UNIVERSIDAD DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

MANTENIMIENTO PREDICTIVO REMOTO, A TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL ABB SMART SENSOR MEDIANTE EL SISTEMA SCADA EN LA PLANTA DE PELLETS HUASCO DE LA COMPAÑÍA MINERA DEL PACÍFICO (CMP)

Proyecto de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero de Ejecución en Electricidad

Profesor guía: Sr. Juan Carlos Madrigal Lobos

Pablo Miguel Arturo Cabezas Galeano

Jaime Orlando Muñoz Acuña

Copiapó, Chile 2024

ÍNDICE

CAPÍTULO I **1**
INTRODUCCIÓN **1**
1.1. Antecedentes generales *1*
1.2. Objetivo general *2*
1.3. Objetivos específicos *2*
1.4. Alcance del proyecto de título *3*
1.5. Metodología *3*
1.6. Justificación del proyecto de título *4*
1.7. Resumen de capítulos *5*
CAPÍTULO II **7**
MARCO TEÓRICO **7**
2.1. Antecedentes generales *7*
2.2. Mantenimiento industrial *11*
2.3. Autómata programable *13*
2.3.1. Clasificación de los PLC 14
2.3.2. Entrada y salidas digitales del PLC 15
2.3.3. Entradas y salidas analógicas 17
2.3.4. Comunicaciones en el autómata 18
2.3.4.1. Protocolos de comunicación 19
2.4. Motores *22*
2.5. Variadores de frecuencia *25*
2.6. Sistema SCADA *27*
2.6.1. Tipos de sistema SCADA 28
2.7. Inteligencia artificial *30*
2.7.1. Machine learning 30
2.7.2. Redes neuronales 31
CAPÍTULO III **33**
SISTEMA PROPUESTO **33**
3.1. Consideraciones iniciales *33*

3.1.1. Descripción del sistema ... 33
3.1.2. Caracterización del sistema ... 35
3.1.3. Funciones del sistema ... 37
3.2. Análisis general del sistema de mantenimiento predictivo ... 37
3.2.1. Análisis de la arquitectura de red ... 38
3.2.2. Topología de red ... 39
3.2.3. Arquitectura del sistema físico de mantenimiento ... 40
3.3. Análisis del sistema de procesamiento de información ... 42
3.3.1. Toma de información del variador ... 43
3.3.2. Interconexión entre el PLC y variador ... 43
3.3.3. Comunicación entre PLC y SCADA ... 47
3.4. Análisis y programación del sistema de mantenimiento ... 50
3.4.1. Definición de las técnicas de inteligencia artificial aplicado al mantenimiento predictivo ... 50
3.4.2. Implementación del programa de mantenimiento predictivo ... 52
3.5. Pruebas de funcionamiento ... 62
3.5.1. Prueba de sistema de histórico de variables ... 62
3.5.2. Prueba de creación de los datos de entrenamiento ... 65
3.5.3. Prueba de estimación del sistema de datos ... 68
CAPÍTULO IV ... 71
ANÁLISIS DE RESULTADOS ... 71
4.1. Presentación de resultados ... 71
4.2. Resultados de las pruebas de ABB Smart Sensor ... 71
4.3. Necesidades que pretende cubrir ABB Smart Sensor ... 72
4.4. Sistema productivo de apoyo a la producción ... 72
4.5. Importancia de los datos ... 72
4.6. Mantenimiento predictivo tradicional ... 73
4.7. El internet de las cosas (IoT) ... 74
4.8. ABB Smart sensor ... 74
4.9. Condición de monitoreo para motores eléctricos ... 75
4.9.1. Beneficios ... 78

4.9.2. Tres elementos: hardware, apps, web portal 80
4.9.3. Ahorro de costos 81
4.10. Layout *83*
4.11. Dashboard *86*
4.12. Hardware *88*
CAPÍTULO V 91
CONCLUSIONES 91
BIBLIOGRAFÍA 94
ANEXO 95
ABB ABILITY™ SMART SENSOR 95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Nº 2.1: Varios modelos de autómatas programables. 13
Figura Nº 2.2: Diagrama de bloques de la estructura de un PLC. 14
Figura Nº 2.3: Simatic S7-1200 de Siemens. 15
Figura Nº 2.4: Simatic S7-1500 de Siemens. 15
Figura Nº 2.5: Módulo en entradas digitales. 16
Figura Nº 2.6: Módulo de salidas digitales. 16
Figura Nº 2.7: Conexión de sensores analógicos hacia módulos de entradas analógicas. 17
Figura Nº 2.8: Conexión del módulo de salidas analógicas. 18
Figura Nº 2.9: Estator de un motor trifásico asíncrono. 23
Figura Nº 2.10: Rotor de un motor trifásico asincrónico. 24
Figura Nº 2.11: Componentes de un motor trifásico asíncrono. 25
Figura Nº 2.12: Variadores de frecuencia. 25
Figura Nº 2.13: Rampa de aceleración. 26
Figura Nº 2.14: Rampa de desaceleración. 27
Figura Nº 2.15: Componentes de sistemas SCADA. 28
Figura Nº 2.16: Red neuronal artificial. 31
Figura Nº 3.1: Diagrama de flujo sistema. 34
Figura Nº 3.2: Motor asíncrono SIMOTICS. 35
Figura Nº 3.3: Variador de frecuencia SINAMICS G120. 36
Figura Nº 3.4: PLC SIMATIC S7-1500. 36
Figura Nº 3.5: Arquitectura del sistema. 38
Figura Nº 3.6: Topología de red del sistema. 39
Figura Nº 3.7: Topología de red con integración a la nube. 40
Figura Nº 3.8: Diagrama de bloques del sistema. 40
Figura Nº 3.9: Integración de todos los equipos. 42
Figura Nº 3.10: Conexión de red entre PLC y Variador. 44
Figura Nº 3.11: Variable de control tipo WORD del telegrama 352. 44
Figura Nº 3.12: Variable de status tipo WORD del telegrama 352. 45
Figura Nº 3.13: Librería de TIA portal para el uso del telegrama 352. 46

Figura Nº 3.14: Conexión para intercambiar datos entre SCADA y S7-1500. 47
Figura Nº 3.15: Interfaz sistema SCADA. 49
Figura Nº 3.16: Variables del motor en el PLC. 50
Figura Nº 3.17: Red básica para un sistema de análisis de una red neuronal. 51
Figura Nº 3.18: Configuración para permitir la compartición de datos en PLC. 53
Figura Nº 3.19: Configuración en PLC para establecer conexión con Node-RED..... 54
Figura Nº 3.20: Configuración en Node -RED para establecer conexión con PLC..... 55
Figura Nº 3.21: Entrenamiento, primera fase de Red Neuronal con datos de PLC. 57
Figura Nº 3.22: Evaluación, segunda fase de red neuronal con datos de PLC. 57
Figura Nº 3.23: Conjunto de nodos para sistema de análisis y presentación de datos. 58
Figura Nº 3.24: Generador de datos para funcionamiento normal y con errores. 59
Figura Nº 3.25: Almacenamiento de variables en Base de Datos. 59
Figura Nº 3.26: Entrenamiento, primera fase de red neuronal con datos simulados. 60
Figura Nº 3.27: Evaluación, segunda fase de red neuronal con datos simulados. 61
Figura Nº 3.28: Diagrama de funcionamiento del sistema de análisis. 62
Figura Nº 3.29: Prueba de histórico de variables-envío de 2 conjuntos. 63
Figura Nº 3.30: Prueba de histórico de variables. 63
Figura Nº 3.31: Prueba de histórico de variables- comprobación de datos recibidos. 64
Figura Nº 3.32: Comparación de datos enviados y recibidos. 65
Figura Nº 3.33: Prueba de creación de información de entrenamiento. 67
Figura Nº 3.34: Prueba de creación de informes de entrenamiento. 68
Figura Nº 3.35: Arreglos de datos enviados. 69
Figura Nº 3.36: Prueba de estimación. 70
Figura Nº 4.1: Monitoreo tradicional equipos. 73
Figura Nº 4.2: Internet de las cosas. 74
Figura Nº 4.3: IoT en los motores. 74
Figura Nº 4.4: Motor eléctrico planta pellets. 75
Figura Nº 4.5: Motor eléctrico planta pellets. 75
Figura Nº 4.6: Sistema ABB Smart Sensor. 78
Figura Nº 4.7: Beneficios ABB Smart Sensor. 80
Figura Nº 4.8: Tres elementos. 81

Figura Nº 4.9: Ahorro de costos. 83
Figura Nº 4.10: Layout monitoreo equipos. 85
Figura Nº 4.11: Dashboard ABB Smart Sensor. 88
Figura Nº 4.12: Hardware ABB Smart Sensor. 90

RESUMEN

El proyecto de título tuvo como objetivo desarrollar un sistema de mantenimiento predictivo remoto mediante la implementación del sensor inteligente ABB Smart Sensor, integrado al sistema SCADA, en la planta de pellets Huasco de la Compañía Minera del Pacífico (CMP). Se investigaron los fundamentos del mantenimiento predictivo y las tecnologías asociadas, incluyendo sensores inteligentes, autómatas programables, sistemas SCADA, variadores de frecuencia e inteligencia artificial. Luego, se diseñó un sistema capaz de recolectar y analizar datos operacionales de los motores, utilizando el ABB Smart Sensor y el sistema SCADA, con el propósito de anticipar fallas y optimizar la planificación del mantenimiento. El sistema fue programado con técnicas de redes neuronales, las cuales procesaron los datos para estimar el comportamiento futuro de los equipos. Durante la implementación, se realizaron pruebas de funcionamiento que incluyeron la adquisición de datos históricos, la generación de conjuntos de entrenamiento y la validación de estimaciones. Los resultados evidenciaron mejoras en la eficiencia operativa, una reducción significativa de los tiempos de inactividad no planificados, optimización del uso de recursos y un aumento en la seguridad del personal. Se concluyó que el mantenimiento predictivo basado en tecnologías inteligentes constituyó una estrategia eficaz para la gestión de activos industriales, promoviendo una operación más confiable, rentable y sostenible.

MANTENIMIENTO PREDICTIVO - SMART SENSOR - REDES - IOT

ABSTRACT

The thesis project aimed to develop a remote predictive maintenance system through the implementation of the ABB Smart Sensor integrated with the SCADA system at the Huasco pellet plant of Compañía Minera del Pacífico (CMP). The theoretical foundations of predictive maintenance and related technologies—such as smart sensors, programmable logic controllers, SCADA systems, frequency converters, and artificial intelligence—were researched. A system was then designed to collect and analyze operational motor data using the ABB Smart Sensor and SCADA, in order to anticipate failures and optimize maintenance planning. The system was programmed using neural network techniques to process the data and predict future equipment behavior. Implementation involved performance tests, including historical data collection, training data generation, and estimation validation. The results showed improvements in operational efficiency, significant reductions in unplanned downtime, optimized resource usage, and increased personnel safety. It was concluded that predictive maintenance based on intelligent technologies provided an effective strategy for managing industrial assets, contributing to a more reliable, cost-effective, and sustainable operation.

PREDICTIVE MAINTENANCE - SMART SENSOR - NETWORKS - IOT

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes generales

En el proyecto de titulación propuesto, se llevará a cabo la instalación de un Smart Sensor ABB en cada motor de la planta. Este dispositivo ofrece la ventaja de medir parámetros como vibraciones, temperatura y estado de los rodamientos de forma remota, ya sea desde una aplicación en el teléfono móvil o desde una computadora. Esto elimina la necesidad de personal de mantenimiento preventivo realizando mediciones frecuentes en terreno. Además, el sensor genera una base de datos para cada motor, lo que facilita un seguimiento más preciso, optimizando el mantenimiento y reduciendo paradas inesperadas por fallas.

Este sensor será instalado en los motores de los equipos en la planta de pellets Huasco de la Compañía Minera del Pacífico (CMP). Permitirá monitorear variables como vibración, temperatura, potencia y estado de rodamientos de manera remota, contribuyendo a una gestión más eficiente y segura de los equipos.

La empresa, al igual que muchas otras, se encuentra en constante evolución para mejorar su productividad y reducir sus costos operacionales. Actualmente, ha modernizado su sistema de venta de mineral mediante un proceso llamado pelletización, que transforma el mineral de hierro en pequeñas esferas conocidas como pellets. Estas son adquiridas principalmente por empresas siderúrgicas como materia prima para la producción de acero. La necesidad de implementar este sensor surge de la importancia de mantener altos estándares de seguridad, mejorando el proceso productivo a través del monitoreo continuo que proporciona el Smart Sensor. Esto se traduce en mejoras continuas, ahorro en costos, y el fortalecimiento de una producción sostenible, enfocada en altos niveles de seguridad, confiabilidad, calidad y responsabilidad ambiental.

Un dispositivo muy cómodo que permite analizar a distancia el funcionamiento de los motores eléctricos asíncronos de forma simple. Proporcionando una gran cantidad de datos clave sobre su funcionamiento productivo: estado del rotor, temperatura, excentricidad del entrehierro, vibración general, estado de los rodamientos y de la refrigeración. Lo anterior, con el fin de garantizar el correcto funcionamiento en el área de operaciones de la compañía minimizando los costos asociados al área de mantenimiento, nivel de frecuencias de las paradas de planta y lo más importante tender a cero el contacto del operario con los diversos equipos, producto de la mantención, teniendo como consecuencia altos estándares en materia de seguridad debido al bajo nivel de exposición del trabajador.

Con estos antecedentes, se desarrollará la implementación del Smart ABB sensor en la planta de pellets Huasco de la Compañía Minera del Pacífico (CMP).

1.2. Objetivo general

Desarrollar un sistema de mantenimiento predictivo usando el análisis de los datos proporcionados por el Smart ABB Sensor, para buscar tendencias de comportamiento y pronóstico para realizar un mantenimiento.

1.3. Objetivos específicos

- Investigar el contexto y las características clave de la minería del hierro mediante un estudio exhaustivo del estado del arte, analizando los aspectos técnicos y operacionales que afectan el uso de sensores predictivos en el mantenimiento de equipos.

- Diseñar un sistema integral de mantenimiento predictivo que permita visualizar y gestionar las herramientas necesarias a partir de los datos generados por los sensores ABB Smart Sensor instalados en los motores de la planta, promoviendo una mayor eficiencia en el seguimiento y análisis de los equipos.

- Evaluar el rendimiento y el impacto económico del uso del ABB Smart Sensor, comparando los resultados del mantenimiento predictivo con otros métodos convencionales, y analizando el potencial ahorro en costos y mejora en la operatividad.

- Implementar una prueba piloto del sistema de mantenimiento predictivo para validar su funcionalidad en un entorno real, recopilando datos operacionales que permitan identificar mejoras y garantizar la viabilidad técnica y económica del sistema antes de su implementación total.

1.4. Alcance del proyecto de título

El presente proyecto de título está enfocado a la minería del hierro dando énfasis a las políticas de inversión de Cap Minería y por ello, considera información del yacimiento propio de Minera Cap. El trabajo se enmarca en el proceso de instalación del ABB Smart Sensor como monitoreo del funcionamiento de los equipos asociados al proceso productivo.

1.5. Metodología

La metodología de trabajo del presente proyecto de título se engloba en recopilar información acerca del proceso productivo de la Compañía Minera del Pacífico (CMP), considerando la instalación del ABB Smart Sensor en la Planta Pellets Huasco de la Compañía Minera del Pacífico (CMP). El estudio del sistema de mantenimiento predictivo se caracteriza por el análisis de gran cantidad de datos. El enfoque de la investigación es de carácter cuantitativo, puesto que, en base a los datos de energía provenientes del variador y diferentes sensores en el motor, se busca determinar los patrones que existen en los valores de las variables, para compararlos con una base de datos e identificar su comportamiento y estimar el tiempo exacto para el siguiente mantenimiento.

El método usado para realizar el estudio es mediante recopilación de investigaciones y pruebas experimentales. Inicialmente se hicieron pruebas con plataformas ya existentes para comprobar si cumplían con los requerimientos del sistema propuesto y finalmente integrar herramientas para poder lograr el mismo resultado que un sistema ya desarrollado.

1.6. Justificación del proyecto de título

La justificación de implementar el mantenimiento predictivo remoto en la planta de pellets Huasco de la Compañía Minera del Pacífico (CMP) se fundamenta en una serie de razones que demuestran su relevancia para la eficiencia operativa, la reducción de costos y la mejora en la confiabilidad de la planta. Algunas de estas razones son las siguientes:

1. **Reducción de costos y tiempo de inactividad:** El mantenimiento reactivo y programado puede resultar costoso debido a la necesidad de reemplazar componentes completos, detener la producción y llevar a cabo trabajos de mantenimiento extensivos. Al implementar el mantenimiento predictivo, se pueden detectar fallos y problemas potenciales antes de que se conviertan en fallas graves, permitiendo la planificación de intervenciones de mantenimiento específicas y evitando paros no programados.

2. **Aumento de la confiabilidad:** La detección temprana de problemas en los equipos a través de sensores y monitoreo continuo permite prevenir fallos importantes. Esto se traduce en una mayor confiabilidad en la operación de la planta y una disminución de incidentes inesperados que puedan afectar la producción y la calidad del producto.

3. **Optimización de recursos:** Al conocer el estado real de los equipos, es posible optimizar el uso de recursos, como piezas de repuesto y personal de mantenimiento. Las intervenciones de mantenimiento pueden llevarse a cabo solo cuando es necesario, evitando el reemplazo prematuro de componentes en buen estado y permitiendo una gestión más eficiente de los recursos humanos.

4. **Incremento de la eficiencia:** La monitorización continua y en tiempo real de los equipos a través de sensores permite identificar patrones y tendencias en el rendimiento. Esto puede llevar a mejoras en la eficiencia operativa al ajustar parámetros de producción y mantenimiento de acuerdo con los datos recopilados.

5. **Reducción de riesgos laborales:** Al minimizar la necesidad de intervenciones de mantenimiento no planificadas, se reduce el riesgo para los trabajadores que realizan tareas en equipos y maquinaria potencialmente peligrosos.

6. **Mejora en la planificación:** La capacidad de prever problemas permite una planificación más precisa de las actividades de mantenimiento. Esto facilita la coordinación de recursos y la programación de trabajos, minimizando la interferencia con la producción regular.

7. **Adopción de tecnología innovadora:** La implementación del ABB Smart Sensor y el sistema SCADA demuestra el compromiso de la empresa con la innovación y la adopción de tecnologías avanzadas para mejorar sus procesos. Esto puede tener un impacto positivo en la percepción de la empresa por parte de inversores, clientes y la industria en general.

8. **Competitividad:** La adopción del mantenimiento predictivo remoto puede aumentar la competitividad de la planta de pellets Huasco al mejorar su eficiencia, confiabilidad y calidad del producto. Esto puede llevar a una mejor posición en el mercado y una mayor satisfacción del cliente.

1.7. Resumen de capítulos

Capítulo II: Marco Teórico. El marco teórico establece los fundamentos del mantenimiento predictivo y el uso de sistemas de control como SCADA y PLC. Se revisan tecnologías relevantes como los sensores inteligentes, variadores de frecuencia y autómatas programables.

Además, se exploran conceptos avanzados como el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial, destacando cómo estas tecnologías mejoran el monitoreo de los equipos industriales y facilitan la predicción de fallos en tiempo real.

Capítulo III: Sistema Propuesto. Este capítulo describe en detalle el sistema de mantenimiento predictivo a implementar. Se explica cómo los sensores ABB Smart Sensor recogerán datos de los motores, que luego serán procesados a través del sistema SCADA. El objetivo del sistema es predecir el comportamiento de los motores y programar el mantenimiento antes de que ocurran fallos. Se presentan diagramas y flujos de trabajo para ilustrar el funcionamiento del sistema y sus componentes, incluyendo la arquitectura de red, el análisis de datos y la interconexión entre dispositivos.

Capítulo IV: Análisis de Resultados. Aquí se analizan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas con el sistema ABB Smart Sensor. Se presentan los datos generados por los sensores y cómo estos se integran en el sistema de mantenimiento predictivo. El análisis muestra una mejora en la eficiencia operativa, reducción de costos y disminución de tiempos de inactividad. También se discuten los beneficios de integrar estas tecnologías en la gestión de los equipos industriales, incluyendo la optimización de recursos y la reducción de riesgos laborales.

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones. El capítulo final concluye que la implementación del ABB Smart Sensor y el sistema SCADA mejora significativamente la gestión de activos en la planta de pellets. Se destacan los beneficios de la transición hacia un mantenimiento predictivo, incluyendo una mayor eficiencia, reducción de costos y prolongación de la vida útil de los equipos. Se ofrecen recomendaciones para la expansión del uso de estas tecnologías en otras áreas industriales y se subraya la importancia de la capacitación del personal y la evaluación continua del sistema para garantizar su efectividad a largo plazo.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes generales

En el sector industrial existen varios tipos de mantenimiento, uno de ellos es el mantenimiento predictivo que se basa en la evaluación de condiciones y del estado de una máquina. Y en base a esto recomienda si se debe intervenir o no. El objetivo principal de este tipo de mantenimiento es garantizar disponibilidad de maquinaria y equipo crítico ahorrando recursos. La monitorización de máquinas no es nueva, anteriormente los datos solo se almacenaban, pero no se usaban y estaban limitados a estados de las máquinas. El concepto de Industria 4.0, la obtención y análisis de datos es el pilar fundamental, si se aplican técnicas de modelado y procesamiento adecuado todos los datos obtenidos se transformarán en información de utilidad para toma de decisiones. Una de las técnicas de mantenimiento predictivo se basa en el análisis de variables para identificar y estimar fallos potenciales en equipos. Uno de los problemas que se presenta en el análisis de estas variables es la forma de usar estos datos, uno de los modelos que mejor resultados ha dado son lo que priorizan la obtención de patrones dentro de un ciclo. La obtención de patrones ya existe en la estadística, pero el desarrollo del área computacional ha permitido el uso de este recurso en el área industrial para la obtención de estadísticas de forma automática por medio de algoritmos de inferencia y predicción a partir de teoremas probabilísticos.

Las bases de datos que almacenan variables de procesos han aumentado significativamente en tamaño y complejidad, lo que genera la necesidad de desarrollar soluciones que permitan aprovechar estos datos mediante métodos estadísticos avanzados. Apache Spark, una plataforma de código abierto se ha convertido en una de las soluciones más utilizadas para este tipo de desafíos. Este sistema de gestión es altamente versátil, ya que permite la integración de datos en distintos lenguajes de programación y facilita la creación de gráficos. Su principal fortaleza radica en su eficiencia en cálculos iterativos, lo que lo convierte en una herramienta ideal para implementar algoritmos de Machine Learning en bases de datos a gran escala.

Además, Apache Spark cuenta con una amplia gama de librerías que permiten un manejo rápido y escalable de datos, siendo útil para la aplicación de algoritmos de clasificación, regresión, filtrado colaborativo, agrupamiento y reducción dimensional. También ofrece diversas funcionalidades, como estadística, álgebra lineal y optimización. La continua actualización de estas librerías asegura la mejora constante del sistema y su adaptación a nuevas necesidades.

El objetivo del Machine Learning es permitir aprender desde el pasado hasta el presente y usar ese conocimiento para hacer predicciones o decisiones sobre eventos futuros imprevistos. En términos generales, el proceso para realizar una tarea de Machine Learning supervisada consiste en tres partes: Construir un modelo, evaluar y ajustar el modelo y luego poner el modelo en producción. La parte más importante en un sistema de Machine Learning se encuentra en los datos que se envían a los modelos, los beneficios que se pueden obtener de la Big Data están impulsando a que los sistemas de Machine Learning estén a la vanguardia de la investigación, desarrollo y aplicaciones para la industria, El significado del término “Big Data” se refiere generalmente a datos que son demasiado grandes o demasiado complejos para procesar por una sola máquina. Para que se pueda usar el Machine Learning de forma eficiente con gran cantidad de datos, se necesitan arquitecturas complejas que usan una combinación de herramientas para recolectar, almacenar, procesar y analizar. Uniendo todas estas herramientas en una sola arquitectura resulta un poco complicado ya que se requiere gran capacidad de almacenamiento y procesamiento, por eso es necesario el uso de plataformas orientas a este tipo de trabajos.

IBM es una de las empresas que está trabajando para cumplir con los requerimientos, ofreciendo el servicio en la nube conocido como Bluemix, que permite a los desarrolladores crear, ejecutar y administrar a través de su plataforma online. Los servicios que ofrece están divididos en cuatro categorías y varias opciones están disponibles en versiones de prueba. El entorno es dinámico cuenta con actualizaciones y nuevas herramientas de forma frecuente.

Esta plataforma también cuenta con herramientas como reconocimiento visual lo cual le permite reconocer entornos, objetos y evaluarlos dependiendo de su color, textura o forma. Este tipo de análisis también cuenta con una base de datos desarrollada por IBM en donde se encuentra información de algunos objetos, gracias a esto el sistema funcionará ya teniendo un aprendizaje previo, de no ser así el sistema de reconocimiento debe ser programado con ejemplos positivos y negativos para que pueda crear su criterio de selección. Existen muchas más herramientas que ofrece Bluemix para el desarrollo de aplicaciones con inteligencia artificial, puede hacer posible la creación de sistemas que sean comandados por medio de voz y que realice procesos de forma automática, hasta el punto de que se podría comandar todo el sistema, pedir análisis, informes y varias opciones más simplemente por medio de la voz.

En la cima de los sistemas de automatización se encuentran los sistemas SCADA, los cuales son esenciales para la supervisión y control de los procesos, incluso cuando se dispone de datos y resultados generados por un sistema de inteligencia artificial. Un sistema SCADA permite gestionar y administrar todos los datos, asegurando que los equipos operen de manera controlada y eficiente. La integración de SCADA con una plataforma de inteligencia artificial ofrece varios beneficios, como una mayor seguridad, ya que la inteligencia artificial no tiene control directo sobre los equipos, y la reducción de costos, al eliminar la necesidad de dispositivos adicionales como gateways, además de cumplir con los requisitos de redundancia del sistema.

Estos sistemas pueden considerarse como supervisores inteligentes, pues combinan la gestión de la infraestructura física con el procesamiento avanzado de datos mediante computación. Aunque los sistemas SCADA se originaron en el ámbito industrial, su evolución ha permitido su mejora continua, logrando que sean accesibles en cualquier momento y desde cualquier lugar a través de navegadores web seguros. Los llamados WebSCADA son sistemas escalables y flexibles, capaces de integrar nuevas funciones fácilmente en distintos proyectos, facilitando el mantenimiento y siendo adaptables a diversas aplicaciones, como en las industrias del petróleo, manufactura, producción de gas, monitoreo y muchas otras.

Un sistema SCADA por medio de internet es el nuevo concepto que se está poniendo en tendencia, con el tiempo tecnologías antiguas van de a poco desapareciendo, los sistemas SCADA intentan crear una compatibilidad para trabajar con tecnologías nuevas y antiguas, por eso son ampliamente usados debido al gran alcance en compatibilidad con dispositivos.

Los sistemas SCADA inicialmente fueron desarrollados para funcionar desconectados de la red, debido a su posibilidad de integración y conectividad a través de internet existe una potencial exposición a amenazas, además algunos de los protocolos con los que trabajan normalmente estos sistemas no vienen encriptados. La seguridad se puede ver comprometida ya sea por medio de protocolos sin encriptación, o librerías para compatibilidad con nuevos equipos, para esta problemática se recomienda que la virtualización, los sistemas de analítica, base de datos y comunicaciones inalámbricas, deben trabajar juntos colaborando entre ellos para lograr un mejor control al momento de aplicar sistemas de seguridad. Los desarrolladores de estos sistemas se han visto obligados a trabajar en la seguridad.

De a poco van incluyendo funciones como proxy multiplexado, acceso en base a roles para hacer más difíciles ataques de seguridad. Cuando los sistemas SCADA tiene las funciones de conectividad integradas de forma nativa, facilita el trabajo a los desarrolladores cuando tienen que analizar y buscar posibles ataques. En estos casos también se puede usar la inteligencia artificial, que se usan técnicas de análisis para detectar actividades anormales que puedan mostrar algún indicio de ataque, las ventajas que se tiene es que el sistema puede funcionar en todo momento. El sistema de aprendizaje también entra en la solución ya que tiene la posibilidad de aprender o detectar nuevos indicios de ataques y bridar defensa contra escenarios aun no vistos por el sistema. En cierto puto se podría automatizar las acciones a tomar y en el peor de los casos que cree un sistema de respaldo y se configure automáticamente para regresar a un estado en donde se encontraba trabajando correctamente.

2.2. Mantenimiento industrial

El mantenimiento industrial es un conjunto de actividades y estrategias diseñadas para garantizar el buen funcionamiento, la confiabilidad y la prolongación de la vida útil de equipos, maquinaria y sistemas utilizados en entornos industriales. El objetivo principal del mantenimiento industrial es minimizar los tiempos de inactividad no planificados, maximizar la eficiencia operativa y reducir los costos asociados con reparaciones y reemplazos.

Existen varios enfoques y estrategias dentro del mantenimiento industrial, cada uno con sus propias características y ventajas:

1. **Mantenimiento Reactivo (Correctivo):** En este enfoque, las intervenciones de mantenimiento se realizan después de que un equipo o sistema haya fallado. Si bien este enfoque puede ser necesario en situaciones de emergencia, puede resultar costoso debido a los tiempos de inactividad y a la necesidad de reparaciones urgentes.

2. **Mantenimiento Preventivo:** En este enfoque, se realizan inspecciones y tareas de mantenimiento planificadas de manera regular, con base en el tiempo o el uso acumulado. El objetivo es prevenir fallas antes de que ocurran. Aunque reduce la probabilidad de fallas inesperadas, puede llevar a un mantenimiento innecesario en algunos casos.

3. **Mantenimiento Predictivo:** Este enfoque implica la monitorización continua de los equipos y sistemas utilizando sensores y tecnologías avanzadas. Se recopilan datos en tiempo real sobre el rendimiento y el estado de los componentes, lo que permite predecir problemas y planificar intervenciones de mantenimiento específicas. Esto ayuda a minimizar los tiempos de inactividad y a optimizar los recursos.

4. **Mantenimiento Proactivo:** Este enfoque busca abordar las causas subyacentes de los problemas antes de que se conviertan en fallas. Implica el análisis de datos y la identificación de tendencias para tomar medidas preventivas y mejorar la confiabilidad a largo plazo.

5. **Mantenimiento Basado en la Condición (CBM):** Similar al mantenimiento predictivo, el CBM se enfoca en el monitoreo constante de las condiciones de los equipos y la toma de decisiones basadas en la información recopilada sobre el estado actual.

6. **Mantenimiento Totalmente Productivo (TPM):** Esta estrategia busca involucrar a todos los niveles de la organización en el mantenimiento y la mejora continua de los equipos. El objetivo es maximizar la productividad y la eficiencia a través de la prevención de problemas.

7. **Mantenimiento Correctivo Planeado:** A diferencia del mantenimiento reactivo, aquí se planifican intervenciones de mantenimiento después de que ocurra una falla, pero antes de que la situación se vuelva crítica.

La elección de la estrategia de mantenimiento depende de varios factores, como la naturaleza de la industria, el tipo de equipos utilizados, los riesgos asociados con fallas y la disponibilidad de recursos.

En los últimos años, la tecnología ha desempeñado un papel cada vez más importante en el mantenimiento industrial, permitiendo la adopción de enfoques más avanzados como el mantenimiento predictivo y el uso de sensores, análisis de datos y sistemas de monitoreo en tiempo real, lo que garantiza la ejecución del presente proyecto de título.

2.3. Autómata programable

Un Autómata programable, también conocido como PLC (Controlador Lógico Programable), son dispositivos que permite controlar procesos de forma programada. En la figura Nº 2.1 se muestran diferentes modelos de autómatas programables.

Figura Nº 2.1: Varios modelos de autómatas programables.

Fuente: Scheffer & Girdhar (2004).

Un PLC es capaz de procesar información de forma inteligente de señales provenientes de sensores, para realizar acciones en base a la magnitud de los datos que recibe. El componente principal de un PLC es su microprocesador, es el que procesa y controlar las señales externas, ya sea de lectura como de escritura a través de las interfaces que posea.

Para el funcionamiento de estos equipos es necesario una fuente ya que la mayoría de ellos trabajan en corriente continua, sin embargo, hay equipos que tienen la capacidad de trabajar con corriente alterna.

La programación y configuración de los autómatas se encuentran almacenados en su memoria interna o también puede darse el caso de que usen otro tipo de memorias externas como son las SD.

En la figura Nº 2.2 se puede observar un diagrama de bloques de la estructura de un PLC. Estas tarjetas, aunque son parecidas a las convencionales, están construidas de forma distinta para que puedan soportar la temperatura y demás condiciones industriales a las que se expone un autómata.

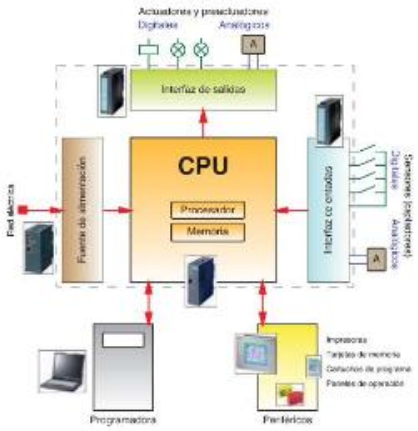


Figura Nº 2.2: Diagrama de bloques de la estructura de un PLC.

Fuente: Scheffer & Girdhar (2004).

2.3.1. Clasificación de los PLC

Los PLC dependiendo de su diseño, pueden ser clasificados en 3 tipos:

- **Compactos:** Son aquellos que tienen sus elementos de entrada/salida, procesador, fuente de alimentación en el mismo equipo. La mayoría de equipos aparte de ser compactos, también dan las opciones de ser ampliados por medios de módulos adiciones. En la figura Nº 2.3. se muestra un PLC compacto Simatic S7-1200.

Figura Nº 2.3: Simatic S7-1200 de Siemens.

Fuente: Siemens AG (2018).

- **Modulares:** Son aquellos que poseen una gran capacidad de expansión ya que sus elementos son modulares y van montados sobre algún rack. En la figura Nº 2.4 se muestra un PLC modular SIMATIC S7-1500 con varias tarjetas de entradas y salidas instaladas.

Figura Nº 2.4: Simatic S7-1500 de Siemens.

Fuente: Siemens AG (2018).

2.3.2. Entrada y salidas digitales del PLC

Las entradas y salidas digitales representan variables booleanas, las cuales pueden tomar solamente 2 valores.

Entradas digitales: Son señales discretas que cambian su estado si detecta o no tensión, Esto quiere decir que puede tomar valores en 1 y 0. Hay autómatas que pueden trabajar con entradas digitales de 24 VDC o también unos pocos trabajan con tensión de 110-220 VAC. En la figura Nº 2.5 se muestran ejemplos de elementos que funcionan como entradas digitales.

Figura Nº 2.5: Módulo en entradas digitales.

Fuente: Siemens AG (2018).

Salidas digitales: El objetivo principal de estas señales es servir para activar o desactivar actuadores, que pueden ser relés, contactores, lámparas, etc. Las salidas digitales en los autómatas pueden variar su funcionamiento, algunos envían una señal de 24 V para actuadores, pero existen también autómatas que tienen integrados relés como salidas digitales. En la figura Nº 2.6 se muestran ejemplos de elementos que funcionan como salidas digitales.

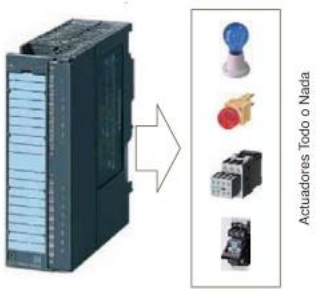


Figura Nº 2.6: Módulo de salidas digitales.

Fuente: Siemens AG (2018).

2.3.3. Entradas y salidas analógicas

Las entradas y salidas analógicas por lo general están orientadas a sensores o consignas para poder controlar algún equipo, lo**s** más comunes envían sus datos con valores de corriente o voltaje.

- **Entradas analógicas:** Su funcionamiento se basa en la detección de voltaje o corriente, estas entradas por lo general siempre provienen de sensores, los valores obtenidos casi siempre son usados para compararlos con consignas definidas por el usuario. Estas entradas requieren de captadores analógicos especiales, que se adapten a las señales con las cuales trabaje el autómata. Existen algunos estándares para que los dispositivos que se vayan a desarrollar funcionen correctamente. En tensión el más común es de 0 a 10 VDC, pero también hay estándares de -10 a +10 V o 2 a 10 V, con respecto a los estándares de corriente el más común es de 4 a 20 mA y las demás variantes que existen son de 0 a 20 mA, de 1 a 5 mA, de 0 a 5 mA como se muestra en la figura Nº 2.7.

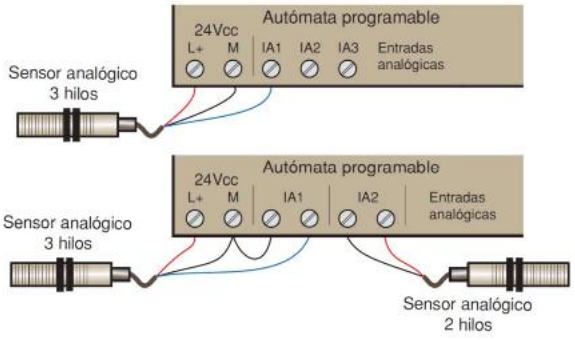


Figura Nº 2.7: Conexión de sensores analógicos hacia módulos de entradas analógicas.
Fuente: Siemens AG (2018).

- **Salidas analógicas:** Los módulos de salida analógica adapta la señal para los entandares comunes, para las conexiones entre módulos se recomienda usar un cable apantallado para poder evitar cualquier tipo de interferencia y perturbaciones en la señal, esto ayuda a que la señal que se está recibiendo sea más confiable y por ende

un mejor funcionamiento. En la figura Nº 2.8 se puede observar un diagrama de conexión de salidas analógicas.

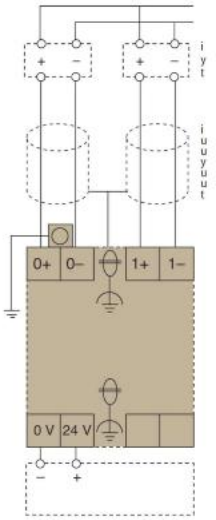


Figura Nº 2.8: Conexión del módulo de salidas analógicas.

Fuente: Siemens AG (2018).

2.3.4. Comunicaciones en el autómata

La comunicación se refiere al intercambio de información entre dispositivos o estaciones interconectadas. Cada estación es un dispositivo equipado con un módulo capaz de realizar dicha comunicación. Estas estaciones pueden estar conectadas a través de un bus, donde todas comparten un único cable, o mediante conexiones punto a punto, en las que solo se conectan dos estaciones entre sí. Para aumentar la capacidad de conexión en una red punto a punto, es necesario utilizar un switch que permita la interconexión de todos los dispositivos. Sin embargo, la simple conexión física entre los equipos mediante cables no es suficiente para que puedan intercambiar información. También se requiere un protocolo de comunicación, que es el conjunto de reglas que define cómo los dispositivos intercambian y gestionan los datos.

2.3.4.1. Protocolos de Comunicación

Un protocolo es un conjunto de reglas que permite a uno o más equipos poder transmitir información. Estas reglas definen el método como se sincroniza y como se envía la información.

- **Protocolo HART:** La alimentación más común es de corriente continua y envía una señal de 4 a 20 mA a un controlador que es lineal (o que se ajusta para ser casi lineal), entre límites bajo y alto del rango calibrado del transmisor.

  Los transmisores HART colocan una onda sobre la señal de 4-20 mA que no es necesaria o detectada por un controlador y no afecta la salida del transmisor. La frecuencia de la onda varía continuamente dependiendo de si un bit es 0 o 1. La onda contiene datos sobre el circuito, la medición y el transmisor.

  Cuando se conecta un terminal HART al circuito de 4-20 mA con un transmisor compatible con HART, el usuario puede monitorear el circuito y ajustar aspectos clave del transmisor desde el terminal. Esto simplifica las tareas de comprobación de problemas y cambia el alcance de un transmisor sin quitar la cobertura del mismo. La onda superpuesta es inmune al ruido eléctrico y a las corrientes de bucle de tierra, que pueden afectar a una señal puramente analógica de 4-20 mA. Las comunicaciones HART a veces se pueden usar para representar dos o más señales. Por ejemplo, la medición del flujo de aire deducida de un transmisor de presión diferencial (D.P.) depende de la temperatura del aire. Si es un D.P. El transmisor también mide la temperatura, ambas mediciones se pueden transmitir en el mismo cable.

  HART era originalmente un protocolo propietario, pero ahora es un protocolo abierto. Muchos OEM, han ofrecido transmisores compatibles con HART durante algún tiempo.

- **TCP/IP:** TCP (Protocolo de control de transmisión) e IP (Protocolo de Internet), conocido como TCP / IP, son protocolos clave. Se utilizan juntos en el Internet y en redes Ethernet en organizaciones comerciales y gubernamentales. TCP / IP es un estándar para transmitir datos en paquetes de una computadora a otra, las dos partes son TCP, las que se ocupan de la construcción de paquetes de datos, y la IP, es la que se encarga de enrutar los paquetes de una máquina a otra. Las direcciones IP se conforman de cuatro "octetos". Los valores de cada octeto varían de 0 a 255 y cada octeto va separado por un punto, por ejemplo, 192.168.41.23. Hay restricciones con respecto a las direcciones IP. Algunos no se pueden usar, y el Protocolo de Internet versión 4 (IPv4), se está quedando rápidamente sin las direcciones disponibles para el acceso público.

- **Modbus y variantes:** El protocolo original, propietario de Modbus fue desarrollado por Modicon. Es uno de los primeros protocolos de control desarrollados. La transmisión de datos en Modbus es en serie: un bit sigue a otro. En 2004, Modbus se convirtió en un protocolo abierto administrado, algunos instrumentos, medidores, indicadores y actuadores disponibles comercialmente son compatibles con Modbus. Es correcto referirse a Modbus como un protocolo de control, pero también puede usarse para aplicaciones de comunicaciones de datos que no requieren capacidad de control.

  Variantes de Modbus se utiliza en diferentes tipos de redes para diferentes aplicaciones. Aquí están dos de sus variantes:

  1. **Modbus RTU:** esta variación es muy utilizada. Se utiliza en redes RS- 485. Se utilizan comunicaciones maestro-esclavo. Incluye la comprobación de errores. Todos los dispositivos en una red Modbus RTU deben configurarse a la misma velocidad de comunicaciones.

2. **Modbus TCP / IP:** este es Modbus adaptado para su uso en una red Ethernet. También es conocido como Modbus TCP. Utiliza comunicaciones cliente-servidor. Los datos de proceso en los mensajes comunicados mediante Modbus TCP / IP están "integrados" en un TCP cuadro. Los nodos en una red que usan Modbus TCP / IP (y otros protocolos que usan TCP / IP), usan direcciones IP.

- PROFIBUS PA (Automatización de procesos), es un estándar de Profibus que se aplica a dispositivos de campo y cables de bus. Es interoperable con PROFIBUS DP. Su velocidad de comunicación nominal es de 31,25 kbps. La compatibilidad con PROFIBUS PA es ofrecida por muchos fabricantes de instrumentos y actuadores. Algunas de sus otras características se muestran a continuación:

  - ✓ Implementado con cable de par trenzado o fibra óptica. Si se usan cables de par trenzado, se requieren resistencias de final de línea. Tipología de bus utilizada cuando se utilizan segmentos de dispositivos de enlace de cable de par trenzado.
  - ✓ Las topologías en estrella, bus y anillo son posibles cuando se utiliza cable de fibra óptima.
  - ✓ Conectividad a controladores PROFIBUS DP.
  - ✓ Puede soportar dispositivos de campo utilizados en entornos donde existe riesgo de explosión.
  - ✓ Pueden existir hasta 126 nodos en una red.

- PROFIBUS DP (Periféricos descentralizados) es otro estándar de PROFIBUS que se aplica a los controladores. Profibus DP se comercializa para aplicaciones PLC. Algunas de sus características incluyen:

  - ✓ Soporta Comunicaciones cíclica.
  - ✓ Soporta hasta 126 nodos de red.
  - ✓ Opcionalmente se puede configurar con cableado redundante.

- **PROFINET:** es para uso en redes Ethernet de alta velocidad. Dos de sus 3 subdivisiones se pueden usar fácilmente en la configuración de la planta:

  - ✓ PROFINET IO y PROFINET IRT. Ambos tipos permiten opcionalmente cableado redundante. Ambos utilizan comunicaciones cíclicas. Y el hardware PROFINET aprobado para entornos industriales (a diferencia de los dispositivos convencionales en redes Ethernet).
  - ✓ PROFINET IO está diseñado para su uso en aplicaciones de plantas convencionales.
  - ✓ PROFINET IRT está diseñado para su uso en aplicaciones de fábrica donde se necesitan tanto cambios en las entradas (de dispositivos como codificadores), como respuestas muy rápidos a condiciones cambiantes (para dispositivos como servo accionamientos).

2.4. Motores

Los motores son considerados como uno de los elementos más importantes en el mundo industrial, debido a que son los encargados de mover numerosos accionamientos que son clave para el proceso de transporte y fabricación. De manera simple los motores eléctricos pueden clasificarse en:

- Motores eléctricos de corriente continua.

- Motores eléctricos de corriente alterna síncronos o asíncronos, el equipo usado más frecuente es el motor eléctrico asíncrono que consta de dos partes esenciales: Rotor y estator.

  - ✓ **Estator:** Puede definirse como el ensamblaje de las partes fijas que realizan la función de soportar, al menos parcialmente, el motor, pero fundamentalmente constituye la parte del circuito magnético que incluye los devanados del inductor alojados en Ranuras especiales realizadas en correspondencia con su superficie

interna. El estator, está constituido por una aleación de acero al silicio o por láminas de acero, aisladas una de la otra como se muestra en la figura Nº 2.9. De su estructura depende de cuánto se vea afectado por los flujos magnéticos variables en el tiempo que causan pérdidas debido a la histéresis (vinculada a la magnetización no lineal del material) y a las "corrientes de Foucault" inducidas. En las ranuras obtenidas en la estructura de las laminaciones, se insertan tres devanados primarios (cada uno de ellos formado por más bobinas conectadas de forma diferente entre ellas), a las que se aplica la tensión de alimentación y que generan el campo magnético. Los devanados trifásicos del estator pueden estar conectados en estrella o en triángulo; Esto se puede lograr con motores equipados con caja de terminales con 6 terminales, de modo que es posible alimentar el mismo motor con diferentes voltajes de red trifásicos.

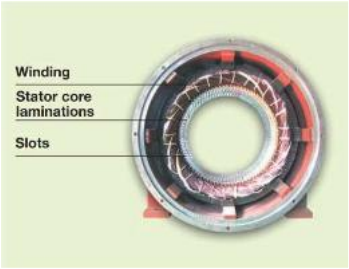


Figura Nº 2.9: Estator de un motor trifásico asíncrono.

Fuente: ABB (2008).

- ✓ **Rotor:** Se encuentra ubicado dentro del estator y constituye el circuito inducido del motor. Para un motor de jaula de ardilla, el rotor, está constituido por un sistema de barras (en cobre o aluminio), que son coaxiales al eje de rotación y se moldean directamente en las ranuras hechas a lo largo de la periferia externa de lo ferromagnético; están cerrados en corto circuito por dos anillos ubicados en las extremidades y constituyen también una fijación mecánica. De este modo, se obtiene un rotor extremadamente compacto y robusto, al que también se fija el eje del motor como se aprecia en la figura Nº 2.10. El campo magnético inducido, que constituye

el principio de funcionamiento del motor, hace que el eje del motor gire, convirtiendo así la energía eléctrica en energía mecánica.

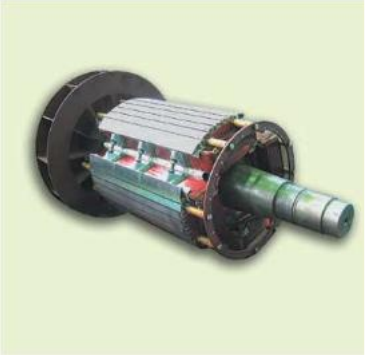


Figura Nº 2.10: Rotor de un motor trifásico asincrónico.

Fuente: ABB (2008).

Hay otros componentes mecánicos que constituyen el motor los cuales se muestran en la figura Nº 2.11.

- Los dos cojinetes montados en el estator y que tienen la función de soportar el eje del motor.

- El chasis que, gracias a las aletas de refrigeración, disipa el calor producido especialmente por el estator y que alberga también la caja de terminales de conexión.

- El ventilador, que permite la refrigeración del equipo.

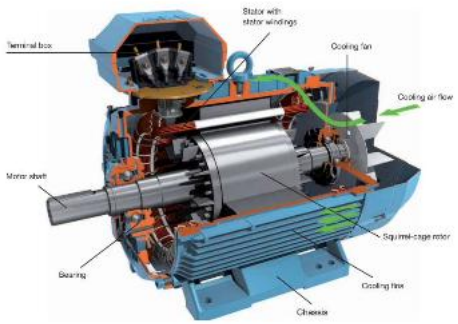


Figura Nº 2.11: Componentes de un motor trifásico asíncrono.

Fuente: ABB (2008).

2.5. Variadores de frecuencia

Una forma de variar la velocidad de un motor que funciona con corriente alterna, se logra variando la frecuencia de la energía que recibe. Un variador es un dispositivo que se encarga de la electrónica en potencia, como su nombre lo dice tiene la capacidad de variar la frecuencia de la alimentación del motor. Los variadores son usados con equipos que no requieren devanados especiales. Dependiendo de la capacidad y alimentación del motor el variador tendrá su rango de frecuencia. En la figura Nº 2.12 Se muestran varios modelos de variadores SINAMICS G120.

Figura Nº 2.12: Variadores de frecuencia.

Fuente: Siemens AG (2008).

Los variadores también cuentan con la posibilidad de observar algunas variables eléctricas provenientes del motor. Como el voltaje, revoluciones, temperatura, corriente y muchos más. También son capaces se aumentar la frecuencia de la fuente de alimentación el problema es que al hacer esto se pierde el torque y en el otro extremo usarlo en frecuencias muy bajas podría dañar el motor, si se requiere usar una velocidad muy baja resulta más conveniente usar un servo, los cuales permiten tener una mejor precisión y no poseen inconveniente para trabajar en velocidades muy bajas.

Los variadores por lo general se programan desde algún panel operador acoplado al equipo, mediante un ordenador a través de algún cable de conexión y con su respectivo programa para parametrización, en la actualidad existen equipos que incluso permite hacer la parametrización desde un dispositivo móvil.

Los parámetros más comunes en la parametrización de los variadores son:

- **Rampa de aceleración:** Es el tiempo que el motor demora en llegar a una velocidad definida por el usuario que se puede apreciar en la figura Nº 2.13.

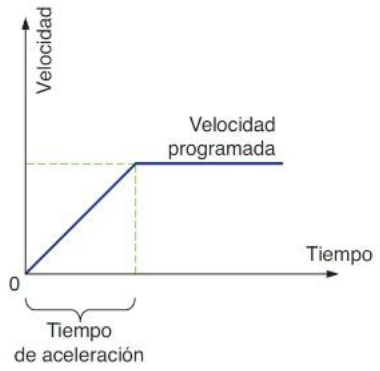


Figura Nº 2.13: Rampa de aceleración.

Fuente: Martín & García (2016).

- **Rampa de desaceleración:** Es el tiempo que el motor demora en detenerse o logrará otra velocidad preprogramada como se ilustra en la figura Nº 2.14.

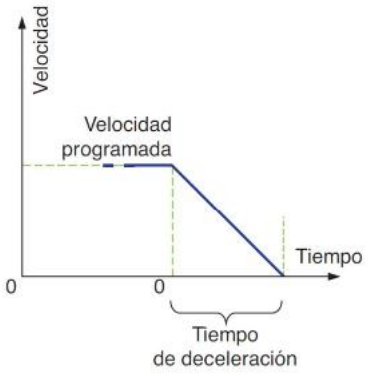


Figura Nº 2.14: Rampa de desaceleración.

Fuente: Martín & García (2016).

- **Velocidad máxima:** Es la velocidad tope a la que puede llegar a girar el motor.
- **Velocidad mínima:** Es la velocidad mínima configurada para que gire el motor.
- **JOG:** Es el movimiento del motor por medio de pulsos.
- **Frenado:** Es el ajuste que permite que el motor se detenga y puede lograrse por medio de la inyección de corriente.

2.6. Sistema SCADA

La definición de SCADA es Control de supervisión y adquisición de datos. La función principal del SCADA es la adquisición de datos desde dispositivos remotos como: bombas, transmisores, etc. y el control general a distancia desde un sistema SCADA. Esto proporciona control de proceso localmente para que estos dispositivos se enciendan y se apaguen en el momento adecuado, apoyando su estrategia de control y un método remoto de captura de datos y eventos (alarmas), para monitorear estos procesos. Los sistemas SCADA también proporcionan funciones para pantallas gráficas, alarmas, tendencias y almacenamiento histórico de datos.

Con el paso del tiempo, los sistemas SCADA han evolucionado para ofrecer soluciones especializadas para mercados específicos. En particular, han desarrollado soluciones para redes SCADA de área amplia que dependen de enlaces de comunicación poco robustos. Este tipo de sistemas SCADA es ampliamente utilizado en sectores como el petróleo y el gas, donde los activos están distribuidos en grandes extensiones geográficas, lo que requiere una infraestructura de comunicación adecuada para monitorear y controlar remotamente. En la figura Nº 2.15 se pueden observar los principales componentes de un sistema SCADA.

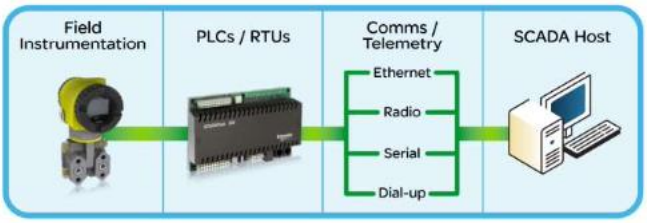


Figura Nº 2.15: Componentes de sistemas SCADA.

Fuente: Schneider Electric (2012).

Al observar la estructura general de un sistema SCADA, existen cuatro niveles distintos dentro del SCADA, estos son: Instrumentación de campo, PLCs y/o RTUs y Redes de comunicaciones - Sistema SCADA.

2.6.1. Tipos de Sistema SCADA

La recopilación de datos y el control del sistema en el nivel más alto se dividen en dos sistemas básicos:

- SCADA-Control de Supervisión y Adquisición de Datos.
- DCS - Sistema de Control Distribuido.

La definición de SCADA es un Sistema de Monitoreo y / o Control que utiliza una computadora central para almacenar información y hardware en el lugar de trabajo o remoto para monitorear instalaciones y procesos. El control puede ser automático o manual y puede ocurrir en las unidades remotas o en la computadora central.

La definición de DCS es un sistema de monitoreo y / o control que utiliza una computadora central para almacenar información y hardware en el lugar de trabajo o remoto para monitorear instalaciones y procesos. El control puede ser automático o manual y puede ocurrir en las unidades remotas o en la computadora central.

Si bien un sistema SCADA y un sistema DCS son esencialmente iguales en todos los niveles, hay una diferencia muy básica. Un sistema SCADA es impulsado por eventos y concéntrico por el operador. Está orientado a la recopilación de datos. Los datos se almacenan en la base de datos y el control generalmente se origina de forma remota. Considerando que, un DCS es impulsado por el estado del proceso. Se conecta directamente con dispositivos de campo y el control se realiza de forma local y automática. El operador acaba de ser informado de lo que ha sucedido.

Una estación maestra SCADA generalmente considera los cambios de estado (tanto los puntos de estado como los cambios analógicos que conducen a las alarmas) como el criterio principal que impulsa la recolección de datos y el sistema de presentación. Cualquier cambio de estado no detectado simplemente no se puede perder. Un cambio de estado hará que el sistema genere todas las alarmas, eventos, actualizaciones de la base de datos y cualquier procesamiento especial requerido relacionado con eso. Las listas de eventos y las listas de alarmas son de gran importancia para el operador, incluso a veces es mucho más que las pantallas que solo muestran datos.

A la inversa, los sistemas DCS son sistemas de control de procesos que se basan en el estado y consideran que los estados actuales y pasados de la variable del proceso son los criterios principales que impulsan el DCS. Los protocolos de PLC generalmente están basados en el escaneo de registros, sin un cambio específico de procesamiento de estado.

Si un punto cambia entre exploraciones, no será visto por el DCS. Si algún cambio de estado es crítico (como lo sería para un DCS usado para aplicaciones SCADA), se debe fijar un punto hasta que se confirme que se ha escaneado, lo que puede ser difícil y no determinista. Las tareas de software de DCS generalmente se ejecutan secuencialmente, en lugar de ser controladas por eventos. Si un proceso comienza a moverse desde un parámetro establecido, el DCS responde para mantener ese valor de parámetro. Notificar al Operador es una consideración secundaria. Los eventos y las listas de alarmas son de importancia secundaria para las pantallas de proceso, y el filtrado puede no ser tan complejo y flexible. En la parte positiva, la generación y visualización de datos, especialmente las tendencias analógicas y los bloques de procesos estándar, es mucho más fácil de usar y más fácil para los operadores e ingenieros.

2.7. Inteligencia Artificial

La inteligencia está definida como un grupo de propiedades, estas propiedades incluyen la habilidad de planear, resolver problemas. Una definición más simple es definirla como la habilidad de tomar decisiones correctas dado un conjunto de entradas y una variedad de acciones posibles.

El concepto de Inteligencia Artificial se ha logrado estudiando cómo actúa el cerebro humano mientras intenta resolver un problema, finalmente en base a los resultados del problema se forma el sistema de software inteligente. Para implementar este tipo de inteligencia en las máquinas, existe la necesita de crear un sistema que entienda, aprenda, piense y se comporte como un humano lo haría.

2.7.1. Machine Learning

El machine Learning incorpora una variedad de métodos como aprendizaje supervisado y no supervisado. En el aprendizaje supervisado el usuario tiene la posibilidad de definir las respuestas son correctas o incorrectas.

En el aprendizaje no supervisado difiere en que no necesita que el usuario esté presente, este método aprende de la información que obtiene. Los algoritmos más usados para el uso de Machine Learning son los árboles de decisiones y aprendizaje desde equipos similares.

2.7.2. Redes Neuronales

Las redes neuronales más conocidas como ANN (Artificial Neural Network), son un modelo computacional que realiza una simulación de neuronas biológicas humanas. La simulación se basa en cómo funcionan estas neuronas. Las neuronas reales son extremadamente complejas. Por lo tanto, el modelado de las redes neuronales artificiales es abstracto. Posee diferentes entradas, estas entradas se clasifican según la intensidad de la señal y luego se calculan mediante una función matemática, la cual determina la activación de diversas neuronas. Las ANNs simplemente son funciones matemáticas no lineales, las ANNs combinan neuronas artificiales con el objetivo de procesar información. La estructura típica de una ANN se puede observar en la figura Nº 2.16, las capas ocultas son las que aprenden a recodificar las entradas.

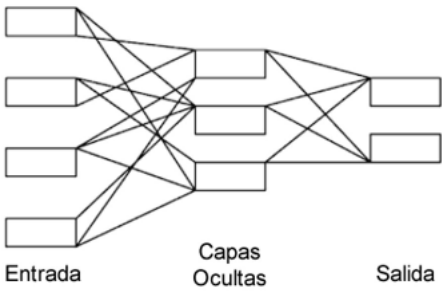


Figura Nº 2.16: Red neuronal artificial.

Fuente: Kulkami &joshi (2015).

Un concepto importante en las redes neuronales es la regla de disparo que determina si una neurona debe disparar para un patrón de entrada. Esta regla otorga a la neurona una característica para detectar similitud para que pueda responder a los patrones desconocidos.

CAPÍTULO III
SISTEMA PROPUESTO

3.1. Consideraciones iniciales

El sistema propuesto tiene como propósito estimar un tiempo aproximado para el siguiente mantenimiento, este proceso es realizado por medio de técnicas de inteligencia artificial, que utiliza los datos enviados por los dispositivos para realizar su análisis.

3.1.1. Descripción del sistema

El sistema se caracteriza por el proceso que realiza para obtener los datos, la cadena empieza con el funcionamiento del motor que está controlado por un variador de frecuencia.

El variador de frecuencia al ser el encargado de suministrar la energía para el motor, es capaz de proveer los valores necesarios para el análisis.

El encargado de controlar el motor para alguna aplicación en específico es el PLC, el autómata es el controlador del proceso por ejemplo si se necesita algún cambio en la velocidad del motor o incluso inversión de giro, este equipo será el encargado de realizar esta tarea.

Para realizar una tarea de supervisión por medio del usuario, se utiliza un sistema SCADA el cual se encarga de supervisar y controlar todo el sistema, también funciona como un sistema para diagnóstico. El SCADA es fundamental ya que es el encargado de la interfaz de todo el sistema y además es el método para poder mostrar o notificar el próximo mantenimiento, se envían los datos hacia la plataforma de análisis de datos, la plataforma encargada de este análisis, recolectará las variables en tiempo real para analizarlas constantemente y luego regresar los resultados al PLC.

Luego el PLC envía los datos al sistema SCADA para que sea mostrado al usuario y este a su vez pueda conocer del resultado procesado por la plataforma. El análisis de datos se lleva a cabo mediante una técnica de inteligencia artificial denominado Redes Neuronales, que funciona en base a los históricos de datos obtenidos y realiza un proceso de autoaprendizaje cada vez que se presente algún problema. En pocas palabras se puede concluir que es un sistema que funciona y evoluciona conforme se vayan presentado los errores, hasta el punto de llegar a predecir el comportamiento del motor.

Todo el análisis lo realiza mediante una librería llamada BRAIN.js la cual es una librería desarrollada en JavaScript, que fue desarrollada para poder realizar todos estos análisis. En la figura Nº 3.1 se representa el flujo de cómo trabaja el sistema.

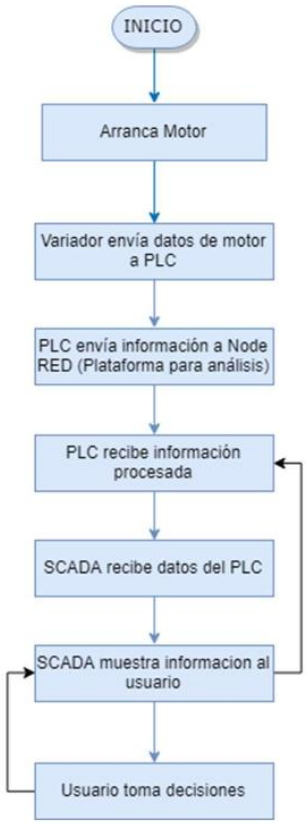


Figura Nº 3.1: Diagrama de flujo sistema.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Caracterización del sistema

El sistema está compuesto por los siguientes elementos:

- **SIMOTICS 1LA:** Motor eléctrico trifásico se lo muestra en la figura Nº 3.2, muy usado para propósitos generales trabaja a 230 V o 400 V, con una velocidad nominal de 1350 revoluciones por minuto, con una potencia de 0.12 kW.

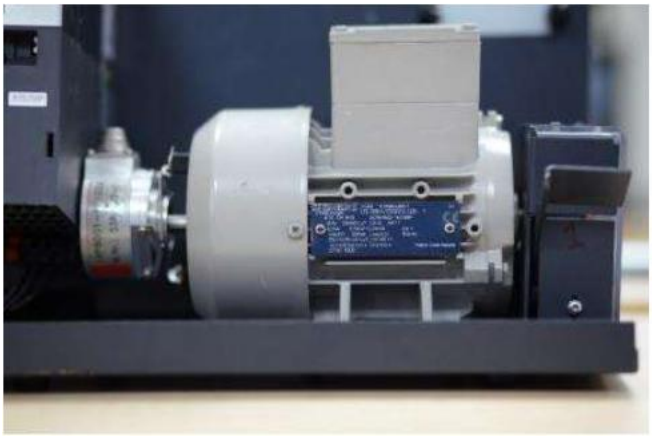


Figura Nº 3.2: Motor asíncrono SIMOTICS.

Fuente: Imagen propia.

- **SINAMICS G-120:** Variador de frecuencia se lo muestro en la figura Nº 3.3 este equipo se basa en un concepto modular, separando la parte de potencia de la parte de control, tiene un gran rango de potencia desde 0.12 kW hasta los 120 MW, se puede configurar desde el mismo equipo con ayuda de los paneles IOP o integrando por medio de TIA portal.

Figura Nº 3.3: Variador de frecuencia SINAMICS G120.

Fuente: Imagen propia.

- **SIMATIC S7-1500:** PLC o Controlador Lógico Programable, funciona con 24 VDC, entradas y salidas digitales o análogas por medio de módulos de expansión, integración de puertos para el uso de PROFINET y PROFIBUS. Se lo puede observar en la figura Nº 3.4.

Figura Nº 3.4: PLC SIMATIC S7-1500.

Fuente: Imagen propia.

- SCADA, posee la capacidad de soportar hasta 18 servidores redundantes, 32 clientes en un sistema y 150 Clientes WEB en un sistema. Protocolos:

- PROFINET es usado en la mayor parte del proceso, con este protocolo se conecta el variador al PLC y del PLC al sistema SCADA.

- MQTT es el protocolo usado para comunicarse desde el PLC al sistema de análisis de datos y devueltos al SCADA para su uso.

3.1.3. Funciones del sistema

El sistema contará con las siguientes funciones:

- La función principal del sistema es determinar la probabilidad de que exista un fallo en el motor.

- Desarrolla un sistema de aprendizaje para determinar el estado mecánico y eléctrico de un motor.

- Evalúa la información obtenida a través de los sensores que determinan el estado mecánico y eléctrico de un motor en tiempo real.

- Crea una base de datos de las variables obtenidas para ser usados como históricos.

- Realizar un proceso de supervisar los equipos por medio del sistema SCADA.

3.2. Análisis general del sistema de mantenimiento predictivo

El sistema está encargado de recopilar todos los datos de los sensores para almacenarlos y realizar un análisis para encontrar patrones.

3.2.1. Análisis de la arquitectura de red

Para el análisis de la arquitectura de red del sistema de mantenimiento predictivo, se han considerado cuatro niveles jerárquicos, los cuales se describen a continuación:

- **Nivel de supervisión:** En este nivel se encuentra el sistema SCADA, que permite ver el funcionamiento de todos los equipos, además de poder controlar el sistema de mantenimiento.

- **Nivel de control:** Es el encargado de controlar los equipos de campo y enviar información hacia el sistema de supervisión.

- **Nivel de campo:** El nivel más bajo de la jerarquía que hace referencia a los actuadores y dispositivos que realizan el trabajo.

En la figura Nº 3.5 se muestra la arquitectura definida, donde se pueden apreciar los diferentes niveles en la pirámide, para permitir visualizar la interacción entre ello y la comunicación del nivel de control con el sistema de análisis.

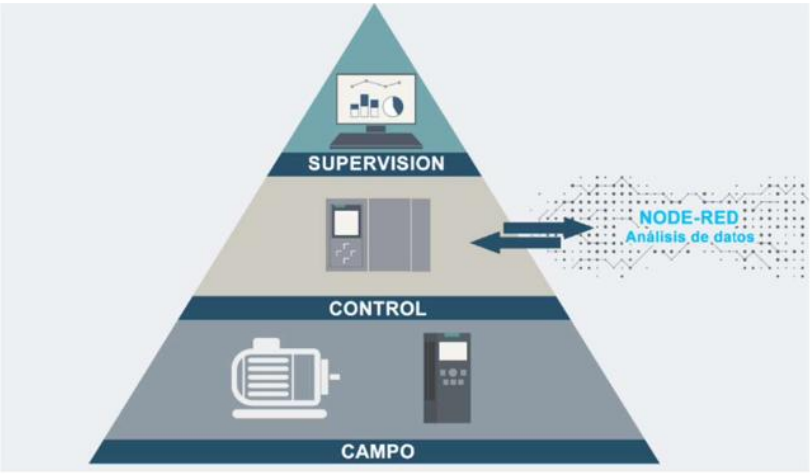


Figura Nº 3.5: Arquitectura del sistema.

Fuente: Imagen propia.

3.2.2. Topología de red

La topología utilizada en el sistema de mantenimiento predictivo es de tipo estrella, donde, todos los equipos se conectan físicamente por medio de un switch. A continuación, en la figura Nº 3.6 se muestra la topología utilizada. Se usa esta topología porque no todos los equipos del sistema cuentan con dos puertos ethernet para realizar una configuración en anillo, solo el PLC y el variador podrían realizar esta función, el equipo que ejecuta el sistema SCADA solo cuenta con un puerto.

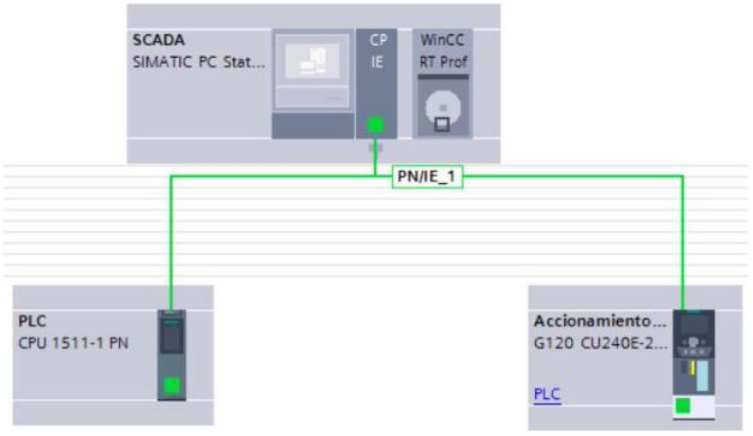


Figura Nº 3.6: Topología de red del sistema.

Fuente: Imagen propia.

El sistema de análisis de datos al ser una plataforma remota, que interactúa únicamente con el nivel de control, queda fuera de la arquitectura del programa, ya que para comunicarse lo hace por medio de otro protocolo, por este motivo no aparecerá en el software de integración mostrada en la figura Nº 3.7.

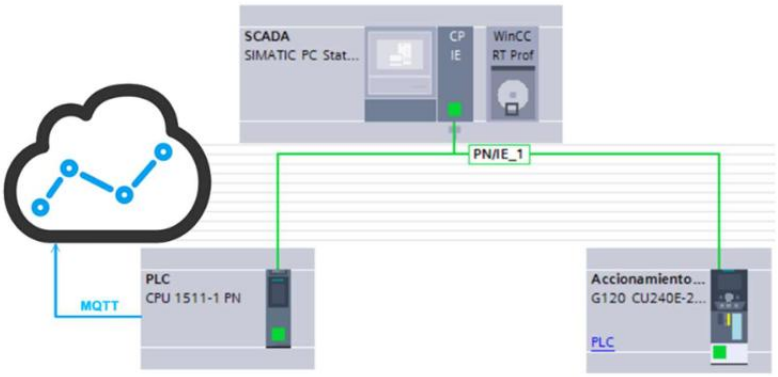


Figura Nº 3.7: Topología de red con integración a la nube.

Fuente: Imagen propia.

3.2.3. Arquitectura del sistema físico de mantenimiento

Los datos que son enviados al sistema para que pueda hacer su análisis se lo obtiene por medio del variador de velocidad, en caso de necesitar más sensores, estos irían directamente conectados al PLC. El autómata es el encargado de concentrar todas las variables y luego enviarlas al sistema de análisis, finalmente el sistema SCADA es el encargado de supervisar y permitir al usuario que tome decisiones. A continuación, en la figura Nº 3.8 se observa un diagrama de bloques en el cual se muestran los componentes básicos del sistema: computador, PLC, variador y motor.

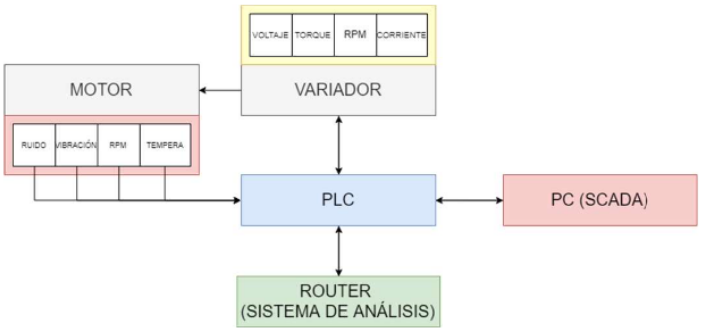


Figura Nº 3.8: Diagrama de bloques del sistema.

Fuente: Imagen propia.

- **Variador:** El variador de frecuencia es un equipo usado para controlar el movimiento de un motor variando su voltaje y frecuencia, este está alimentado por una fuente de 240 V, este mismo equipo es el que provee energía al motor, de los bornes de salida del variador se puede conectar el motor, obteniendo datos como tensión, corriente, torque y corriente. Se usa en el sistema porque es el que provee datos de energía del motor.

- **Motor:** El motor es el encargado de realizar el trabajo de muchos tipos de máquinas, es controlado por el variador, su alimentación proviene de este equipo. En la configuración del variador se requieren los datos del motor el cual va a controlar, para el motor que se está usando se establecieron los siguientes datos: Voltaje de 240 VAC, una potencia de 0.12 KW, corriente de operación de 0.73 A, el factor de potencia de 0.75 y con una velocidad nominal de 1.350 revoluciones por minuto, este motor tiene una conexión en delta como alimentación. Para mejorar el sistema de diagnóstico se pueden agregar sensores como son de temperatura, ruido y los más importantes son los sensores para vibraciones debido a que es la forma más precisa para saber cómo se está comportando un motor, dependiendo a la frecuencia con la cual está vibrando. Todos estos sensores que se adicionan deben ser cableados hacia algún módulo de señales analógicas en el PLC. Está contemplado en el sistema porque es el objeto de estudio y es el que genera los datos para ser analizados.

- **PLC:** En el sistema, el PLC es el que comparte mayor cantidad de información, su alimentación es por medio de una fuente de poder de 24 VDC, cuenta con módulos para señales analógicas y digitales. Todo sensor para tomar datos en el motor debe ir conectado a los módulos de señales analógicas. Está contemplado en el sistema porque es el que concentra todas las variables, las procesa y las envía hacia el sistema de análisis.

- **PC:** El equipo encargado para el sistema de supervisión, es una computadora alimentado por una fuente de 110 VAC, el desempeño del sistema depende de la capacidad de la computadora. Se contempla en el sistema porque es el encargado de interactuar con el usuario.

- **Router:** Encargado de gestionar la conexión del PLC con el sistema de análisis de datos. Está contemplado por el sistema ya que se encarga de enviar datos.

En la figura Nº 3.9 se pueden observar todos los equipos conectados con el sistema funcionando.

Figura Nº 3.9: Integración de todos los equipos.

Fuente: Imagen propia.

3.3. Análisis del sistema de procesamiento de información

El procesamiento de la información del proyecto está dividido en distintas partes ya que cada componente tiene su protocolo y forma de conectarse, por este motivo se pretende detallar cada funcionamiento y características de los componentes del sistema.

3.3.1. Toma de información del variador

El sistema de adquisición de datos del motor es una característica intrínseca de los variadores SINAMICS, ya que, al encargarse de suministrar la energía al motor, el variador lleva a cabo un proceso que incluye varias etapas, durante las cuales se recopila información clave del funcionamiento.

Los datos que toma son: tensión, corriente, torque y revoluciones por minuto. Todas estas variables sirven para crear una base de datos, con los cuales se podrán comparar las variaciones que tengan en el tiempo y relacionarlas para identificar errores.

La primera etapa se encargan de transformar la corriente alterna AC que proviene de la fuente de alimentación y lo convierte en corriente directa DC.

Esta energía permite cargar los condensadores que se encuentran en el variador cuya función es suavizar la onda DC, esto permite que se pueda proveer una fuente de alimentación limpia para el motor.

Luego la corriente directa DC, otra vez se vuelve a transformar en AC con la ayuda de un inversor, esta energía es la que se va a transmitir al motor, este paso permite que el equipo pueda transformar la frecuencia y la tensión para poder hacer funcionar el motor como se lo necesite.

3.3.2. Interconexión entre el PLC y variador

Para establecer la comunicación y tomar los datos del PLC se hace uso de un bloque de función del S7-1500, que estable conexión por medio del telegrama 352. Este bloque nos permite aparte de controlar la mayoría de parámetros del variador, también nos brinda información como son las RPM, corriente, torque. Esta topología se la muestra en la figura Nº 3.10.

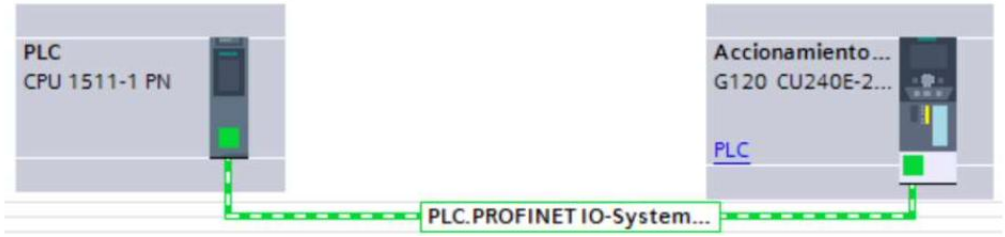


Figura Nº 3.10: Conexión de red entre PLC y Variador.

Fuente: Imagen propia.

El variador de frecuencia y el controlador están constantemente intercambiando información, por lo general los más frecuentes son los datos de control y el status. El método para comunicarse es el telegrama 352, PZD 6/6 de Siemens, que se caracteriza por enviar 6 variables tipo Word (16 Bits), en ambas direcciones.

En las figuras Nº 3.11 y Nº 3.12, se puede observar cómo están definidas las tramas del protocolo 352.

Bit	Valor	Significado	Comentarios
0	0	OFF1	El motor frena con el tiempo de desaceleración p1121 hasta detenerse.
	1	ON	Con un flanco positivo, el inversor entra en estado "listo", y con bit 3=1, el inversor enciende el motor.
1	0	OFF2	Apaga el motor de inmediato, avanza hasta detenerse.
	1	Sin OFF2	---
2	0	Parada rápida (OFF3)	El motor frena con el tiempo OFF3 p1135 hasta detenerse.
	1	Sin parada rápida (OFF3)	---
3	0	Deshabilitar operación	Apaga el motor inmediatamente (cancela pulsos).
	1	Habilitar operación	Enciende el motor (se pueden habilitar pulsos).
4	0	Bloquear generador rampa	Generador de rampa en 0 (desaceleración más rápida).
	1	Condición de operación	El generador puede habilitarse.
5	0	Detener generador rampa	La salida del generador está "congelada".
	1	Habilitar generador rampa	---
6	0	Inhibir punto de consigna	El motor frena con el tiempo de desaceleración p1121.
	1	Habilitar punto de consigna	El motor acelera con el tiempo p1120 hasta el punto de consigna.
7	1	Reconocer fallos	El fallo se reconoce con flanco positivo. Si ON activo, cambia a "bloqueo".
8-9	-	No utilizado	---
10	0	PLC sin control maestro	Datos inválidos, se espera "señal de vida".
	1	Control maestro por PLC	Control via fieldbus, datos válidos.
11	0	Reversa de dirección	Punto de consigna invertido en el inversor.
12	-	No utilizado	---
13	0	Aumentar MOP	Punto de consigna en el potenciómetro motorizado se incrementa.
	1	Disminuir MOP	Punto de consigna en el potenciómetro motorizado se disminuye.
14	-	No utilizado	---
15	1	---	Cambia entre configuraciones para diferentes interfaces (conjuntos de comando).

Figura Nº 3.11: Variable de control tipo WORD del telegrama 352.

Fuente: Imagen propia.

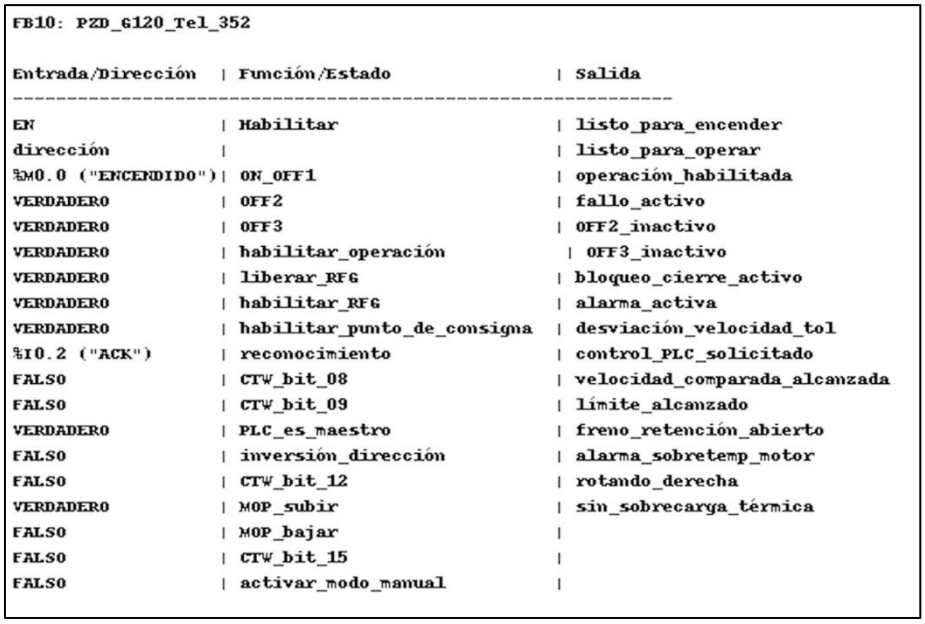
Bit	Valor	Significado	Comentarios
0	0	Listo para encender	Fuente de alimentación encendida; electrónica inicializada.
	1	Listo para operar	Motor encendido (comando ON1 presente), sin fallas activas, puede arrancar.
1	0	Operación habilitada	El motor sigue el punto de consigna.
	1	Falla presente	El inversor tiene una falla.
2	0	OFF2 inactivo	La detención libre no está activada.
	1	OFF3 inactivo	Sin parada rápida activa.
3	0	Bloqueo de cierre activo	El motor solo se enciende después de un comando ON1 adicional.
	1	Alarma activa	El motor sigue encendido; no se requiere reconocimiento.
4	0	Desviación velocidad en rango tolerancia	Desviación del valor de consigna/real en tolerancia.
	1	Control solicitado	Se solicita al sistema de automatización que asuma el control.
5	0	Velocidad de comparación alcanzada	La velocidad es mayor o igual a la velocidad máxima.
	1	Límite de I, M o P alcanzado	Valor de comparación para corriente, par o potencia alcanzado.
6	0	Freno de retención abierto	Señal para abrir y cerrar un freno de retención del motor.
	1	Alarma sobretemperatura motor	--
7	0	El motor gira hacia adelante	Valor real del inversor > 0.
	1	El motor gira hacia atrás	Valor real del inversor < 0.
8	0	Sin alarma, sobrecarga unidad térmica	--

Figura Nº 3.12: Variable de status tipo WORD del telegrama 352.

Fuente: Imagen propia.

Para simplificar el uso del telegrama 352, se usa la librería “PZD_G120_Tel_352 que se muestra en la figura Nº 3.13, la cual crea unbloque de función que configura todos los parámetros que se necesitan para establecer una conexión entre el PLC y el variador. Este bloque tiene llamados cíclicos que permite que se ejecute repetidamente. Debido a que los equipos están conectados por medio de ethernet, se necesita que cada uno de los equipos tengan una dirección IP, esta dirección está conformada por 4 segmentos separados por un punto, los números van desde 0-255. Un ejemplo de una dirección IP es 192.168.0.10, que en este caso va a ser la dirección que se le asigne al PLC.

El variador tendrá una dirección distinta (192.168.0.11), para que los equipos se encuentren en la misma subred, solo debe cambiarse el último segmento de números de la dirección IP. Debido que funcionan con PROFINET, el cual es una variante del ethernet pero con funciones de diagnóstico agregada, la configuración de los equipos necesitan un parámetro denominado nombre PROFINET, en conclusión para poder crear una conexión entre el S7-1500 y el SINAMICS G120, se requiere una dirección IP y un nombre PROFINET.



FB10: PZD_6120_Tel_352

Entrada/Dirección	Función/Estado	Salida
EN	Habilitar	listo_para_encender
dirección		listo_para_operar
%M0.0 ("ENCENDIDO")	ON_OFF1	operación_habilitada
VERDADERO	OFF2	fallo_activo
VERDADERO	OFF3	OFF2_inactivo
VERDADERO	habilitar_operación	OFF3_inactivo
VERDADERO	liberar_RFG	bloqueo_cierre_activo
VERDADERO	habilitar_RFG	alarma_activa
VERDADERO	habilitar_punto_de_consigna	desviación_velocidad_tol
%I0.2 ("ACK")	reconocimiento	control_PLC_solicitado
FALSO	CTW_bit_08	velocidad_comparada_alcanzada
FALSO	CTW_bit_09	límite_alcanzado
VERDADERO	PLC_es_maestro	freno_retención_abierto
FALSO	inversión_dirección	alarma_sobretemp_motor
FALSO	CTW_bit_12	rotando_derecha
VERDADERO	MOP_subir	sin_sobrecarga_térmica
FALSO	MOP_bajar	
FALSO	CTW_bit_15	
FALSO	activar_modo_manual	

Figura Nº 3.13: Librería de TIA portal para el uso del telegrama 352.

Fuente: Imagen propia.

El primer paso para configurar el variador es usar el asistente, el cual se encargar de realizar la configuración inicial, esta configuración consiste en especificar los datos del motor para poder proveer la energía correcta de funcionamiento, luego de esto ya se puede usar la librería del telegrama 352.

Cuando se use la librería en el PLC, se crea automáticamente un bloque especial en donde se detallan todas las funciones que brinda, como el encendido y apagado del variador, también es posible cambiar la consigna de velocidad del bloque, además el sistema de diagnóstico que muestra si ha ocurrido algún problema. Y los datos más importantes son los que provienen del motor ya que estos serán usados para el análisis de datos.

Para simplificar la gestión de las variables, fue necesario crear una DB (data block), que funciona como una pequeña base de datos dentro del PLC. En esta DB se almacenan todas las variables obtenidas, lo que facilita su manejo y permite compartirlas fácilmente con el sistema de análisis.

3.3.3. Comunicación entre PLC y SCADA

La comunicación entre el sistema SCADA y el PLC se realiza mediante el protocolo TCP/IP. Las características del entorno de desarrollo del sistema SCADA depende de la versión que se encuentre, aunque la mayoría disponen de las configuraciones de comunicación, tales como colocar las direcciones IP de los equipos.

El sistema SCADA, WinCC se debe crear desde el TIA portal, el elemento que se debe seleccionar para crearlo es WinCC RT profesional. Cuando se agrega este elemento por primera vez no es posible crear una conexión con los equipos, para poder establecer una comunicación se debe agregar una tarjeta de red general o alguna tarjeta ethernet especial. Realizando estas acciones ya es posible compartir información entre los equipos.

La dirección IP que se debe ingresar corresponde al de la computadora que se esté usando como sistema SCADA, uno de los parámetros que se puede modificar es el tipo de interfaz que en este caso es una interfaz PROFINET, en la figura Nº 3.14 se observan las configuraciones iniciales para establecer comunicación.

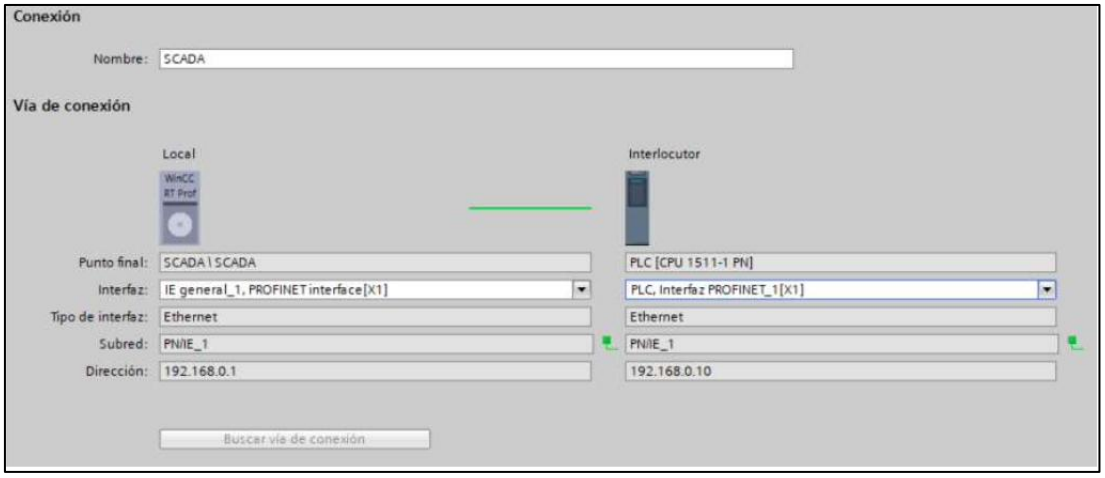


Figura Nº 3.14: Conexión para intercambiar datos entre SCADA y S7-1500.

Fuente: Imagen propia.

Con este se puede extraer la conexión, luego se debe crear la interfaz para la conexión con el PLC. Esta interfaz, muestra los equipos conectados como son el PLC, el variador y el motor, mostrando su estado de conexión y demás datos.

Cuando ya se tengan agregados los dispositivos se puede proceder a crear la Imágenes, las cuales son las pantallas que se van a mostrar en el sistema, siempre la primera pantalla que se crea será asignada automáticamente como la principal, no solo existen pantallas estática sino también se encuentran los mensajes de alertas y ventanas emergentes, muy usadas para cuando se quiere acceder a más funciones desde un elemento de la pantalla principal.

La pantalla está dividida en distintos componentes, la parte de control tiene los controles de encendido y apagado, además cuenta con secuencia de variaciones para poder variar los datos que se envían a la base de datos, en la división de datos se muestran los valores que son captados por el variador.

Finalmente, en el lado de mantenimiento se cuenta con dos botones, para indicar si el motor se encuentra normal y si se ha encontrado algún problema, esta información es importante ya que sirve como retroalimentación, para el sistema de aprendizaje. El componente más importante es a barra indicadora de estimación que muestra el estado del motor y con una estimación de cuando se necesitará el próximo mantenimiento. Toda esta interfaz se la puede observar en la figura Nº 3.15.

Figura Nº 3.15: Interfaz sistema SCADA.

Fuente: Imagen propia.

Todos estos datos que se muestran en la pantalla son obtenidos del PLC, por este motivo de deber establecer una conexión con las variables que se encuentran en el PLC, este bloque de datos debe tener deshabilitado el control optimizado, ya que este control almacena los datos, pero no brinda una dirección para poder encontrarlo si se intenta acceder desde otro equipo que no sea PROFINET.

Los variables que están definidas en el PLC se las puede observar en la figura Nº 3.16.

	Nombre	Offset	Tipo de da..
	Ack_Fault_G120_PN	0.0	Bool
	ReconomientoDeFalla	0.1	Bool
	Setpoint-RPM	2.0	Real
	RPM	6.0	Real
	Corriente	10.0	Real
	Torque	14.0	Real
	Vibracion	18.0	Real
	Ruido	22.0	Real
	EstadoOK	26.0	Bool
	EstadoFalla	26.1	Bool
	MarchaSCADA	26.2	Bool

Figura Nº 3.16: Variables del motor en el PLC.

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Análisis y programación del sistema de mantenimiento

El sistema de mantenimiento se basa en el uso de inteligencia artificial haciendo uso de redes neuronales. Existen varias formas en las que se pueden integrar las redes neuronales, incluso para clasificar información, predecir resultados. A medida que las redes neuronales procesan datos y aprenden de ellos, pueden clasificarlos y capacitarse para predecir resultados que se esperan para una salida esperada.

3.4.1. Definición de las técnicas de inteligencia artificial aplicado al mantenimiento predictivo

En un sistema automatizado existen gran cantidad de datos que se generan a cada segundo, el sistema propuesto pretende almacenar todos esos datos para poder realizar un análisis en tiempo real, haciendo uso de redes neuronales que permiten crear aprendizaje del histórico de datos que tiene y compararlos con los datos de tiempo real que genera y los evalúa conforme se van creando.

El sistema propuesto para realizar el análisis por medio de inteligencia artificial, hace uso de una plataforma llamada Node-RED, esta herramienta permite usarse desde algún servidor también se encuentra disponible en la plataforma online desarrollada por IBM llamada Bluemix, en donde se puede hacer uso del servicio de Node-RED por medio de internet. Node-RED está orientado a una programación por medio de objetos o también denominados nodos.

Los beneficios que brindan los sistemas de inteligencia artificial incentivan el desarrollo de las plataformas para realizar estos análisis, en JavaScript se ha desarrollado una librería llamada brain.js, que también se encuentra disponible como un nodo en la plataforma de Node-RED.

Para realizar un análisis es necesario realizar dos acciones, al ser un sistema de aprendizaje necesita de información para entrenar el modelo, por eso se usa una función de entrenamiento con el cual se envían los datos para que cree un modelo. En la figura Nº 3.17 se puede observar la configuración básica para que funcione el nodo de la red neuronal.

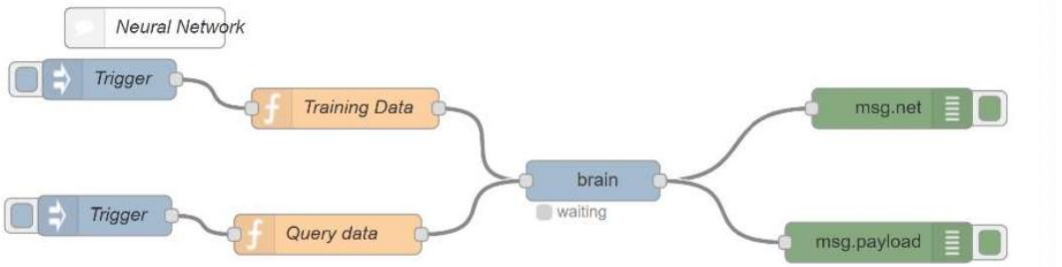


Figura Nº 3.17: Red básica para un sistema de análisis de una red neuronal.

Fuente: Elaboración propia.

La otra parte del sistema es enviar una función con los datos a ser consultados y enviados al nodo de redes neuronales. Uno de los métodos que utiliza para realiza este tipo de aprendizaje se llama propagación hacia delante y propagación hacia atrás, que son las más usadas en las redes neuronales.

Esto consiste en medir los datos que han tenido errores y sacar un estimado del valor que se necesita para llegar a un valor deseado.

3.4.2. Implementación del programa de mantenimiento predictivo

Para la implementación del sistema primero se necesita tener acceso a las variables que se van a analizar, este proceso se hace por medio de una plataforma abierta llamada Node-RED, en esta plataforma esta disponible la opción de interconectar equipos SIEMENS, en este caso es el PLC S7-1500.

Para ingresar un PLC, se tiene que especificar exactamente el modelo que se está usando y además de agregar las tarjetas de expansión que estén conectadas, esta configuración sirve también para activar características especiales como lo es el uso de funciones PUT / GET que nos permiten establecer conexión con otros equipos, establecer el PLC como un servidor OPC o también configurarlo para establecer conexiones por medio de protocolos como el MQTT.

Para estas implementaciones se requiere activar la característica que permite crear conexiones vía S7, por temas de seguridad esta opción viene deshabilitada en las configuraciones de fábricas del PLC. Con el fin de poder realizar la conexión resulta fundamental habilitarla.

Esta opción se la encuentra en la figura Nº 3.18.

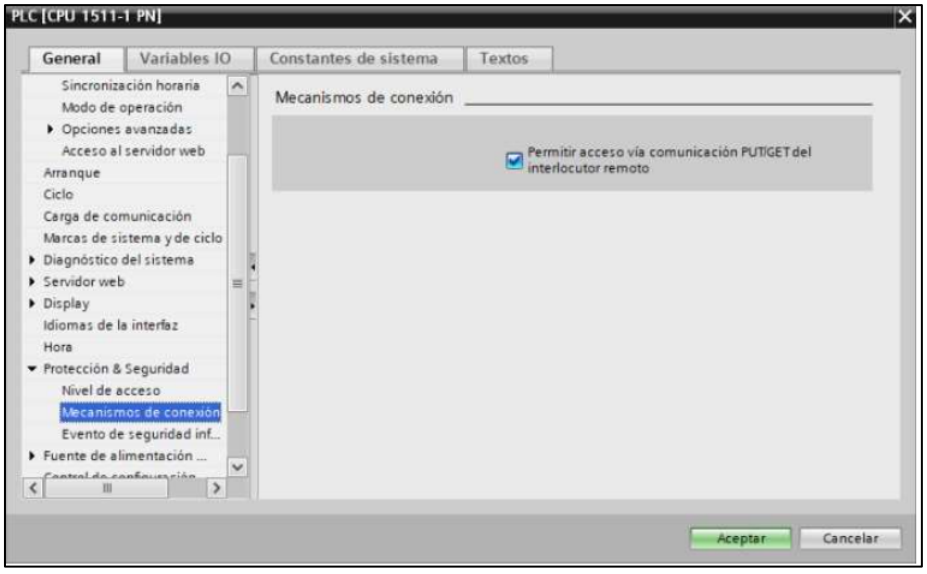


Figura Nº 3.18: Configuración para permitir la compartición de datos en PLC.

Fuente: Imagen propia.

Con la activación del compartimiento e información ahora se necesita asignarle una dirección al PLC la opción se la encuentra en las propiedades del PLC, en Interfaz PROFINET y por último Direcciones Ethernet, aquí se puede configurar la dirección y la máscara subred que por las características de la IP es la 255.255.255.0. La dirección del router es una dirección para direccionar la conexión, esta opción es usada en caso de que se necesite que el PLC esté conectado a internet para hacer uso de sus funciones como servidor web o envío de datos a servidores externos.

Las configuraciones de la IP están mostradas en la figura Nº 3.19.

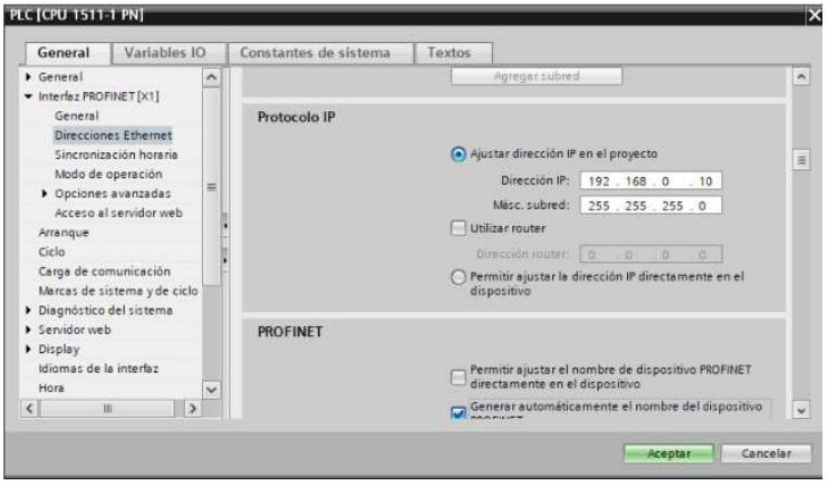


Figura Nº 3.19: Configuración en PLC para establecer conexión con Node-RED.
Fuente: Elaboración propia.

Cuando ya se tenga disponible la interfaz del Node-RED, se debe empezar a agregar los nodos necesarios para esta conexión, cuando se usa por primera vez esta plataforma solo tendrá disponibles los nodos básicos, para este proyecto es necesario agregar algunos nodos más, para agregar estos nodos se debe ingresar a la configuración de Manage Palette del programa.

Los nodos adicionales que se necesitan son el S7, un nodo desarrollado por SIEMENS el cual permite la conexión con equipos como S7-1200, S7-1500 y S7-300. Este nodo debe estar configurado con la parametrización que tenga el PLC, en este caso Se debe ingresar la IP del PLC y su puerto, el puerto 102 es el puerto predeterminado para este tipo de conexiones, el modo presente permite seleccionar el Rack y el SLOT. Debido a que el PLC S7-1500 está montado sobre un riel, en una red puede haber varios PLC y cada uno con su riel, por este motivo existe la necesidad de establecer en que riel está conectado. El slot hace referencia a la posición del rack en donde se encuentra el equipo. El tiempo de ciclo es el tiempo que espera para hacer otra consulta de datos y el Timeout es el tiempo definido para definir que se ha perdido la conexión.

La configuración del nodo se la puede ver en la figura Nº 3.20.

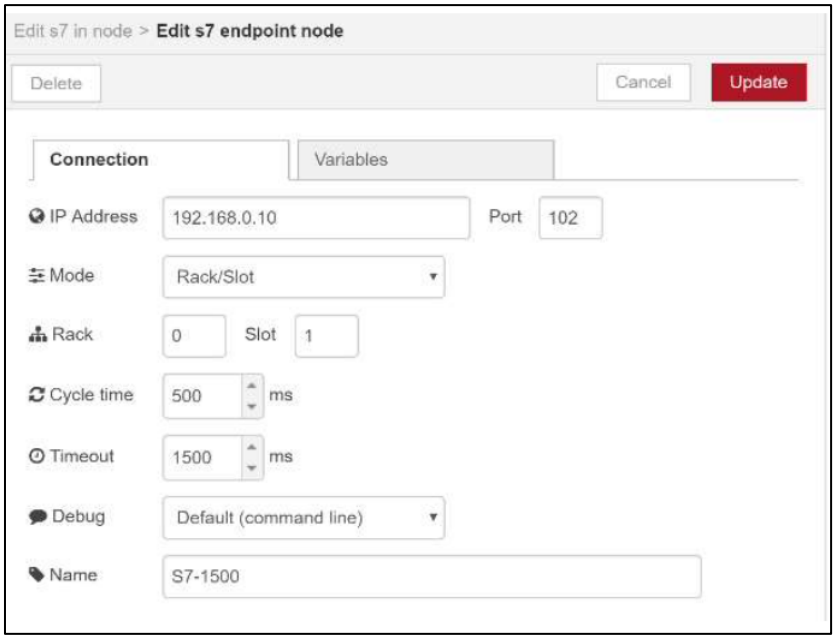


Figura Nº 3.20: Configuración en Node -RED para establecer conexión con PLC.
Fuente: Elaboración propia.

Otro nodo que se necesita es el nodo de base de datos, es un nodo basado en MYSQL que funcionan para gestionar la conexión de una base de datos con la plataforma, para configurar correctamente el nodo, se necesita tener una base de datos disponible. Para el proyecto se ha usado un motor de base se datos llamado MariaDB, y se lo gestiona por medio de una herramienta llamada HeidiSQL, con ayuda de estos programas se creó una base de datos llamada “Mantenimiento” dentro de esta base de datos se necesita crear una tabla.

Las tablas son estructuras que permiten almacenar datos; sin embargo, antes de su utilización es necesario definir las variables correspondientes. En la tabla en cuestión, se definieron las siguientes variables: Tiempo, de tipo TIMESTAMP, utilizada para registrar el momento en que se genera cada dato. Las variables Corriente, Temperatura, Vibración, Torque y Ruido, junto con el resto de las variables del proceso, fueron declaradas como tipo FLOAT, dado que representan valores numéricos con decimales.

Además, se incorporaron dos variables de estado, declaradas como tipo BOOLEAN, las cuales actúan como indicadores para que el usuario pueda especificar si se ha producido un error. Esta información permite al sistema de mantenimiento identificar qué condiciones del proceso podrían haber generado la falla, facilitando así el análisis y la toma de decisiones correctivas.

Para la configuración del nodo de la base de datos los datos requeridos son: El host que es la dirección o el dominio de donde se encuentra a base de datos. Para este caso se está usando una base de datos local, por ende, el host debe hacer referencia a la misma IP de la computadora en donde se instaló MariaDB, el puerto se ha dejado con el puerto predefinido que es el 3306, también se necesita un usuario y contraseña. Todos estos datos deben coincidir con los datos que se registraron al momento de crear la base de datos. Finalmente se consulta del nombre de la base de datos que en este caso se llama "Mantenimiento".

El nodo de Recolector también ha sido añadido este nodo tiene como función esperar a que todos los datos de las variables lleguen para poder enviar un solo arreglo sin valores nulos. La red neuronal el nodo basado en la librería de JavaScript, también hay que agregarlo para poder realizar los análisis.

La primera parte del aprendizaje consiste en ingresar los datos que forma parte del entrenamiento del sistema, estos nodos requieren que los datos se envíen en un paquete con el nombre de msg.trainData, la variable del S7 pasa por dos nodos de funciones, la primera función permite que los datos se almacenen en un base de datos SQL dentro de la función se define el nombre de la tabla y variables en donde se va a guardar los datos. Y el segundo nodo de función llamado "Training Data" es el encargado de realizar el proceso de aprendizaje del sistema.

Se puede observar la configuración de los dos en la figura Nº 3.21.

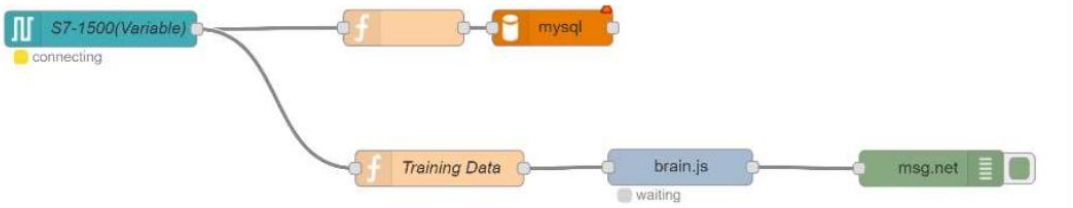


Figura Nº 3.21: Entrenamiento, primera fase de Red Neuronal con datos de PLC.

Fuente: Imagen propia.

En el momento en el que el sistema SCADA envía la señal de que el sistema necesita un mantenimiento, esta orden pasa por una función que se encargar de que el sistema empiece un nuevo entrenamiento con la diferencia de que ya tendrá otros datos en consideración que son los datos que sucedieron antes de que el usuario active el reconocimiento en el SCADA.

A continuación, la figura Nº 3.22, se puede observar el sistema de nodos con obtención de los datos del PLC.

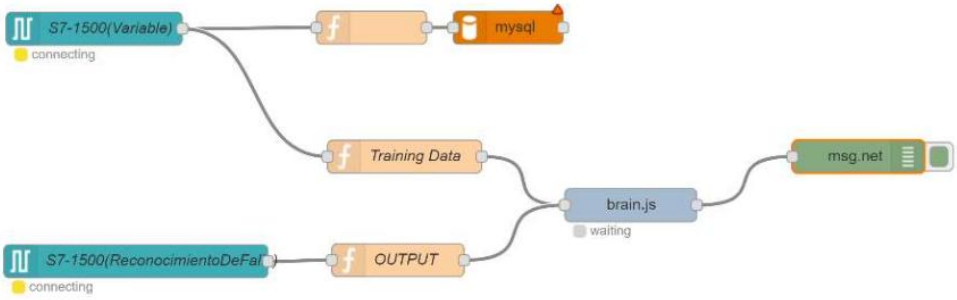


Figura Nº 3.22: Evaluación, segunda fase de red neuronal con datos de PLC.

Fuente: Imagen propia.

Luego de esto se necesita un nodo S7 de salida (Análisis), que será el encargado de enviar el valor estimado de forma porcentual de cuándo se necesita el mantenimiento.

A continuación, en la figura Nº 3.23 se puede ver el conjunto completo para que pueda realizar el análisis y mostrar resultado.

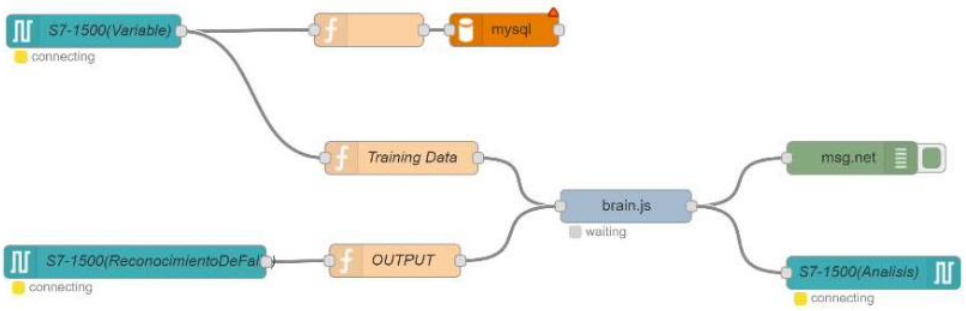


Figura Nº 3.23: Conjunto de nodos para sistema de análisis y presentación de datos.

Fuente: Imagen propia.

El objetivo del sistema es que vaya aprendiendo y reconociendo el comportamiento de las variables poco a poco hasta llegar al punto de que el modelo de entrenamiento sea capaz de detectar todo tipo de escenario para los mantenimientos.

Este modelo está basado en captar los datos en tiempo real, para que llegue a detectar un cambio que represente que el motor va a fallar, tendría que el motor estar fallando realmente, por ese motivo se requiere realizar una simulación de datos que representen el motor en modo normal y cuando está fallando.

En la figura Nº 3.24 se muestra los datos que permiten simular el funcionamiento del motor.

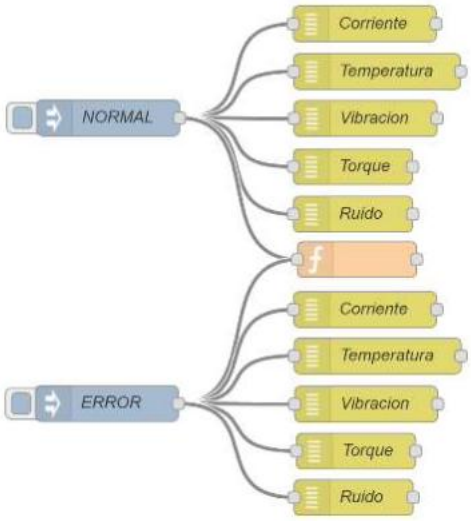


Figura Nº 3.24: Generador de datos para funcionamiento normal y con errores.

Fuente: Imagen propia.

Todas las variables simuladas usan un nodo Recolector, cuya función consiste en esperar que todos los nodos de recolección de datos hayan enviado información para poder enviarla y no guardar datos nulos en la base de datos. El nodo de EscribirSQL, es una serie de comandos para escribir los datos obtenidos en la base de datos. El nodo de BaseDeDatos es el encargado de generar una conexión con la base de datos en donde se están almacenando los datos, como se puede apreciar en la figura Nº 3.25.

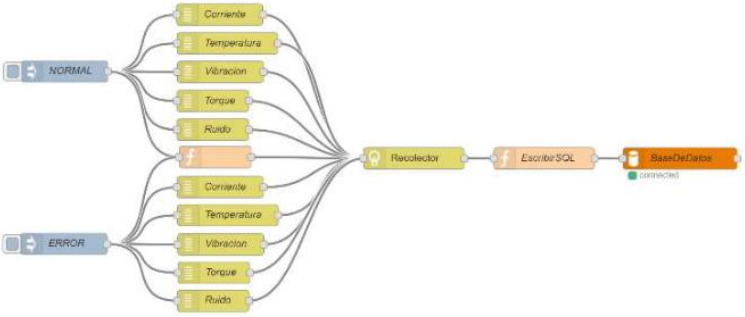


Figura Nº 3.25: Almacenamiento de variables en Base de Datos.

Fuente: Imagen propia.

Para el sistema de análisis, se usa un nodo LeerSQL, el cual es una función para poder leer información de la base de datos, para que el sistema de análisis por medio de redes neuronales pueda realizar su trabajo es necesario darle un formato especial, por ese motivo se utiliza el nodo de TrainData, para poder enviar los datos de forma correcta.

El nodo de RedNeuronal es la parte principal de todo el proceso, este nodo usa la librería brain.js para poder realizar análisis con redes neuronales, el nodo posee 2 modos.

El primero como se muestra en la figura Nº 3.26 es el modo de entrenamiento que sirve para analizar los datos históricos, en este caso utiliza los datos almacenado en la base datos, para realizar el estudio de la información almacenada.

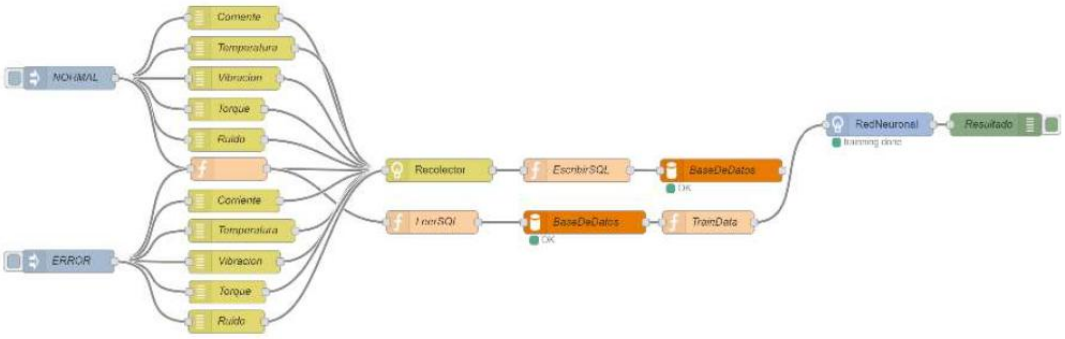


Figura Nº 3.26: Entrenamiento, primera fase de red neuronal con datos simulados.

Fuente: Imagen propia.

El segundo es el modo de evaluación y se lo puede apreciar en la figura Nº 3.27 en donde se envía los datos al mismo nodo de RedNeuronal, esta información debe ser enviada luego de los datos de entrenamiento, por ese motivo se usa un Delay para retrasar la señal. Seguido de un nodo de EvaluacionDatos, que permite darle formato a la información para que el nodo de inteligencia artificial pueda procesarlo. Finalmente, los datos son mostrados en la consola de datos de nodo red por medio del nodo Resultado.

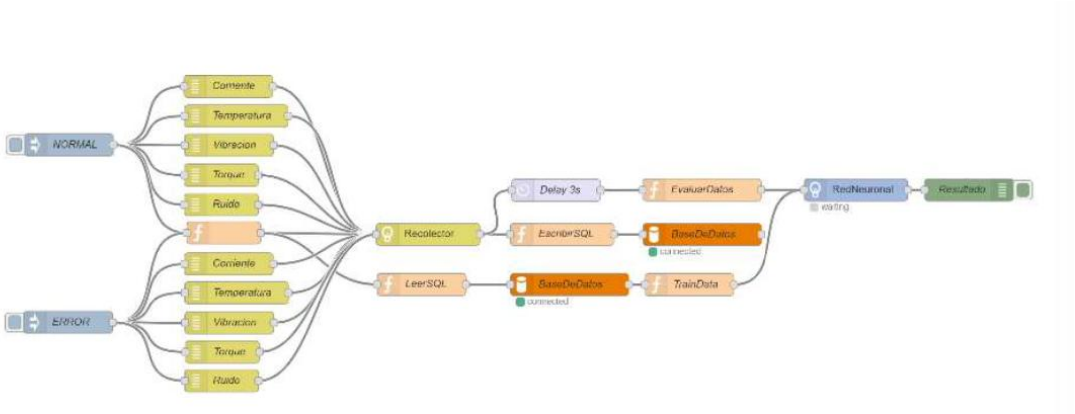


Figura Nº 3.27: Evaluación, segunda fase de red neuronal con datos simulados.

Fuente: Imagen propia.

A continuación, en la figura Nº 3.28 se muestra el funcionamiento de todo el proceso y como se van agregando los datos al arreglo de la información de entrenamiento. Este proceso empieza con el proceso de adquisición de datos, cuando se recibe un valor, primero se debe almacenar y luego evaluar. Cuando se ingresa un segundo valor se almacena el valor y luego se evalúa el conjunto de valores, el recién ingresado con el que primero se ingresó.

Este proceso sigue avanzando, entonces los valores que sean ingresados van a ser almacenados y luego ser evaluados comparándolos como todas las variables que estén almacenadas en la base de datos.

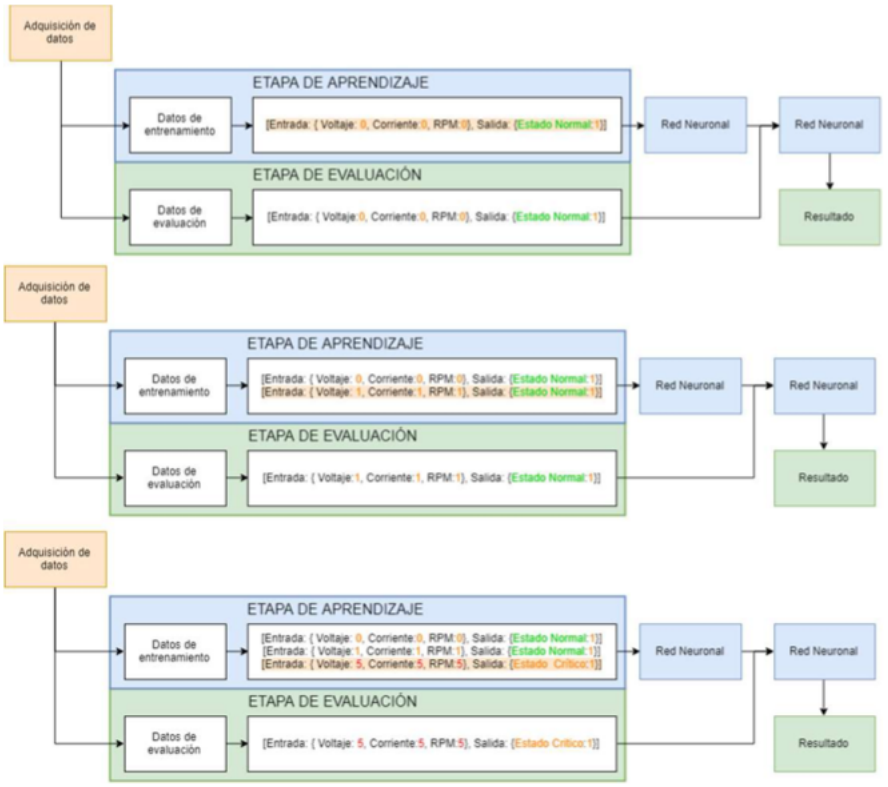


Figura Nº 3.28: Diagrama de funcionamiento del sistema de análisis.

Fuente: Imagen propia.

3.5. Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento del sistema permiten establecer si el sistema cumple con los objetivos planteados y ser puede determinar si son datos precisos.

3.5.1. Prueba de sistema de histórico de variables

- **Objetivo de la prueba:** Determinar si el sistema almacena los datos del proceso en la base de datos.

- **Variables que intervienen:** Corriente, temperatura, vibración, torque, ruido con comportamiento normal y con comportamiento de error

Desarrollo del experimento: Para desarrollar esta prueba se envían dos tipos de valores, un conjunto de variables con magnitudes normales y otros de magnitudes con fallos, el nodo de Recolector sirve para que los datos solamente se envíen si todas las variables tienen valores, porque si se envía una variable sin valor, en la base de datos aparecerán Null, lo cual causaría problemas para que se puedan analizar datos. También se puede observar en la figura Nº 3.29 que el nodo de base de datos esta correctamente configurado porque muestra el estado connected.

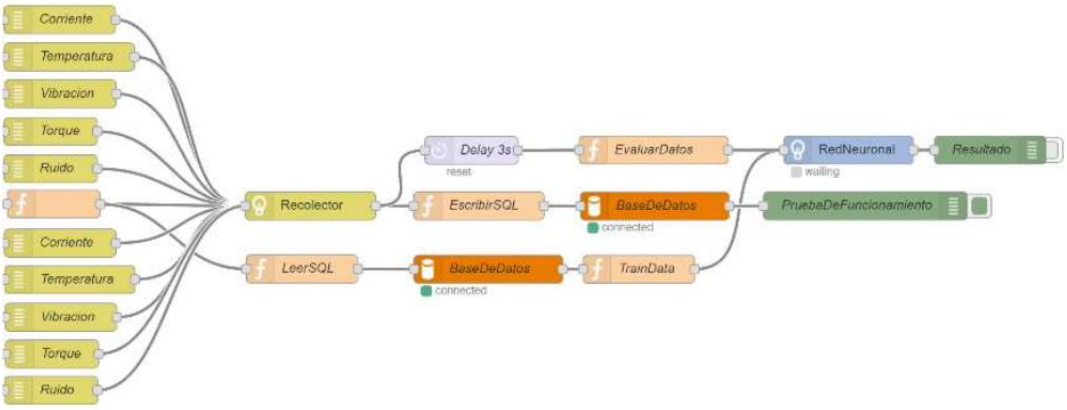


Figura Nº 3.29: Prueba de histórico de variables-envío de 2 conjuntos.

Fuente: Imagen propia.

En la ventana de comandos de Node-RED se puede verificar en la figura Nº 3.30 que los datos que se envían muestran los dos conjuntos de valores y que no existe ningún dato nulo.

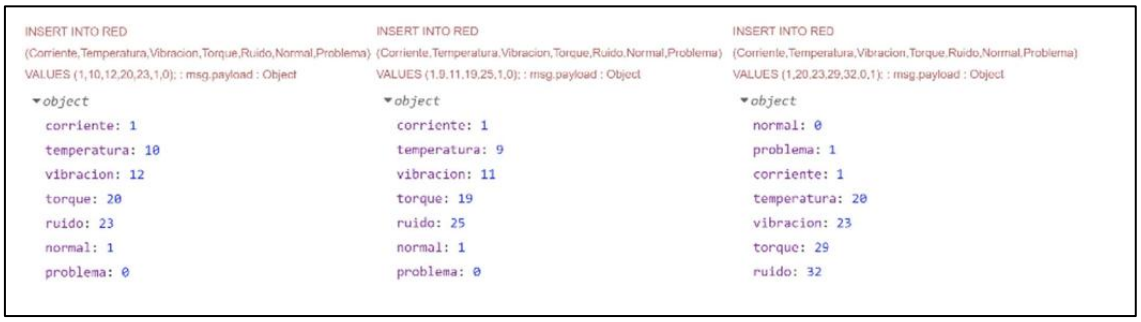
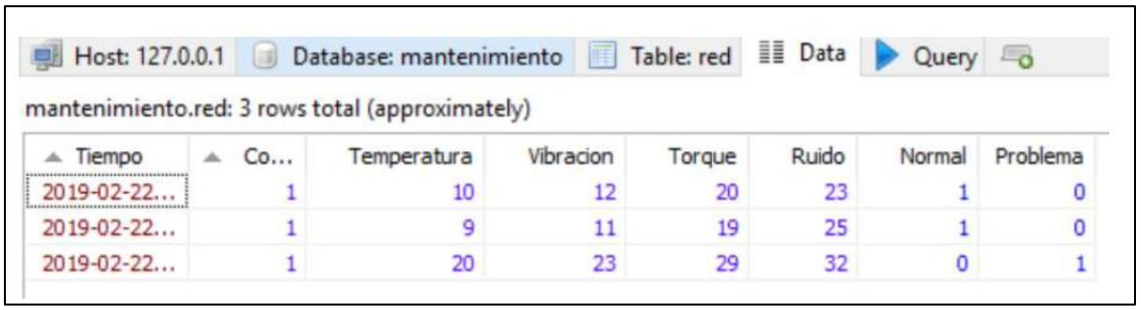


Figura Nº 3.30: Prueba de histórico de variables.

Fuente: Imagen propia.

Análisis de resultados: Del lado de la base de datos se pueden comprobar que los datos que se recibieron que se muestran en la figura Nº 3.31 son los mismos que los que se enviaron y se puede concluir que el sistema de almacenamiento cumple con su propósito sin inconvenientes. Ya que la información es confiable**.**



Tiempo	Co...	Temperatura	Vibracion	Torque	Ruido	Normal	Problema
2019-02-22...	1	10	12	20	23	1	0
2019-02-22...	1	9	11	19	25	1	0
2019-02-22...	1	20	23	29	32	0	1

Figura Nº 3.31: Prueba de histórico de variables- comprobación de datos recibidos.

Fuente: Imagen propia.

A continuación, la figura Nº 3.32 se encuentra representado la información de los datos que se enviaron de corriente, temperatura, vibración, torque y ruido en comparación de los datos recibidos, para concluir que se enviaron los mismos datos, existen una conexión confiable y no se ha dado datos nulos. Esta comparación se da entre la base de datos y la terminal de depuración del sistema de Node-RED. La importancia de que los datos sean iguales se debe a que el sistema se basa gran parte en el análisis de estos datos, y de recibir datos erróneos, existe una gran probabilidad de que no se realice correctamente el análisis.

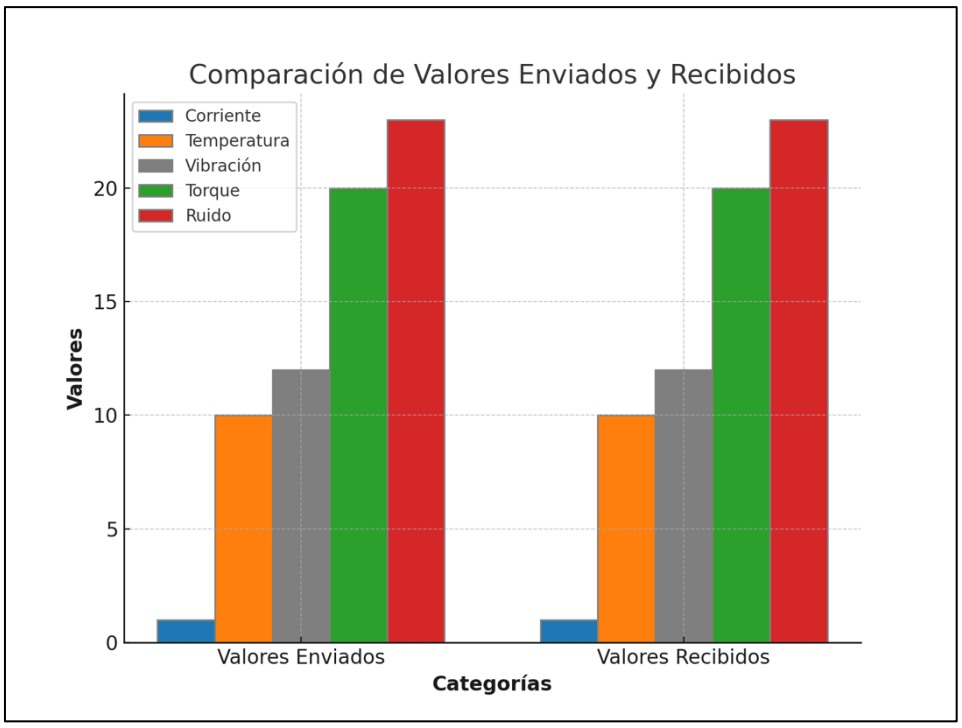


Figura Nº 3.32: Comparación de datos enviados y recibidos.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Prueba de creación de los datos de entrenamiento

- **Objetivo de la prueba:** Determinar si el sistema aumenta sus datos de entrenamiento con cada envío de información.

- **Variables que intervienen:** Corriente, temperatura, vibración, torque, ruido con comportamiento normal y con comportamiento de error.

- **Desarrollo del experimento:** Para el desarrollo de esta prueba, es necesario que el sistema envíe un arreglo que contenga todos los datos relevantes. Este arreglo está compuesto por dos conjuntos principales: el primero corresponde a los datos de entrada, que representan las variables provenientes del motor; el segundo corresponde a la salida, la cual indica el estado actual del motor. Este parámetro de

salida determina si los valores registrados se encuentran dentro de rangos normales o si presentan comportamientos inusuales.

La relevancia de este experimento radica en que los datos recopilados servirán como base para realizar el diagnóstico del sistema. Si el arreglo no incrementa su longitud con nuevos datos, el análisis se limitará únicamente al último valor capturado, sin considerar el historial, lo que reduce significativamente la precisión del diagnóstico. Para evitar esta limitación, se implementa una función que permite aumentar dinámicamente el tamaño del arreglo cada vez que se detecta la llegada de nuevos datos. El proceso consiste en almacenar cada nuevo dato en la base de datos mediante una instrucción SQL, y utilizar una función SQL adicional que permita actualizar el arreglo conforme se reciben los datos.

Finalmente, los datos recopilados se almacenan en un paquete denominado msg.trainData, el cual debe conservar este nombre, ya que es el identificador utilizado por el nodo de inteligencia artificial para reconocer los datos destinados a la etapa de entrenamiento.

- **Análisis de resultados:** Observando la ventana depuradora de Node-RED, se puede notar que en el primer enviar de datos, se tiene un arreglo compuesto por los datos de entrada y salida. Con el segundo envío de datos se puede observar que el arreglo aumenta a dos elementos con los componentes de entrada y salida. Con el tercer envío de datos el arreglo también aumento y todos los arreglos están compuestos por los componentes de entrada y salida. También se puede observar parte del código SQL en donde realiza un arreglo de elementos por medio de tiempo de escritura y todas estas variables tienen el formato correcto para que la librería de Brain.js pueda leerlos sin problema, estos datos se envían en un arreglo por medio de un paquete msg.trainData, se puede concluir que la información es enviada correctamente y se muestra en la figura Nº 3.33.

Figura Nº 3.33: Prueba de creación de información de entrenamiento.

Fuente: Imagen propia.

A continuación, en el gráfico de la figura Nº 3.34 se muestra una grafico comparativo de que se enviaron 175 arreglos y se almacenaron 175, con esto se puede concluir que la información de los arreglos de información de entrenamiento puede ir aumentando sin ningún problema.

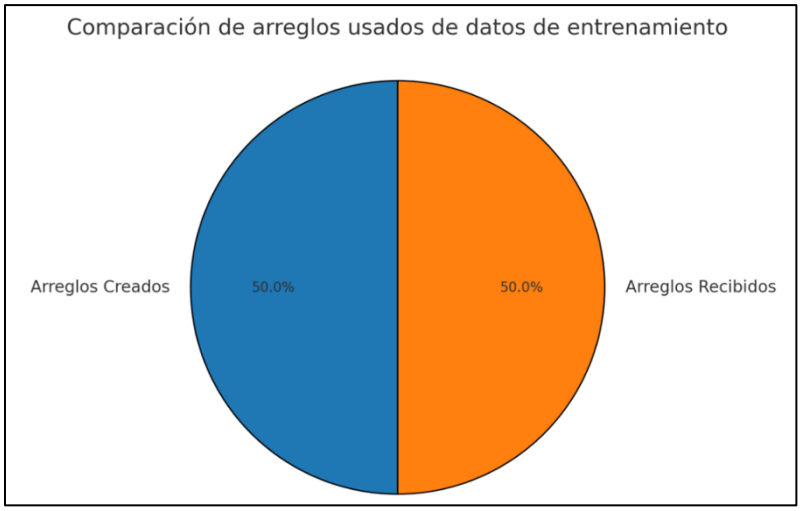


Figura Nº 3.34: Gráfico de prueba de creación de informes de entrenamiento.

Fuente: Imagen propia.

3.5.3. Prueba de estimación del sistema de datos

Una prueba de estimación del sistema de datos se refiere a un proceso utilizado para evaluar el comportamiento, precisión y eficiencia de un sistema de gestión o procesamiento de datos. Este tipo de prueba tiene como objetivo analizar cómo un sistema de datos responde ante diferentes escenarios de entrada y cómo maneja grandes volúmenes de datos, generando resultados útiles y precisos para su análisis.

- **Objetivo de la prueba:** Determinar si el sistema evalúa los datos para mostrar la posibilidad que existe de que el motor este cercano a un fallo.

- **Variables que intervienen:** Corriente, temperatura, vibración, torque, ruido con comportamiento normal y con comportamiento de error.

Desarrollo del experimento: Para realizar la prueba se necesita enviar diferentes tipos de datos, para que puedan ser analizados, se han enviado 6 conjuntos de datos con un total de 30 variables analizadas como se muestra en la figura Nº 3.35. Se han variado la cantidad de datos que indican que el motor está en buen o mal estado.

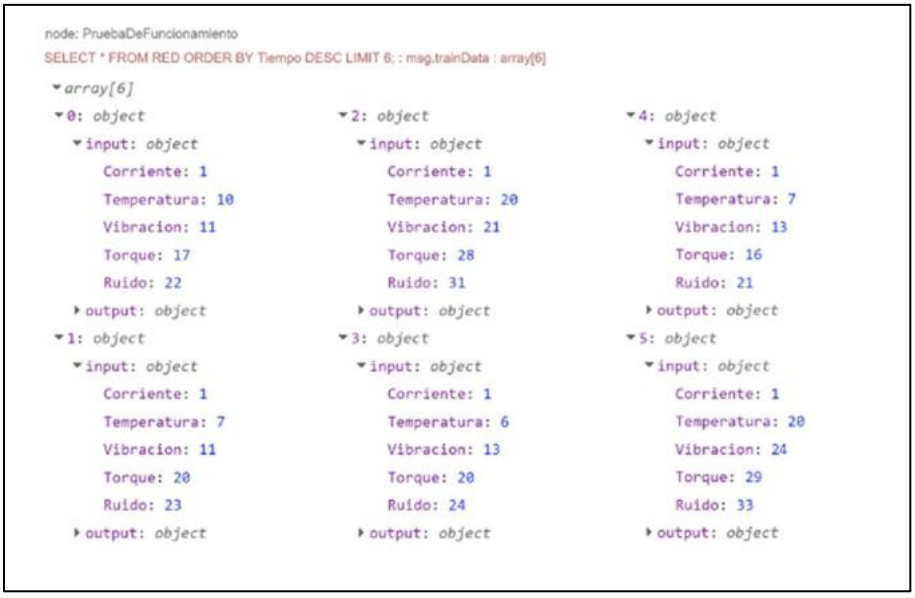


Figura Nº 3.35: Arreglos de datos enviados.

Fuente: Imagen propia.

Análisis de resultados: Se enviaron 6 conjuntos de datos, se puede observar que el paquete de msg.trainData está compuesto por 6 arreglos con los valores aleatorios, como resultado muestra que existe una probabilidad del 30% de que el motor pueda fallar, este análisis se realizó teniendo en cuenta los datos que se enviaron utilizando regresiones para saber si esos datos están cerca o lejos de un valor que presente un error. Estos resultados son mostrados en un paquete llamado msg.decision, el cual proviene de la librería de las redes neuronales.

En la figura Nº 3.36. Se presentan los datos enviados con el porcentaje de estimación.

Figura Nº 3.36: Prueba de estimación.

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, se consolidan las bases técnicas del sistema de mantenimiento predictivo mediante la integración del ABB Smart Sensor, el sistema SCADA y técnicas de inteligencia artificial. La arquitectura diseñada, que combina variadores de frecuencia, PLCs y protocolos de comunicación como PROFINET y MQTT, garantiza un monitoreo continuo y eficiente de los motores eléctricos, permitiendo la detección temprana de fallas y la optimización del mantenimiento. Este enfoque no solo mejora la confiabilidad operativa, sino que también establece un modelo escalable y adaptable a las necesidades futuras, sentando las condiciones necesarias para su validación en escenarios prácticos.Con un pequeño párrafo finalizar este capítulo.

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

Esta sección se presentan los resultados que se tuvieron con las pruebas, tomando en cuenta desde la investigación inicial del estado del arte, la parte de equipos, programas, protocolos, interfaz de usuario y por ultimo las pruebas de todo el sistema.

4.2. Resultados de las pruebas de ABB Smart Sensor

Se realizaron tres tipos de pruebas para verificar el funcionamiento del equipo, con respecto a los datos obtenidos, se optó por crear un sistema de generación de valores aleatorios, simulando los valores que posee un motor cuando está operando con algún fallo. Las pruebas que se realizaron dieron resultados positivos con respecto al funcionamiento de la integración de los equipos y del sistema del análisis de datos:

- Los datos que generaba el motor se almacenaban en una base de datos, se hicieron registros de 175 arreglos que contenían 8 variables, todos los datos que fueron generados se guardaron sin ningún error, todos coincidían con los que se almacenaron en la base de datos, esto permite que el análisis que se vaya a realizar sea preciso porque no existen valores erróneos o nulos.

- Se hicieron pruebas de una función que fue necesaria desarrollar, para que el arreglo de las variables obtenidas del sistema se autoincremente, esto debido a que la librearía solo aceptaba un arreglo definido que ya estuviera creado, hubo la necesidad de programar la función para que acepte más valores.

- Se probó el sistema de análisis, enviando datos y se pudo concluir que con los datos ingresados, el funcionamiento del motor tenía una probabilidad del 30% de poder tener un fallo.

4.3. Necesidades que pretende cubrir ABB Smart Sensor

A través, de la implementación del sistema de mantenimiento predictivo ABB Smart Sensor en la planta de pellets, se pueden determinar las necesidades que cubrirá, las cuales se mencionan a continuación:

- Apoyo a los jefes. Producción en análisis de datos asociados a la gestión del mantenimiento de los equipos eléctricos.
- Dificultad para cruzar datos de diferentes plataformas.
- Identificar en que parte se encuentra el cuello de botella y donde se debe mejorar.

4.4. Sistema productivo de apoyo a la producción

Basado en tres puntos principales:

- Registro de datos.
- Sistema de ayuda a la producción.
- Sistema predictivo de vida de consumibles.

4.5. Importancia de los datos

Basado en tres puntos principales:

- Reales.
- Verificables.
- Útiles y concretos.

De los datos recogidos depende el éxito de la implementación del sistema de mantenimiento predictivo remoto a través del ABB Smart Sensor.

4.6. Mantenimiento predictivo tradicional

El mantenimiento predictivo tradicional es una estrategia de mantenimiento que se basa en la monitorización continua o periódica del estado de los equipos para predecir fallos antes de que ocurran. Utiliza datos obtenidos a través de sensores o inspecciones regulares, como vibraciones, temperatura, y niveles de ruido, entre otros, para identificar patrones de deterioro. A partir de estos datos, se estima el tiempo de vida útil restante de los componentes, lo que permite planificar intervenciones de mantenimiento en el momento óptimo, minimizando tiempos de inactividad no planificados y evitando el desgaste innecesario.

- Tiempo de recolección de datos/motor 20 a 30 minutos.
- Tiempo de análisis de datos /motor 20 minutos.
- Riesgo de estar cerca de equipos en movimiento.
- Motores de difícil acceso no se monitorean o se realiza mantenimiento cuando el equipo falla.
- Se requiere de experiencia de personal para realizar el análisis de la información.
- El manejo de la información es tedioso y difícil de organizar.

Figura Nº 4.1: Monitoreo tradicional equipos.

Fuente: Minera CAP.

4.7. El Internet de las cosas (IoT)

Tendencia global- cuarta revolución industrial que se visualiza a continuación en la figura N° 4.2.

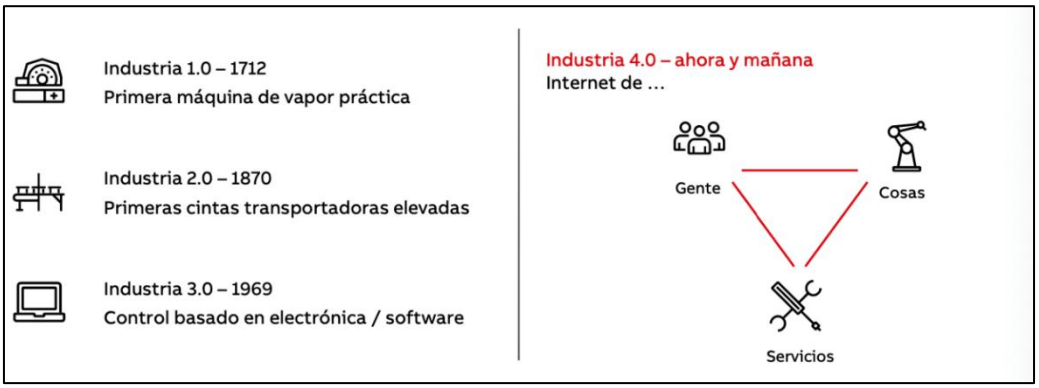


Figura Nº 4.2: Internet de las cosas.

Fuente: Catálogo ABB Smart Sensor.

4.8. ABB Smart sensor

Se incluirán en los motores el IoT, dado que se entrega información en tiempo oportuno de una manera rápida y confiable, logrando establecer estrategias de mantenimiento predictivo hacia los diversos motores eléctricos de la plata pellets (ver figuras N° 4.3 y N° 4.4)

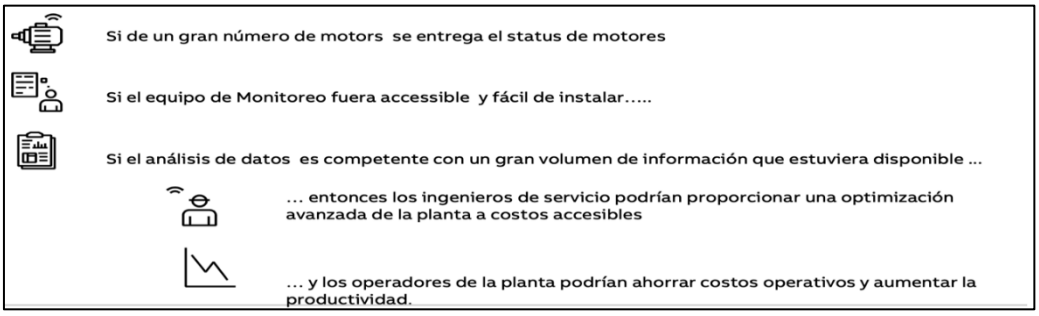


Figura Nº 4.3: IoT en los motores.

Fuente: Catálogo ABB Smart Sensor.

Figura Nº 4.4: Motor eléctrico planta pellets.

Fuente: Minera CAP.

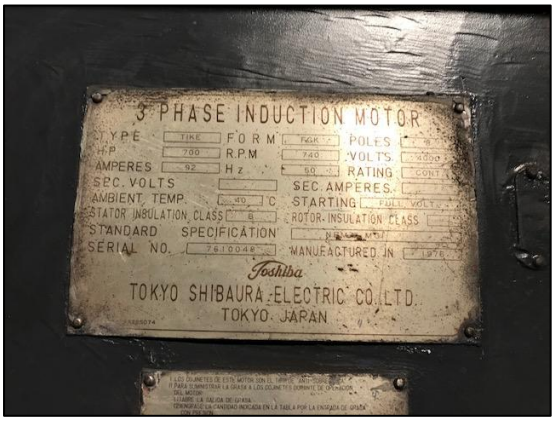


Figura Nº 4.5: Motor eléctrico planta pellets.

Fuente: Imagen propia.

4.9. Condición de monitoreo para motores eléctricos

La condición de monitoreo para motores eléctricos se refiere al seguimiento y análisis continuo del estado operativo y de salud de los motores eléctricos para detectar posibles problemas y tomar medidas preventivas antes de que ocurran fallas graves.

El monitoreo de motores eléctricos es esencial para garantizar su funcionamiento eficiente, prolongar su vida útil y evitar tiempos de inactividad costosos. Aquí hay algunos aspectos clave que se pueden monitorear en los motores eléctricos:

1. **Vibración:** La vibración inusual puede indicar desequilibrios, alineación incorrecta, problemas en cojinetes, rotores desalineados o problemas en las partes móviles del motor. Los sistemas de monitoreo de vibración pueden alertar sobre niveles anormales de vibración que podrían indicar problemas.

2. **Temperatura:** El monitoreo de la temperatura en diversas partes del motor, como los rodamientos, el devanado y la carcasa, puede revelar posibles sobrecalentamientos o desequilibrios térmicos que podrían ser indicativos de problemas.

3. **Corriente y tensión:** Monitorear la corriente y la tensión que consumen los motores puede ayudar a detectar desequilibrios en fases, sobrecargas y otras irregularidades eléctricas que pueden indicar problemas en el motor o en el sistema eléctrico.

4. **Análisis de aceite:** En motores con cojinetes lubricados por aceite, el análisis periódico del aceite puede proporcionar información sobre la presencia de partículas metálicas y la degradación del aceite, lo que podría señalar un desgaste excesivo en los componentes internos del motor.

5. **Análisis de espectro:** El análisis de espectro de frecuencia de las señales eléctricas o mecánicas del motor puede identificar patrones de vibración y resonancia que podrían indicar problemas específicos.

6. **Sensores de desplazamiento:** Los sensores de proximidad o desplazamiento pueden medir el desplazamiento axial y radial de los rotores, lo que permite identificar problemas de alineación y desgaste en los cojinetes.

7. **Estado de los cojinetes:** Los cojinetes son componentes críticos en los motores. El monitoreo del estado de los cojinetes puede ayudar a detectar desgaste prematuro, lubricación insuficiente y vibraciones inusuales.

8. **Historial de operación:** Registrar y analizar el historial de operación, incluidos los ciclos de arranque y parada, las cargas y las condiciones de operación, puede proporcionar una comprensión más completa de cómo los motores están siendo utilizados y si se están sometiendo a condiciones adversas.

9. **Comunicación remota:** La implementación de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y la nube permite el monitoreo remoto de los motores, lo que significa que los datos se pueden recopilar y analizar en tiempo real, incluso a distancia.

10. **Alarma y notificación:** Establecer umbrales de alarma basados en los valores monitoreados puede generar notificaciones automáticas cuando se detecten condiciones anormales, permitiendo una respuesta rápida y una acción preventiva.

La incorporación de monitoreo continuo y sistemas de mantenimiento predictivo resulta fundamental para garantizar el funcionamiento eficiente de los motores eléctricos. Estas herramientas permiten anticipar posibles fallas, optimizar el rendimiento y reducir al mínimo las detenciones imprevistas en los procesos operativos.

Con la tecnología del ABB Smart Sensor diversos motores pueden ser monitoreados.

Figura Nº 4.6: Sistema ABB Smart Sensor.

Fuente: Catálogo Smart Sensor.

4.9.1. Beneficios

El monitoreo de motores eléctricos y la implementación de sistemas de mantenimiento predictivo, como el ABB Smart Sensor y el Sistema SCADA, ofrecen una serie de beneficios significativos para las operaciones industriales. Algunos de estos beneficios incluyen:

1. **Detección temprana de problemas:** El monitoreo constante permite detectar problemas en los motores antes de que se conviertan en fallas graves. Esto permite tomar medidas preventivas y evitar costosas interrupciones en la producción.

2. **Reducción de tiempo de inactividad:** Al anticipar y abordar problemas antes de que se conviertan en fallas importantes, se reduce la necesidad de tiempos de inactividad no planificados, lo que aumenta la disponibilidad y eficiencia de los equipos.

3. **Mejora en la planificación del mantenimiento:** La capacidad de predecir cuándo se requerirá mantenimiento permite una mejor planificación de los recursos, la programación de tareas y la asignación de personal, lo que optimiza los procesos y minimiza los costos.

4. **Aumento de la vida útil de los equipos:** Al identificar y resolver problemas en etapas tempranas, se reduce el desgaste y el daño a los motores, lo que puede prolongar su vida útil y retrasar la necesidad de reemplazo.

5. **Ahorro de costos:** La reducción de tiempos de inactividad, el uso eficiente de recursos de mantenimiento y la prevención de fallas costosas se traducen en ahorros sustanciales en costos operativos y de mantenimiento.

6. **Optimización de la eficiencia energética:** Al monitorear parámetros como corriente y tensión, se puede ajustar el funcionamiento de los motores para maximizar la eficiencia energética y reducir el consumo innecesario de electricidad.

7. **Mejora en la seguridad:** La detección temprana de problemas puede contribuir a la seguridad de los trabajadores al prevenir situaciones peligrosas asociadas con fallas inesperadas en los equipos.

8. **Toma de decisiones informada:** Los datos recopilados a través del monitoreo brindan información valiosa para tomar decisiones informadas sobre mantenimiento, reparaciones y reemplazos de equipos.

9. **Reducción de intervenciones innecesarias:** El monitoreo continuo evita realizar mantenimientos preventivos basados en el tiempo, lo que ahorra recursos al realizar tareas solo cuando es necesario.

10. **Acceso remoto y en tiempo real:** Las soluciones de monitoreo remoto permiten a los equipos de mantenimiento supervisar los motores y recibir alertas en tiempo real, incluso si no están físicamente en el lugar.

11. **Cumplimiento normativo:** En ciertas industrias, mantener ciertos estándares y regulaciones es esencial. El monitoreo puede ayudar a garantizar el cumplimiento normativo al mantener los equipos en condiciones óptimas.

12. **Mejora de la calidad del producto:** Un mantenimiento predictivo adecuado asegura que los motores operen de manera consistente, lo que puede resultar en una producción más estable y una mejora en la calidad del producto final.

En resumen, el monitoreo de motores eléctricos y la implementación de sistemas de mantenimiento predictivo no solo evitan problemas costosos y aumentan la eficiencia operativa, sino que también permiten una gestión más eficaz y estratégica de los recursos y contribuyen a una operación industrial más segura y confiable.

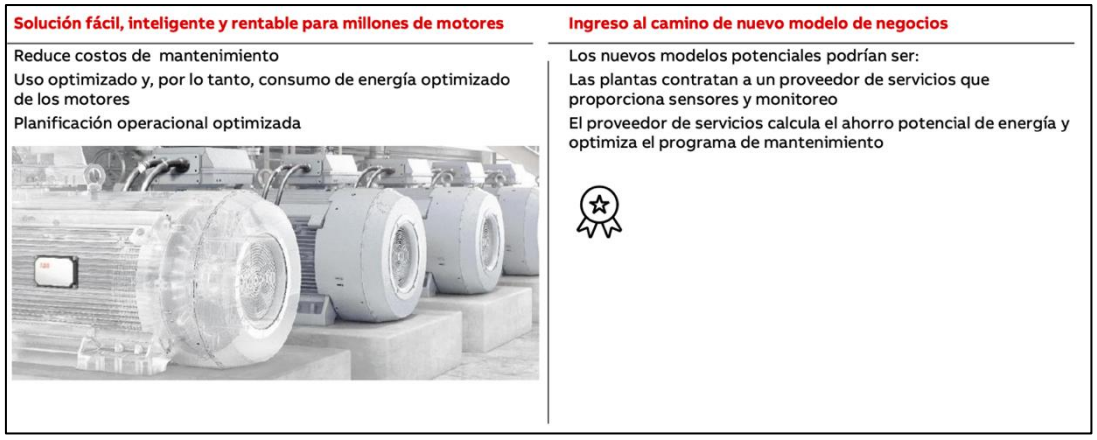


Figura Nº 4.7: Beneficios ABB Smart Sensor.

Fuente: Catálogo Smart Sensor.

4.9.2. Tres elementos: hardware, apps, web portal

Permiten el monitoreo de los equipos a través de cualquier equipo tecnológico, con el fin de mantener siempre informado sobre su funcionamiento y en caso de ocurrir alguna falla poder determinar estrategias de la gestión del mantenimiento en el menor tiempo posible.

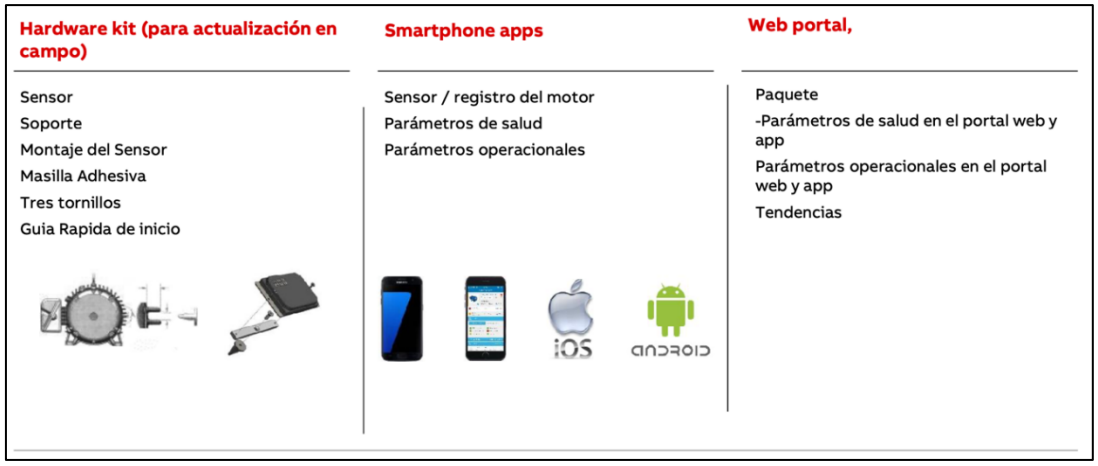


Figura Nº 4.8: Tres elementos.

Fuente: Catálogo Smart Sensor.

4.9.3. Ahorro de costos

La implementación de sistemas de monitoreo y mantenimiento predictivo, como el ABB Smart Sensor y el Sistema SCADA, puede generar diversos ahorros de costos en las operaciones industriales, especialmente en lo que respecta al mantenimiento de motores eléctricos. Aquí hay algunas formas en las que estos sistemas pueden contribuir al ahorro de costos:

1. **Reducción de tiempos de inactividad:** Al detectar y abordar problemas en etapas tempranas, se evitan las interrupciones no planificadas en la producción y se minimizan los tiempos de inactividad, lo que ahorra costos asociados con la pérdida de producción y las reparaciones de emergencia.

2. **Optimización de recursos de mantenimiento:** Al conocer el estado real de los motores y las necesidades de mantenimiento, se puede planificar y asignar recursos de manera más eficiente, evitando gastos innecesarios en mantenimientos preventivos que no son realmente requeridos.

3. **Prevención de costosas reparaciones:** Detectar problemas antes de que se conviertan en fallas graves puede evitar la necesidad de realizar reparaciones costosas o reemplazar equipos, lo que ahorra en costos de piezas y mano de obra.

4. **Optimización del inventario de repuestos:** Al anticipar las necesidades de mantenimiento, se puede mantener un inventario de repuestos más efectivo y justo, evitando la acumulación de piezas innecesarias y reduciendo costos de almacenamiento.

5. **Eficiencia energética:** Monitorear el rendimiento de los motores y ajustar su funcionamiento para maximizar la eficiencia energética puede resultar en ahorros significativos en los costos de energía eléctrica.

6. **Evitar paros no planificados:** La detección temprana de problemas puede evitar paros no planificados, lo que ahorra costos asociados con la pérdida de producción y la necesidad de ajustar horarios y plazos.

7. **Mejora en la planificación financiera:** Al tener una comprensión más precisa de cuándo y cómo se requerirán los gastos de mantenimiento, se puede mejorar la planificación financiera y presupuestaria, evitando gastos imprevistos.

8. **Reducción de costos de mano de obra:** Realizar intervenciones de mantenimiento basadas en la necesidad real y en datos precisos permite utilizar la mano de obra de manera más eficiente, evitando gastos innecesarios.

9. **Menos repetición de tareas:** La detección temprana de problemas evita que se realicen tareas de mantenimiento repetitivas y no productivas en los motores.

10. **Incremento de la vida útil de los equipos:** La detección y prevención de problemas puede prolongar la vida útil de los motores, lo que reduce la necesidad de reemplazarlos con frecuencia.

11. **Mejora en la calidad del producto:** Mantener los motores en un estado óptimo puede contribuir a una producción más estable y una mejora en la calidad del producto, evitando costosos rechazos o reprocesos.

En última instancia, la inversión en sistemas de monitoreo y mantenimiento predictivo puede generar ahorros sustanciales a lo largo del tiempo, no solo en términos de costos directos sino también al contribuir a una operación más eficiente y confiable en general.

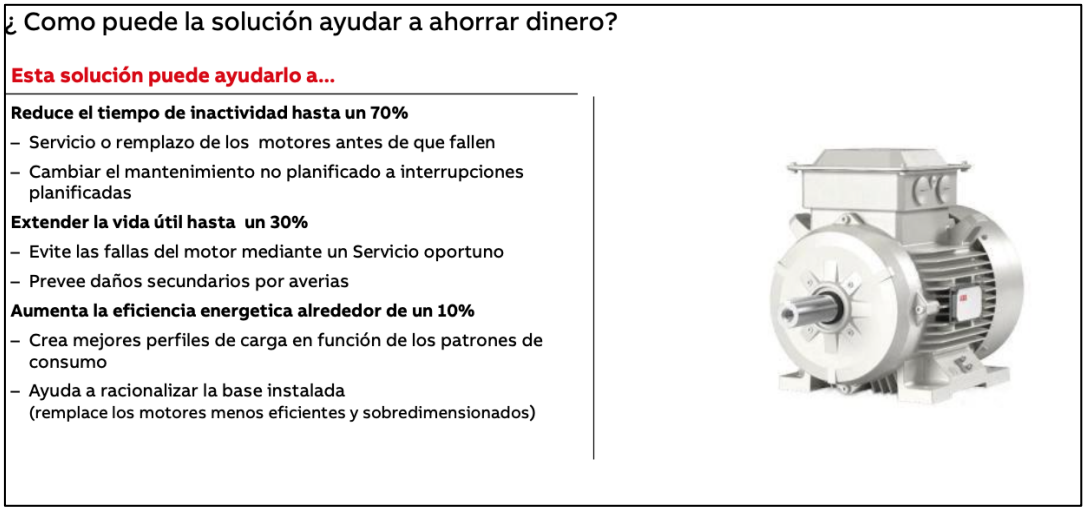


Figura Nº 4.9: Ahorro de costos.

Fuente: Catálogo Smart Sensor.

4.10. Layout

En el contexto de la implementación de sistemas de monitoreo y mantenimiento predictivo, como el ABB Smart Sensor y el Sistema SCADA, el "layout" se refiere a cómo se organizan y distribuyen físicamente los componentes y las infraestructuras de estos sistemas en un entorno industrial o una planta. Un diseño de "layout" efectivo es esencial para asegurar la eficiencia operativa, la accesibilidad y la funcionalidad adecuada de los sistemas. Aquí hay algunos aspectos clave relacionados con el "layout" en la implementación de estos sistemas:

1. **Disposición de sensores y dispositivos:** En el caso del ABB Smart Sensor, la colocación de los sensores en los motores es crucial. El "layout" debe determinar dónde se ubicarán los sensores en los motores para garantizar la recopilación precisa de datos. Esto podría implicar la selección de puntos estratégicos para medir vibraciones, temperaturas y otros parámetros.

2. **Ubicación de equipos SCADA:** Para el Sistema SCADA, la ubicación de las estaciones de operación, pantallas y equipos relacionados es importante. Debe garantizarse una visibilidad óptima de los datos y una accesibilidad conveniente para los operadores y técnicos.

3. **Infraestructura de comunicación:** El "layout" también abarca cómo se conectan los sensores, los dispositivos de medición y el Sistema SCADA. La infraestructura de comunicación, que podría incluir cables, redes inalámbricas u otros medios, debe estar diseñada de manera que los datos fluyan de manera confiable y sin interferencias.

4. **Ubicación de servidores y equipos de procesamiento:** Si los datos se procesan localmente, es esencial determinar dónde se ubicarán los servidores y equipos de procesamiento para evitar problemas de calor, acceso y seguridad.

5. **Distribución de alarmas y notificaciones:** El "layout" también abarca cómo se distribuirán las alarmas y notificaciones generadas por los sistemas. Esto puede involucrar la configuración de pantallas de visualización, sistemas de alerta y procedimientos para asegurarse de que el personal esté informado de manera efectiva.

6. **Integración con infraestructura existente:** En muchas situaciones, los sistemas de monitoreo y mantenimiento predictivo deben integrarse con la infraestructura y los sistemas existentes. El "layout" debe considerar cómo se conectan y comunican con otros sistemas ya en uso.

7. **Seguridad y acceso:** El "layout" debe abordar cuestiones de seguridad y acceso. Los sistemas deben estar protegidos contra accesos no autorizados y diseñados de manera que el personal autorizado pueda interactuar con ellos de manera segura.

8. **Facilidad de mantenimiento:** El "layout" debe permitir un mantenimiento y una calibración adecuados de los sensores y los equipos. Los componentes deben ser accesibles para inspecciones regulares y, si es necesario, reemplazo.

9. **Escalabilidad:** El diseño del "layout" debe tener en cuenta la posibilidad de futuras expansiones o actualizaciones de los sistemas, para evitar problemas cuando sea necesario agregar más sensores o capacidades.

10. **Documentación:** Es importante crear documentación clara y detallada sobre el "layout" de los sistemas. Esto incluye diagramas de conexión, ubicación de equipos y cualquier otra información relevante para la operación y el mantenimiento.

En resumen, el diseño de "layout" en la implementación de sistemas de monitoreo y mantenimiento predictivo es esencial para optimizar la eficiencia operativa, garantizar la recopilación precisa de datos y asegurar la funcionalidad adecuada de los sistemas en el entorno industrial.

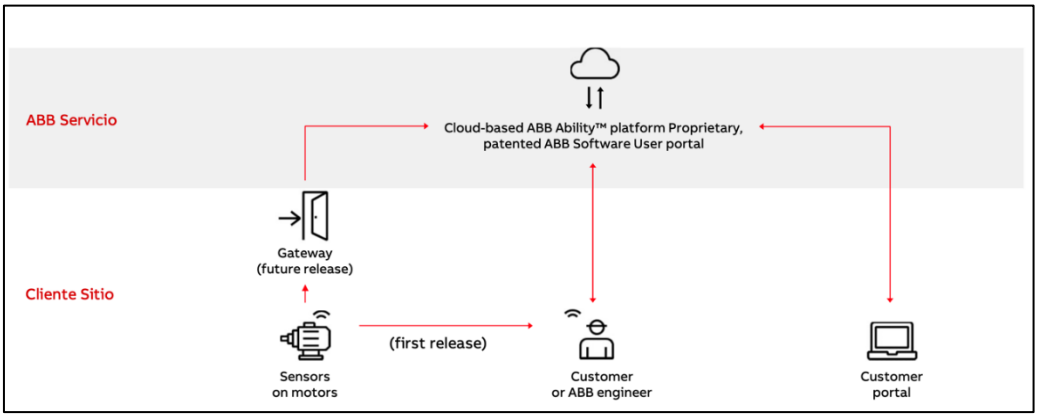


Figura Nº 4.10: Layout monitoreo equipos.

Fuente: Catálogo Smart Sensor.

4.11. Dashboard

En el contexto de la implementación de sistemas de monitoreo y mantenimiento predictivo, como el ABB Smart Sensor y el Sistema SCADA, un "dashboard" se refiere a una interfaz visual que muestra de manera resumida y fácilmente comprensible la información relevante sobre el estado y rendimiento de los equipos monitoreados. Este "dashboard" permite a los operadores, técnicos y gerentes acceder a los datos en tiempo real y tomar decisiones informadas de manera rápida y efectiva. Aquí hay algunos aspectos clave relacionados con el uso de "dashboards" en la implementación de estos sistemas:

1. **Visualización de datos clave:** El "dashboard" muestra los datos más críticos y relevantes para el monitoreo y mantenimiento de los equipos. Esto puede incluir información sobre vibración, temperatura, corriente, tensión y otros parámetros medidos por el ABB Smart Sensor y otros sensores.

2. **Representación gráfica:** Los "dashboards" utilizan gráficos, gráficos de barras, medidores y otros elementos visuales para representar los datos de manera intuitiva. Estos gráficos permiten una rápida comprensión de la información y la identificación de tendencias.

3. **Estado en tiempo real:** El "dashboard" muestra el estado actual de los motores y equipos en tiempo real. Esto permite a los operadores detectar problemas inmediatamente y tomar medidas preventivas antes de que las condiciones empeoren.

4. **Alarmas y notificaciones:** El "dashboard" puede mostrar alarmas y notificaciones visuales o auditivas cuando se detectan condiciones anormales. Esto permite a los operadores responder de manera rápida a situaciones críticas.

5. **Comparativas y tendencias:** Los "dashboards" pueden mostrar comparativas entre los datos actuales y los históricos, lo que ayuda a identificar tendencias a lo largo del tiempo y a tomar decisiones basadas en patrones observados.

6. **Niveles de acceso:** Dependiendo de los roles y responsabilidades, los "dashboards" pueden proporcionar diferentes niveles de acceso. Por ejemplo, los operadores pueden tener acceso a información básica, mientras que los gerentes pueden acceder a información más detallada y análisis.

7. **Personalización:** Los "dashboards" a menudo son personalizables, lo que permite a los usuarios ajustar la visualización para adaptarse a sus necesidades específicas y resaltar los datos más relevantes para ellos.

8. **Interactividad:** En algunos casos, los "dashboards" permiten la interacción directa con los datos. Por ejemplo, los operadores pueden cambiar parámetros o activar acciones desde el "dashboard".

9. **Acceso remoto:** Los "dashboards" pueden estar disponibles para el acceso remoto, lo que permite a los usuarios monitorear y tomar decisiones desde ubicaciones fuera del sitio.

10. **Análisis en profundidad:** Además de la visualización en tiempo real, algunos "dashboards" ofrecen la capacidad de profundizar en los datos para un análisis más detallado.

En resumen, un "dashboard" en la implementación de sistemas de monitoreo y mantenimiento predictivo es una herramienta crucial que permite a los usuarios acceder y comprender de manera efectiva la información sobre el estado y rendimiento de los equipos, facilitando la toma de decisiones informadas y oportunas.

A continuación, en la figura N° 4.11 se muestra el dashboard ABB Smart Sensor.

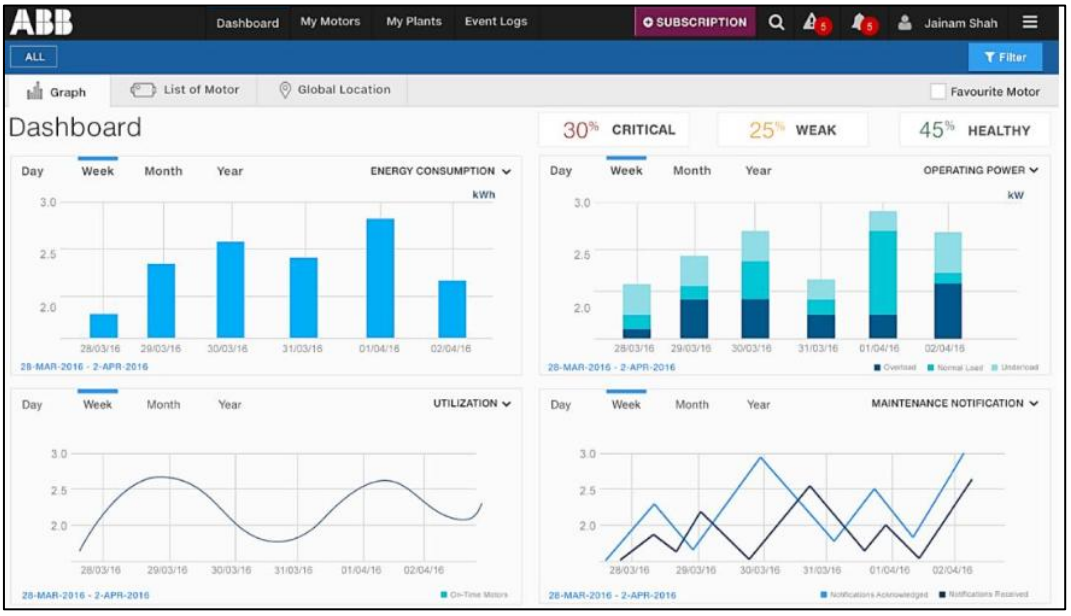


Figura Nº 4.11: Dashboard ABB Smart Sensor.

Fuente: Elaboración propia.

4.12. Hardware

El "hardware" desempeña un papel fundamental en la implementación de sistemas de monitoreo y mantenimiento predictivo, como el ABB Smart Sensor y el Sistema SCADA.

Estos sistemas requieren componentes físicos específicos para recopilar, transmitir, procesar y mostrar los datos relevantes. Aquí hay una descripción de cómo se aplica el "hardware" en la implementación de estos sistemas:

1. **Sensores y dispositivos de monitoreo:** Los sensores, como el ABB Smart Sensor, son componentes clave en la implementación de sistemas de monitoreo. Estos sensores físicos se instalan en los equipos que se están monitoreando y recopilan datos en tiempo real sobre parámetros como vibración, temperatura, corriente, tensión, entre otros.

2. **Sistema de adquisición de datos (DAQ):** En algunos casos, se requieren sistemas de adquisición de datos que recolecten información de los sensores y la conviertan en señales digitales comprensibles para el sistema de monitoreo.

3. **Redes de comunicación:** El "hardware" incluye la infraestructura de redes de comunicación que conecta los sensores y los dispositivos de monitoreo con el Sistema SCADA y otros equipos relevantes. Esto puede implicar cables, fibra óptica, tecnología inalámbrica u otras soluciones de comunicación.

4. **Controladores y equipos de control:** En el Sistema SCADA, se utilizan controladores lógicos programables (PLCs) y otros equipos de control para gestionar y supervisar los procesos industriales. Estos dispositivos "hardware" permiten la comunicación bidireccional entre los sensores y otros sistemas de control.

5. **Servidores y equipos de procesamiento:** Para sistemas que procesan y almacenan datos localmente, se requieren servidores y equipos de procesamiento. Estos dispositivos "hardware" ejecutan aplicaciones de software, almacenan datos históricos y permiten el análisis de datos.

6. **Dispositivos de visualización:** En la implementación de "dashboards" y sistemas de visualización, se utilizan dispositivos de pantalla, como pantallas de monitores, pantallas táctiles o proyectores, para mostrar la información recopilada y generar alarmas visuales.

7. **Dispositivos móviles:** En algunos casos, se pueden utilizar dispositivos móviles como tablets o smartphones para acceder a los datos de monitoreo de manera remota y recibir notificaciones.

8. **Dispositivos de almacenamiento:** Para sistemas que almacenan grandes cantidades de datos históricos, se pueden requerir dispositivos de almacenamiento como unidades de disco duro, unidades de estado sólido (SSD) o soluciones de almacenamiento en red (NAS).

9. **Fuentes de alimentación y protección:** Es esencial contar con fuentes de alimentación confiables y sistemas de protección contra sobretensiones y apagones para garantizar el funcionamiento continuo y seguro del "hardware".

10. **Racks y gabinetes:** El "hardware" puede requerir racks, gabinetes y estructuras para su montaje y protección en entornos industriales.

Es importante destacar que la elección y configuración del "hardware" adecuado depende del entorno industrial específico, los requisitos de los sistemas de monitoreo y mantenimiento predictivo, así como de la infraestructura tecnológica existente. La combinación adecuada de "hardware" es esencial para garantizar el funcionamiento efectivo y confiable de estos sistemas en el entorno industrial.

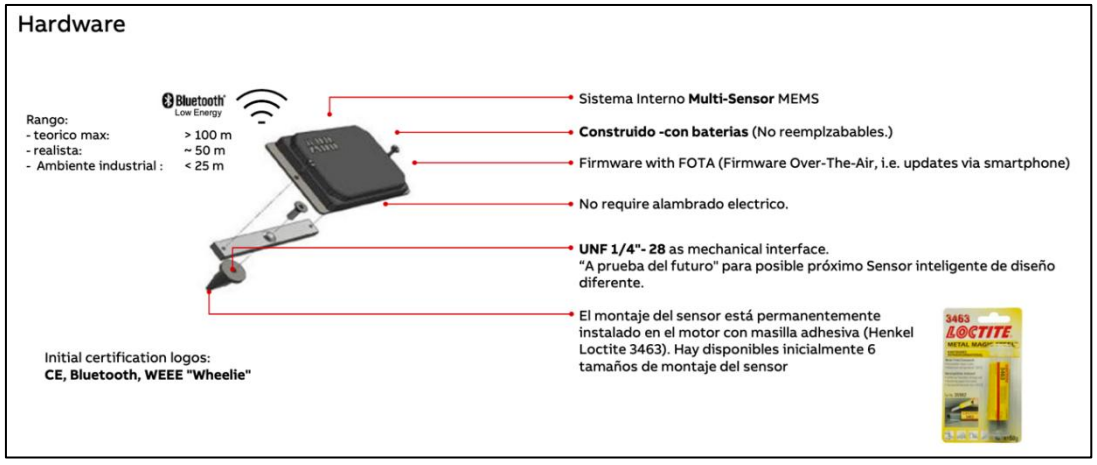


Figura Nº 4.12: Hardware ABB Smart Sensor.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES

La implementación de sistemas de monitoreo y mantenimiento predictivo, como el ABB Smart Sensor y el Sistema SCADA, conlleva una serie de conclusiones clave que afectan tanto la eficiencia operativa como la gestión de activos en un entorno industrial.

A continuación, se presentan algunas conclusiones destacadas en este contexto:

1. **Mejora en la eficiencia y la disponibilidad:** La adopción de sistemas de monitoreo y mantenimiento predictivo permite una mejora significativa en la eficiencia operativa al prevenir fallas inesperadas y minimizar los tiempos de inactividad. Esto a su vez aumenta la disponibilidad de equipos y procesos críticos.

2. **Reducción de costos:** La detección temprana de fallas, junto con una planificación eficiente del mantenimiento, puede traducirse en una reducción significativa de los costos operativos. Aunque aún no se dispone de un estudio de costos detallado debido al carácter emergente de esta tecnología, es razonable proyectar ahorros en aspectos como la disminución de tiempos de inactividad no programados, la reducción de intervenciones correctivas urgentes y el uso más eficiente de los recursos técnicos y humanos destinados al mantenimiento. Estos beneficios, si bien son preliminares, representan una ventaja competitiva al optimizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos

3. **Transición hacia el mantenimiento predictivo:** La implementación exitosa de estos sistemas impulsa una evolución hacia el mantenimiento predictivo, permitiendo la realización de tareas de mantenimiento en función de la verdadera necesidad, en lugar de basarse en intervalos de tiempo fijos.

4. **Optimización de recursos:** La información en tiempo real y los datos precisos proporcionados por estos sistemas permiten una asignación más eficiente de los recursos de mantenimiento, evitando tareas innecesarias y permitiendo una planificación más estratégica.

5. **Toma de decisiones informada:** Los "dashboards" y las interfaces visuales brindan información clara y concisa, lo que facilita la toma de decisiones informadas para los operadores, ingenieros y gerentes.

6. **Incremento de la vida útil de los equipos:** La capacidad de predecir problemas y tomar medidas preventivas permite prolongar la vida útil de los equipos y evitar el desgaste innecesario.

7. **Seguridad mejorada:** La capacidad de detectar problemas potenciales en etapas tempranas también contribuye a un ambiente de trabajo más seguro al prevenir situaciones peligrosas asociadas con fallas repentinas.

8. **Integración y conectividad:** Estos sistemas permiten la integración de datos desde múltiples fuentes y ubicaciones, lo que proporciona una visión integral de la operación y ayuda a optimizar los procesos industriales.

9. **Aprendizaje y mejora continua:** La implementación de estos sistemas proporciona datos valiosos que pueden utilizarse para el análisis posterior y la mejora continua de los procesos y sistemas.

10. **Necesidad de planificación estratégica:** La implementación exitosa requiere una planificación detallada y una comprensión profunda de los requisitos de los equipos y procesos industriales. Una estrategia sólida es esencial para maximizar los beneficios.

11. **Contexto de la minería del hierro y sensores predictivos:** Se logró caracterizar el contexto de la minería del hierro y su proceso productivo, permitiendo identificar las principales problemáticas asociadas al mantenimiento de equipos críticos en la planta de pellets Huasco. Esto validó la necesidad de integrar tecnologías predictivas como los sensores inteligentes para mejorar la continuidad operativa.

12. **Diseño del mantenimiento predictivo:** El diseño del sistema de mantenimiento predictivo, basado en la integración del ABB Smart Sensor con el sistema SCADA, permitió establecer una arquitectura técnica robusta, capaz de recopilar, procesar y presentar información relevante en tiempo real, facilitando la toma de decisiones de mantenimiento con base en datos.

13. **Evaluacion del rendimiento e impacto económico:** La evaluación comparativa entre el mantenimiento predictivo y los métodos tradicionales evidenció una mejora en la eficiencia operativa y en la gestión de recursos técnicos, lo cual genera un impacto económico positivo al reducir el tiempo de inactividad y prolongar la vida útil de los equipos monitoreados.

14. **Validacion mediante prueba piloto:** La implementación de la prueba piloto permitió validar la operatividad del sistema propuesto en un entorno real, demostrando que el ABB Smart Sensor cumple con las funciones de monitoreo requeridas y que los algoritmos de inteligencia artificial aplicados son capaces de entregar estimaciones útiles para la planificación de mantenimientos.

En última instancia, la implementación de sistemas de monitoreo y mantenimiento predictivo ofrece una ventaja competitiva al mejorar la eficiencia, la confiabilidad y la rentabilidad de las operaciones industriales. Sin embargo, es crucial contar con un enfoque integral, una inversión en tecnología adecuada y una mentalidad proactiva para aprovechar al máximo los beneficios que estos sistemas pueden ofrecer.

BIBLIOGRAFÍA

[1] ABB. (2008). Three-phase asynchronous motors Generalities and ABB proposals for the coordination of protective devices. ABB SACE: Italy,

[2] Metodología de la Investigación (7º edición). México. McGrawn Hill.

[3] Greek, J. (2017). Inteligencia artificial: computadoras y máquinas inteligentes (Artificial Intelligence: Clever Computers and Smart Machines). The Rosen Publishing Group, Inc.

[4] Greek, J. (2017). Inteligencia artificial: computadoras y máquinas inteligentes (Artificial Intelligence: Clever Computers and Smart Machines). The Rosen Publishing Group, Inc.

[5] CAP Minería. 2018.

ANEXO A

ABB ABILITY™ SMART SENSOR

NOTA DEL PRODUCTO

ABB Ability™ Smart Sensor

Monitorización del estado para motores

ABB Ability™ Smart Sensor transforma los motores tradicionales en dispositivos inteligentes, conectados inalámbricamente. Permite a los usuarios monitorizar el estado de sus motores y planificar el mantenimiento con antelación, evitando los tiempos de inactividad imprevistos, optimizando la eficiencia y mejorando la seguridad.

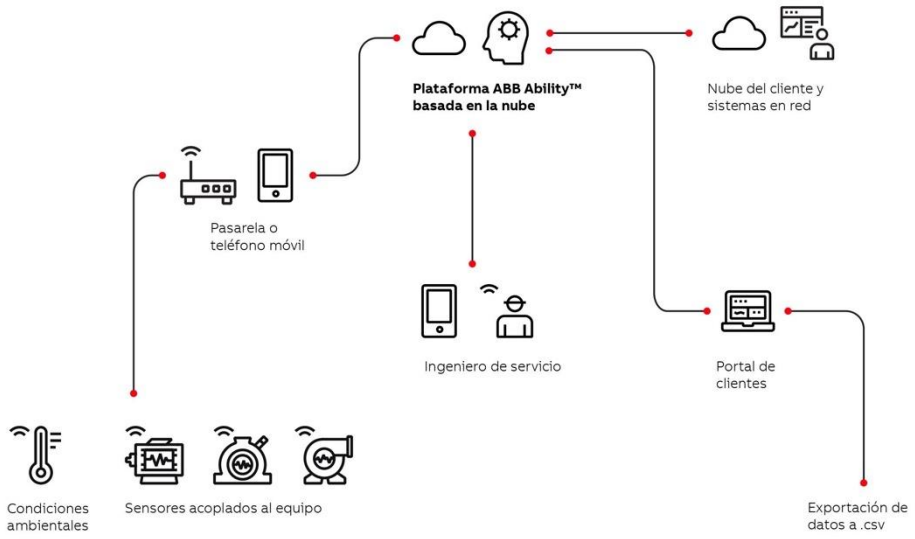
Mantenimiento predictivo para motores
Antes, la instalación permanente de la monitorización del estado resultaba muy costosa para la mayoría de motores. Por ello, la mayoría de estos motores se hacía funcionar hasta que fallaban. La nueva solución eficiente de ABB supone un cambio de rumbo en este sentido. Con un tiempo de amortización de menos de un año, permite incorporar la monitorización remota a una mayor variedad de motores: las plantas pueden incluso implantar la monitorización del estado en flotas enteras de motores. La monitorización del estado significa que las actividades de mantenimiento pueden planificarse con antelación, lo que permite reducir los tiempos de inactividad y ampliar la vida útil de los motores.

Asimismo, la solución genera "big data" sobre el estado de un gran número de motores, allanando así el camino del mantenimiento predictivo y la optimización de las operaciones y el consumo energético de toda la planta.

Tecnología de detección inteligente y fácil instalación
La base de la solución es una unidad sensora compacta que se acopla fácilmente en los motores sin necesidad de cableado. Determinadas gamas de motores ABB pueden incorporar de fábrica los sensores de forma opcional. En motores ya instalados, existen kits de reacondicionamiento que permiten que los motores sean actualizados en campo con sensores. El montaje y configuración de los sensores solo requiere unos minutos. Son compatibles con motores antiguos y actuales, de ABB y otros proveedores.

El sensor monitoriza las señales procedentes del motor y mide con precisión los parámetros clave a intervalos regulares. Transfiere los datos mediante la tecnología integrada Bluetooth® Low Energy a un smartphone o antena (gateway) hasta un servidor seguro en la nube. Las comunicaciones de datos utilizan protocolos de cifrado estándar de la industria y todos los datos se almacenan en la nube de forma cifrada.

Algoritmos avanzados basados en los conocimientos especializados de ABB analizan los datos y generan información significativa. El servidor envía esta información directamente al smartphone del usuario y a un portal web dedicado de ABB Ability™ Smart Sensor. Los datos también se monitorizan a lo largo del tiempo para realizar análisis de tendencias.



—
01 .Solución de monitorización de estado de ABB para motores: ABB Ability™ Smart Sensor transmite los datos, a través de un smartphone o una puerta de enlace, a un servicio seguro en la nube. Los algoritmos analizan los datos y los convierten en información útil y relevante que se envía al smartphone del usuario y al portal de clientes.

Interfaz intuitiva
Los usuarios pueden comprobar en cualquier momento el estado de los motores con su smartphone a través de la aplicación ABB Ability™ Smart Sensor. La interfaz incluye una pantalla de tipo "semáforo" para presentar de forma rápida una vista general de todos los motores que se están monitorizando. Además, los usuarios reciben recomendaciones claras sobre cómo optimizar el mantenimiento y ahorrar costes.

ROJO
Problema crítico: es probable que pronto se produzca un fallo. Tome medidas lo antes posible.

AMARILLO
El funcionamiento puede continuar, aunque el motor debe vigilarse de cerca el motor y hacerle un mantenimiento lo antes posible.

VERDE
Motor correcto: el funcionamiento puede continuar.

Motores y mantenimiento inteligente
ABB Ability™ Smart Sensor convierte las máquinas que siempre han sido bastante simples en dispositivos inteligentes y conectados de forma inalámbrica. Suministra información significativa sobre el estado y rendimiento del motor, lo que permite a los usuarios utilizarla para su mantenimiento. Ahora las plantas pueden planificar el mantenimiento según las necesidades reales en lugar de basarse únicamente en intervalos de tiempo u horas de funcionamiento. Esto permite rebajar los costes de mantenimiento y reducir o incluso eliminar las paradas no planificadas. También hay oportunidades para optimizar el consumo energético de los motores. Al combinar los datos sobre los niveles de consumo de energía de cada motor con la información del funcionamiento de la planta, es posible seleccionar los motores más adecuados para reducir los costes energéticos. La solución ayuda a los operadores de la planta en sus iniciativas para reducir sus costes generales de propiedad del motor.

La fábrica del futuro con trenes de potencia digitales
Las fábricas conectadas e inteligentes son el futuro de la fabricación. ABB Ability™ conecta a los usuarios con el poder del Internet de las Cosas Industrial (IIoT). ABB Ability™ permite combinar los datos recopilados por el sensor del motor con datos de otros equipos conectados, como rodamientos instalados, engranajes, convertidores de frecuencia y bombas. El acceso y análisis de estos datos se realiza de forma remota, obteniendo así un mayor conocimiento del estado de todo el proceso. ABB ofrece una exclusiva ventaja digital al combinar la conectividad y los análisis de datos con la experiencia industrial para que sus operaciones sean eficientes, previsibles y seguras.

Parámetros	Descripción	Disponibilidad
Parámetros medidos		
Vibración: axial, radial, tangencial	mm/s o pulgada/s, rms	●
Temperatura superficial	°C o °F	●
Campo magnético	(Datos no mostrados; se usan en los cálculos)	●
Señales acústicas	(Datos no mostrados; se usan en los cálculos)	●
Tiempo	MM:dd:hh:mm:ss	●
FFT de vibración y forma de onda de tiempo	Informe especial	●
Parámetros de estado calculados		
Estado general del motor	Semáforo de estado consolidado	●
Vibración general	Semáforo, mm/s o pulgada/s, rms	●
Estado de los rodamientos	Semáforo, valor entero	●
Desalineación	Semáforo, %	●
Desequilibrio	Semáforo	●
Eje doblado	Semáforo	●
Estado del devanado del rotor	Semáforo	●
Parámetros de funcionamiento calculados		
Potencia de salida	kW	●
Horas de funcionamiento	Horas	●
Número de arranques	Valor entero	●
Velocidad	Revoluciones por minuto (rpm)	●
Frecuencia de alimentación del motor	Hz	●
Carga	% de potencia a plena carga de placa de características	●
Par	Nm	●
Sentido de rotación	Sentido horario / antihorario	●
Recomendación de mantenimiento		
Alertas, alarmas, recordatorios	En aplicación, por correo electrónico, push, webhook	●
Reengrase	Horas restantes para el siguiente reengrase	●
Unidad sensora y estado de la batería		●
Certificaciones		
IP 66		●
CE, IC, RCM, EAC, FCC, UL, C-UL, SRE, SUBTEL		●
NEC Intrínsecamente Seguro	Clase 1, Div. 2	●
IECEx Intrínsecamente Seguro	Ex iB IIB T4 Gb, de -40 °C a +80 °C	●
Compatibilidad		
Motores de inducción	Tamaños de carcasa: IEC: 56 - 500 NEMA: 42 - 449, motores no estándar equivalentes a IEC 500	●
Motores de imanes permanentes/ síncronos de reluctancia		●
Motores para zonas seguras		●
Motores para zonas peligrosas		●
Servicio continuo e intermitente		●
Velocidad fija y velocidad variable		●
Motores antiguos y nuevos		●
Motores ABB y no ABB		●

● = DISPONIBLE
● = DISPONIBLE EN UNA FUTURA VERSIÓN (2020)

Para obtener más información, visite:

www.abb.com/smartsensor

Nos reservamos el derecho a introducir cambios técnicos o modificar el contenido de este documento sin previo aviso. En lo que respecta a las órdenes de compra, prevalecerán los datos acordados. ABB Ltd no asume ninguna responsabilidad por posibles errores u omisión de información en este documento.

Nos reservamos todos los derechos en este documento y para el contenido y las ilustraciones incluidas en el mismo. Se prohíbe cualquier reproducción, divulgación a terceros o utilización de su contenido, en su totalidad o en parte, sin el consentimiento previo por escrito de ABB Ltd. Copyright© 2019 ABB.
Reservados todos los derechos.

9AKK106713A3853 REV C 11-2019