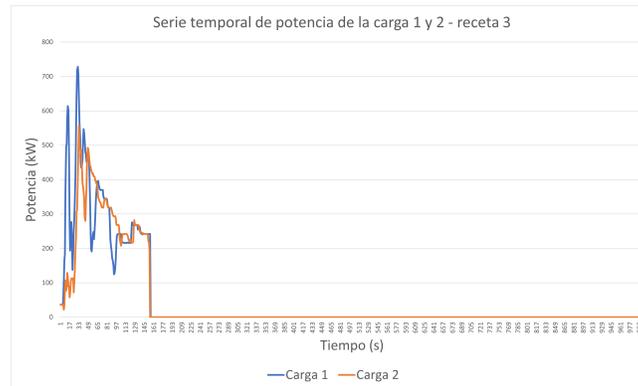
**Nota:** La figura presenta los diagramas de caja para cada carga, los cuales se construyeron a partir de los valores de velocidad proporcionados por el SCADA para la receta 3.

En la Figura 29, se observa una anomalía en el diagrama de caja correspondiente a la carga 1 en comparación con el resto de las cargas. Para investigar esta discrepancia, se generó un gráfico que compara la cantidad de datos de la carga 1 con la carga 2, el cual se presenta en la Figura 32. Al analizar el gráfico, se puede concluir que la cantidad de datos para ambas cargas es casi idéntica. Por lo tanto, se determina que la diferencia observada en el diagrama de caja de la carga 1 se debe a que, durante el proceso de esta carga, la potencia alcanzó

valores excepcionalmente altos, los cuales se presentan como valores atípicos en el diagrama de caja.

### Figura 32

Gráfica de las series temporales de la variable potencia correspondientes a la receta 3.



**Nota:** Nota: La gráfica muestra la evolución temporal de la potencia de las cargas 1 y 2 durante la ejecución de la receta 3.

Asimismo, se excluirán las cargas cuyos diagramas de caja no reflejen una tendencia esperada respecto a las otras cargas. En el caso de las potencias, se omite la carga 1, ya que su valor máximo de 728 es significativamente superior al de las demás cargas. Para la temperatura se siguió el mismo criterio, las cargas 2 y 15 quedarán excluidas del análisis de temperaturas. Para los valores de velocidad, se excluirán las cargas 1, 2, 17 y 19.

### Tabla 21

Resumen de estadísticas de la receta 3

Variable	Promedio de medianas	Promedio de medias	Promedio de valores máximos	Promedio de valores mínimos
Potencia (KW)	267.42	286.62	526.63	35.52
Temperatura (°C)	99.77	99.62	110.61	88.77
Velocidad (RPM)	30	29.09	30.25	24.87

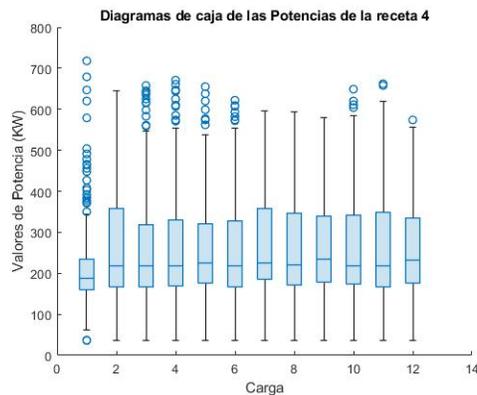
**Nota:** Nota: Las estadísticas presentadas corresponden a los valores promedio de las medianas, medias, máximos y mínimos de las variables de potencia, temperatura y velocidad para la receta 3.

## Datos del SCADA de la Receta 4

A continuación, en las Figuras 33, 34 y 35 se presentan los diagramas de caja correspondientes a las variables de potencia, temperatura y velocidad, respectivamente, para la receta 4.

### Figura 33

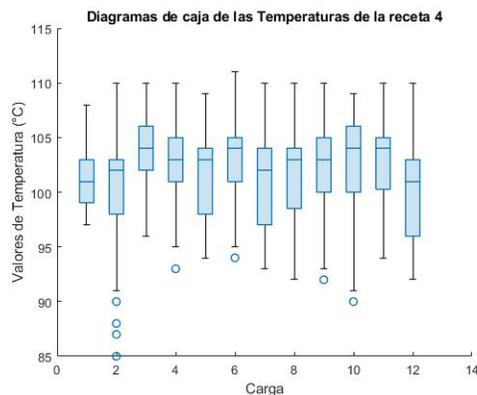
*Potencias del MIXER 1 medidas en la receta 4.*



**Nota:** La figura presenta los diagramas de caja para cada carga, los cuales se construyeron a partir de los valores de potencia proporcionados por el SCADA para la receta 4.

### Figura 34

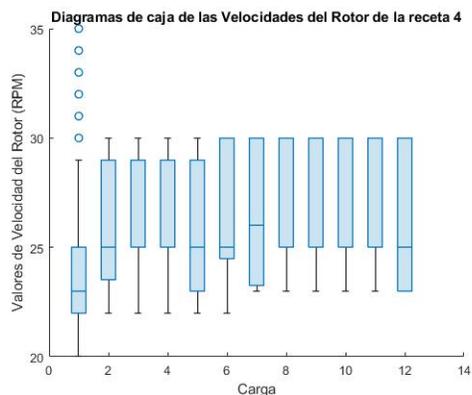
*Temperaturas del MIXER 1 medidas en la receta 4.*



**Nota:** La figura presenta los diagramas de caja para cada carga, los cuales se construyeron a partir de los valores de temperatura proporcionados por el SCADA para la receta 4.

**Figura 35**

*Velocidades de salida del MIXER 1 medidas en la receta 4.*



**Nota:** La figura presenta los diagramas de caja para cada carga, los cuales se construyeron a partir de los valores de velocidad proporcionados por el SCADA para la receta 4.

A pesar de que en la Figura 33 se identifican varias cargas con valores atípicos, tanto la mediana como la media se mantienen consistentes, por lo que no se excluirá ninguna carga; además, los valores máximos siguen una tendencia similar. En cuanto a las temperaturas mostradas en la Figura 34, se aplicará el mismo criterio, excluyendo las cargas 2 y 10. En el caso de las velocidades representadas en la Figura 35, se excluirá la carga 1 debido a que presenta valores atípicos altos, lo que podría afectar el cálculo de los promedios.

**Tabla 22**

*Resumen de estadísticas de la receta 4*

Variable	Promedio de medianas	Promedio de medias	Promedio de valores máximos	Promedio de valores mínimos
Potencia (KW)	219.08	270.30	635.16	36.25
Temperatura ( $^{\circ}C$ )	102.8	101.96	109.8	93.7
Velocidad (RPM)	25.09	26.14	30	22.54

**Nota:** Nota: Las estadísticas presentadas corresponden a los valores promedio de las medianas, medias, máximos y mínimos de las variables de potencia, temperatura y velocidad para la receta 4.

Como conclusiones a este análisis de las vibraciones registradas y datos del SACDA, mencionamos que:

- En el estudio se verificó la presencia de las frecuencias teóricas calculadas inicialmente mediante mediciones realizadas con el sensor WiSER 3X. Este proceso de validación permitió confirmar que las frecuencias teóricas se observaron efectivamente en los datos obtenidos en la práctica. Sin embargo, se identificó como limitación que solo se visualizaron con claridad las frecuencias altas, mientras que las frecuencias bajas no se detectaron de manera evidente, lo que sugiere la necesidad de ajustar la metodología de medición o considerar equipos con mayor sensibilidad en ese rango.
- El análisis exploratorio de los datos del SCADA resalta la utilidad de las series temporales para identificar tendencias operativas, evaluar el rendimiento de la máquina y detectar anomalías que podrían afectar la productividad.
- La caracterización de las recetas del MIXER 1 muestra la importancia de definir parámetros operativos estandarizados para los valores de potencia, temperatura y velocidad de cada una de las recetas estudiadas, lo que permite identificar si el equipo está funcionando de manera adecuada. Esta estandarización facilita la detección temprana de desviaciones en el comportamiento del equipo.

Una vez conocidos los aspectos técnicos del comportamiento del MIXER 1 en condiciones normales de operación, se presenta el diseño de la arquitectura IIoT que incluye la selección de sensores de vibración adecuados para un sistema de monitoreo.

## **6.5. Propuesta de Arquitectura IIoT Orientada por IIRA**

En este trabajo se desarrolla una propuesta metodológica para el diseño de una arquitectura IIoT basada en el marco de referencia IIRA , con el objetivo de abordar el monitoreo de vibraciones del MIXER 1 en la planta de Continental Tire Andina. La propuesta busca integrar de manera estructurada los objetivos operativos y estratégicos de la planta con tecnologías avanzadas, proporcionando una solución que optimice la captación y análisis de datos de vibración.

El enfoque metodológico se centra en varios aspectos clave. En primer lugar, se realiza la caracterización del MIXER 1 mediante el análisis de las frecuencias y patrones de vibración de diferentes recetas, obtenidas con un sensor triaxial colocado estratégicamente en la caja de

engranajes. Este análisis permite comprender el comportamiento dinámico de la maquinaria y establecer los parámetros fundamentales para la selección de sensores adecuados.

A partir de esta caracterización, se diseña una arquitectura IIoT estructurada bajo los cuatro puntos de vista definidos por el IIRA: negocio, uso, funcional e implementación. Cada punto de vista tiene un propósito específico:

- En el punto de vista de negocio, se alinean las metas estratégicas de la planta con los beneficios del monitoreo de vibraciones.
- El punto de vista de uso detalla cómo los diferentes actores interactuarán con el sistema, asegurando que las necesidades de operación y supervisión sean atendidas.
- En el punto de vista funcional, se definen los procesos y funciones necesarias para garantizar la recolección, transmisión y análisis de datos.
- Finalmente, en el punto de vista de implementación, se concreta la selección de los componentes tecnológicos, incluyendo la propuesta de un sensor que pueda ajustarse a los requerimientos operativos de la planta.

El propósito de esta metodología es diseñar una arquitectura que no solo cumpla con los objetivos de monitoreo, sino que también facilite a la empresa la implementación futura de una solución completa. Esta propuesta se presenta como una guía práctica que articula las necesidades del proceso industrial con los avances en tecnología IIoT, proporcionando un modelo adaptable que Continental Tire Andina puede adoptar según sus propios planes estratégicos.

Con esta propuesta de arquitectura para la implementación de un sistema IIoT, se busca no solo ofrecer una solución técnica para el monitoreo de vibraciones, sino también sentar las bases para que la empresa pueda integrar tecnología IIoT en otros procesos, promoviendo así la transformación digital en sus operaciones industriales.

### **6.5.1. Punto de Vista del Negocio**

El objetivo del proyecto se centra en proponer una solución integral para el monitoreo de señales de vibración en el MIXER 1 de Continental Tire Andina. Esta solución busca no solo facilitar la recolección de datos en tiempo real, sino también mejorar significativamente la toma de decisiones a través de análisis avanzados de datos. La implementación de este

sistema tiene como propósito optimizar las operaciones del MIXER 1, reducir los tiempos de inactividad no planificados y habilitar capacidades predictivas que respalden un entorno de producción más eficiente y confiable.

Como parte del desarrollo de este objetivo, se han identificado dos aspectos clave: los beneficios esperados y los requisitos del negocio, los cuales son esenciales para garantizar el éxito de la solución propuesta.

## 1. Beneficios Esperados

- **Reducción de tiempos de inactividad no planificados:** Minimizar el tiempo de paradas inesperadas mediante la detección temprana de problemas potenciales.
- **Mejora en la eficiencia operativa:** Optimizar el rendimiento del MIXER 1 mediante el análisis continuo de datos.
- **Capacidad de análisis predictivo:** Utilizar datos históricos y en tiempo real para predecir posibles fallos y programar mantenimientos preventivos.

## 2. Requisitos del Negocio

- **Monitoreo en tiempo real de señales de vibración:** Garantizar que los datos se recopilen y procesen en tiempo real para permitir una respuesta rápida a cualquier anomalía.
- **Almacenamiento seguro y confiable de los datos:** Implementar medidas de seguridad y redundancia para asegurar que los datos estén protegidos y disponibles cuando se necesiten.
- **Interfaz de usuario amigable:** Proveer una plataforma de fácil uso que permita a los técnicos e ingenieros visualizar los datos y generar informes sin complicaciones.
- **Escalabilidad:** Asegurar que la arquitectura pueda adaptarse a futuros aumentos en la cantidad de equipos y datos sin comprometer el rendimiento.

Estos elementos trabajan de manera conjunta para lograr una solución que no solo responda a las necesidades actuales del MIXER 1, sino que también sienta las bases para una mejora continua y expansiones futuras en la planta. Al establecer este marco, no solo se

resuelven problemas inmediatos, sino que también se crea una infraestructura adaptable a los cambios tecnológicos y operativos que puedan surgir a largo plazo.

En este caso de uso, los actores relevantes son:

- Jefe de Área
- Jefes de Turno
- Programador
- Supervisor de Producción
- Operadores
- Personal de Mantenimiento

Que aportan las necesidades y expectativas iniciales, hasta el desarrollo de capacidades fundamentales alineadas con los valores y objetivos estratégicos de la empresa, cada etapa contribuye al éxito del sistema propuesto. Este enfoque no solo facilita la conexión entre las decisiones estratégicas y los resultados operativos, sino que también asegura que la arquitectura IIoT esté diseñada para cumplir con las metas organizacionales de manera eficiente y sostenible.

En el caso del MIXER 1 de Continental Tire Andina, los actores relevantes identificaron una serie de necesidades prioritarias, tales como la reducción de los tiempos de inactividad, la mejora de la eficiencia operativa y la habilitación de un sistema de monitoreo predictivo y en tiempo real. Estas necesidades, como se observa en el diagrama, no solo guían el diseño del sistema, sino que también se reflejan en las capacidades fundamentales desarrolladas. A partir de estas, se formuló una visión estratégica orientada hacia la implementación de un sistema avanzado de monitoreo de vibraciones. Este sistema tiene como propósito no solo optimizar la operación del MIXER 1, sino también establecer un entorno de producción más eficiente, seguro y resiliente.

En concordancia con esta visión, se definieron valores esenciales como la innovación, la seguridad, la eficiencia, la sostenibilidad y la escalabilidad. Cada uno de estos valores respalda los objetivos clave del sistema, entre los que destacan la reducción de tiempos de inactividad, la mejora en la capacidad de mantenimiento predictivo y la capacitación del personal para

asegurar la continuidad operativa. Estas metas, a su vez, se traducen en capacidades del que permiten a la empresa abordar los desafíos actuales y, al mismo tiempo, sentar las bases para futuras expansiones tecnológicas y operativas, asegurando la adaptabilidad y competitividad a largo plazo.

El siguiente paso en este marco metodológico es analizar cómo la estructura organizacional puede potenciar la implementación efectiva del sistema y asegurar su sostenibilidad operativa. Este análisis permitirá identificar roles clave, establecer responsabilidades y garantizar la alineación entre los recursos humanos y los objetivos planteados.

### **Estructura organizacional**

En el contexto de la Planta Común de Continental Tire Andina S.A., la estructura organizacional desempeña un papel esencial en la gestión eficiente de las operaciones del MIXER 1 y otras máquinas críticas de la planta. Esta estructura no solo permite una distribución clara de responsabilidades, sino que también asegura que cada nivel jerárquico contribuya al cumplimiento de los objetivos operativos y estratégicos de la organización.

En la cúspide de esta jerarquía se encuentra el Jefe de Área, quien supervisa y coordina las actividades generales, asegurándose de que se cumplan los estándares de producción, calidad y mantenimiento. A este nivel estratégico le siguen los Jefes de Turno, encargados de gestionar las operaciones específicas durante sus turnos asignados, garantizando que las metas diarias sean alcanzadas. Complementando esta gestión se encuentra el Programador, cuya función clave es planificar de manera eficiente los mantenimientos y las actividades productivas para evitar interrupciones innecesarias.

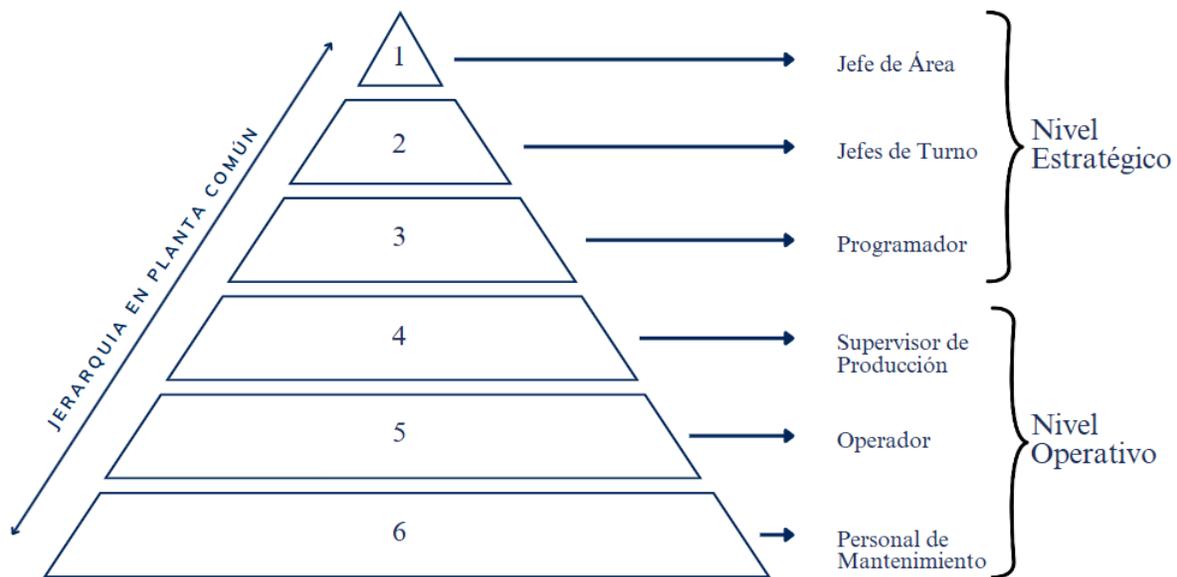
En los niveles operativos, el Supervisor de Producción desempeña un rol fundamental al coordinar directamente con los Operadores, quienes tienen la responsabilidad de manejar y monitorear el desempeño de las máquinas, incluyendo el MIXER 1. Finalmente, el Personal de Mantenimiento se encarga de garantizar el buen funcionamiento de los equipos, resolviendo fallas de manera proactiva y asegurando la disponibilidad continua de las máquinas.

Como se muestra en la Figura 36, esta pirámide jerárquica refleja cómo las responsabilidades se distribuyen de manera descendente, desde la planificación estratégica en los niveles superiores hasta la ejecución directa en el nivel operativo. Esta estructura no solo facilita un flujo de trabajo organizado y eficiente, sino que también permite una comunicación clara

entre los niveles, asegurando que las decisiones estratégicas sean implementadas eficazmente en las operaciones diarias. Además, este modelo organizacional es indispensable para soportar la implementación de soluciones tecnológicas, como el sistema IIoT propuesto, al proporcionar un marco sólido para la colaboración entre los diferentes roles dentro de la planta.

**Figura 36**

*Pirámide de jerarquía en Planta Común*



**Nota:** La figura muestra la pirámide de jerarquía que organiza los roles dentro del área de Planta Común, reflejando la distribución de niveles desde el Jefe de Área hasta el Personal de Mantenimiento.

Después de analizar la pirámide jerárquica presentada en la Figura 36, se puede observar cómo las responsabilidades y funciones están claramente distribuidas dentro de la Planta Común. En la cúspide se encuentra el Jefe de Área, encargado de supervisar la operación general y garantizar que las metas estratégicas y de producción se cumplan de manera eficiente. Este rol es fundamental para coordinar los recursos y definir las prioridades operativas.

Inmediatamente debajo, los Jefes de Turno son responsables de gestionar las actividades operativas durante sus turnos asignados, asegurando que los procesos productivos se realicen sin interrupciones. El Programador, por su parte, juega un papel crucial en la planificación de los mantenimientos y en la distribución de los recursos necesarios para cumplir con las

actividades de producción programadas.

En los niveles operativos, el Supervisor de Producción monitorea el desempeño diario de las operaciones, mientras que los Operadores se encargan de la manipulación directa de las máquinas, asegurando su correcto funcionamiento. Finalmente, el Personal de Mantenimiento juega un papel crucial en la reparación y conservación de los equipos, garantizando la continuidad de las operaciones y minimizando el tiempo de inactividad.

A continuación, se describirán en detalle el Rol y las Responsabilidades de cada uno de estos actores, así como su Perspectiva sobre sus Necesidades dentro de la estructura organizacional. Esta descripción permitirá comprender mejor cómo cada nivel contribuye al éxito de las operaciones del MIXER 1 y la planta en general.

## **1. Jefe de Área**

### **■ Rol y Responsabilidades**

- Planificación, ejecución y supervisión de todas las actividades de mantenimiento en la planta.
- Asegura la operatividad de todos los equipos y sistemas de producción.
- Coordina con supervisores y operadores para resolver problemas técnicos.
- Analiza datos de rendimiento y reporta a la gerencia sobre la eficiencia de la planta.

### **■ Perspectiva sobre sus Necesidades**

- Busca minimizar paradas no planificadas para garantizar continuidad.
- Optimización de recursos y procesos de mantenimiento.
- Adopción de mantenimiento predictivo para anticipar fallos.
- Necesidad de una solución escalable para cubrir otros equipos.

## **2. Jefe de Turno**

### **■ Rol y Responsabilidades**

- Gestión de las actividades operativas durante sus horarios asignados.
- Supervisión del cumplimiento de los procesos productivos sin interrupciones.
- Coordinación directa con operadores y supervisores para resolver problemas inmediatos.
- Reporte al Jefe de Área sobre los resultados y eventos ocurridos durante su turno.

- **Perspectiva sobre sus Necesidades**

- Mantener la continuidad operativa y la eficiencia de los procesos.
- Acceso a información en tiempo real sobre el estado de los equipos.
- Herramientas que permitan una respuesta rápida ante fallos o eventos imprevistos.
- Capacitación en el uso de nuevas tecnologías de monitoreo y mantenimiento.

### 3. Programador

- **Rol y Responsabilidades**

- Configuración y mantenimiento del sistema de monitoreo.
- Desarrollo y optimización de algoritmos de análisis.

- **Perspectiva sobre sus Necesidades**

- Reducir tiempos de inactividad mediante soluciones predictivas.
- Optimizar algoritmos para mejorar el rendimiento del sistema.
- Facilitar la detección de fallos mediante análisis de tendencias conocidas.

### 4. Supervisor de Planta Común

- **Rol y Responsabilidades**

- Supervisa operaciones diarias asegurando procesos eficientes.
- Coordina actividades de mantenimiento con el Jefe de Mantenimiento.
- Monitorea el rendimiento del equipo y garantiza estándares de calidad.
- Gestiona y capacita al equipo de operadores.

■ **Perspectiva sobre sus Necesidades**

- Minimizar tiempos de inactividad para mantener producción continua.
- Reducir costos a través de mantenimiento predictivo.
- Buscar una solución expandible a otras áreas de la planta.

5. **Operador del MIXER 1**

■ **Rol y Responsabilidades**

- Opera el MIXER 1 cumpliendo parámetros de producción establecidos.
- Realiza inspecciones y mantenimiento básico del equipo.
- Reporta anomalías técnicas al Supervisor de Planta.
- Utiliza el sistema de monitoreo para verificar el estado del equipo.

■ **Perspectiva sobre sus Necesidades**

- Evitar interrupciones no planificadas en el flujo de trabajo.
- Facilitar el trabajo mediante alertas de mantenimiento predictivo.
- Utilizar una solución amigable que garantice la seguridad de los datos.

Después de establecer los roles, responsabilidades y necesidades de cada actor en la jerarquía organizacional de la Planta Común de Continental Tire Andina, se puede observar cómo cada uno de ellos desempeña un papel clave para garantizar el funcionamiento eficiente del MIXER 1 y del sistema de monitoreo propuesto. Desde la planificación estratégica del Jefe de Área hasta las operaciones diarias realizadas por el Operador del MIXER 1, cada

nivel aporta una contribución esencial para alcanzar los objetivos organizacionales.

La colaboración entre estos actores no solo asegura una implementación eficiente del sistema, sino que también fomenta un entorno de trabajo en el que la innovación y la sostenibilidad se convierten en prioridades compartidas. Además, este enfoque integral permite identificar y abordar de manera proactiva los desafíos operativos, creando una estructura organizacional resiliente y preparada para enfrentar futuras expansiones tecnológicas.

Con esta estructura organizacional claramente establecida, se crean las condiciones para desarrollar las capacidades clave que permitirán a la empresa alcanzar los objetivos estratégicos del proyecto. Estas capacidades abarcan la recolección de datos en tiempo real, la generación de análisis predictivos para evitar fallas y la integración de tecnologías escalables que puedan ser replicadas en otras áreas de la planta.

A continuación, se presentará cómo la visión estratégica, los valores fundamentales, los objetivos clave, y las capacidades fundamentales se articulan para orientar y asegurar el éxito del proyecto, estableciendo una hoja de ruta clara y alineada con las metas de la empresa.

## 1. Visión

- Crear un entorno de producción más eficiente y seguro mediante la implementación de una solución avanzada de monitoreo de vibraciones que permita la detección temprana de fallos y facilite el mantenimiento predictivo. Este enfoque busca transformar las operaciones mediante la integración de tecnología y análisis proactivo.

## 2. Valores

- **Innovación:** Adoptar tecnologías avanzadas para optimizar los procesos productivos y generar soluciones innovadoras.
- **Seguridad:** Establecer un entorno de trabajo seguro mediante la detección temprana de problemas y la implementación de medidas preventivas.
- **Eficiencia:** Incrementar el rendimiento del MIXER 1 y reducir costos operativos, maximizando la utilización de recursos disponibles.
- **Sostenibilidad:** Promover soluciones tecnológicas que sean viables a largo plazo,

reduciendo el impacto ambiental y fomentando el crecimiento sostenible.

- **Escalabilidad:** Garantizar que el sistema sea flexible y pueda adaptarse a futuras necesidades sin comprometer su efectividad o seguridad.

### 3. Objetivos Clave

- Diseñar un sistema de monitoreo para ser implementado en el futuro por Continental Tire Andina, alineado con sus necesidades operativas.
- Proyectar una reducción significativa de los tiempos de inactividad del MIXER 1, mejorando la continuidad de las operaciones.
- Incrementar la capacidad de mantenimiento predictivo mediante el análisis constante de las señales de vibración y la implementación de herramientas avanzadas de diagnóstico.

### 4. Capacidades Fundamentales

- a) **Recolección y transmisión de datos en tiempo real:** Asegurar que los datos de las señales de vibración se recopilen y transmitan sin demoras significativas, permitiendo decisiones rápidas y efectivas.
- b) **Análisis de datos:** Desarrollar herramientas analíticas avanzadas que detecten anomalías en las señales y generen alertas predictivas, mejorando la capacidad de anticipación a fallos.
- c) **Interfaz de usuario:** Utilizar dashboards proporcionados por el fabricante del sensor o diseñados para la empresa, garantizando una visualización intuitiva y una generación de informes clara y comprensible para los técnicos y supervisores.

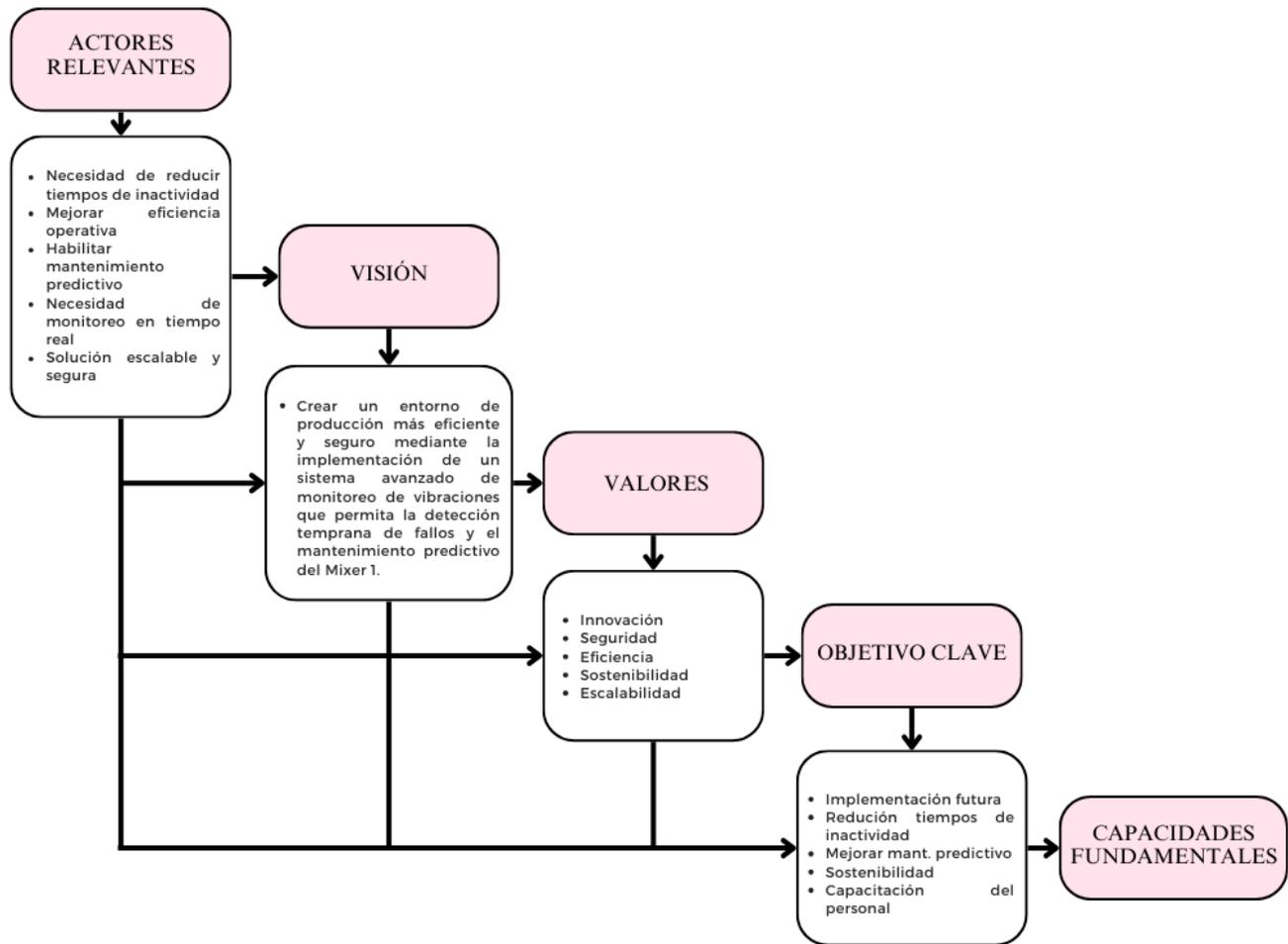
El desarrollo de la visión, los valores, los objetivos clave y las capacidades fundamentales descritas anteriormente, da lugar al diagrama del punto de vista del negocio de la Figura 5. Este esquema destaca cómo los actores relevantes, al identificar las necesidades críticas, han dado forma a una visión estratégica orientada a implementar un sistema avanzado de monitoreo de vibraciones.

Entonces este enfoque conceptual se ilustra de manera visual en la Figura 37, que

proporciona una representación clara y estructurada de cómo los elementos clave en la vista del negocio se interrelacionan.

**Figura 37**

*Diagrama de flujo en la vista de negocio*



**Nota:** La figura muestra el flujo en la vista de negocio, destacando cómo las necesidades identificadas por los actores relevantes se transforman en objetivos clave y capacidades fundamentales, alineados con los valores y visión estratégica del proyecto. Este diagrama está adaptado y continuado de la Figura 5 del marco teórico, aplicando los principios de la metodología del IIRA al contexto específico del MIXER 1 de Continental Tire Andina.

Dicha visión no solo establece las bases para una operación más eficiente y segura en el MIXER 1, sino que también define valores esenciales como la innovación, la sostenibilidad y la escalabilidad, los cuales guían las decisiones estratégicas y tecnológicas. A partir de estos

valores, se delinearán objetivos clave que buscan reducir los tiempos de inactividad, fortalecer la capacidad de mantenimiento predictivo y preparar al personal para asegurar la continuidad operativa. Estos objetivos se traducen en capacidades fundamentales, como la recolección de datos en tiempo real y el análisis predictivo, que serán críticas para el éxito del sistema.

Con esta base sólida en el marco del negocio, es momento de avanzar hacia el análisis del punto de vista del uso. En este apartado se describirá cómo interactúan los distintos actores con el sistema propuesto y cómo sus roles y necesidades se integran para garantizar una implementación eficaz y alineada con los objetivos organizacionales.

### **6.5.2. Punto de Vista de Uso**

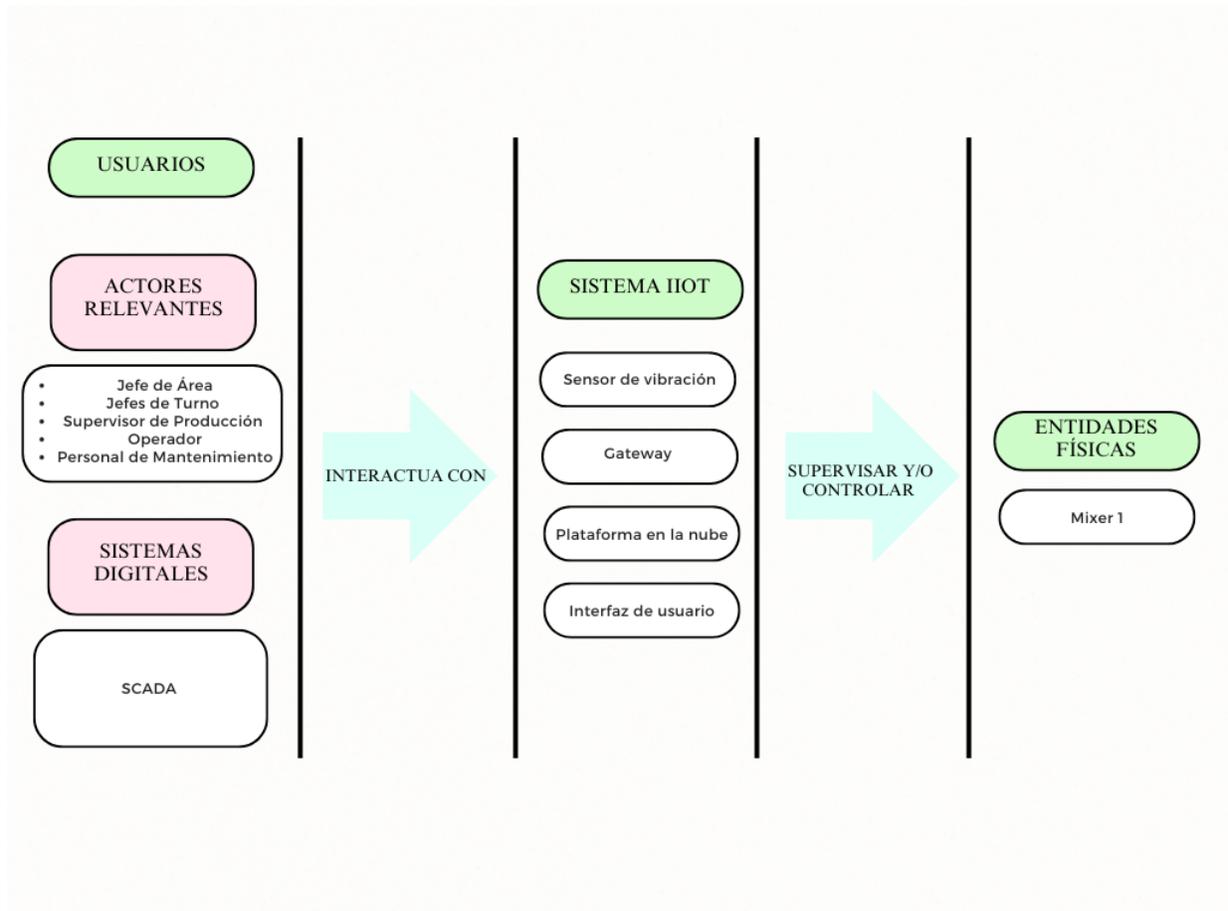
La planta de Continental Tire Andina S.A. actualmente opera utilizando una infraestructura de comunicación de datos basada en Profibus/Profinet y Modbus RS-232 para la conexión de sus sistemas de control industrial (ICS). Sin embargo, aún no cuentan con sensores de vibración instalados que permitan implementar un sistema de mantenimiento predictivo. Para abordar esta necesidad, se propone la integración de sensores de vibración con tecnología IIoT, complementados por gateways y plataformas en la nube que facilitarán el análisis de datos y la supervisión del MIXER 1.

En la Figura 38, se presenta un esquema que ilustra la interacción entre los diferentes actores, usuarios y sistemas digitales involucrados en el sistema propuesto. Este diagrama destaca cómo los elementos clave, incluyendo al Jefe de Mantenimiento, Supervisor de Planta, Operador del MIXER 1 y el Personal de Mantenimiento, interactúan con el sistema IIoT para supervisar y controlar entidades físicas como el MIXER 1. La implementación contempla sensores de vibración, gateways, plataformas en la nube e interfaces de usuario como componentes fundamentales.

Con esta estructura, se asegura una integración eficiente entre las entidades digitales y físicas, optimizando no solo el monitoreo y control en tiempo real, sino también el mantenimiento predictivo, mejorando así la operatividad de la planta y minimizando tiempos de inactividad.

**Figura 38**

*Diagrama de flujo en la vista de uso*



**Nota:** El esquema muestra la interacción entre los usuarios, sistemas digitales y entidades físicas para la implementación del sistema IIoT en el monitoreo del MIXER 1. Adaptado de la Figura 6 del marco teórico.

Después de observar el diagrama en la Figura 38, se puede apreciar cómo interactúan los diferentes componentes dentro del sistema IIoT propuesto para el monitoreo del MIXER 1. Este esquema destaca la integración entre los usuarios, los sistemas IIoT y las entidades físicas, asegurando una interacción fluida y efectiva entre todos los elementos necesarios para optimizar las operaciones de mantenimiento y monitoreo.

A continuación, se procederá a explicar cada uno de estos elementos. En primer lugar, se describirán los usuarios clave involucrados en el sistema, incluyendo sus roles y responsabi-

lidades que reflejan su interacción con el sistema. Posteriormente, se abordará la funcionalidad de los sistemas IIoT, destacando su importancia en la captura y transmisión de datos. Finalmente, se analizarán las entidades físicas que forman parte del sistema, con un enfoque particular en el MIXER 1 como eje central de la solución propuesta.

## 1. Usuarios

En el contexto de la propuesta de monitoreo IIoT para el MIXER 1, los actores principales desempeñan roles fundamentales para garantizar la operatividad del sistema y su alineación con los objetivos estratégicos de la planta. Estos actores son:

### a) **Jefe de área:**

- Tiene una visión general del funcionamiento de la planta.
- Aunque no interactúa directamente con el sistema de monitoreo, recibe informes periódicos o alertas críticas que afectan la producción, permitiéndole tomar decisiones informadas.

### b) **Jefes de turno:**

- Son responsables de la operatividad durante su turno específico.
- Reciben alertas y notificaciones en tiempo real del sistema IIoT, lo que les permite coordinar con el supervisor y el personal de mantenimiento para resolver anomalías detectadas de manera oportuna.

### c) **Programador (Mantenimiento/Producción):**

- Encargado de programar los mantenimientos y las paradas de producción.
- Utiliza los datos de vibración para ajustar cronogramas y optimizar los tiempos de mantenimiento, asegurándose de que no haya interrupciones innecesarias en las operaciones.

### d) **Supervisor de producción:**

- Directamente involucrado en las operaciones diarias de la planta.

- Coordina con los operadores y el personal de mantenimiento para solucionar problemas reportados.
- Su acceso al sistema debe permitirle visualizar tendencias y comparaciones de datos históricos para tomar decisiones estratégicas.

*e)* **Operador del MIXER 1:**

- Responsable de la operación directa del MIXER 1.
- Aunque no tiene acceso directo a los datos de vibración, recibe notificaciones y alertas a través del supervisor, asegurando que pueda actuar según las recomendaciones.

*f)* **Personal de mantenimiento:**

- Responsable de atender alertas y realizar intervenciones correctivas o preventivas en las máquinas.
- Arreglan fallas detectadas en las máquinas según las órdenes del jefe de área o jefe de turno.
- También pueden informar sobre el mal funcionamiento de las máquinas basándose en las alerta proporcionadas por el sistema.

## 2. Sistema IIoT

El sistema IIoT propuesto incorpora diversos componentes esenciales para asegurar su operatividad. Entre estos, se encuentran los sensores de vibración para la recopilación de datos, un gateway que centraliza la información, una plataforma en la nube que facilita el almacenamiento seguro y el análisis de los datos, y una interfaz de usuario fácil de usar para la visualización de la información. Esta integración garantiza una conectividad eficaz entre los elementos, optimizando el mantenimiento predictivo y favoreciendo la toma de decisiones fundamentada en datos en tiempo real.

## 3. Entidades Físicas

Las entidades físicas incluyen el MIXER 1, que es el equipo crítico sujeto a monitoreo, y los sensores de vibración instalados en puntos estratégicos. Estos sensores son los

encargados de captar las señales de vibración que luego serán procesadas y analizadas para diagnosticar el estado del equipo. A través de esta infraestructura, se garantiza un monitoreo continuo y preciso, indispensable para prevenir fallos y optimizar las operaciones.

Después de haber identificado y descrito a los usuarios clave, los componentes del sistema IIoT y las entidades físicas involucradas, se puede observar cómo cada uno de estos elementos se integra para garantizar la funcionalidad y el éxito del sistema propuesto.

Los usuarios, desde el Jefe de Área hasta el Personal de Mantenimiento, desempeñan roles específicos que aseguran la operatividad y el monitoreo del MIXER 1. Por otro lado, el sistema IIoT actúa como el núcleo tecnológico, interconectando sensores, plataformas y interfaces que habilitan la captura y análisis de datos en tiempo real. Finalmente, las entidades físicas, como el MIXER 1 y los sensores de vibración, son los puntos focales del monitoreo, donde se generan los datos críticos para el mantenimiento predictivo.

A partir de esta estructura, se presentan los casos de uso que detallan las interacciones específicas entre los elementos de la Figura 38, describiendo escenarios prácticos y estratégicos que aseguran la funcionalidad y la alineación con los objetivos organizacionales. Estos casos de uso no solo destacan las necesidades operativas actuales, sino que también muestran cómo el sistema responde a desafíos y oportunidades dentro de la planta. A continuación, se desarrollan los casos de uso más relevantes.

La integración entre usuarios, el sistema IIoT y las entidades físicas no solo establece un flujo de trabajo eficiente, sino que también define interacciones específicas que permiten alcanzar los objetivos estratégicos y operativos del sistema de monitoreo de vibraciones del MIXER 1. Estas interacciones, traducidas en casos de uso, representan escenarios clave que reflejan cómo los actores principales aprovechan las capacidades del sistema para garantizar un funcionamiento continuo y seguro.

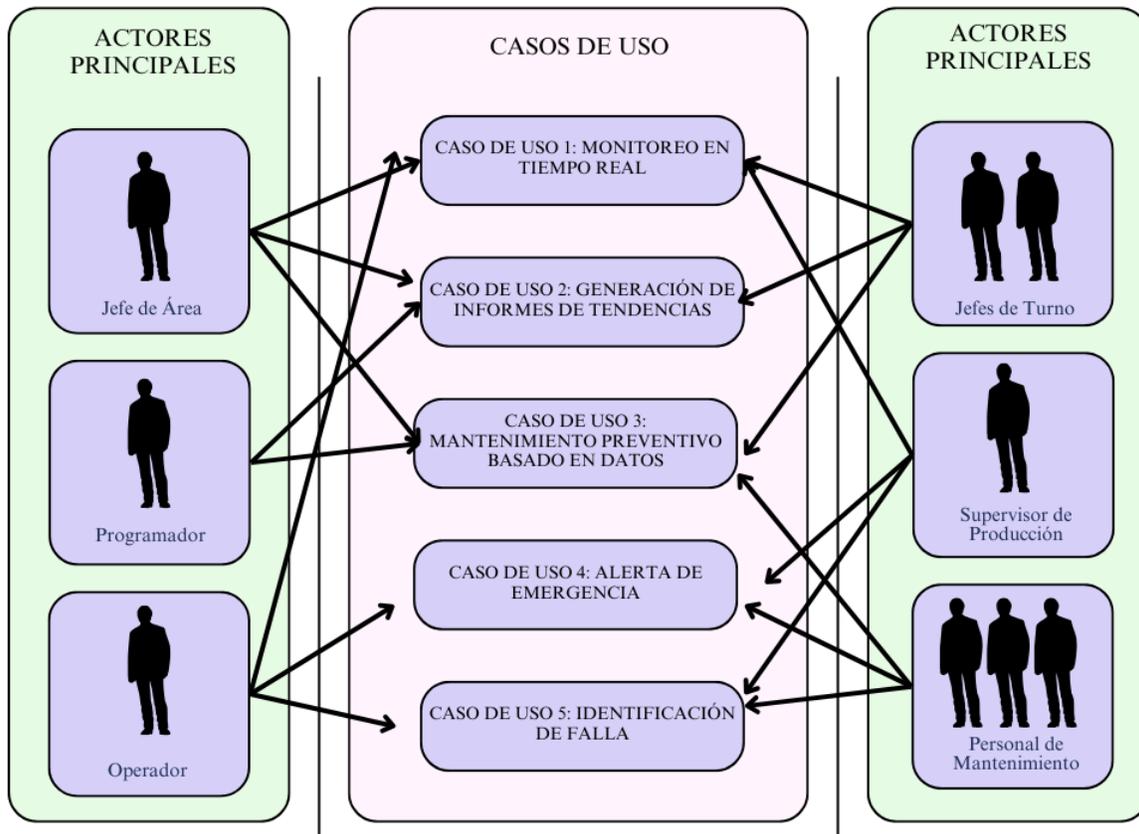
En este contexto, los casos de uso detallan las tareas y responsabilidades que los usuarios desempeñan dentro del sistema, así como los beneficios esperados de cada interacción. Estos casos abarcan actividades esenciales como el monitoreo en tiempo real, la generación de informes, y el mantenimiento preventivo, asegurando que cada actor tenga un rol definido en la operatividad del MIXER 1.

A continuación, en la Figura 39, se presenta el diagrama de la jerarquía de los casos de

uso, el cual muestra las relaciones entre los actores principales y las tareas que realizan dentro del sistema. Este diagrama sirve como base para analizar y comprender cómo se estructuran y conectan estas interacciones en el marco del sistema de monitoreo.

**Figura 39**

*Diagrama de la jerarquía de los casos de uso*



**Nota:** Este diagrama representa la estructura jerárquica de los casos de uso, destacando las interacciones entre los actores principales y las tareas asociadas dentro del sistema de monitoreo del MIXER 1.

Después de analizar el diagrama de la jerarquía de los casos de uso, se evidencia cómo los actores principales interactúan con el sistema de monitoreo para llevar a cabo tareas críticas que garantizan el funcionamiento óptimo del MIXER 1. Estas interacciones, distribuidas entre los diferentes niveles de responsabilidad, aseguran que cada etapa del proceso esté alineada con los objetivos del sistema propuesto.

Además de definir estas interacciones, es importante destacar las tareas específicas y los roles que cada actor desempeña dentro del sistema. Estas tareas y roles no solo reflejan sus responsabilidades dentro del flujo operativo, sino que también muestran cómo su participación contribuye al éxito de cada caso de uso.

A continuación, se presentarán en detalle los casos de uso identificados, destacando los siguientes elementos: el Actor principal, quien lidera la interacción; las Tareas y Roles, que especifican las responsabilidades clave de los actores; la Descripción, que define el propósito del caso de uso; la Interacción, que detalla los pasos clave en la ejecución del caso; y el Resultado esperado, que resume los beneficios o resultados obtenidos. Este análisis integral permitirá comprender cómo cada caso de uso contribuye a los objetivos generales del sistema y al éxito operativo del MIXER 1.

## 1. Caso de Uso 1: Monitoreo en Tiempo Real

Este caso de uso es crucial para mantener el rendimiento óptimo del MIXER 1, ya que permite a los actores principales identificar problemas en tiempo real y tomar medidas correctivas antes de que ocurran fallas graves. La capacidad de monitorear continuamente los niveles de vibración garantiza que las operaciones se mantengan dentro de los parámetros establecidos, lo que minimiza los riesgos y aumenta la eficiencia.

- **Actor principal:** Supervisor de producción, Operador, Jefe de área, Jefe de turno.
- **Tareas clave:**
  - **Supervisor de producción:** Monitorea en tiempo real los datos de vibración desde el dashboard y coordina acciones con el operador y el personal de mantenimiento en caso de alertas.
  - **Operador:** Supervisa directamente la operación del MIXER 1 y reporta cualquier anomalía detectada a través del sistema.
  - **Jefe de área o de turno:** Generan el informe del MIXER 1 con las notificaciones recibidas.
- **Descripción:** El supervisor y el operador utilizan el sistema de monitoreo en tiempo real para verificar continuamente los niveles de vibración de los componentes clave del MIXER 1. Esta supervisión constante garantiza que las operaciones

permanezcan dentro de los límites establecidos, minimizando la probabilidad de interrupciones no planificadas.

■ **Interacción:**

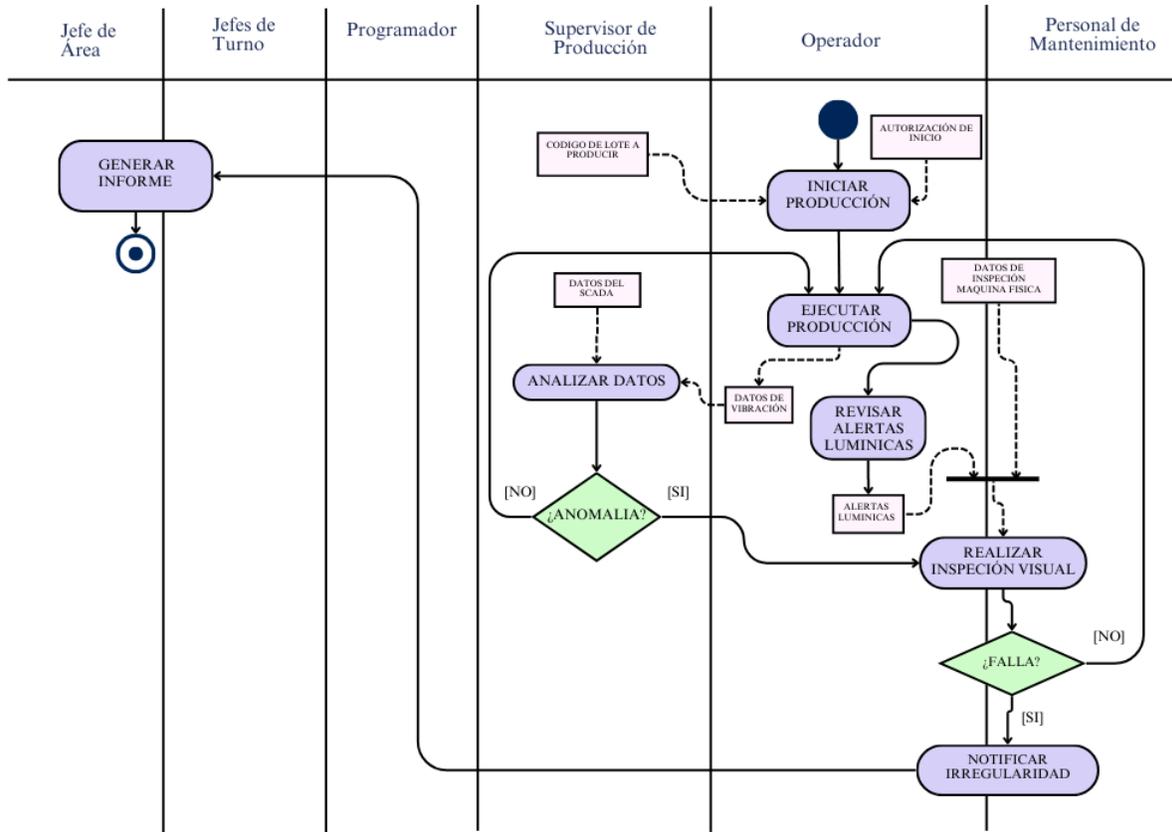
- a) Acceder a la plataforma en la nube mediante la red Profibus/Profinet.
- b) Visualizar un dashboard en tiempo real que muestra los valores actuales de vibración.
- c) Recibir alertas automáticas cuando los valores de vibración superan los umbrales críticos definidos.
- d) Informar al jefe de área o de turno sobre condiciones críticas de vibración para tomar decisiones inmediatas.

- **Resultado esperado:** El sistema de monitoreo permite al supervisor y al operador responder rápidamente a condiciones críticas, notificando al jefe de área o turno para tomar decisiones informadas. Esto puede incluir la detención temporal del MIXER 1 o la continuación de las operaciones, dependiendo de la gravedad de la alerta detectada.

Como complemento, la Figura 40 muestra un diagrama detallado de la jerarquía de este caso de uso, ilustrando las interacciones entre los actores principales y las etapas fundamentales para realizar este proceso.

**Figura 40**

*Diagrama de actividades del caso de uso 1*



**Nota:** Este diagrama detalla las interacciones entre los actores principales y las tareas específicas involucradas en el monitoreo en tiempo real del MIXER 1.

## 2. Caso de Uso 2: Generación de Informes de Tendencias

Este caso de uso resulta fundamental para el análisis a largo plazo del comportamiento del MIXER 1, ya que proporciona información estratégica que complementa el monitoreo en tiempo real. A través de estos informes, los actores principales pueden identificar patrones anormales de vibración, anticiparse a posibles fallos y optimizar las estrategias de mantenimiento preventivo.

- **Actor principal:** Jefe de área, Jefe de turno y Programador.

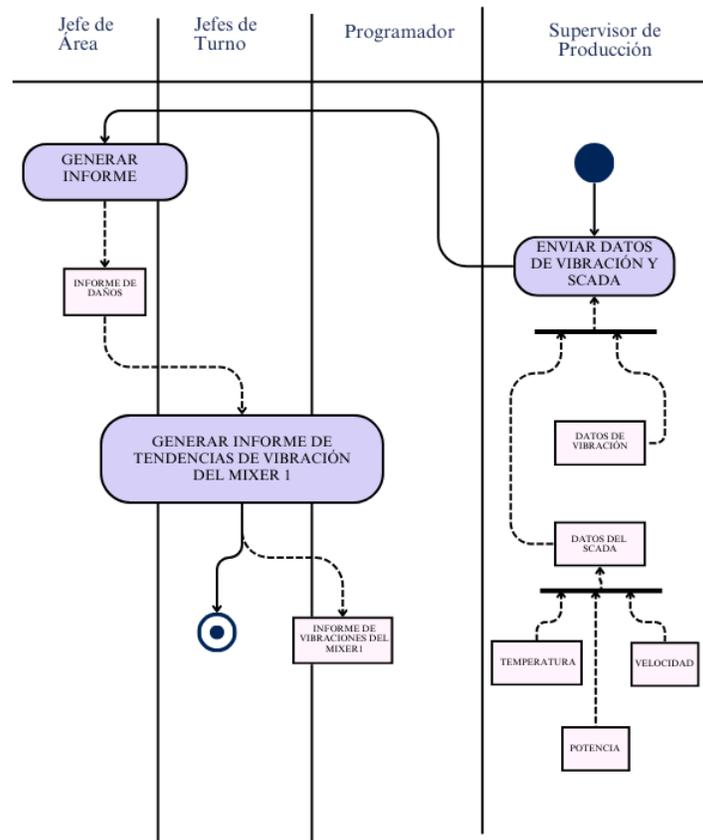
- **Tareas clave:**
  - **Jefe de área:** Supervisa el análisis de los informes semanales y toma decisiones estratégicas basadas en los datos de tendencias.
  - **Jefe de turno:** Revisa las tendencias detectadas durante su turno y coordina acciones inmediatas en caso de anomalías significativas.
  - **Programador:** Configura la generación automática de los informes y analiza las tendencias para identificar áreas críticas que requieren atención prioritaria.
  - **Supervisor de producción:** Envía los datos de vibración y SCADA que genere el MIXER 1 para la generación del informe.
  
- **Descripción:** Este proceso implica la generación automatizada de informes semanales que contienen gráficos detallados de las tendencias de vibración acumuladas. Estos informes son revisados por los actores principales para identificar patrones fuera de lo normal, como vibraciones elevadas o irregularidades significativas que podrían indicar deterioro progresivo de los componentes.
  
- **Interacción:**
  - a) Generar automáticamente un informe semanal con gráficos de tendencias detallados.
  - b) Revisar el informe en busca de patrones fuera de lo normal, como incrementos graduales en los niveles de vibración.
  - c) Enviar recomendaciones al equipo de mantenimiento para implementar acciones correctivas o preventivas basadas en los datos recopilados.
  
- **Resultado esperado:** La generación de informes de tendencias proporciona una visión integral del comportamiento del MIXER 1, ayudando a anticipar problemas críticos antes de que ocurran y optimizando las estrategias de mantenimiento. Este enfoque reduce los tiempos de inactividad no planificados y asegura una operación más eficiente y sostenible.

La Figura 41 proporciona un diagrama jerárquico que detalla los pasos específicos e

interacciones clave de este caso de uso, ilustrando cómo los actores principales colaboran en la generación y análisis de los informes de tendencias.

**Figura 41**

*Diagrama de actividades del caso de uso 2*



**Nota:** Este diagrama muestra las interacciones clave entre los actores principales y los pasos necesarios para generar informes de tendencias semanales en el MIXER 1.

### 3. Caso de Uso 3: Mantenimiento Preventivo Basado en Datos

Este caso de uso es esencial para anticipar fallos potenciales en el MIXER 1 mediante el análisis de datos históricos, lo que optimiza los ciclos de mantenimiento y reduce significativamente los riesgos de paradas no planificadas.

- **Actor principal:** Programador, Jefe de área, Jefe de turno, Personal de manteni-

miento.

■ **Tareas clave:**

- **Programador de mantenimiento:** Responsable de analizar los datos históricos de vibración, identificar patrones de desgaste en los componentes y planificar las acciones preventivas necesarias.
- **Jefe de área:** Supervisa las recomendaciones del programador y valida las prioridades de mantenimiento para asegurar que estén alineadas con los objetivos estratégicos de la planta.
- **Jefe de turno:** Coordina las acciones de mantenimiento preventivo durante su turno, asegurando la implementación adecuada de las tareas programadas.
- **Personal de mantenimiento:** Realiza la reparación del MIXER 1 acorde a la orden de trabajo planificado por el programador, Jefe de área o Jefe de turno.

- **Descripción:** A través del análisis de datos históricos, el programador puede detectar patrones de vibración anormales que indiquen desgaste o fallos incipientes en los componentes del MIXER 1. Basándose en estos indicadores, los actores principales planifican y ejecutan mantenimientos preventivos que minimizan riesgos y maximizan la eficiencia operativa.

■ **Interacción:**

- a) Acceder a la plataforma de monitoreo para revisar tendencias de vibración registradas en las semanas anteriores.
- b) Identificar componentes específicos con patrones anormales o señales de desgaste acumulado.
- c) Programar y priorizar tareas de mantenimiento preventivo para evitar fallos críticos, optimizando el uso de recursos.

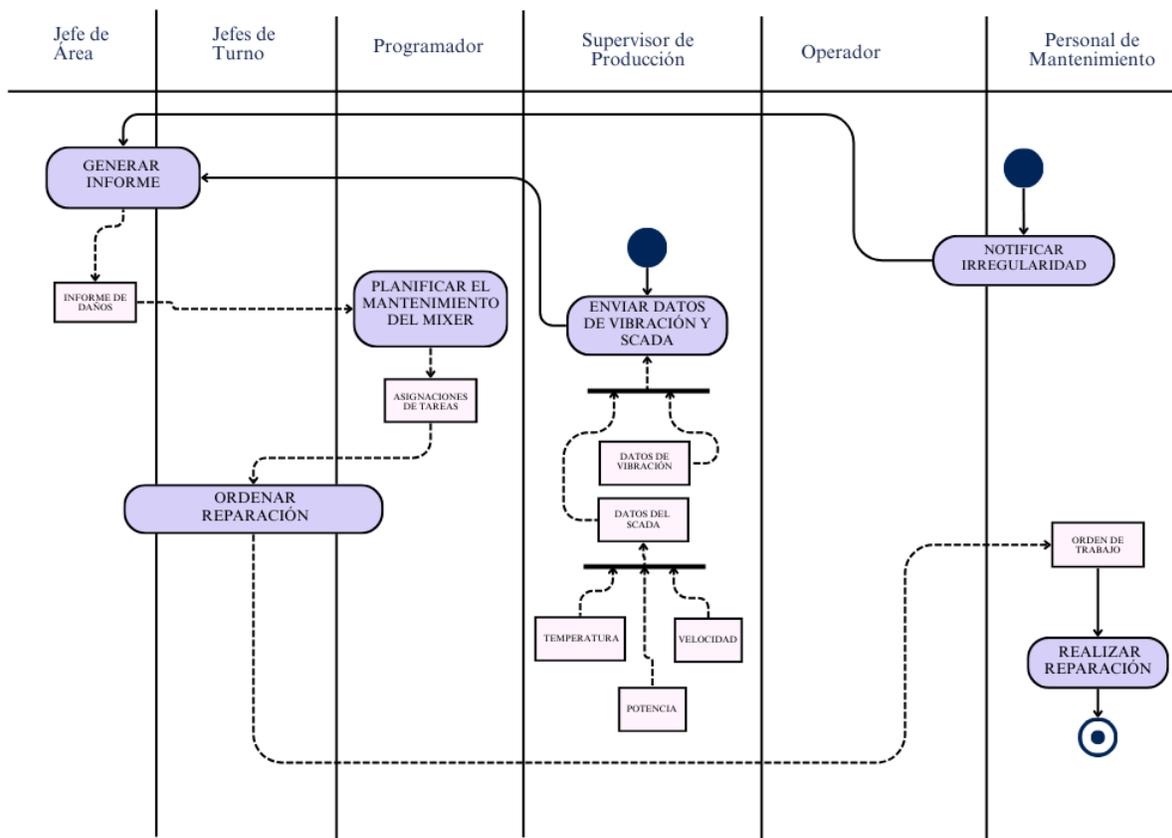
- **Resultado esperado:** Las tareas de mantenimiento preventivo se llevan a cabo de forma efectiva, prolongando la vida útil de los equipos y reduciendo al mínimo las interrupciones no planificadas en la producción. Esto asegura un entorno operativo

seguro, confiable y de alta eficiencia.

La Figura 42 muestra los pasos específicos y las interacciones jerárquicas entre los actores participantes en este caso de uso, resaltando la relevancia de un enfoque fundamentado en datos para el mantenimiento preventivo.

**Figura 42**

*Diagrama de actividades del caso de uso 3*



**Nota:** Este diagrama ilustra los pasos necesarios y las interacciones clave para realizar un mantenimiento preventivo basado en datos en el MIXER 1.

#### 4. Caso de Uso 4: Alerta de Emergencia

Este caso de uso es crucial para responder de manera inmediata a eventos críticos detectados por el sistema de monitoreo, protegiendo tanto el equipo como el flujo

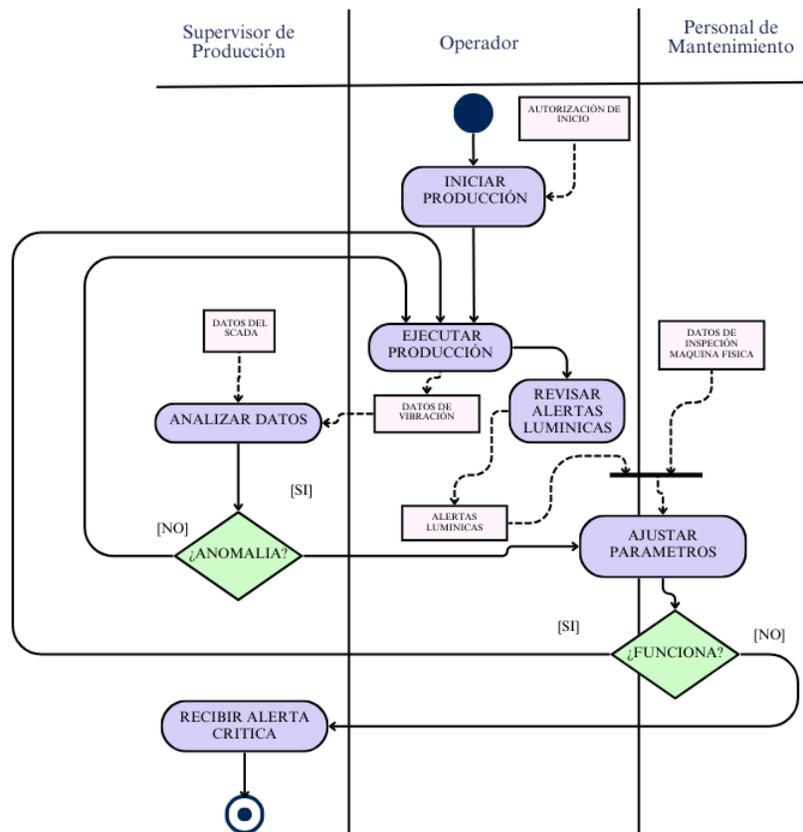
continuo de la producción.

- **Actor principal:** Supervisor de producción, Operador, Personal de mantenimiento.
- **Tareas clave:**
  - **Supervisor de producción:** Recibe la alerta crítica, evalúa la gravedad del evento y toma decisiones inmediatas sobre la necesidad de detener el MIXER 1 o continuar la operación bajo supervisión estricta.
  - **Operador:** Ejecuta las instrucciones del supervisor, deteniendo el equipo o ajustando parámetros operativos según sea necesario.
  - **Personal de mantenimiento:** Realiza una evaluación detallada del problema identificado, programando o llevando a cabo intervenciones correctivas en el menor tiempo posible.
- **Descripción:** El sistema de monitoreo genera automáticamente una alerta crítica cuando detecta niveles de vibración que superan los umbrales establecidos. Esta alerta activa un protocolo de respuesta en el que los actores principales deben actuar de manera coordinada para minimizar riesgos y prevenir daños graves.
- **Interacción:**
  - a) El sistema genera una alerta crítica que se comunica al supervisor de producción.
  - b) El supervisor evalúa la situación y notifica al operador para detener el MIXER 1 si considera que la alerta requiere una acción inmediata.
  - c) El personal de mantenimiento recibe la notificación para analizar los datos de vibración y llevar a cabo una intervención urgente que solucione el problema identificado.
- **Resultado esperado:** La operación del MIXER 1 se detiene de manera controlada antes de que ocurra un daño significativo. Esto reduce los costos asociados con reparaciones mayores, protege la integridad del equipo y garantiza la seguridad del personal involucrado, manteniendo la continuidad operativa a largo plazo.

La Figura 43 detalla el flujo de acciones y responsabilidades de los actores involucrados en este caso de uso, destacando la importancia de una comunicación efectiva y oportuna entre los diferentes niveles jerárquicos.

**Figura 43**

*Diagrama de actividades del caso de uso 4*



**Nota:** Este diagrama ilustra los pasos críticos y las interacciones clave para manejar una alerta de emergencia en el MIXER 1.

## 5. Caso de Uso 5: Identificación de Falla

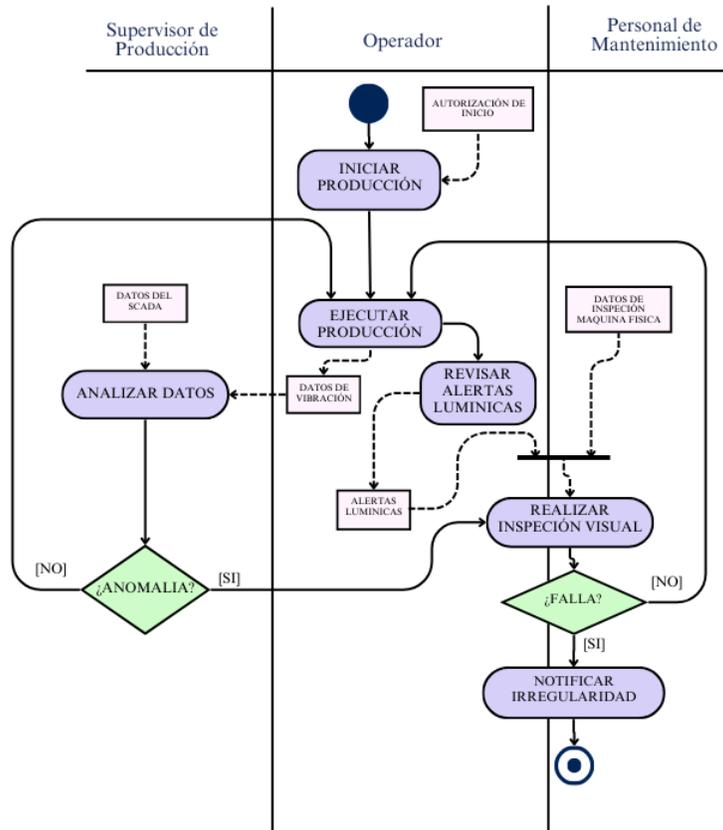
Este caso de uso aborda el diagnóstico preciso de fallas tras la emisión de una alerta crítica, facilitando intervenciones de mantenimiento rápidas y efectivas para minimizar interrupciones y costos asociados.

- **Actor principal:** Personal de mantenimiento, Operador, Supervisor de producción.
- **Tareas clave:**
  - **Personal de mantenimiento:** Analiza los datos registrados y realiza inspecciones físicas para localizar el origen de la falla. Luego, lleva a cabo reparaciones o reemplazos de los componentes dañados.
  - **Operador:** Asiste al personal de mantenimiento proporcionando información operativa y, en caso necesario, realiza ajustes inmediatos para estabilizar las operaciones.
- **Descripción:** Después de una alerta crítica, el personal de mantenimiento y el operador colaboran para identificar la falla. Este proceso incluye el análisis de los datos de vibración históricos y en tiempo real, complementado con inspecciones físicas detalladas de los componentes sospechosos.
- **Interacción:**
  - a) Analizar los datos de vibración para identificar irregularidades y patrones anormales en componentes específicos.
  - b) Realizar una inspección física detallada para confirmar el origen de la falla y determinar el alcance del daño.
  - c) Notificar al jefe de área o turno sobre los hallazgos, especificando el componente afectado y recomendando acciones correctivas, como reemplazos o reparaciones.
- **Resultado esperado:** La falla es identificada y resuelta de manera eficiente, permitiendo que el MIXER 1 vuelva a operar en condiciones óptimas. Este enfoque minimiza los tiempos de inactividad y reduce los costos asociados con interrupciones prolongadas, mientras se preserva la integridad del equipo y se garantiza la continuidad operativa.

La Figura 44 presenta un esquema detallado de las acciones e interacciones involucradas en este caso de uso, destacando los flujos de información y tareas críticas.

**Figura 44**

*Diagrama de actividades del caso de uso 5*



**Nota:** Este diagrama muestra los pasos clave y las interacciones necesarias para identificar y resolver una falla en el MIXER 1.

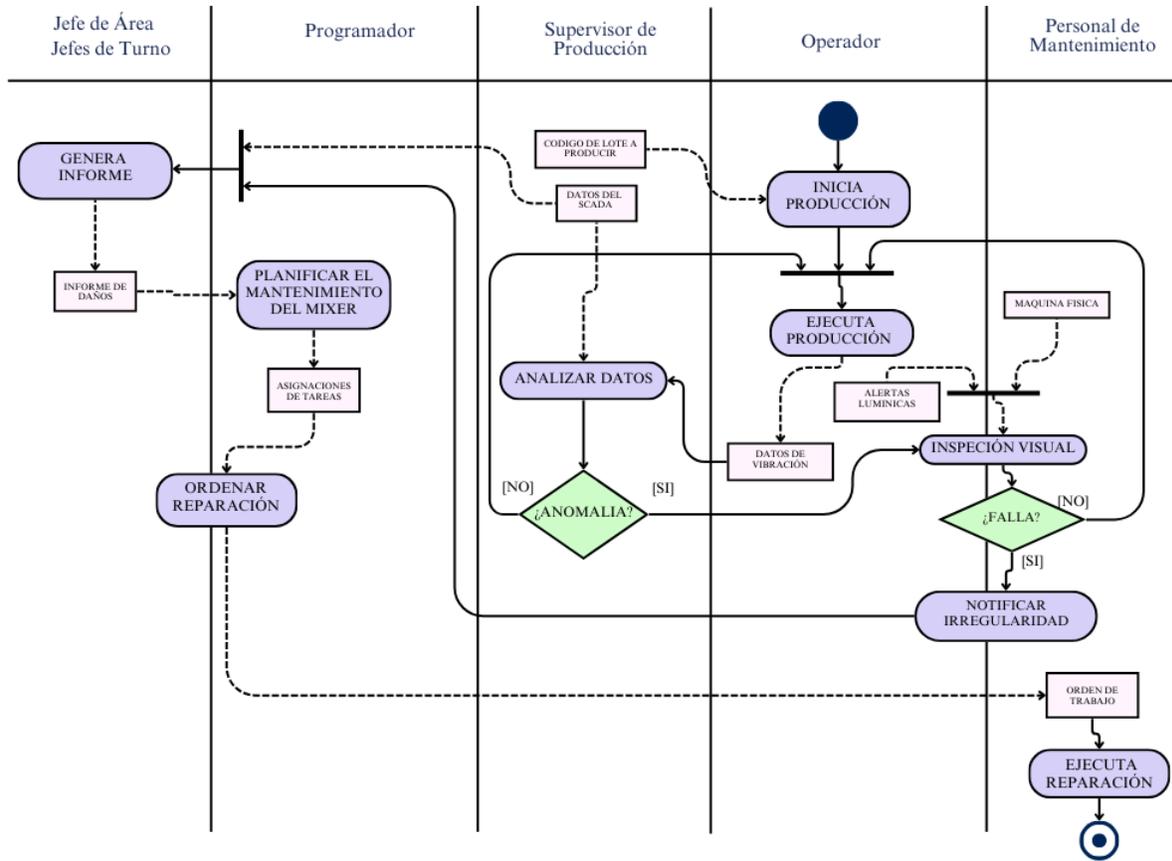
Tras detallar cada uno de los cinco casos de uso, se observa que estas interacciones son esenciales para asegurar el adecuado funcionamiento del sistema de monitoreo de vibraciones del MIXER 1. Cada caso aborda un aspecto particular del proceso, desde el monitoreo en tiempo real hasta la reparación de fallas, garantizando una integración efectiva entre los actores involucrados y el sistema IIoT. La integración de estos casos no solo mejora las operaciones diarias, sino que también fortalece la capacidad de la planta para anticipar y solucionar problemas antes de que se transformen en interrupciones críticas.

En la Figura 45, se presenta un diagrama que combina todos los casos de uso descritos en

un solo flujo integral. Este esquema muestra cómo los diferentes actores y procesos interactúan para formar un sistema robusto y eficiente, resaltando la importancia de la colaboración entre los usuarios y las herramientas tecnológicas disponibles.

**Figura 45**

*Diagrama general de los casos de uso*



**Nota:** Este diagrama integra los cinco casos de uso presentados, destacando las interacciones entre los actores principales y las tareas clave necesarias para garantizar el funcionamiento eficiente del sistema de monitoreo del MIXER 1.

Después de analizar los cinco casos de uso presentados e integrarlos en el diagrama general de la Figura 45, se puede apreciar cómo las interacciones entre los actores principales y las tareas clave garantizan el funcionamiento eficiente del sistema de monitoreo del MIXER 1. Cada caso de uso aborda aspectos específicos del sistema, desde el monitoreo en tiempo real hasta la identificación y resolución de fallas, asegurando que cada nivel de responsabilidad

contribuya al cumplimiento de los objetivos operativos y estratégicos.

Este enfoque integral no solo facilita una gestión eficaz de las operaciones diarias, sino que también crea una base robusta para la expansión futura del sistema, optimizando la capacidad de respuesta, la prevención de fallos y la continuidad operativa. Además, la interacción entre los usuarios y el sistema IIoT garantiza que las decisiones se tomen con base en datos precisos y en tiempo real.

Con esta base establecida en el punto de vista del uso, el análisis avanza hacia la vista funcional, que se centrará en las capacidades técnicas del sistema, como la captura de datos, el análisis predictivo y la generación de informes, asegurando que cada componente cumpla con los requisitos definidos para el éxito del sistema. A continuación, se describirá cómo estas capacidades funcionales son diseñadas y alineadas con los objetivos generales del proyecto.

### **6.5.3. Punto de Vista Funcional**

La vista funcional en el contexto de la propuesta de implementación para el monitoreo de vibraciones del MIXER 1 en Continental Tire Andina se enfoca en las capacidades específicas y la estructura necesaria para integrar un sistema IIoT eficaz. Este enfoque permite detallar cómo cada componente contribuye al objetivo general del sistema, asegurando que las interacciones entre ellos sean claras y efectivas.

Para lograr esto, se ha desglosado el sistema en cinco dominios funcionales, cada uno representando una parte crucial del sistema. Esta descomposición no solo facilita la comprensión del funcionamiento integral del sistema, sino que también permite identificar con precisión los requisitos técnicos y operativos de cada área involucrada.

A continuación, se presentan los cinco dominios funcionales que estructuran el sistema IIoT propuesto:

#### **1. Dominio de Control y Monitoreo**

El dominio de Control y Monitoreo es clave para asegurar la supervisión efectiva del MIXER 1 mediante la adquisición de datos en tiempo real. En este caso específico, al tratarse de una tecnología centrada en el monitoreo de vibraciones, no se incluye un sistema de control directo hacia un actuador. En su lugar, este dominio se enfoca en capturar, procesar y transmitir información crítica que respalda la toma de decisiones

operativas.

Dentro de este dominio se destacan los siguientes elementos esenciales:

- **Sensores IoT:** Se propone el uso de sensores IoT para capturar datos de vibración en tiempo real desde los componentes clave del MIXER 1, permitiendo su integración directa con la arquitectura IIoT y proporcionando información precisa y confiable para el monitoreo continuo.
- **Gateway IIoT:** Actúa como un puente entre los sensores y el sistema central, centralizando la información capturada y garantizando su transmisión eficiente y segura.
- **PLC Local:** Procesa los datos a nivel local y supervisa las condiciones inmediatas del equipo, lo que permite respuestas rápidas ante cualquier anomalía.
- **PLC Principal:** Integra los datos de múltiples PLC locales para ofrecer una visión completa del sistema, lo que facilita la coordinación y el análisis centralizado.
- **Interfaz de Usuario (Computadoras):** Proporciona una plataforma intuitiva para que los usuarios visualicen los datos recopilados, identifiquen tendencias y tomen decisiones informadas en tiempo real.

Retomando la Figura 7, el diagrama del dominio de Control y Monitoreo muestra cómo los componentes principales interactúan para garantizar un monitoreo eficiente del MIXER 1. El Control y Monitoreo coordina las operaciones generales, mientras que el Gateway con tecnología IIoT procesa y transmite los datos capturados por los sensores IoT. Estos sensores recopilan información en tiempo real, permitiendo identificar anomalías y mejorar la eficiencia mediante estrategias de mantenimiento predictivo.

## 2. Dominio de Gestión del Sistema

El dominio de Gestión del Sistema en el MIXER 1 de Continental Tire Andina no solo se enfoca en la operación eficiente de un sensor de vibración individual, sino que amplía su alcance para integrar datos provenientes de múltiples sensores instalados en diferentes componentes. Esta integración permite un análisis más amplio, optimizando la eficiencia operativa y la planificación del mantenimiento en toda la planta. Al combinar datos de diferentes áreas, se maximizan los recursos disponibles, lo que resulta en la reducción de

costos de mantenimiento y tiempos de inactividad.

Retomando la Figura 7, el Dominio de Gestión del Sistema se encarga de organizar y supervisar la interacción de los componentes clave necesarios para garantizar un monitoreo eficiente y una administración integral del sistema. Este dominio se divide en dos elementos principales:

- **Coordinación y gestión:** Asegura que los sensores, el Gateway IIoT, la plataforma en la nube y las interfaces de usuario operen de manera sincronizada. Este nivel de integración permite identificar patrones y tomar decisiones basadas en datos, optimizando las operaciones de mantenimiento.
- **Ciclo de vida del sistema:** Incluye todas las etapas desde la concepción hasta la desactivación del sistema. Estas etapas abarcan:
  - a) **Concepción y planificación:** Definición de los requisitos del sistema y diseño de la solución para monitoreo de vibraciones.
  - b) **Instalación:** Colocación estratégica de sensores y el Gateway IIoT en el MIXER 1.
  - c) **Operación:** Monitoreo en tiempo real para detectar irregularidades y tendencias de vibración.
  - d) **Mantenimiento:** Realización de inspecciones y ajustes periódicos para mantener la eficiencia del sistema.
  - e) **Desactivación:** Retiro seguro del sistema al final de su vida útil, garantizando una transición eficiente hacia nuevas tecnologías o sistemas.

Este enfoque integral asegura que el dominio de gestión del sistema no solo cumpla con sus objetivos inmediatos, sino que también sea escalable y adaptable a futuras necesidades operativas de la planta.

### 3. Dominio de Información

El dominio de Información juega un papel crucial en la implementación del sistema IIoT para el monitoreo del MIXER 1, ya que garantiza que los datos recopilados sean

almacenados, procesados y utilizados eficientemente para apoyar la toma de decisiones estratégicas. Este dominio abarca tanto el almacenamiento local como el acceso remoto, asegurando un manejo flexible y seguro de la información.

Retomando la Figura 7, el Dominio de Información gestiona y organiza los datos generados dentro del sistema IIoT, asegurando un flujo eficiente y seguro para el monitoreo del MIXER 1. Este dominio se compone de dos elementos principales:

■ **Gestión de Datos:**

- **Almacenamiento Interno:** Los datos recopilados por los sensores de vibración se almacenan en un servidor interno ubicado dentro de la planta. Este servidor está configurado con carpetas compartidas que solo son accesibles para personal autorizado, como el jefe de área, jefes de turno y supervisores. Esto asegura un control adecuado del flujo de información y protege la confidencialidad de los datos.
- **Servicio de Nube:** Se propone la integración de un servicio en la nube proporcionado por el fabricante del sistema IIoT, diseñado específicamente para almacenar y gestionar las señales de vibración capturadas. Este almacenamiento permite mantener copias de seguridad de los datos críticos y proporcionar acceso remoto a la información. Este enfoque híbrido mejora la redundancia y la flexibilidad en la gestión de datos, permitiendo al equipo acceder a ellos de manera segura desde cualquier lugar y en cualquier momento.

■ **Analítica de Datos:**

- Los datos almacenados no solo se conservan, sino que también son analizados utilizando algoritmos avanzados. Estos algoritmos permiten identificar patrones de vibración anormales que puedan sugerir problemas potenciales, como desgaste de componentes o desbalanceo.
- La información procesada se utiliza para planificar mantenimientos preventivos, permitiendo al equipo de mantenimiento actuar de manera proactiva antes de que ocurran fallas críticas. Este enfoque mejora la eficiencia operativa y reduce significativamente los tiempos de inactividad no planificados.

Este dominio asegura que la información recopilada sea accesible, segura y procesada eficientemente, desempeñando un papel fundamental en la toma de decisiones estratégicas y en la optimización de las operaciones del MIXER 1.

#### 4. Dominio de Aplicación

El dominio de Aplicación es esencial para traducir los datos generados por el sistema IIoT en herramientas prácticas que permitan una gestión eficiente del MIXER 1. Este dominio se centra en proporcionar interfaces intuitivas y en desarrollar modelos de análisis que ayuden al personal a identificar patrones anómalos en el comportamiento del equipo, facilitando la toma de decisiones informadas.

Retomando la Figura 7, el Dominio de Aplicación se enfoca en las herramientas y modelos disponibles para optimizar la operación y el mantenimiento del MIXER 1. Este dominio incluye:

- **Interfaz de Usuario:**

- Diseñada específicamente para el personal de Continental, esta interfaz permite a los operadores y al equipo de mantenimiento visualizar datos de vibración en tiempo real.
- Proporciona herramientas para gestionar alertas de manera eficiente, asegurando que cualquier anomalía detectada sea atendida de forma inmediata.
- Facilita la generación de informes y gráficos para monitorear tendencias a lo largo del tiempo, mejorando la planificación de mantenimientos.

- **Análisis de Datos:**

- Los algoritmos implementados en este dominio analizan los datos de vibración en tiempo real, identificando patrones anormales que puedan indicar problemas emergentes en el MIXER 1.
- Estos modelos predictivos ayudan a optimizar el mantenimiento, minimizando los riesgos de fallas inesperadas y mejorando la eficiencia operativa.

- **Integración con Otros Sistemas:**

- Este dominio expone APIs que facilitan la integración con sistemas internos de la planta, como el SCADA, permitiendo una visión unificada de las operaciones.
- Esta conectividad asegura que los datos recopilados y analizados puedan ser utilizados en diversos contextos operativos, mejorando el flujo de información y la coordinación entre equipos.

A través de estas funciones, el dominio de Aplicación proporciona una capa práctica y accesible para que los usuarios interactúen con el sistema IIoT, asegurando que las decisiones operativas y estratégicas estén respaldadas por datos precisos y herramientas avanzadas.

## 5. Dominio de Negocios

El dominio de Negocios desempeña un papel estratégico al conectar el sistema IIoT de monitoreo con los procesos empresariales y operativos de Continental Tire Andina. Este dominio integra la lógica empresarial con los sistemas de respaldo que apoyan las operaciones diarias de la planta, garantizando que las decisiones sean informadas y alineadas con los objetivos estratégicos de la organización.

Aunque es un componente importante dentro del enfoque general de la arquitectura IIRA, no será abordado en detalle en este trabajo. Esto se debe a que el objetivo principal de esta tesis está enfocado en los aspectos técnicos y operativos relacionados con el monitoreo de vibraciones del MIXER 1. Por lo tanto, la integración de este dominio con los procesos estratégicos de la organización queda fuera del alcance de este estudio, ya que no afecta directamente la implementación ni el funcionamiento del sistema planteado.

La descripción de los cinco dominios funcionales proporciona una visión clara y estructurada de cómo cada componente del sistema IIoT contribuye al monitoreo eficiente del MIXER 1. Cada dominio desempeña un rol crítico dentro de la arquitectura general, asegurando que las tareas de monitoreo, análisis, integración y toma de decisiones se ejecuten de manera coordinada y efectiva.

Sin embargo, para garantizar que estos dominios operen de manera óptima, es fundamental definir las categorías de requisitos funcionales que deberán cumplir. Estas categorías actúan como un marco de referencia que guía el diseño e implementación del sistema, asegurando que

todas las necesidades operativas, estratégicas y de negocio sean abordadas de forma integral.

A continuación, se detallan las Categorías de Requisitos Funcionales, que encapsulan las capacidades clave necesarias para lograr los objetivos del sistema propuesto y garantizar su alineación con las necesidades de la planta de Continental Tire Andina.

## **Categorías de Requisitos Funcionales**

Además de los dominios identificados, es fundamental definir las categorías de requisitos funcionales que deben ser abordadas en el sistema propuesto. Estas categorías permiten establecer un marco claro para el desarrollo e implementación del sistema, asegurando que todas las necesidades operativas y estratégicas sean cubiertas de manera eficiente.

Las categorías de requisitos funcionales, basadas en el estándar adoptado por Continental Tire Andina, incluyen:

### **1. Monitoreo y Supervisión:**

- Garantizar que el sistema pueda realizar un monitoreo en tiempo real de las vibraciones del MIXER 1.
- Prover alertas tempranas ante desviaciones en los parámetros de vibración establecidos.
- Facilitar la visualización de datos en dashboards intuitivos accesibles para los actores relevantes.

### **2. Gestión de Datos:**

- Asegurar la captura, almacenamiento y transmisión segura de los datos de vibración.
- Permitir el análisis de datos históricos para la identificación de tendencias y patrones.
- Garantizar la disponibilidad y accesibilidad de los datos para el personal autorizado.

### **3. Integración con Sistemas Existentes:**

- Conectar el sistema de monitoreo con sistemas empresariales como ERP, MES y

PLM.

- Integrar alertas y datos clave en el sistema SCADA de la planta.
- Facilitar la interoperabilidad con plataformas de terceros mediante APIs.

#### 4. Seguridad y Confiabilidad:

- Implementar medidas de ciberseguridad para proteger los datos y el acceso al sistema.
- Garantizar que el sistema sea resiliente a fallas y mantenga su operatividad en condiciones críticas.
- Proveer redundancia en el almacenamiento de datos para evitar pérdidas de información.

#### 5. Escalabilidad y Adaptabilidad:

- Diseñar el sistema para permitir la incorporación de nuevos sensores y equipos en el futuro.
- Asegurar que la arquitectura pueda adaptarse a cambios en las necesidades operativas y tecnológicas.

Con la definición de las categorías de requisitos funcionales, se concluye la descripción detallada de la vista funcional del sistema IIoT para el monitoreo de vibraciones del MIXER 1. Esta vista no solo establece los fundamentos operativos y estratégicos, sino que también refuerza la importancia de una integración eficiente entre tecnología, procesos y objetivos empresariales.

A continuación, se presentará la vista de implementación, que detalla cómo se materializarán los componentes y estrategias descritos previamente, enfocándose en las tecnologías específicas, los protocolos de comunicación y los aspectos de seguridad que garantizarán el éxito de la propuesta en el entorno industrial.

#### 6.5.4. Punto de Vista de Implementación

El propósito de esta vista es proporcionar una descripción clara y detallada sobre cómo los componentes de un sistema IIoT serán integrados dentro de la infraestructura existente de la organización. Esto abarca la configuración de hardware, software, redes, protocolos de comunicación y otras tecnologías esenciales, asegurando que todos los elementos trabajen de manera armonizada para alcanzar los objetivos operativos.

El alcance incluye los siguientes aspectos técnicos fundamentales:

- **Hardware:** Selección e instalación de sensores, gateways y otros dispositivos necesarios.
- **Software:** Integración de plataformas y aplicaciones para la gestión y análisis de datos.
- **Conectividad:** Configuración de redes y protocolos de comunicación para garantizar una transmisión de datos eficiente y segura.
- **Seguridad:** Implementación de medidas para proteger los datos y prevenir accesos no autorizados.

A través de esta vista, se busca asegurar que la implementación del sistema IIoT sea eficiente, escalable y sostenible, alineándose con los objetivos estratégicos de Continental Tire Andina. Esto implica no solo la integración adecuada de nuevas tecnologías, sino también la optimización de los recursos existentes para maximizar el rendimiento operativo y minimizar los costos relacionados con el mantenimiento y el tiempo de inactividad.

La implementación se centra en crear un sistema que permita el monitoreo continuo del MIXER 1, asegurando que los datos recopilados por los sensores de vibración sean gestionados de manera adecuada. Este enfoque también abarca la conectividad con plataformas avanzadas que proporcionen análisis predictivo, visualización en tiempo real y generación de alertas oportunas. Además, se prioriza que el sistema sea adaptable a las necesidades futuras de la planta, lo que incluye la posibilidad de integrar más sensores o tecnologías conforme evolucione la operación.

En este contexto, es fundamental identificar tanto los componentes ya existentes como aquellos que se proponen implementar en la planta de Continental Tire Andina. A continuación, se describen los elementos actualmente presentes en la infraestructura, los cuales serán la base para la integración del sistema IIoT propuesto.

- **Propuestos**

- Sensores de Vibración IIoT
- Gateway IIoT
- Interfaz de Usuario (Computadoras)

- **Existentes**

- PLC Local
- PLC Principal

La implementación del sistema IIoT para el monitoreo de vibraciones del MIXER 1 se basa en una arquitectura que combina componentes propuestos y existentes. Esta integración busca aprovechar la infraestructura actual de Continental Tire Andina mientras se incorporan nuevas tecnologías que optimicen el monitoreo, análisis y gestión de datos.

Los componentes propuestos incluyen sensores de vibración IIoT, que permitirán capturar datos en tiempo real; un Gateway IIoT, encargado de centralizar y transmitir la información de los sensores; y una interfaz de usuario, diseñada para ofrecer visualización en tiempo real y gestión de datos históricos. Estos elementos trabajan en conjunto para fortalecer la capacidad de análisis predictivo y mejorar la toma de decisiones.

Por otro lado, los componentes existentes, como el PLC Local y el PLC Principal, se integrarán en la arquitectura propuesta, asegurando la compatibilidad y continuidad de las operaciones actuales. El PLC Local supervisa los equipos cercanos, mientras que el PLC Principal coordina los datos provenientes de múltiples fuentes, proporcionando una visión centralizada de la operación.

A continuación, se describirá en detalle la arquitectura de implementación, diferenciando entre la configuración actual y la propuesta, destacando cómo cada elemento contribuye al cumplimiento de los objetivos estratégicos del sistema.

## **1. Arquitectura de Implementación Actual:**

- **PLC Principal:**

- Conectado mediante Modbus RS-232.
- Coordina y gestiona los datos provenientes de los PLC locales.

## 2. Arquitectura de Implementación Propuesta:

### ■ Sensores de Vibración IIoT:

- Capturan datos de vibración del MIXER 1.
- Conectados a una red inalámbrica a través de un Gateway IIoT.

### ■ Gateway IIoT:

- Recibe datos de los sensores de vibración.
- Transmite los datos a la plataforma en la nube.

### ■ Plataforma en la Nube:

- Almacena y analiza los datos de vibración.
- Proporciona análisis predictivo y genera alertas en tiempo real.

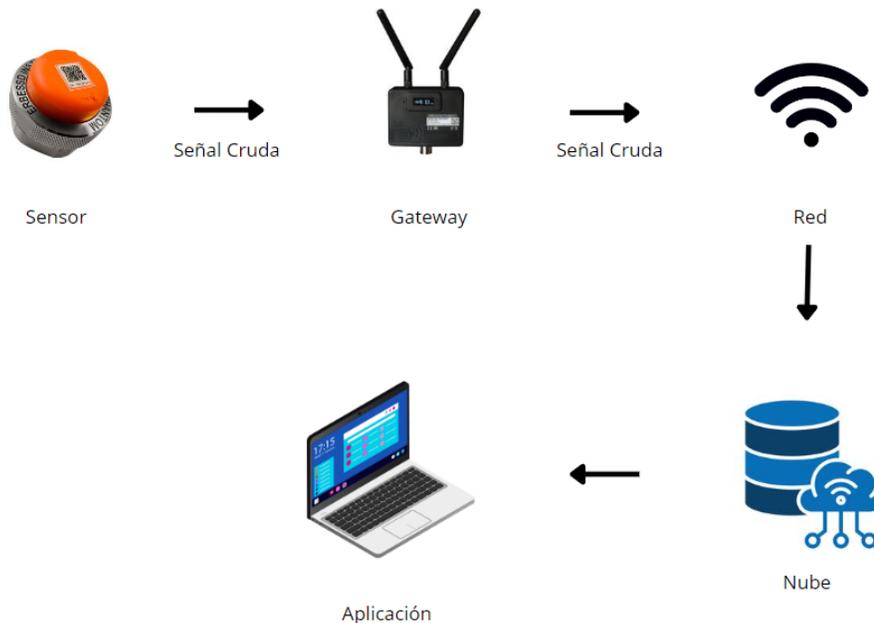
### ■ Interfaz de Usuario (Computadoras):

- Conectadas tanto a la red Profibus/Profinet como a la nube.
- Permiten la visualización en tiempo real y la gestión de datos históricos.

Después de detallar los componentes clave de la propuesta de implementación, es fundamental ofrecer una representación visual que simplifique la comprensión de cómo interactúan estos elementos. A continuación, en la Figura 46, se presenta una representación simple de la arquitectura propuesta, que destaca las conexiones entre los sensores de vibración, el gateway, la nube y las interfaces de usuario. Este esquema permite visualizar, de manera clara y accesible, el flujo de información dentro del sistema IIoT planteado.

**Figura 46**

*Diagrama de Arquitectura de Implementación Propuesta.*



**Nota:** Este diagrama ilustra la arquitectura propuesta para la implementación del sistema IIoT.

Después de presentar la arquitectura actual y la propuesta de implementación, es fundamental entender cómo estos componentes interactúan dentro de los distintos niveles del sistema. La arquitectura de implementación se estructura en tres niveles principales: el nivel de borde, el nivel de plataforma y el nivel de dominio. Esta división permite una organización clara y funcional de los elementos involucrados, maximizando la eficiencia y la escalabilidad del sistema.

En la Figura 47 se presenta la propuesta estructurada en tres niveles principales: borde, plataforma y dominio, cada uno diseñado para garantizar la eficiencia y escalabilidad del sistema IIoT.

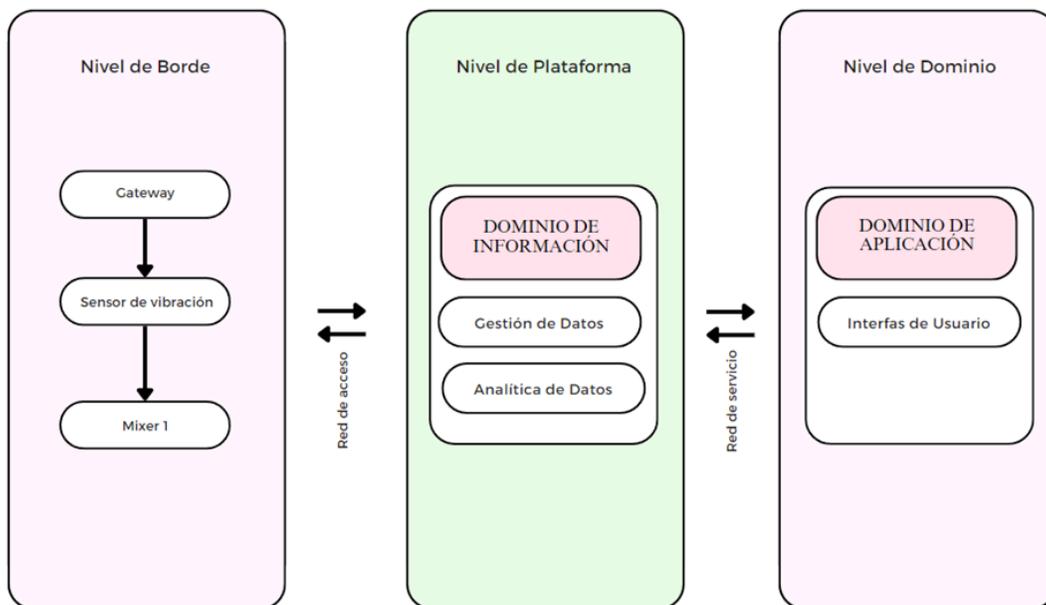
- **Nivel de Borde:** Este nivel incluye los componentes más cercanos a las entidades físicas, como el sensor de vibración y el gateway. Los sensores recopilan datos en tiempo real del Mixer 1, mientras que el gateway procesa y transmite esta información hacia niveles superiores, asegurando una comunicación confiable.

- **Nivel de Plataforma:** Aquí se encuentra el Dominio de Información, encargado de la gestión y análisis de datos. Este nivel procesa, organiza y analiza la información recopilada para generar perspectivas clave que permitan tomar decisiones basadas en datos.
- **Nivel de Dominio:** Incluye el Dominio de Aplicación, que proporciona una interfaz de usuario intuitiva. Esta interfaz permite a los usuarios interactuar con el sistema, visualizar datos y supervisar las operaciones, asegurando una toma de decisiones informada y eficiente.

En conjunto, estos niveles están interconectados mediante redes de servicio, lo que asegura una comunicación fluida y un flujo de datos continuo desde el nivel de borde hasta los usuarios finales. Este diseño optimiza la interacción y funcionalidad de los componentes, garantizando un sistema robusto y escalable.

**Figura 47**

*Diagrama de la arquitectura de implementación.*



**Nota:** Este diagrama detalla la propuesta de implementación dividida en tres niveles clave: borde, plataforma y dominio. Cada nivel está diseñado para optimizar la interacción y funcionalidad de los componentes, asegurando un sistema eficiente y escalable.

Tras examinar la arquitectura de implementación propuesta, representada en la Figura 47, se evidencia cómo los niveles de borde, plataforma y dominio colaboran para asegurar la funcionalidad y eficiencia del sistema. Esta configuración no solo permite una implementación escalable y resistente, sino que también establece una base sólida para la integración de componentes clave.

A continuación, se abordará la selección del sensor de vibración más adecuado para este proyecto. Este componente es fundamental para garantizar la precisión en la captura de datos y la confiabilidad del sistema de monitoreo de vibraciones del MIXER 1. La elección del sensor se basará en criterios técnicos, operativos y económicos que aseguren su óptimo desempeño dentro de la arquitectura planteada.

#### **6.5.5. Selección del Sensor de Vibración IIoT**

La elección del sensor de vibración adecuado es un aspecto clave para asegurar la correcta implementación del sistema IIoT en el MIXER 1. Este elemento resulta esencial, ya que se encarga de recopilar la información necesaria para el análisis predictivo, la emisión de alertas y la toma de decisiones en tiempo real basada en datos.

Antes de identificar el modelo específico de sensor, es necesario analizar ciertos aspectos técnicos y operativos que se deben tomar en cuenta. Estos aspectos incluyen las características de los equipos a monitorear, las condiciones del entorno de trabajo y los requisitos de integración con la infraestructura existente. A continuación, se detallan estos aspectos para sentar las bases de una selección informada y alineada con los objetivos del proyecto.

##### **1. Sensor:**

- **Instalación:** Los sensores se instalan en puntos críticos del MIXER 1.
- **Conectividad:** Los sensores se conectan inalámbricamente al Gateway IIoT.
- **Configuración:** Configuración inicial de los parámetros de los sensores para asegurar la precisión de los datos.

##### **2. Gateway IIoT:**

- **Instalación:** El Gateway se instala en una ubicación central que permita una buena recepción de los datos de los sensores.

- **Conectividad:** Conexión del Gateway a la red inalámbrica y configuración para transmitir datos a la nube.
- **Configuración:** Asegurar que el Gateway está correctamente configurado para recibir y transmitir datos de los sensores.

### 3. **Plataforma en la Nube:**

- **Configuración:** Configuración de la plataforma para recibir datos del Gateway, almacenarlos y analizarlos.
- **Seguridad:** Aplicación de estrategias de seguridad para resguardar la información transmitida y almacenada.
- **Análisis de Datos:** Configuración de algoritmos de análisis para la detección de patrones y la generación de alertas.

### 4. **Interfaz de Usuario:**

- **Conectividad:** Las computadoras de los usuarios se conectan a la red Profibus/Profinet para datos de infraestructura actual y a la nube para datos IIoT.
- **Visualización:** Configuración de dashboards y herramientas de visualización para mostrar datos en tiempo real y generar informes.

### 5. **PLC Local y Principal:**

- **Integración:** Asegurar la integración de los datos de los sensores actuales y los sensores de vibración IIoT.
- **Comunicación:** Configuración para asegurar una comunicación fluida y sin interrupciones entre los PLCs y los nuevos componentes IIoT.

Considerando los aspectos descritos anteriormente, es crucial elegir un sensor de vibración IIoT que cumpla con los requisitos técnicos y operativos del sistema. Para ello, se han identificado tres opciones de sensores que serán evaluados en función de sus características clave. Esta evaluación se llevará a cabo utilizando una serie de tablas de puntuaciones que detallan los criterios relevantes para garantizar una selección informada. Las tablas de puntuación y los criterios utilizados en este análisis se basan en la metodología presentada

por (Cabrera, Cerrada, Macancela, Sigüencia, y Sánchez, 2022), que aborda la selección de tecnologías en entornos de mantenimiento basado en condiciones dentro del contexto de la Industria 4.0.

Como parte del análisis y consulta realizada sobre las necesidades específicas en el Área Común, se identificó que en Mixer 1 existen condiciones particulares que requieren atención, como la presencia de partículas finas de negro de humo y otros factores ambientales que podrían afectar el funcionamiento y la durabilidad de los equipos. Para garantizar un monitoreo eficiente y seguro en esta área, se llevó a cabo una evaluación detallada de los requisitos técnicos necesarios para implementar un sensor de vibración IIoT que cumpla con las demandas operativas y ambientales del Mixer 1.

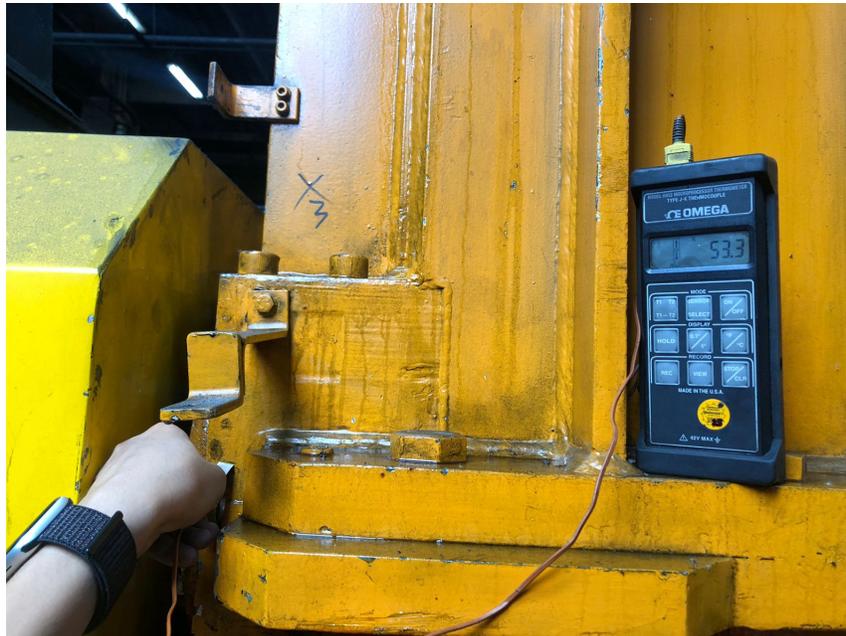
Como parte del análisis y consulta realizada sobre las necesidades específicas en el Área Común, se identificó que en Mixer 1 existen condiciones particulares que requieren atención, como la presencia de partículas finas de negro de humo, altas temperaturas y factores ambientales que podrían afectar el funcionamiento y la durabilidad de los sensores. Para garantizar un monitoreo eficiente y seguro en esta área, se llevó a cabo una evaluación detallada de los requisitos técnicos necesarios para implementar un sensor de vibración IIoT que cumpla con las demandas operativas y ambientales del Mixer 1.

Uno de los criterios clave en esta evaluación es el grado de protección IP, ya que el sensor debe ofrecer resistencia a la entrada de polvo y partículas finas, así como a posibles variaciones térmicas.

Otro de los criterios a considerar fue la temperatura, ya que se realizaron mediciones previas con un termómetro, y se observó que la temperatura que alcanza la caja de engranajes es de 53.3 °C, como se observa en la 48. Debido a esta condición térmica, es fundamental seleccionar un sensor que tenga una resistencia adecuada a temperaturas superiores a este valor, garantizando su correcto funcionamiento sin comprometer su precisión ni su vida útil.

## Figura 48

*Medición de la temperatura sobre la superficie de la caja de engranajes del MIXER 1.*



**Nota:** La imagen muestra la medición de temperatura que se realizó en la superficie del MIXER 1, dando como resultado 53.3 °C.

Otro criterio fundamental es el rango de frecuencia, dado que las frecuencias características del sistema se encuentran teóricamente en el intervalo de 0.2 Hz a 402.08 Hz. Para asegurar un monitoreo preciso y evitar pérdidas de información en los límites del espectro, se aplicará un margen del 20% adicional, ampliando el intervalo de medición a aproximadamente 0.16 Hz a 482.5 Hz.

A continuación, en la tabla 23 se han seleccionado y adaptado los elementos más destacados y relevantes para nuestro caso de estudio, tomando como base la metodología presentada por (Cabrera y cols., 2022). Estos elementos han sido priorizados debido a su impacto directo en el desempeño del sistema de monitoreo IIoT y las condiciones operativas específicas del MIXER 1. Los aspectos considerados incluyen criterios técnicos, capacidad de integración, robustez frente al entorno industrial, costos operativos, y facilidad de implementación. Estos criterios serán utilizados para evaluar y comparar las opciones de sensores, asegurando que la elección final cumpla con los objetivos técnicos y funcionales del sistema.

**Tabla 23***Requisitos para el sensor de vibración IIoT.*

<b>Criterio</b>	<b>Requisito</b>
Rango de frecuencia	Entre 0.16 Hz a 1 kHz
Rango de temperatura	Entre 20 °C y 54 °C.
Conexión	Conectividad inalámbrica
Protección industrial	Nivel de protección mínimo IP67.
Modo de operación	Capacidad de operar en modos continuo e intervalos, asegurando flexibilidad en la captura de datos.
Compatibilidad de comunicación	Compatible con estándares WiFi y BLE para asegurar interoperabilidad con la infraestructura existente.
Rango de comunicación	Al menos 30 metros en línea de visión.
Capacidad de almacenamiento	Soporte para gestión local y servicios en la nube, con opciones para redundancia de datos.
Dimensiones	Tamaño compacto o mediano, adecuado para instalaciones en puntos críticos del MIXER 1.
Garantía	Garantía mínima de 12 meses para asegurar soporte técnico y reposición en caso de fallas.
Costo	No mayor a USD 2 500, considerando los límites presupuestarios del proyecto.

**Nota:** Estos requisitos aseguran que el sensor seleccionado cumpla con las especificaciones técnicas y operativas necesarias para el monitoreo eficiente del MIXER 1.

El objetivo de esta tabla es garantizar que la selección del sensor no solo sea técnicamente adecuada, sino también alineada con los objetivos de implementación y operatividad de Continental Tire Andina. A través de este análisis estructurado, se facilita la comparación y selección del sensor más idóneo para el proyecto.

A continuación, se presentan las opciones de sensores de vibración IIoT seleccionadas para este caso de estudio, junto con sus características principales. Cada sensor será evaluado en base a los parámetros previamente definidos, con la finalidad de determinar su aptitud para satisfacer las condiciones técnicas y operativas del sistema de monitoreo del MIXER 1. Este análisis permitirá identificar la opción más adecuada para su integración en la arquitectura

propuesta.

### 1. Phantom Expert Gen 3

El Phantom Expert Gen 3 es un sensor triaxial de alta precisión diseñado para entornos industriales exigentes. Su rango de frecuencia, capacidad de comunicación inalámbrica mediante Bluetooth BLE 5.0, y su resistencia ambiental IP69 lo posicionan como una opción destacada para el monitoreo del MIXER 1 en Continental Tire Andina (Erbessd Instruments, 2024). A continuación, en la Figura 49, se muestra una imagen del sensor, seguida de la tabla 24 con sus principales características para evaluar su idoneidad en el proyecto.

#### Figura 49

*Sensor Phantom Expert Gen 3 (EPH-V11E).*



**Nota:** Imagen del sensor Phantom Expert Gen 3 (modelo EPH-V11E), diseñado para capturar vibraciones en entornos industriales con alta precisión. Este sensor es triaxial, resistente al agua y al polvo (IP69) y cuenta con conectividad Bluetooth BLE 5.0, lo que facilita su integración en sistemas IIoT.

**Tabla 24***Características del sensor Phantom Expert Gen 3.*

<b>Criterio</b>	<b>Características del Sensor</b>
Rango de frecuencia	0.5 Hz a 10 kHz (X,Y), 0.5 Hz a 5.1 kHz (Z).
Rango de temperatura	-40 °C y 80 °C.
Conexión	Bluetooth BLE 5.0 para comunicación inalámbrica.
Protección industrial	IP69.
Modo de operación	Configurable en intervalos de captura, mínimo 10 minutos y máximo 1440 minutos.
Compatibilidad de comunicación	Compatible con estándares BLE 5.0.
Rango de comunicación	100 metros en línea de visión.
Capacidad de almacenamiento	Soporte para servicios en la nube y gestión local de datos.
Dimensiones	47 mm x 33 mm, diseño compacto.
Garantía	No especificada en el documento técnico.
Costo	USD 1 049.90 (sensor y gateway incluidos).

**Nota:** Estas características corresponden al sensor Phantom Expert Gen 3 y fueron evaluadas en función de los criterios establecidos para este proyecto.

## 2. Model 3713D1FD3G

El Model 3713D1FD3G es un acelerómetro triaxial diseñado para aplicaciones industriales de bajas frecuencias, ideal para el monitoreo de vibraciones del MIXER 1 en Continental Tire Andina. Su garantía de un año, disponibilidad en cinco semanas y precio competitivo lo posicionan como una opción viable para este proyecto. A continuación, en la Figura 50, se presenta una imagen del sensor, seguida de la tabla 25 con sus principales características para su evaluación.

## Figura 50

*Sensor Model 3713D1FD3G.*



**Nota:** Imagen del sensor Model 3713D1FD3G, ideal para aplicaciones de monitoreo de bajas frecuencias en entornos industriales.

## Tabla 25

*Características del sensor Modelo 3713D1FD3G.*

<b>Criterio</b>	<b>Características del Sensor</b>
Rango de frecuencia	0 a 1 KHz
Rango de temperatura	-54 °C y 121 °C.
Conexión	Conexión cableada mediante un conector hermético de 9 pines.
Protección industrial	Carcasa de titanio resistente con sellado hermético para ambientes industriales.
Modo de operación	Continuo.
Compatibilidad de comunicación	Compatible con sistemas de adquisición de datos mediante cables estándar.
Rango de comunicación	Limitado a la longitud del cable conectado.
Capacidad de almacenamiento	No posee almacenamiento interno; depende de sistemas externos de adquisición de datos.
Dimensiones	Compacto, diseñado para instalaciones en espacios reducidos.
Garantía	Garantía de 1 año ofrecida por el fabricante.
Costo	USD 1 805.85 (incluido IVA).

**Nota:** Estas características corresponden al sensor Modelo 3713D1FD3G y fueron evaluadas en función de los criterios establecidos para este proyecto.

### 3. HS-420-M12

El HS-420-M12 es un acelerómetro industrial diseñado para monitoreo de vibraciones con salida 4-20 mA, compatible con sistemas PLC y DCS. Su construcción en acero inoxidable, resistencia IP67 y rango de frecuencia lo posicionan como una solución robusta y confiable para entornos industriales. A continuación, en la Figura 51, se presenta una imagen del sensor, seguida de la tabla 26 con sus principales características para evaluar su idoneidad en el proyecto.

**Figura 51**

*Sensor HS-420-M12.*



**Nota:** Imagen del sensor HS-420-M12, diseñado para aplicaciones industriales con monitoreo de vibraciones en equipos como motores y compresores.

**Tabla 26***Características del sensor HS-420.*

<b>Criterio</b>	<b>Características del Sensor</b>
Rango de frecuencia	10 Hz a 1 kHz, con respuesta nominal de $\pm 5\%$ .
Rango de temperatura	-25 °C y 120 °C.
Conexión	Conexión por cable con conector eléctrico M12 de 4 pines.
Protección industrial	IP67 industriales adversos.
Modo de operación	Continuo.
Compatibilidad de comunicación	Salida analógica 4-20 mA, compatible con sistemas PLC/DCS.
Rango de comunicación	Limitado a la longitud del cable conectado.
Capacidad de almacenamiento	No posee almacenamiento interno, depende de sistemas externos de adquisición de datos.
Dimensiones	Diámetro de 22 mm y longitud de 57 mm.
Garantía	Garantía de 1 año ofrecida por el fabricante.
Costo	USD 3 521.31 (incluido IVA).

**Nota:** Estas características corresponden al sensor HS-420 y fueron evaluadas en función de los criterios establecidos para este proyecto.

Después de analizar detalladamente las características técnicas, operativas y económicas de los tres sensores propuestos: Phantom Expert Gen 3, Model 3713D1FD3G y HS-420-M12, se procede a realizar una evaluación comparativa basada en puntuaciones asignadas a cada criterio relevante. Este análisis tiene como objetivo identificar cuál de los sensores se alinea mejor con los requisitos del proyecto, considerando factores como el rango de frecuencia, protocolo de comunicación, compatibilidad, precio y protección ambiental, entre otros.

Las puntuaciones asignadas están descritas en la Tabla 27, donde cada criterio se evalúa con una escala del 1 al 5. Una puntuación de 1 indica que el sensor no cumple con el requisito o lo hace de manera limitada, mientras que una puntuación de 5 refleja un cumplimiento total y óptimo. Este enfoque asegura una comparación objetiva y fundamentada, permitiendo priorizar las opciones que mejor se ajusten a las necesidades del sistema de monitoreo del MIXER 1.

**Tabla 27***Puntuación para la evaluación de sensores de vibración IIoT.*

<b>Criterio</b>	<b>Puntuación</b>
Rango de frecuencia	1: No cumple, 3: Cumple parcialmente, 5: Cumple totalmente.
Rango de temperatura	1: No cumple, 3: Cumple parcialmente, 5: Cumple totalmente.
Conexión	1: Cableado, 3: Mixto, 5: Inalámbrico.
Protección industrial	1: Menor a IP67, 3: Igual a IP67, 5: Mayor a IP67.
Modo de operación	1: Por intervalo, 3: Continuo, 5: Intervalo dual / Continuo
Compatibilidad de comunicación	1: No compatible, 3: Compatible parcialmente, 5: Totalmente compatible.
Rango de comunicación	1: Menor a 30 metros, 3: Cumple con el mínimo, 5: Supera 30 metros.
Capacidad de almacenamiento	1: No posee, 3: Limitado, 5: Amplio y eficiente.
Dimensiones	1: Grandes, 3: Compactas, 5: Muy compactas.
Garantía	1: Menor a 12 meses, 3: Igual a 12 meses, 5: Mayor a 12 meses.
Costo	1: Superior a \$2500, 3: Igual a \$2500, 5: Inferior a \$2500.

**Nota:** Los criterios y puntuaciones están diseñados para evaluar la idoneidad de cada sensor de vibración IIoT en función de las necesidades del proyecto.

A continuación, se presenta en la Tabla 28 las puntuaciones asignadas a cada sensor, permitiendo una comparación clara y estructurada que facilitará la selección del sensor más adecuado para el monitoreo del MIXER 1 en Continental Tire Andina.

**Tabla 28***Evaluación de sensores por puntuaciones.*

<b>Criterio</b>	<b>Phantom Expert Gen 3</b>	<b>Model 3713D1FD3G</b>	<b>HS-420</b>
Rango de Frecuencia	3	5	3
Rango de temperatura	5	5	5
Conexión	5	1	1
Protección Industrial	5	5	3
Modo de Operación	1	3	3
Compatibilidad de Comunicación	5	3	3
Rango de Comunicación	5	1	1
Capacidad de Almacenamiento	5	1	1
Dimensiones	5	5	5
Garantía	1	5	5
Costo	5	5	3
Total	45	39	33
<b>Promedio</b>	<b>4.18</b>	<b>3.27</b>	<b>3</b>

**Nota:** El sensor con la mayor puntuación total y promedio es el Phantom Expert Gen 3, lo que indica que cumple mejor con los criterios establecidos para este proyecto.

Tras realizar la evaluación comparativa de los tres sensores propuestos: **Phantom Expert Gen 3**, **Model 3713D1FD3G** y **HS-420-M12**, se obtuvo un panorama claro de las fortalezas y debilidades de cada opción en relación con los requisitos técnicos y operativos del proyecto. La puntuación total y los promedios calculados reflejan de manera objetiva cuál de los sensores cumple mejor con las necesidades específicas del sistema de monitoreo del MIXER 1 en Continental Tire Andina.

El **Phantom Expert Gen 3** sobresale con la puntuación más alta **45** y un promedio de **4.18**, destacando en su amplio rango de frecuencia, protocolo de comunicación inalámbrica mediante Bluetooth BLE 5.0 y su compatibilidad con servicios en la nube. Su resistencia ambiental IP69 refuerza su idoneidad para entornos industriales exigentes. Además, su costo total competitivo (\$1,049.90) y diseño compacto lo posicionan como la opción más robusta y completa para este proyecto.

Por otro lado, el **Model 3713D1FD3G**, con una puntuación total de **39** y un promedio de **3.27**, presenta una solución adecuada en ciertos aspectos como su diseño industrial robusto y garantía de un año. Sin embargo, sus limitaciones en compatibilidad, rango de comunicación y capacidad de almacenamiento lo hacen menos adecuado para un sistema de monitoreo IIoT avanzado, aunque su costo (\$1,570.30) lo hace competitivo.

Finalmente, el **HS-420-M12**, con una puntuación total de **33** y un promedio de **3**, demuestra ser una solución sólida gracias a su diseño industrial y compatibilidad con sistemas PLC/DCS. No obstante, su rango de frecuencia más limitado, dependencia de comunicación cableada y precio elevado (\$3,062.01) lo hacen menos atractivo frente a las otras opciones.

En conclusión, el **Phantom Expert Gen 3** se perfila como la opción más adecuada para el monitoreo del MIXER 1, ya que cumple con los requisitos mínimos y supera en características clave a los otros sensores evaluados. Su capacidad técnica y operativa, junto con su adaptabilidad al sistema IIoT propuesto, lo convierten en la elección ideal para garantizar un monitoreo eficiente, escalable y alineado con los objetivos estratégicos de Continental Tire Andina.

Este análisis concluye que, para optimizar el rendimiento del sistema y asegurar su éxito a largo plazo, la implementación debe considerar al **Phantom Expert Gen 3** como el sensor principal.

## 7. Resultados

Los resultados obtenidos en este trabajo se presentan de manera estructurada, siguiendo el orden de los objetivos específicos planteados al inicio del proyecto. Cada resultado está relacionado con el fundamento teórico y se fundamenta en el análisis de datos y estudios realizados, asegurando una alineación con los requerimientos y necesidades del sistema de monitoreo del MIXER 1 en Continental Tire Andina.

- **Caracterización de frecuencias del Mixer 1:** Se realizó una caracterización de las frecuencias características de las señales de vibración de la caja de engranajes del MIXER 1. Este análisis, basado en las señales obtenidas con el sensor WiSER 3X, permitió corroborar la presencia de las frecuencias características en las mediciones realizadas. Teóricamente, dichas frecuencias para las recetas estudiadas se encuentran en un rango de 0.2 Hz a 402.08 Hz. Sin embargo, en la práctica, se observaron principalmente frecuencias relativamente altas, a partir de los 10 Hz, mientras que las frecuencias más bajas no fueron detectadas.

Este resultado sugiere dos posibles causas: por un lado, la limitación del sensor utilizado para captar frecuencias en rangos bajos, y por otro, la ubicación del sensor, que fue instalado sobre la carcasa de protección de la caja de engranajes. Esta posición podría haber afectado la transmisión de las vibraciones de baja frecuencia, atenuando su detección.

- **Análisis Exploratorio de Datos del SCADA:** Se realizó un análisis exploratorio de los datos de condiciones de operación disponibles en el SCADA del MIXER 1. Este análisis permitió establecer parámetros clave para diversas condiciones operativas, como potencia, temperatura y velocidad, con el objetivo de definir límites que garanticen el buen funcionamiento de la máquina. En otras palabras, estos parámetros permiten verificar que el equipo opere dentro de rangos adecuados, optimizando su desempeño.

Los resultados obtenidos proporcionaron una base sólida para la definición de umbrales de alerta, lo que facilita la detección temprana de posibles anomalías. Además, esta información contribuye a una futura programación más precisa de actividades de mantenimiento basado en la condición, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo el riesgo de fallos inesperados.

- **Especificación de la Arquitectura IIRA:** Como parte del primer objetivo, se definió la

arquitectura basada en el marco de referencia IIRA, adaptada específicamente para el monitoreo de señales de vibración en el MIXER 1. La propuesta incluye tres niveles clave:

- **Nivel de borde:** Integración de sensores IIoT como el Phantom Expert Gen 3, conectados a un Gateway IIoT.
- **Nivel de plataforma:** Procesamiento y almacenamiento de datos en una plataforma en la nube, asegurando la disponibilidad y escalabilidad del sistema.
- **Nivel de dominio:** Interacción con sistemas como el SCADA y ERP, permitiendo la generación de informes y la toma de decisiones basada en datos en tiempo real.

El diseño de esta arquitectura asegura que los datos sean capturados, procesados y utilizados de manera eficiente para el mantenimiento predictivo del MIXER 1.

- **Evaluación y Selección de Sensores:** Para cumplir con este objetivo, se realizó una evaluación exhaustiva de tres sensores de vibración IIoT: Phantom Expert Gen 3, Model 3713D1FD3G y HS-420-M12. Los resultados del análisis comparativo indicaron que el Phantom Expert Gen 3 es el sensor más adecuado, destacando en:
  - Rango de frecuencia amplio (0.5 Hz a 10 kHz).
  - Comunicación inalámbrica BLE 5.0.
  - Resistencia IP69, ideal para ambientes industriales.
  - Compatibilidad con plataformas avanzadas como DigivibeMX.

Estos atributos lo convierten en la opción óptima para el monitoreo del MIXER 1, asegurando precisión y adaptabilidad.

- **Relación con el Fundamento Teórico:** Cada resultado obtenido está directamente relacionado con el marco teórico planteado. La especificación de la arquitectura IIRA y la selección de sensores se basan en principios de conectividad, escalabilidad y procesamiento en la nube, elementos fundamentales del IIoT. Además, la caracterización de vibraciones y el análisis exploratorio de datos destacan la importancia de integrar herramientas de análisis avanzadas y métodos predictivos para garantizar la eficiencia operativa.

- **Conclusión de Resultados:** En resumen, los resultados alcanzados confirman que la implementación de una arquitectura basada en IIRA, junto con la selección adecuada de sensores y el análisis detallado de datos del SCADA, ofrece una solución robusta y escalable para el monitoreo de vibraciones del MIXER 1. Este enfoque no solo responde a los objetivos planteados, sino que también sienta las bases para futuras expansiones tecnológicas en la planta.

## 8. Cronograma

**Tabla 29**

*Cronograma de actividades.*

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																											
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6				HORAS	
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
Realizar una caracterización exhaustiva de los modos de vibración de la caja de engranajes del "MIXER1", identificando a partir de la toma de señales.	Análisis detallado de la mezcladora industrial					X	X																			20	
	Recopilar información sobre las condiciones de carga, velocidad y entorno de trabajo.							X	X																	20	
	Realizar pruebas y mediciones iniciales para entender los modos de vibración de la caja reductora									X	X	X	X													30	
Realizar un análisis exploratorio de los datos de condiciones de operación disponibles en el SCADA del MIXER 1.	Recolectar y analizar los datos de condiciones de operación disponibles en el SCADA del MIXER 1.													X	X	X										20	
	Identificar patrones, tendencias y posibles correlaciones entre las condiciones de operación y las señales de vibración registradas.															X	X	X									20
Desarrollar una propuesta técnica detallada para la empresa Continental Tire Andina SA, que incluya la especificación y justificación de los sensores seleccionados. La propuesta deberá destacar cómo estos sensores mejorarán el monitoreo de vibraciones en las cajas reductoras, contribuyendo a la optimización del rendimiento y la vida útil de la maquinaria.	Revisar literatura técnica y consultas a expertos para identificar los tipos de sensores más adecuados.																	X	X							20	
	Enlistar sensores que ofrezcan la sensibilidad y el rango de medición requeridos para captar señales relevantes.																			X	X					20	
	Evaluar la disponibilidad y costos de diferentes sensores en el mercado.																				X					10	
	Utilizar información de la caracterización de la máquina para determinar los puntos críticos y de mayor relevancia.																					X	X			20	
Especificar la arquitectura IIRA una arquitectura IIoT para el monitoreo de señales de vibración en la caja reductora de la mezcladora industrial (MIXER1), mediante tecnología IIoT y procesamiento en la nube.	Definir los parámetros de comunicación necesarios para la transmisión eficiente de datos.	X	X																							20	
	Especificar protocolos de comunicación y tecnologías IoT compatibles con los sensores IIot seleccionados.			X	X	X	X																				20
	Especificar los requerimientos técnicos para la implantación de los sensores, que permita la conexión entre los sensores y la plataforma en la nube.							X	X	X	X																20
<b>Total de horas empleadas</b>																							240				

**Nota:** La tabla presenta las actividades para cumplir con los objetivos planteados.

## 9. Presupuesto

### 9.1. Talento humano

Tabla 30

*Recurso de talento humano.*

Cargo	Nombre	Costo hora	Horas al mes	Total de horas	Costo total
Tutor	Dra. Mariela Cerrada	19\$	8	96	1824 \$
Autor 1	Cristofer Saraguro	8\$	48	240	1920 \$
Autor 2	Juan Urgiles	8\$	48	240	1920 \$

**Nota:** La tabla 30 muestra el costo correspondiente a las 240 horas estipuladas en el cronograma de trabajo, así como el costo de las horas de revisión del docente revisor, las cuales serán programadas al inicio de la asignatura “Integración Curricular”.

### 9.2. Recursos materiales

Tabla 31

*Recursos materiales.*

Denominación	Cantidad	Cantidad de Horas	Costo Hora (\$)	Costo Unitario (\$)	Costo total (\$)
Software: MATLAB	2	-	-	900 \$	1800 \$
Computador	2	-	-	1 500 \$	3 000 \$
Transporte	2	-	-	25 \$	50 \$
Laboratorios	2	150	20 \$	-	6 000 \$
Total					10 850 \$

**Nota:** La tabla 31 presenta una estimación de los costos asociados a distintos elementos necesarios para llevar a cabo el trabajo de titulación. En cuanto al software MATLAB, se indica un valor aproximado correspondiente al costo total de la licencia. Asimismo, el monto asignado al uso de los laboratorios se basa en una proyección del número de horas requeridas.

## 10. Conclusiones

Esta investigación logró desarrollar una solución integral para el monitoreo de vibraciones en la caja reductora de la mezcladora industrial MIXER 1, cumpliendo con los objetivos planteados y aplicando principios de la arquitectura IIRA en un entorno IIoT industrial. A continuación, se presentan los resultados principales en función de cada uno de los objetivos alcanzados.

En primer lugar, se realizó una caracterización exhaustiva de los modos de vibración de la caja de engranajes del MIXER 1, identificando las frecuencias y patrones de vibración bajo diversas condiciones de operación. Este análisis, respaldado por datos obtenidos del SCADA y cálculos detallados, permitió establecer un perfil preciso de las frecuencias naturales del sistema, proporcionando la base necesaria para la selección adecuada de sensores.

A partir de los resultados de la caracterización, se procedió a la selección de sensores, tomando en cuenta el rango de frecuencias identificado y las especificaciones técnicas de distintos dispositivos en el mercado. Esta fase implicó un estudio comparativo de sensores en función de su sensibilidad, rango de frecuencia y compatibilidad con la infraestructura IIoT planteada. La selección de un sensor idóneo, ajustado a las necesidades de monitoreo del MIXER 1, asegura la precisión de las mediciones de vibración y la integridad de los datos obtenidos para análisis posteriores.

Finalmente, se propuso una arquitectura basada en el marco IIRA, adecuada para integrar los datos de vibración del MIXER 1 en una plataforma IIoT con procesamiento en la nube. Esta propuesta arquitectónica detalla la conectividad y el flujo de datos desde los sensores hasta el sistema de análisis en la nube, asegurando una transmisión de datos en tiempo real que facilita la supervisión remota y proporciona una herramienta valiosa para la toma de decisiones en la planta. Con esta arquitectura, se sientan las bases para futuros desarrollos en monitoreo predictivo y mantenimiento proactivo, mejorando la eficiencia y la confiabilidad del equipo en la planta de Continental Tire Andina.

En conclusión, este estudio no solo aporta un marco teórico y práctico para el monitoreo de vibraciones en entornos industriales, sino que también ofrece una solución aplicable y escalable. La integración de la arquitectura IIRA en el contexto de monitoreo del MIXER 1 constituye una innovación significativa, contribuyendo al aumento de la confiabilidad y disponibilidad del equipo. Así, se generan beneficios para la planta en términos de producción

optimizada y reducción de riesgos de fallos no planificados.

## 11. Recomendaciones

Una vez finalizado este trabajo, se recomienda las siguientes acciones futuras:

- **Implementación gradual del monitoreo en otras máquinas críticas:** Considerando los beneficios obtenidos con el monitoreo de vibraciones en el MIXER 1, se recomienda ampliar progresivamente la implementación hacia otras máquinas clave en la Planta Común. Esto permitirá una mayor cobertura de monitoreo y un análisis más completo del estado de la maquinaria en toda la planta.
- **Capacitación continua para el personal de mantenimiento y producción:** Es fundamental capacitar a los operadores y técnicos de mantenimiento en el uso y comprensión de los datos obtenidos mediante esta solución de monitoreo de vibraciones. Con el conocimiento adecuado, el personal podrá interpretar los datos de manera efectiva y responder con rapidez ante cualquier desviación en los patrones de vibración que pueda indicar problemas potenciales.
- **Optimización de los algoritmos de análisis en la nube:** A medida que se recopilan más datos de la planta, se recomienda mejorar continuamente los algoritmos de análisis de vibración en la nube. La incorporación de modelos de aprendizaje automático permitirá detectar patrones emergentes y proporcionar alertas predictivas más precisas.
- **Evaluación periódica de los sensores y del sistema de monitoreo:** Realizar revisiones periódicas de los sensores instalados en el MIXER 1, y en cualquier otra máquina que integre esta solución, para garantizar que sigan cumpliendo con los requisitos de sensibilidad y precisión. La evaluación continua del sistema permitirá ajustar la configuración según cambios en las condiciones de operación o la incorporación de nuevas tecnologías.
- **Documentación y reporte de resultados en intervalos regulares:** Establecer un sistema de documentación para los datos de vibración y sus análisis a intervalos definidos ayudará a identificar tendencias a largo plazo y a generar reportes útiles para la toma de decisiones. Estos informes también servirán como referencia para posibles auditorías de mantenimiento y calidad.

- **Exploración de integración con sistemas de mantenimiento predictivo:** Dado que esta arquitectura de monitoreo de vibraciones se basa en el marco IIRA y IIoT, se recomienda explorar opciones para ampliar su funcionalidad hacia el mantenimiento predictivo. Esto implicaría el desarrollo o integración con un sistema capaz de pronosticar fallos basándose en patrones históricos y en tiempo real, aumentando así la eficiencia operativa de la planta.
- **Evaluación de la infraestructura de red y seguridad cibernética:** Es importante realizar auditorías periódicas de la red IIoT y de los protocolos de seguridad, garantizando que la transmisión de datos del MIXER 1 al sistema en la nube esté protegida contra accesos no autorizados y que la integridad de los datos se mantenga a lo largo de su procesamiento y almacenamiento.

## Referencias

- Asghari, P., Rahmani, A. M., y Javadi, H. H. S. (2019). Internet of things applications: A systematic review. *Computer Networks*, 148, 241-261. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128618305127> doi: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.12.008>
- Bloom, G., Alsulami, B., Nwafor, E., y Bertolotti, I. C. (2018). Design patterns for the industrial internet of things. En *2018 14th ieee international workshop on factory communication systems (wfcs)* (p. 1-10). doi: 10.1109/WFCS.2018.8402353
- Cabrera, D., Cerrada, M., Macancela, J. C., Siguencia, J., y Sánchez, R. V. (2022). Technology selection for industry 4.0 oriented condition-based monitoring system: A case study in the paper mills industry. *IFAC-PapersOnLine*, 55(19), 211-216. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896322014276> (5th IFAC Workshop on Advanced Maintenance Engineering, Services and Technologies AMEST 2022) doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.209>
- Cakir, M., Guvenc, M. A., y Mistikoglu, S. (2021). The experimental application of popular machine learning algorithms on predictive maintenance and the design of iiot based condition monitoring system. *Computers & Industrial Engineering*, 151, 106948. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835220306252> doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106948>
- Chataut, R., Phoummalayvane, A., y Akl, R. (2023). Unleashing the power of iot: A comprehensive review of iot applications and future prospects in healthcare, agriculture, smart homes, smart cities, and industry 4.0. *Sensors*, 23(16). Descargado de <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/16/7194> doi: 10.3390/s23167194
- Continental. (s. f.). *Mezcla de neumáticos | continental neumáticos*. <https://www.continental-neumaticos.es/b2c/tire-knowledge/tire-mixture/>.
- Continental, T. (2021). *Historia de las llantas continental*. <https://www.continental-tires.com/ec/es/history.html>.
- Erbessd Instruments. (2024). *Phantom expert gen 3 vibration sensor*. Descargado de [https://static.erbessd-instruments.com/datasheets/phantom/phantom\\_g3\\_datasheet.pdf](https://static.erbessd-instruments.com/datasheets/phantom/phantom_g3_datasheet.pdf) (P3-DS2024.0415.22)
- Instruments, E. (s.f.). *Acelerómetro inalámbrico triaxial & universal wiser 3x*. Descargado de <https://www.erbessd-instruments.com/es/acelerometro-inalambrico/> (Consultado el 13 de septiembre de 2024)
- Krishna, A. G., y Kiran, R. (2019). Design and analysis of a two stage reduction gearbox.

*International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) Volume, 6.*

- Kumar, A., Gandhi, C., Zhou, Y., Kumar, R., y Xiang, J. (2020). Latest developments in gear defect diagnosis and prognosis: A review. *Measurement*, 158, 107735. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224120302736> doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107735>
- Li, J., Tao, H., Shuhong, L., Salih, S., Mohamad Zain, J., Yankun, L., ... Thanjaivadel, M. (2020, 07). Internet of things assisted condition-based support for smart manufacturing industry using learning technique. *Computational Intelligence*, 36. doi: 10.1111/coin.12319
- Li, Z., Fei, F., y Zhang, G. (2022). Edge-to-cloud iiot for condition monitoring in manufacturing systems with ubiquitous smart sensors. *Sensors*, 22(15). Descargado de <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/15/5901> doi: 10.3390/s22155901
- Lin, S.-W., Simmon, E., Young, D., Miller, B., Durand, J., Bleakley, G., ... Crawford, M. (2022, November). Industrial internet reference architecture, version 1.10 [Manual de software informático]. Descargado de <https://www.iiconsortium.org/wp-content/uploads/sites/2/2022/11/IIRA-v1.10.pdf> (Accessed: 2024-10-22)
- Looney, M. (2014). An introduction to mems vibration monitoring. *Analog Dialogue*, 48(06), 1-3.
- Medina, R., Macancela, J.-C., Lucero, P., Cabrera, D., Cerrada, M., Sánchez, R.-V., y Vásquez, R. E. (2019). Vibration signal analysis using symbolic dynamics for gearbox fault diagnosis. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 104(5), 2195-2214. Descargado de <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03858-0> doi: 10.1007/s00170-019-03858-0
- Mirani, A. A., Velasco-Hernandez, G., Awasthi, A., y Walsh, J. (2022a). Key challenges and emerging technologies in industrial iot architectures: A review. *Sensors*, 22(15), 5836.
- Mirani, A. A., Velasco-Hernandez, G., Awasthi, A., y Walsh, J. (2022b). Key challenges and emerging technologies in industrial iot architectures: A review. *Sensors*, 22(15). Descargado de <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/15/5836> doi: 10.3390/s22155836
- Morkevicius, A., Bisikirskiene, L., y Bleakley, G. (2017). Using a systems of systems modeling approach for developing industrial internet of things applications. En *2017 12th system of systems engineering conference (sose)* (p. 1-6). doi: 10.1109/SYSESE.2017.7994942
- Ortiz Farfán, C. G., y Pérez Rivera, I. A. (2016). *Adquisición de señales vibracionales y emisiones acústicas combinando fallos en maquinaria rotativa y elaboración de guías de práctica sobre detección de fallos en engranajes por medio de emisiones acústicas* (B.S. thesis).

- Quatrini, E., Costantino, F., Di Gravio, G., y Patriarca, R. (2020). Condition-based maintenance—an extensive literature review. *Machines*, 8(2). Descargado de <https://www.mdpi.com/2075-1702/8/2/31> doi: 10.3390/machines8020031
- Sari, A., Lekidis, A., y Butun, I. (2020). Industrial networks and iiot: Now and future trends. *Industrial IoT: Challenges, Design Principles, Applications, and Security*, 3–55.
- Sisinni, E., Saifullah, A., Han, S., Jennehag, U., y Gidlund, M. (2018). Industrial internet of things: Challenges, opportunities, and directions. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(11), 4724-4734. doi: 10.1109/TII.2018.2852491
- Strauß, P., Schmitz, M., Wöstmann, R., y Deuse, J. (2018). Enabling of predictive maintenance in the brownfield through low-cost sensors, an iiot-architecture and machine learning. En *2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (p. 1474-1483). doi: 10.1109/BigData.2018.8622076
- Talavera, J. M., Tobón, L. E., Gómez, J. A., Culman, M. A., Aranda, J. M., Parra, D. T., ... Garreta, L. E. (2017). Review of iot applications in agro-industrial and environmental fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 142, 283-297. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169917304155> doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.015>
- Tiboni, M., Remino, C., Bussola, R., y Amici, C. (2022). A review on vibration-based condition monitoring of rotating machinery. *Applied Sciences*, 12(3). Descargado de <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/3/972> doi: 10.3390/app12030972
- Velasquez, N., Estevez, E. C., y Pesado, P. M. (2018). Cloud computing, big data and the industry 4.0 reference architectures. *Journal of Computer Science & Technology*, 18.
- Wang, G., Nixon, M., y Boudreaux, M. (2019). Toward cloud-assisted industrial iiot platform for large-scale continuous condition monitoring. *Proceedings of the IEEE*, 107(6), 1193-1205. doi: 10.1109/JPROC.2019.2914021
- Zheng, H., Paiva, A. R., y Gurciullo, C. S. (2020). *Advancing from predictive maintenance to intelligent maintenance with ai and iiot*. Descargado de <https://arxiv.org/abs/2009.00351>

# **ANEXOS**

## Anexo 1:

### Plan Experimental

#### Información General

A continuación, se presentará la Tabla 32 donde se muestra la información general del plan experimental.

**Tabla 32**

*Información general del plan experimental.*

Información General	
Título del plan experimental:	Mediciones de las vibraciones de la caja de engranajes del MIXER 1
Número del plan experimental:	—
Director:	Ing. Mariela Cerrada, Ph.D.
Investigadores:	Cristofer Saraguro / Juan Urgiles
Fecha de inicio:	01/05/24
Fecha de culminación:	010/09/24
Ubicación:	Laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Azuay, Ecuador.

**Nota:** La siguiente tabla presenta la información general sobre el plan experimental.

#### Descripción

GIDTEC es un grupo de investigación centrado en la detección de fallos y estimación mecánicos por la condición del equipo de señales, de acuerdo a los parámetros del mantenimiento basado en la condición. Para esta base de datos se dispone de una caja de engranajes de la máquina del MIXER 1 de la empresa Continental. En cuanto al instrumento de medición se utilizó un sensor de vibración inalámbrico triaxial denominado EI-WiSER 3x.

Las señales serán recogidas en 8 puntos de la caja de engranajes del MIXER 1, uno de las condicionantes al tomar dichas mediciones será una de las condiciones de operación del



**Tabla 33***Elementos mecánicos de la caja reductora del MIXER 1.*

<b>Engranajes y Rodamientos</b>	
Rodamiento 1:	SKF NJ 2228 ECML/C3
Rodamiento 2:	SKF 24044 CC/W33
Rodamiento 3:	FAG 23156 B MB GERMANY
Rodamiento 4:	FAG 23052 MB GERMANY 171 00.12Y B
Rodamiento 5:	FAG 94 QJ228N2MPA 209Y B
Engranaje helicoidal 1:	Engranaje helicoidal de 25 dientes
Engranaje helicoidal 2:	Engranaje helicoidal de 73 dientes
Engranaje helicoidal 3:	Engranaje helicoidal de 24 dientes
Engranaje helicoidal 4:	Engranaje helicoidal de 77 dientes
Engranaje helicoidal 5:	Engranaje helicoidal de 23 dientes
Engranaje helicoidal 6:	Engranaje helicoidal de 74 dientes
Engranaje helicoidal 7:	Engranaje helicoidal de 34 dientes
Engranaje helicoidal 8:	Engranaje helicoidal de 34 dientes

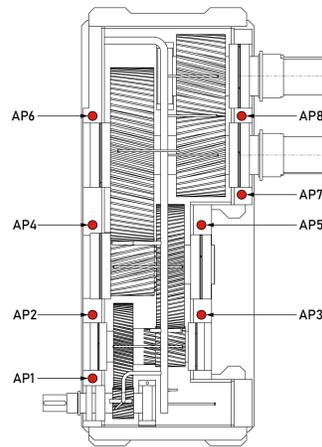
**Nota:** En la siguiente tabla se presenta el listado de engranajes y rodamientos del MIXER 1.

### **Puntos de medición**

La Figura 53 muestra las distintas ubicaciones del sensor en la caja de engranajes, para la toma de señales tomaremos 8 puntos de medición con la finalidad de contrastar que las frecuencias sean relativamente iguales a las calculadas.

### Figura 53

Ubicación del sensor en los distintos puntos de la caja de engranajes.



**Nota:** En la siguiente figura se muestra los puntos de medición ubicados en la caja de engranajes del MIXER 1.

### Sensor utilizado

En la Tabla 34 se especifican las características del sensor utilizado.

**Tabla 34**

*Características del sensor WiSER 3X.*

Características del sensor WiSER 3X	
Código Interno	A
Tipo de Sensor	Acelerómetro triaxial
Protocolo inalámbrico	Wi-Fi 802.11
Canales	X, Y, Z
Marca	Erbessd Instruments
Modelo	WiSER 3X
Rango	$\pm 20g$
Tasa de muestreo (kHz)	48
Unidades de las señales	$m/s^2$

**Nota:** En la siguiente tabla se muestran las características principales del sensor WiSER 3X.

## Recogida de señales y clasificación de las señales

- Duración de cada muestra: 10 segundos.
- Repeticiones de las pruebas: Depende de cuantas tandas de la misma receta se produzcan en el lote, se espera que sean al menos 5 veces para cada prueba.
- Determinar el punto medido (P1, P2, ..., P8).
- Asignar el número de medición (M1, M2, ..., Mi).
- Se indica la receta a la que pertenece la medición (R1, R2, ..., Ri).

### **Ejemplo:**

Para un conjunto de mediciones en el punto 3, primera medición, receta 2:

Código: P3-M1-R2

## Condiciones de operación

Uno de los principales puntos antes de tomar medidas es tener en cuenta con que receta vamos a trabajar, y cuantas tandas de dicha receta va a haber en un mismo lote.

Primero, con el dato de la receta se puede saber:

- Tiempo total de cada tanda.
- Cuantas fases existen para el proceso de dicha receta, puede variar de 7 a 10.
- Tiempo que se demora cada fase en ser ejecutada.

Segundo, con el dato de la cantidad de tandas que se van a procesar en ese momento se puede saber cuantas mediciones se pueden lograr tomar, esto es importante a la hora de distribuir el tiempo para la toma de medidas en los distintos puntos.

## Anexo 2

**Tabla 35**

*Frecuencias de la caja de engranes del MIXER 1 de la receta 1 P3*

M	$Fg_0$			$Fg_1$			$Fg_2$			$Fg_3$			$Fg_4$			GMF1			GMF2			GMF3			GMF4					
	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	X	X	X
4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
6	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X

**Nota:** En la siguiente tabla se muestra la verificación de frecuencias de las mediciones de la receta 1 P3 con respecto a la Tabla 15.

**Tabla 36***Frecuencias de la caja de engranes del MIXER 1 de la receta 1 P4*

M	$Fg_0$			$Fg_1$			$Fg_2$			$Fg_3$			$Fg_4$			GMF1			GMF2			GMF3			GMF4					
	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
2	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
3	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
5	X	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X
6	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X

**Nota:** En la siguiente tabla se muestra la verificación de frecuencias de las mediciones de la receta 1 P4 con respecto a la Tabla 15.

**Tabla 37***Frecuencias de la caja de engranes del MIXER 1 de la receta 1 P6*

M	$F_{g_0}$			$F_{g_1}$			$F_{g_2}$			$F_{g_3}$			$F_{g_4}$			GMF1			GMF2			GMF3			GMF4					
	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A
1	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X
2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X
3	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X
4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X
5	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	X	X	X	X
6	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X
7	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X

**Nota:** En la siguiente tabla se muestra la verificación de frecuencias de las mediciones de la receta 1 P6 con respecto a la Tabla 15.

**Tabla 38***Frecuencias de la caja de engranes del MIXER 1 de la receta 2 P3*

M	$Fg_0$			$Fg_1$			$Fg_2$			$Fg_3$			$Fg_4$			GMF1			GMF2			GMF3			GMF4				
	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V
1	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	X		
2	X	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X		
3	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓		
4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X		
5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓		
6	X	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓		

**Nota:** En la siguiente tabla se muestra la verificación de frecuencias de las mediciones de la receta 2 P3 con respecto a la Tabla 15.

**Tabla 39***Frecuencias de la caja de engranes del MIXER 1 de la receta 2 P4*

M	$Fg_0$	$Fg_1$	$Fg_2$	$Fg_3$	$Fg_4$	GMF1	GMF2	GMF3	GMF4
	H V A	H V A	H V A	H V A	H V A	H V A	H V A	H V A	H V A
1	✓✓X	XXX	XXX	XXX	XXX	✓✓X	✓✓✓	✓✓X	XXX
2	✓✓✓	XXX	X✓X	XXX	XXX	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
3	✓✓✓	X✓X	X✓X	XXX	XXX	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	XXX
4	XXX	X✓X	✓✓✓	X✓X	X✓X	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	XXX
5	X✓X	XXX	XXX	XXX	XXX	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	X✓X
6	✓✓✓	XXX	XXX	XXX	XXX	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	XXX
7	✓XX	XXX	XXX	XXX	XXX	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	XXX
8	✓✓X	XXX	XXX	XXX	XXX	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	XXX
9	✓✓✓	XXX	XXX	XXX	XXX	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	XXX

**Nota:** En la siguiente tabla se muestra la verificación de frecuencias de las mediciones de la receta 2 P4 con respecto a la Tabla 15.

**Tabla 40***Frecuencias de la caja de engranes del MIXER 1 de la receta 2 P6*

M	$Fg_0$			$Fg_1$			$Fg_2$			$Fg_3$			$Fg_4$			GMF1			GMF2			GMF3			GMF4					
	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A
1	✓	✓	✓	X	X	X	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓			
2	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	X			
3	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓			
4	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	X			
5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X			
6	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X			

**Nota:** En la siguiente tabla se muestra la verificación de frecuencias de las mediciones de la receta 2 P6 con respecto a la Tabla 15.

**Tabla 41***Frecuencias de la caja de engranes del MIXER 1 de la receta 3 P1*

M	$Fg_0$			$Fg_1$			$Fg_2$			$Fg_3$			$Fg_4$			GMF1			GMF2			GMF3			GMF4					
	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A
1	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

**Nota:** En la siguiente tabla se muestra la verificación de frecuencias de las mediciones de la receta 3 P1 con respecto a la Tabla 15.

**Tabla 42***Frecuencias de la caja de engranes del MIXER 1 de la receta 3 P2*

M	$F_{g_0}$			$F_{g_1}$			$F_{g_2}$			$F_{g_3}$			$F_{g_4}$			GMF1			GMF2			GMF3			GMF4					
	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A
1	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓
6	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

**Nota:** En la siguiente tabla se muestra la verificación de frecuencias de las mediciones de la receta 3 P2 con respecto a la Tabla 15.

**Tabla 43***Frecuencias de la caja de engranes del MIXER 1 de la receta 3 P3*

M	$Fg_0$			$Fg_1$			$Fg_2$			$Fg_3$			$Fg_4$			GMF1			GMF2			GMF3			GMF4					
	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A
1	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
3	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
6	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

**Nota:** En la siguiente tabla se muestra la verificación de frecuencias de las mediciones de la receta 3 P3 con respecto a la Tabla 15.

**Tabla 44***Frecuencias de la caja de engranes del MIXER 1 de la receta 4 P1*

M	$Fg_0$			$Fg_1$			$Fg_2$			$Fg_3$			$Fg_4$			GMF1			GMF2			GMF3			GMF4					
	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A
1	X	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	X	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓
4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓

**Nota:** En la siguiente tabla se muestra la verificación de frecuencias de las mediciones de la receta 4 P1 con respecto a la Tabla 15.

**Tabla 45***Frecuencias de la caja de engranes del MIXER 1 de la receta 4 P7*

M	$Fg_0$			$Fg_1$			$Fg_2$			$Fg_3$			$Fg_4$			GMF1			GMF2			GMF3			GMF4					
	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A
1	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
2	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
3	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
4	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
5	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

**Nota:** En la siguiente tabla se muestra la verificación de frecuencias de las mediciones de la receta 4 P7 con respecto a la Tabla 15.

**Tabla 46***Frecuencias de la caja de engranes del MIXER 1 de la receta 4 P8*

M	$Fg_0$			$Fg_1$			$Fg_2$			$Fg_3$			$Fg_4$			GMF1			GMF2			GMF3			GMF4				
	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	X	X		
2	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	X		
3	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	X		
4	X	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X		
5	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X		
6	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X		

**Nota:** En la siguiente tabla se muestra la verificación de frecuencias de las mediciones de la receta 4 P8 con respecto a la Tabla 15.

**Tabla 47***Valores de las frecuencias observadas en los tres ejes.*

Frecuencia	Intervalo de frecuencias	Eje horizontal	Eje vertical	Eje Axial
	Receta 3			
$Fg_0$	12.58 - 16.08 Hz	15.15 Hz - 0.0018 $m/s^2$	15.15 Hz - 0.0052 $m/s^2$	15.15 Hz - 0.0024 $m/s^2$
$Fg_1$	4.30 - 5.50 Hz	-	-	-
$Fg_2$	1.34 - 1.71 Hz	-	-	-
$Fg_3$	0.41 - 0.53 Hz	-	-	-
$Fg_4$	0.41 - 0.53 Hz	-	-	-
GMF1	314.58 - 402.08 Hz	378.43 Hz - 0.095 $m/s^2$	372.82 Hz - 0.037 $m/s^2$	378.43 Hz - 0.016 $m/s^2$
GMF2	103.42 - 132.19 Hz	124.51 Hz - 0.010 $m/s^2$	124.53 Hz - 0.017 $m/s^2$	124.51 Hz - 0.014 $m/s^2$
GMF3	30.8 - 39.48 Hz	30.12 Hz - 0.007 $m/s^2$	30.12 Hz - 0.008 $m/s^2$	30.12 Hz - 0.003 $m/s^2$
GMF4	14.19 - 18.14 Hz	18.67 Hz - 0.0012 $m/s^2$	18.67 Hz - 0.0022 $m/s^2$	18.67 Hz - 0.0014 $m/s^2$

**Nota:** La tabla muestra los valores encontrados en las gráficas de las FFT, los cuales se encuentran dentro de los intervalos de frecuencia correspondientes a la receta 3.

# Anexo 3: Matriz de Consistencia Lógica

Tabla 48

Matriz de consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Cómo diseñar un sistema de monitoreo dentro de una arquitectura integrada de IIoT que permita visualizar en línea las señales de vibración en la caja reductora de la mezcladora industrial MIXER 1 de Continental Tire Andina S.A.?	Diseñar una propuesta de arquitectura detallada que integre la tecnología de Internet Industrial de las Cosas (IIoT) para la transmisión y almacenamiento eficiente de las señales de vibración capturadas por los sensores, estableciendo una conexión robusta con servicios en la nube.	Se diseñará una arquitectura IIoT basada en la arquitectura IIRA que a su vez esta inspirada en el estándar ISO IEEE 42010-2022 contemplar la implementación de protocolos de comunicación IIoT, la selección de dispositivos y plataformas adecuadas, así como la garantía de la seguridad y escalabilidad del sistema para un monitoreo efectivo y accesible desde cualquier ubicación.	-VI: Sensores, protocolos de comunicación -VD: Diseño	-Diseño mecatrónico -Arquitectura de Software y Hardware
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Cómo diseñar una arquitectura de comunicación que permita la transmisión y el almacenamiento eficiente de los datos de vibración capturados por los sensores, garantizando la integridad y disponibilidad de la información para su posterior análisis?	Especificar la arquitectura IIRA para el monitoreo de señales de vibración en la caja reductora de la mezcladora industrial MIXER 1, mediante tecnología IIoT y procesamiento en la nube.	Se especificará la arquitectura IIRA, una arquitectura IIoT para el monitoreo de señales de vibración en la caja reductora de la mezcladora industrial MIXER 1, mediante tecnología IIoT y procesamiento en la nube.	-VI: Sensores, transmisión inalámbrica o alámbrica, escalabilidad de la arquitectura -VD: Diseño	-Arquitectura de Software y Hardware -Arquitectura IIoT
¿Cómo realizar una caracterización exhaustiva de los modos de vibración de la caja de engranajes del MIXER 1 utilizando las señales de vibración capturadas y las condiciones de operación registradas en el SCADA?	Realizar una caracterización exhaustiva de los modos de vibración de la caja de engranajes del MIXER 1, identificando a partir de la toma de señales de vibración y condiciones de operaciones en el SCADA.	Se realizará una caracterización exhaustiva de los modos de vibración del MIXER 1, se espera identificar diferentes frecuencias y amplitudes de vibración correspondientes a modos naturales de vibración de la caja reductora y otros componentes críticos. Además, se hipotetiza que ciertas condiciones operativas específicas, como cambios en la carga o la velocidad, pueden influir en la intensidad y la frecuencia de estos modos de vibración.	-VI: Señales de vibración, frecuencias características -VD: Caracterización de la caja de engranajes del MIXER 1	-Análisis de Vibraciones -Cajas de engranaje multi etapa
¿Cómo realizar un análisis exploratorio efectivo de los datos de condiciones de operación disponibles en el SCADA del MIXER 1 para identificar patrones y tendencias significativas?	Realizar un análisis exploratorio de los datos de condiciones de operación disponibles en el SCADA del MIXER 1.	Se realizará un análisis exploratorio de los datos de condiciones de operación disponibles en el SCADA del MIXER 1, se espera encontrar patrones y tendencias que puedan correlacionarse con la caracterización de la máquina en su estado actual, la cual pudiera ser potencialmente una línea base.	-VI: Variables tomadas por el SCADA -VD: Datos analizados	-Condiciones de Operación del MIXER 1 -Análisis exploratorio de datos
¿Cuáles son los sensores más adecuados para medir las vibraciones en la caja reductora y dónde deben ubicarse estratégicamente para capturar eficientemente las señales de vibración?	Evaluar y seleccionar sensores idóneos, considerando el rango de vibraciones obtenido durante la caracterización. Este proceso implicará un estudio detallado del mercado para identificar las mejores opciones disponibles.	Se desarrollará una propuesta técnica detallada para Continental Tire Andina S.A., que incluya la especificación y justificación de los sensores seleccionados para el monitoreo de vibraciones en las cajas reductoras, se espera que la selección de sensores de alta sensibilidad y precisión permita una detección temprana y precisa de anomalías en el funcionamiento de los engranajes.	-VI: Rangos de frecuencia, tiempos de muestreo, requerimientos de comunicación -VD: Sensores apropiados	-Sensores de Vibración -Metodología para la selección de la tecnología

**Nota:** La matriz de consistencia presentada facilita identificar la relación que existe entre las variables y los objetivos además de cómo se relaciona con el marco teórico referencial.

Los anexos presentan evidencias que se consideran relevantes para la explicación del documento como los instrumentos de recopilación de la información.