



**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA**

**ESTUDIO DE IMPLEMENTACIÓN DE "FT ANALYTICS GUARDIAN AI"
PARA EL MONITOREO DE EQUIPOS CRÍTICOS EN EL PROCESO DE
FABRICACIÓN DE AZUCAR**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN CONTROL E
INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Alumno:
Cristian Andres Candia Inostroza

Profesor Guía:
Ricardo Ignacio Vera González



DEDICATORIA:

“A mi abuelita Julia Rosa Mena que me guía en cada paso que doy y a mis padres que me aman incondicionalmente”.



RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad fundamental, evitar que se produzcan horas de menor producción o detenciones no planificadas que afecten directamente el proceso de producción de azúcar, generadas por anomalías en equipos críticos como motores, bombas, ventiladores o extractores, que pueden derivar principalmente de la falta de mantenimiento, del desgaste y fatiga de materiales, de falta de lubricación, de sobrecarga y desbalanceo, de fallas en el sistema de control, entre muchas otras fallas que pueden llevar a un mal funcionamiento de estos equipos.

Para llevar a cabo esta propuesta, se explorará y documentará la implementación de una herramienta analítica que aplica el aprendizaje automático para predecir futuras fallas de activos mediante el uso de inteligencia artificial, denominada FactoryTalk Analytics guardian AI, que es la solución que nos brinda Rockwell Automation diseñada para optimizar la eficiencia operativa en entornos industriales, que se enfoca en el análisis de datos y en la mejora continua de procesos mediante el uso de inteligencia artificial (IA). Con esto se busca implementar una mejora significativa que permita identificar problemas antes de que produzcan fallos, optimizar los costos, mejorar la seguridad y confiabilidad, aumentar la vida útil de los equipos, distribuir mejor los recursos y mejorar la eficiencia operacional.

Es importante indicar, que el proceso de producir azúcar opera aproximadamente 10 de los 12 meses del año, además se cuenta con solo una línea productiva en todas sus etapas. Por lo que cualquier detención involucra pérdidas millonarias para la compañía y que repercute económicamente en los trabajadores, por lo que es de vital importancia proteger la vida útil y vigilar el comportamiento de los activos de la planta.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	6
1. CAPÍTULO I. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	8
1.1 Planteamiento del Problema	8
1.2 Propuesta de Solución	9
1.3 Descripción de la empresa	9
1.3.1 Ubicación Geográfica del Proyecto	9
1.3.2 Iansagro S.A. Producción Estratégica de Azúcar.....	10
1.3.3 Misión de la Empresa.....	10
1.3.4 Visión de la Empresa	10
1.3.5 Valores de la Empresa.....	11
1.4 Justificación.....	11
1.5 Objetivos	12
1.5.1 Objetivo General	12
1.5.2 Objetivos Específicos.....	12
1.6 Alcances y Limitaciones del Estudio	13
2. CAPÍTULO II. MARCO TEORICO	15
2.1 Arquitectura de Automatización Rockwell Automation	15
2.1.1 Plataforma ControlLogix	16
2.1.2 Software de Programación Studio 5000 Logix Designer.....	16
2.1.3 Software de Comunicación RSLink Classic	17
2.1.4 Software FactoryTalk View	17
2.1.5 Software FactoryTalk Historian	18
2.2 FactoryTalk Analytics Guardian AI	18
2.2.1 Beneficios del Monitoreo Predictivo con FT Analytics Guardian AI.....	18
2.2.2 Detección de Posibles Fallos en los Equipos.....	19
2.2.3 Integración con Variadores de Frecuencia PowerFlex.....	20
2.2.4 Principales Fallos Detectados desde el Primer Momento	21
2.2.5 Gestión de FT Analytics Guardian AI.....	23
2.3 Sistemas de Supervisión y Control.....	24
2.3.1 Sistema SCADA.....	24
2.3.2 Sistema DCS	25
2.4 Tecnologías y protocolos de comunicación industrial	25
2.4.1 EtherNet/IP	25
2.4.2 DeviceNet	26
2.4.3 Red RIO (Remote I/O)	26
2.4.4 Protocolo HART	26
2.4.5 Modbus	26
2.4.6 Profibus.....	27
2.4.7 CAN Bus	27
2.4.8 ControlNet.....	27
3. CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA PLANTA	29
3.1 Descripción del proceso productivo del azúcar	29
3.2 Características del Variador de Frecuencia Considerado en la Integración	32
3.2.1 Especificaciones Técnicas	32
3.2.2 Capacidades de Control.....	33



3.2.3	Integración con Sistemas de Comunicación	33
3.2.4	Ventajas para la Aplicación	33
3.3	Revisión de los sistemas de automatización existentes	34
3.3.1	Rack de Virtualización	35
3.3.2	Segmentos de Control de Proceso	35
3.3.3	Conexiones de Red y Comunicación	36
3.3.4	Equipos de Control y Monitoreo en la Red	36
3.3.5	Alarmas y Seguridad	37
4.	CAPÍTULO IV. INTEGRACIÓN DE “FT ANALYTICS GUARDIAN AI”	40
4.1	Primera integración del variador de frecuencia con el controlador	40
4.2	Introducción y Configuración Inicial de FactoryTalk Analytics Guardian AI	49
4.2.1	Requisitos Previos	50
4.2.2	Integración de Factory Talk Analytics Guardian AI	50
4.3	Agregar y Configurar un Nuevo Activo	52
4.4	Entrenamiento de la Línea de Base	56
4.5	Detección de Anomalías y Riesgos de Fallas	58
4.6	Modo de Falla Basada en Primeros Principios	60
4.7	Notificación de Alertas	61
5.	CAPÍTULO V. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA IMPLEMENTACION	63
5.1	Análisis del Impacto en la Eficiencia Operativa	63
5.1.1	Optimización del proceso y monitoreo en tiempo real	63
5.1.2	Reducción de errores humanos	63
5.1.3	Mejora de la toma de decisiones	63
5.2	Indicadores claves de rendimiento (KPI)	63
5.2.1	KPI 1: Reducción de los tiempos de inactividad	64
5.2.2	KPI 2: Mejora de la producción	64
5.2.3	KPI 3: Reducción de costos de mantenimiento	64
5.3	Análisis de costos y beneficios del proyecto	65
5.3.1	Adquisición del Software y Hardware	65
5.3.2	Instalación, Configuración y capacitación	65
5.3.3	Estimación de Costos Operativos – mantenimiento anual	66
5.3.4	Beneficios Económicos Proyectados	67
5.3.5	Reducción de Costos de Mantenimiento	67
5.3.6	Minimización de Tiempos de Inactividad	67
5.3.7	Extensión de la Vida Útil de Equipos	67
5.4	Resultado de análisis económico	68
5.4.1	Valor actual neto (VAN)	68
6.	CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arquitectura modular para automatización de un proceso...	15
Figura 2. Interfaz de Programación de Studio 5000.....	17
Figura 3. Detección de fallos en los equipos.....	20
Figura 4. Integración de primer nivel con VDF PowerFlex.	21
Figura 5. Análisis de los datos desde el origen.....	23
Figura 6. Administración de FT Analytics Guardian AI.....	23
Figura 7. Ejemplo de un sistema SCADA.....	25
Figura 8. Proceso del azúcar de remolacha.....	32
Figura 9. Variador de frecuencia PowerFlex 755TS.....	34
Figura 10. Arquitectura de red de supervisión de la planta.....	38
Figura 11. Arquitectura de red de campo de la planta.	38
Figura 12. Integración de PowerFlex 755TS.	40
Figura 13. Búsqueda y creación del variador PowerFlex 755TS.	41
Figura 14. Selección del producto.	41
Figura 15. Asignar nombre, dirección IP y cargar desde la unidad.	42
Figura 16. Proceso de carga de información de la unidad.....	43
Figura 17. Carga de los datos completada.	43
Figura 18. Conexión a la red de comunicación de la planta.	44
Figura 19. Módulo de la unidad agregado.....	44
Figura 20. Agregar enlace de datos.....	45
Figura 21. Selección de los parámetros de entrada.....	46
Figura 22. Selección de los parámetros de salida.	46
Figura 23. Descarga de la información a la unidad.....	47
Figura 24. Controlador en línea y comunicado con la unidad.....	47
Figura 25. Tags y variables de estado en tiempo real.	48
Figura 26. Parámetros extraídos de Powerflex 753.	49
Figura 27. Página de inicio de sesión del software.....	51
Figura 28. Configuración zona horaria.	51
Figura 29. Agregar un nuevo activo.	52
Figura 30. Pasos para lograr monitorear un activo.....	52
Figura 31. Configuración de etapa 1 "conducir".....	53
Figura 32. Configuración de etapa 2 "activo".....	54
Figura 33. Configuración de la etapa 3 "adiestramiento".....	55
Figura 34. Visualización de la etapa 4 "resumen".....	55
Figura 35. Entrenamiento de un nuevo activo.....	56
Figura 36. Entrenamiento completado de distintas frecuencias.	57
Figura 37. Desviación 1, detectada por la inteligencia artificial.....	59
Figura 38. Resolver y confirmar riesgo de falla.	59
Figura 39. Fallas etiquetadas.	60
Figura 40. Inversión inicial.....	66
Figura 41. Costos de mantención anual.....	66
Figura 42. Beneficios proyectados.	67
Figura 43. Valor actual neto (VAN).....	68



INTRODUCCIÓN

Actualmente nos encontramos en una era de digitalización industrial denominada la cuarta revolución industrial, donde la automatización, la robótica, el análisis de datos y la internet de las cosas se han convertido en pilares fundamentales para mejorar la eficiencia operativa y la toma de decisiones en plantas de manufactura y que se puede ampliar a todos los ámbitos y campos de la vida cotidiana

Rockwell Automation, es un líder global en soluciones de automatización industrial, que ha desarrollado FT Analytics Guardian AI, una herramienta avanzada que combina el poder del análisis de datos con inteligencia artificial para optimizar procesos industriales.

El FT Analytics Guardian AI se destaca por su capacidad de integrarse con los sistemas existentes de Rockwell Automation, proporcionando una solución total que permite transformar grandes volúmenes de datos en información procesable. Esta herramienta no solo mejora la monitorización de las operaciones, sino que impulsa la eficiencia al facilitar el mantenimiento predictivo y la mejora continua de los procesos involucrados.

En este trabajo de título, se evidenciará en profundidad las tecnologías y funcionalidades que hacen del FT Analytics Guardian AI una herramienta indispensable en la automatización moderna. Evaluando el impacto y beneficios que ofrece a la empresa. Asimismo, se abordarán los desafíos y limitaciones de su implementación, explorando posibles áreas de mejoras y desarrollo futuro.



CAPITULO I

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO



1. CAPÍTULO I. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de las problemática identificada en la planta Iansa Chillan, la más importante es evitar detenciones no programadas y disminución de la producción, ya sean de corta o larga duración, que provoquen interrupciones debido a fallas en equipos como motores, bombas y ventiladores pertenecientes a áreas críticas de la planta como calderas, extracción, purificación, hornos de cal, evaporación o refinería y que representan un riesgo considerable para la continuidad de las operaciones y la calidad del producto final, derivando en pérdidas económicas cuantiosas para la compañía y sus colaboradores.

Otra problemática que se genera es determinar el origen y la causa de la falla, esto es fundamental para definir el área de mantención responsable de la baja elaboración y poder distribuir los recursos de manera óptima para realizar las mejoras y evitar que se repita la anomalía; en la actualidad el área de mantención que genera más horas de pérdida de elaboración es el área mecánica, seguida del área eléctrica e instrumentos.

Y, por último, la falta de mano de obra y el corto período entre campañas, es decir, el intervalo de tiempo entre el final y el inicio de un nuevo ciclo de producción de azúcar, implica que muchos de los equipos que operan durante este periodo no se les alcance a realizar una mantención completa y adecuada. Lo cual implica un riesgo de fallos durante su funcionamiento. Por esta razón, aplicar mantenimiento predictivo antes de que ocurra la falla es crucial para extender la vida útil de los activos de nuestra planta. Es importante mencionar, que la campaña de producción de azúcar se refiere a un periodo específico y continuo durante el cual la planta realiza un ciclo completo de producción.

1.2 PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Una solución eficiente para abordar las problemáticas planteadas en el punto anterior, considerando además que nos encontramos en una era moderna y tecnológica, es implementar una herramienta que nos permita identificar anomalías en equipos críticos mediante el análisis y monitoreo de datos utilizando el aprendizaje automático de la inteligencia artificial, para aplicar las correcciones en los equipos antes de que generen alguna condición no deseada en el proceso.

La propuesta de solución viene de la mano con lo que ofrece Rockwell Automation, que es un software denominado "FactoryTalk Analytics Guardian AI" que proporciona una aplicación dedicada para motores, bombas, ventiladores y sopladores que se integra de manera nativa con variadores de frecuencia PowerFlex del modelo 755, 755T o 6000T. También es posible integrar equipos de otras marcas mediante protocolos industriales de comunicación como los es EtherNet/IP.

1.3 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

1.3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO

El proyecto se desarrolla en la planta IANSAGRO S.A. Ubicada en Longitudinal Sur, Sector Perquilauquén - Río Renaico, perteneciente a la comuna de San Carlos, en la región de Ñuble, Chile. Esta planta se encuentra estratégicamente situada al norte de Chillán, a una distancia aproximada de 25 kilómetros, en una zona que facilita el acceso a vías de transporte esenciales para la distribución de productos y abastecimiento de insumos.

La ubicación le otorga a la planta un entorno privilegiado en términos logísticos, dado su emplazamiento cercano a la Ruta 5 Sur, una de las principales arterias viales del país, que conecta la región con importantes centros urbanos y agrícolas. Además, la planta está en una zona con acceso a recursos hídricos claves, como el río Renaico, lo que resulta fundamental para diversas operaciones productivas.

Esta localización geográfica no solo proporciona ventajas competitivas en términos de conectividad y acceso a recursos, sino que también refuerza el compromiso de la empresa con el desarrollo económico local, ya que genera empleo y dinamiza la economía de la región de Ñuble y sus alrededores.

1.3.2 IANSAGRO S.A. PRODUCCIÓN ESTRATÉGICA DE AZÚCAR

Iansagro S.A., filial de Empresas Iansa y dedicada exclusivamente a la producción de azúcar en Chile, otorga a la compañía una posición estratégica en el mercado nacional, asegurando una red logística y de abastecimiento eficiente para sus clientes. Actualmente, cuenta con una planta azucarera y una refinería de azúcar cruda ubicada en San Carlos. Con el fin de diversificar su oferta y garantizar el suministro continuo, Empresas Iansa también importa azúcar refinada desde países como Argentina, Colombia, Guatemala y El Salvador, lo que le permite estar mejor preparada para satisfacer las necesidades de sus clientes en los plazos estimados y con los más altos estándares de calidad.

Además de la producción y comercialización de azúcar en diferentes versiones, la compañía elabora una amplia gama de productos para consumo humano y animal. Estos incluyen jugos concentrados de frutas, pasta y pulpa de tomates y otros vegetales, endulzantes no calóricos, ingredientes alimenticios, y coproductos de la remolacha como coseta y melaza, destinados a los mercados de alimentación animal. Empresas Iansa también fabrica alimentos para mascotas y alimentos especializados para bovinos y equinos, consolidándose como un referente en la producción agrícola y la comercialización de insumos agrícolas en Chile.

La compañía es líder en la producción de azúcar y productos derivados. También se dedica a la rotación de cultivos en sus predios, que incluyen cereales y semilleros, todo bajo un enfoque sostenible que abarca desde la siembra hasta la comercialización final. Este compromiso con la sostenibilidad garantiza que toda su cadena de valor cumpla con los más altos estándares de calidad y trazabilidad, proporcionando productos naturales y soluciones nutricionales de primera calidad a sus clientes y consumidores.

1.3.3 MISIÓN DE LA EMPRESA

Empresas Iansa está comprometida con la agricultura como la principal fuente de los alimentos que produce, utilizando las más modernas tecnologías y garantizando la innovación y la calidad en todos sus procesos. Su objetivo es agregar valor a sus clientes y consumidores, manteniendo relaciones estratégicas con productores, proveedores y clientes, al mismo tiempo que promueve un ambiente laboral positivo para sus colaboradores y contribuye al desarrollo de la comunidad.

1.3.4 VISIÓN DE LA EMPRESA

Empresas Iansa busca "Alimentar al mundo con lo mejor de nuestra tierra", destacándose por su liderazgo en el sector agroalimentario y por su capacidad de ofrecer productos de alta calidad que reflejan lo mejor de los recursos naturales de Chile.

1.3.5 VALORES DE LA EMPRESA

Los pilares fundamentales que guían el accionar de Empresas Iansa son:

- Foco en el cliente
- Integridad
- Meritocracia
- Excelencia
- Respeto
- Espíritu emprendedor

Estos valores reflejan el compromiso de la empresa con la calidad, la innovación y el respeto por todos los actores de su cadena de valor, desde los colaboradores hasta los consumidores finales.

1.4 JUSTIFICACIÓN

A través de esta mejora se busca lograr un correcto funcionamiento de los equipos durante la producción de azúcar, que es fundamental para garantizar la continuidad operativa y alcanzar los objetivos esperados, aspectos que tiene una relación directa con los resultados económicos de la compañía.

Se busca evitar detenciones no programadas debido a fallas en los equipos que afecten a áreas críticas del proceso y que generan no solo pérdidas considerables en términos de horas de producción, sino también costos asociados a reparaciones imprevistas y recursos adicionales para reponer los daños. Estas situaciones comprometen el rendimiento global de la planta y afectan la competitividad de la empresa en el mercado.

Se pretende identificar oportunamente el origen y la causa de las fallas, y su respectiva asignación al área de mantención responsable, para gestionar eficientemente los recursos disponibles, para disminuir el riesgo de fallas recurrentes. Actualmente, el área mecánica es la que reporta mayor cantidad de horas de detenciones no programadas, seguida por el área eléctrica e instrumentos, lo que evidencia la necesidad de mejorar la precisión en la detección de fallas y optimizar los procesos de mantención.

Además, la limitación de tiempo durante el periodo entre campañas de producción impide que se realicen mantenimientos adecuados y completos en todos los equipos, exponiendo a la planta a un mayor riesgo de fallas durante las fases de producción activa. Este escenario pone de manifiesto la importancia de implementar estrategias de mantenimiento predictivo, que permitan anticipar fallas antes de que se materialicen, mejorando la vida útil de los equipos y reduciendo los tiempos de inactividad.



En este contexto, la implementación de una herramienta tecnológica basada en inteligencia artificial, como el software "FactoryTalk Analytics Guardian AI" de Rockwell Automation, se presenta como una solución innovadora y eficiente para monitorear el estado de los equipos críticos en tiempo real. Este software utiliza aprendizaje automático para identificar anomalías en los equipos conectados, lo que facilita la toma de decisiones informadas y oportunas para realizar mantenimientos preventivos o predictivos, evitando fallas inesperadas y optimizando el uso de los recursos.

La integración de esta herramienta contribuirá a una gestión más eficiente del mantenimiento, mejorando la asignación de recursos y maximizando la vida útil de los activos. La solución propuesta representa un avance hacia la modernización de los procesos de mantención, incorporando tecnologías de la Industria 4.0 que incrementarán la eficiencia y sostenibilidad de la planta a largo plazo.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio para implementar por primera vez el sistema de análisis predictivo "FactoryTalk Analytics Guardian AI" de Rockwell Automation en la fábrica de azúcar de Empresas Iansa, demostrando su aplicación en un equipo crítico del proceso. La meta es, optimizar el monitoreo de este equipo y facilitar la toma de decisiones basadas en datos, dejando procedimientos documentados para su futura extensión a otros equipos.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- **Realizar un análisis de los sistemas de automatización existentes.**

Se identificarán los protocolos de comunicación utilizados (EtherNet/IP, DeviceNet, ControlNet.) y la arquitectura de integración de Rockwell existente en la planta.

- **Realizar un levantamiento de los equipos críticos de la planta.**

Se identificarán los equipos que se pueden integrar con la herramienta propuesta, como son: variadores de frecuencia (VDF), motores, bombas y ventiladores que podrían formar parte de la solución.

- **Configurar la herramienta analítica "FactoryTalk Analytics Guardian AI".**

Personalizaremos los algoritmos y modelos de predicción para adaptarlos al comportamiento y parámetros operativos requeridos por el proceso.



- **Evaluar el impacto de la implementación del sistema de análisis predictivo en la eficiencia operativa y en la reducción de tiempos de inactividad no planificados.**

Se analizarán los resultados obtenidos tras la implementación de FT Analytics Guardian AI.

- **Documentar el procedimiento de implementación y las lecciones aprendidas, facilitando la posibilidad de extender el uso del sistema a otros equipos en el futuro.**

Se registrarán las lecciones aprendidas a lo largo del proceso, lo que permitirá identificar mejores prácticas y áreas de mejora. Al contar con esta información detallada, se facilitará la extensión del uso del sistema a otros equipos en el futuro, optimizando el tiempo y los recursos necesarios para su implementación en otras áreas de la fábrica.

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

La finalidad de este estudio será introducir "FT Analytics Guardian AI" en la planta de manera gradual y progresiva comenzando con la implementación en un sistema que cumpla con las condiciones de integración, con el fin de optimizar al máximo el rendimiento que esta herramienta puede ofrecer. A pesar de sus ventajas tecnológicas, su implementación enfrenta ciertos desafíos. Como lo es el costo asociado principalmente a la adquisición y migración de los variadores de frecuencia existentes en la planta al modelo PowerFlex 755, 755T y 6000T para que trabajen de forma nativa con el software. Además, se debe considerar ampliar la licencia de esta herramienta una vez se integre con más de 10 equipos.



CAPITULO II

MARCO TEORICO

2. CAPÍTULO II. MARCO TEORICO

2.1 ARQUITECTURA DE AUTOMATIZACIÓN ROCKWELL AUTOMATION

La Arquitectura Integrada de Rockwell Automation es un enfoque unificado que combina hardware y software para la automatización industrial que proporciona soluciones escalables para las diversas disciplinas de control, como control de procesos, control discreto, control de variadores, control de movimiento, gestión de datos, seguridad y visualización en una única plataforma.

Esta arquitectura es posible a través de una combinación única de tecnologías de habilitación que incluyen la plataforma de ControlLogix, la arquitectura de red abierta NetLinx, la plataforma de servicios de información y visualización "View" denominada FactoryTalk. Estas tecnologías han ido evolucionando hacia la industria 4.0 y la transformación digital.

Existen diversos softwares de aplicación y dispositivos para estructurar la arquitectura integrada de Rockwell Automation. Por lo que, Mencionaremos los más relevantes para este estudio. Este enfoque permitirá implementar soluciones eficientes, optimizando el control, la supervisión y gestión en entornos industriales.

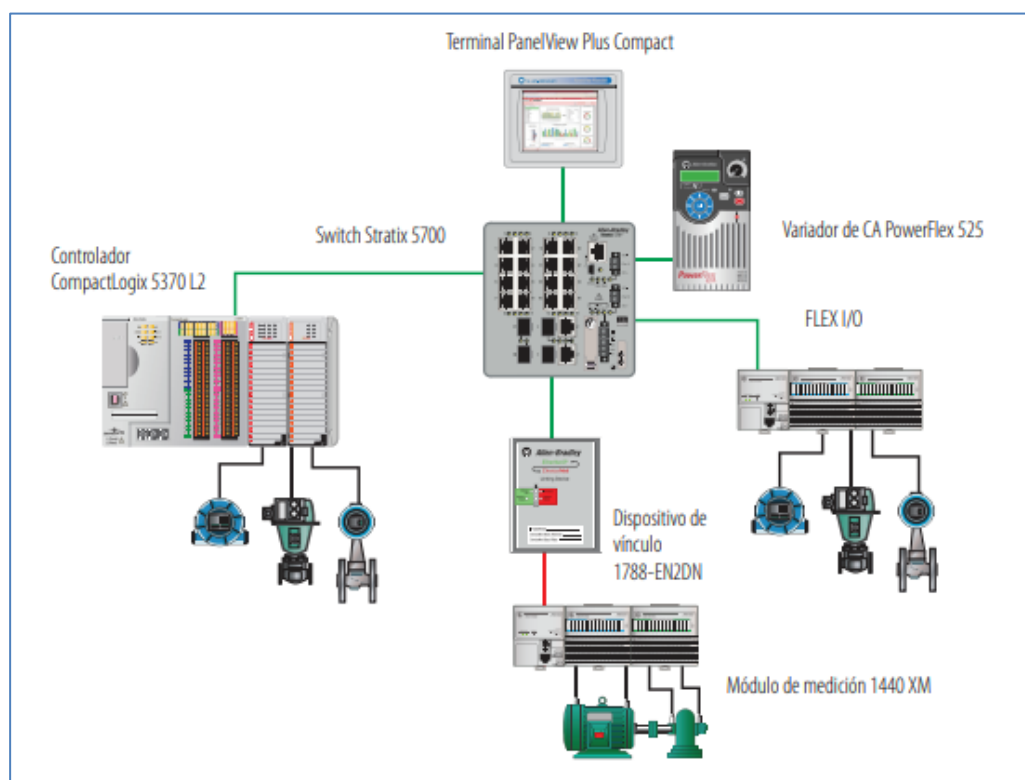


Figura 1. Arquitectura modular para automatización de un proceso.

2.1.1 PLATAFORMA CONTROLLOGIX

Esta plataforma sigue siendo el corazón de la arquitectura de control, compuesta por una serie de controladores (PLC) de gama media- alta, siendo los más relevantes para este estudio, el CompactLogix y el ControlLogix que comparten la misma arquitectura y software de programación (Studio 5000). Actualmente, esta familia de controladores es más rápida, poseen mayor capacidad de memoria y soportan funciones avanzadas como control de movimiento, seguridad y conectividad en tiempo real.

Las principales características que definen a estos controladores son las siguientes:

- **CompactLogix:** Es más compacto y está destinado a aplicaciones medianas y pequeñas. Su tamaño es reducido y tiene una arquitectura más limitada, aunque puede soportar aplicaciones de múltiples disciplinas de control, pero en menor escala.
- **ControlLogix:** Es un controlador de mayor tamaño y capacidad, diseñado para aplicaciones industriales grandes y complejas. Tiene una arquitectura modular que permite agregar muchos módulos de entrada/salida (I/O) y módulos especiales, como comunicación, seguridad, y control de movimiento.

2.1.2 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN STUDIO 5000 LOGIX DESIGNER

El Software "Studio 5000 Logix Designer" es una herramienta muy amigable utilizada para la configuración y programación de los controladores Logix de la serie 5000 como: El ControlLogix, CompactLogix, GuardLogix, SoftLogix y DriveLogix, además de las pantallas Panelview 5000 y la configuración de variadores Powerflex y Kinetix. Es un software bastante intuitivo, que permite el trabajo en equipo para el desarrollo de aplicaciones, así como reducir el tiempo de puesta en marcha de un proyecto.

Hasta la versión 20 el Software se llamaba "RSLogix 5000". A partir de la versión 21 toma el nombre de "Studio 5000". Si se adquiere una licencia al día de hoy, esta va a trabajar con todas las versiones de RSLogix5000/Studio5000, desde la primera hasta la última liberada al momento de la compra.

El software de programación "RSLogix 5000", sigue siendo utilizado en la industria, ya que las versiones antiguas de controladores de la serie 5000, aún mantienen su programación original en esta interfaz, por lo tanto, es común encontrar esta herramienta de programación operando.

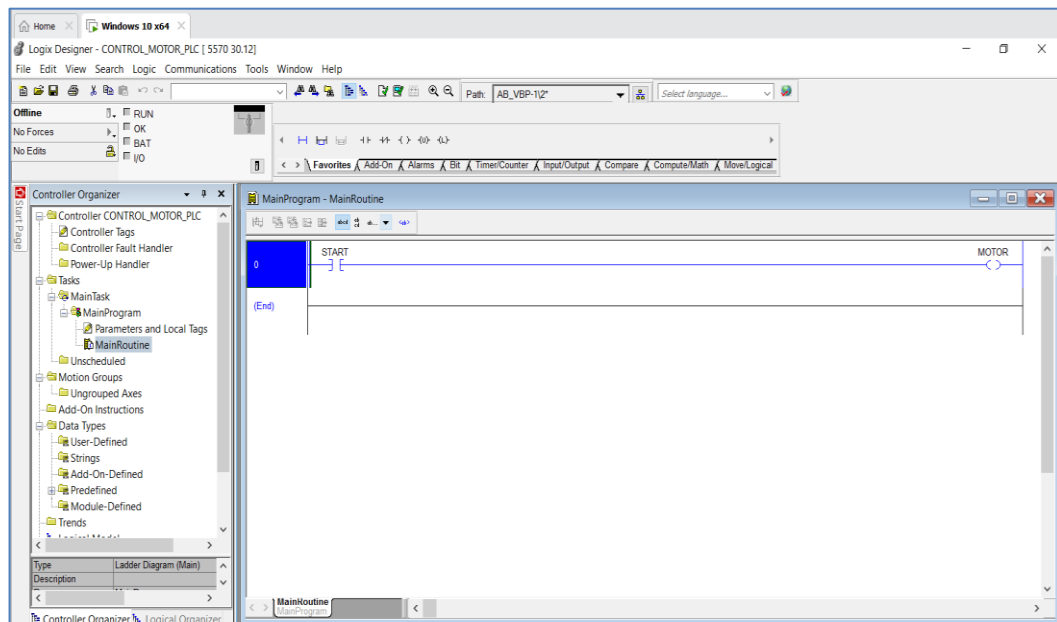


Figura 2. Interfaz de Programación de Studio 5000.

2.1.3 SOFTWARE DE COMUNICACIÓN RSLINK CLASSIC

Es un software utilizado para la comunicación y conexión de dispositivos en entornos de automatización industrial, facilitando el intercambio de datos entre los controladores y otros dispositivos. En la actualidad este software evolucionó a "FactoryTalk Link" que permite la conexión a diferentes protocolos y dispositivos, facilitando la interoperabilidad en sistemas complejos, integrando y mejorando las funcionalidades de RSLink Classic, ofreciendo capacidades más avanzadas para la comunicación entre dispositivos en tiempo real, así como una mejor gestión de los datos en entornos de automatización.

2.1.4 SOFTWARE FACTORYTALK VIEW

FactoryTalk View es una potente solución diseñada para la supervisión, control y visualización de procesos industriales. Esta herramienta es esencial para la creación de interfases de usuario (HMI) que permiten a los operadores y técnicos monitorear y gestionar sistemas de automatización en tiempo real. Además, se integra con FactoryTalk Historian, lo que permite el almacenamiento y análisis de datos históricos. Esto es fundamental para la generación de informes, el análisis de tendencias y la mejora continua de los procesos.

Incorpora un sistema de gestión de alarmas que permite a los usuarios recibir notificaciones sobre condiciones anormales en el sistema. Esto ayuda a prevenir fallas y optimizar la respuesta operativa.

2.1.5 SOFTWARE FACTORYTALK HISTORIAN

FactoryTalk Historian es una plataforma diseñada para capturar, almacenar gestionar y analizar datos históricos de procesos industriales en tiempo real. Su función principal es proporcionar una base sólida para la toma de decisiones basadas en datos, mejorando el rendimiento de los procesos y reduciendo el tiempo de inactividad mediante la identificación de tendencias y patrones en el funcionamiento de los equipos.

2.2 FACTORYTALK ANALYTICS GUARDIAN AI

“FT Analytics Guardian AI” es una herramienta muy potente y avanzada de análisis y monitoreo predictivo desarrollada por Rockwell Automation y lanzada al mercado oficialmente en marzo del 2024. Está diseñada para ayudar en la industria a aprovechar datos operativos para mejorar la eficiencia, predecir fallos en los equipos y optimizar el rendimiento de los procesos, utilizando la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (ML) para tomar decisiones basadas en datos.

2.2.1 BENEFICIOS DEL MONITOREO PREDICTIVO CON FT ANALYTICS GUARDIAN AI

✓ **Monitoreo continuo y en tiempo real del estado de los activos:**

FactoryTalk Analytics Guardian AI permite observar el estado actual de los activos, detectando cualquier desviación en el rendimiento de los equipos. Esto asegura que se puedan tomar decisiones basadas en datos para evitar fallos inminentes.

✓ **Predicción de futuras fallas de activos mediante el análisis predictivo y el aprendizaje automático:**

Mediante el uso de algoritmos avanzados de inteligencia artificial y aprendizaje automático, la herramienta puede predecir cuándo es probable que un activo crítico falle. Esto permite a los equipos de mantenimiento planificar el tiempo de inactividad de manera estratégica para realizar reparaciones, reduciendo el impacto en la producción.

✓ **Reducción del tiempo de inactividad y aumento de la eficiencia:**

Capacidad de detectar y prevenir fallas permite un ahorro de tiempo significativo, reduciendo el tiempo de inactividad de las máquinas entre un 30% y 50%. Esto mejora la continuidad de la producción, permite distribuir mejor los recursos y maximiza la utilización de los equipos.

✓ **Optimización de la planificación y ejecución del mantenimiento:**

Permite que las tareas de mantenimiento se realicen solo cuando son necesarias, en lugar de seguir cronogramas fijos, lo que optimiza el uso de recursos y mejora la planificación del mantenimiento permitiendo contar con las piezas y recursos necesarios en el momento adecuado, lo que minimiza los retrasos y mejora la eficiencia.

✓ **Ahorro de costes y aumento de la vida útil de los equipos:**

Al disminuir el número de intervenciones innecesarias y el tiempo de detención de los equipos, la empresa logra un ahorro significativo en costos. Se estima que se puede extender la vida útil de las máquinas entre un 20% y 40%.

✓ **Aprovechamiento de dispositivos existentes:**

Esta herramienta puede utilizar dispositivos y sensores ya existentes en la planta, por lo que no es necesario realizar grandes inversiones en nuevos equipos o instalar sensores adicionales. Esto permite reducir los costos de implementación y simplificar la integración del sistema.

2.2.2 DETECCIÓN DE POSIBLES FALLOS EN LOS EQUIPOS

El análisis de señales eléctricas es una técnica crucial para la identificación temprana de fallos en equipos industriales. Utilizando datos de corriente trifásica, FactoryTalk Analytics Guardian AI puede monitorear y evaluar el rendimiento de los activos en tiempo real.

Las principales características de esta detección son:

✓ **Adquisición de Datos:**

El sistema adquiere 4096 puntos por búfer, lo que permite un análisis detallado y preciso de las señales eléctricas de los equipos, como variadores de frecuencia, bombas, motores, ventiladores, sopladores, entre otros.

✓ **Análisis en el Dominio del tiempo y la frecuencia:**

Realiza análisis tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia, mejorando algorítmicamente la fidelidad de los datos para una detección más precisa de anomalías.

Al analizar el dominio del tiempo se obtendrá el comportamiento de una señal eléctrica a lo largo del tiempo. Y al analizar el dominio de la frecuencia se obtendrá una representación de las diferentes frecuencias que componen esa señal. Esto se logra típicamente mediante la Transformada de Fourier.

✓ **Identificación de fallos:**

La herramienta es capaz de detectar fallas comunes como desalineación, fallas en cojinetes, fallas en el estator, barras rotas, entre otras. Esto se logra a través del análisis de las señales eléctricas almacenadas en el búfer.

✓ **Generación de alertas proactivas:**

Cuando se identifica una anomalía, el sistema puede generar alertas, incluyendo notificaciones por correo electrónico, permitiendo actuar rápidamente antes de que se produzca un fallo mayor.



Figura 3. Detección de fallos en los equipos.

2.2.3 INTEGRACIÓN CON VARIADORES DE FRECUENCIA POWERFLEX

Con una amplia gama de opciones de energía y características innovadoras, los variadores de frecuencia PowerFlex aportan rendimiento y capacidad a una amplia variedad de industrias y aplicaciones.

✓ **VDF PowerFlex 755:**

Variador de bajo voltaje adecuado para una amplia variedad de aplicaciones de control de motores, incluidas bombas, ventiladores y transportadores.

✓ **VDF PowerFlex 755TL, 755TR y 755TM:**

Proporcionar mitigación de armónicos, regeneración y soluciones de bus común.

✓ **VDF PowerFlex 755TS:**

Adecuado para aplicaciones comunes de variadores de frecuencia tradicionales y aplicaciones especializadas que requieren un control de motor de alto rendimiento.

✓ **VDF PowerFlex 6000T:**

Variador de media tensión adecuado para una variedad de aplicaciones, incluidos ventiladores, bombas y compresores



Figura 4. Integración de primer nivel con VDF PowerFlex.

2.2.4 PRINCIPALES FALLOS DETECTADOS DESDE EL PRIMER MOMENTO

Este software está diseñado para realizar un análisis profundo y proactivo de los activos de la planta, lo que permite la detección temprana de fallos que pueden afectar su rendimiento. A continuación, se describen algunos de los principales fallos que se pueden identificar desde el primer momento:

✓ **Bombas Centrífugas:**

- Desequilibrio del impulsor: Problema mecánico que puede afectar el rendimiento y la durabilidad de las bombas centrífugas.
- Daño de las paletas: El desgaste de las paletas reduce la eficiencia de la bomba y puede llevar a pérdidas de presión.
- Desalineación: La desalineación de la bomba y el motor puede provocar vibraciones anormales y un desgaste acelerado de los componentes.
- Problemas de vibración: Vibraciones excesivas pueden indicar problemas mecánicos, como desequilibrio o desalineación.
- Fugas: Las fugas pueden ser causadas por el deterioro de los sellos o juntas, afectando la operación y provocando pérdidas.
- Cavitación: Ocurre cuando se forman burbujas de vapor en el líquido debido a una caída de presión.
- Cambios en la viscosidad del fluido: Afectan directamente su rendimiento y eficiencia.
- Cambios en la dinámica del fluido: Se refiere al comportamiento del líquido a medida que fluye a través del sistema. Lo que puede producir un impacto significativo en el rendimiento y la eficiencia de la bomba.



✓ **Ventiladores y Sopladores:**

- Desalineación: Esto puede generar vibraciones excesivas y desgaste prematuro de los rodamientos.
- Desbalanceo: Un ventilador o soplador desbalanceado puede causar vibraciones y ruidos inusuales.
- Desgaste de las aspas: Fenómeno crítico que puede afectar el rendimiento y la eficiencia del equipo.
- Aspas sueltas: Puede llevar a problemas de rendimiento y operación del equipo.
- Falla del cojinete del ventilador: El desgaste o fallo en los rodamientos puede llevar a un aumento en la fricción y, eventualmente, al fallo del equipo.
- Fugas de aire en el sistema: Las fugas en el sistema pueden reducir la eficiencia del ventilador o soplador, aumentando los costos operativos.
- Vibración anormal: Cualquier vibración que exceda los niveles normales puede indicar un problema subyacente.

✓ **Motores Eléctricos:**

- Desequilibrio: Puede generar vibraciones anormales y afectar su rendimiento.
- Desalineación del eje: Puede causar un desgaste excesivo en los cojinetes y componentes de acoplamiento.
- Fallas en el estator o rotor: Puede indicar cortocircuitos, daños en el devanado o roces.
- Problemas de Cojinetes: Pueden resultar en un aumento de temperatura y desgaste.
- Sobrecarga: Puede experimentar fallos en su operación normal.
- Aumento de la Temperatura: Puede generar diversas fallas de consideración como, degradar el material aislante del devanado del motor, disminuir su rendimiento y aumentar su consumo energético lo que podría llevar a una falla catastrófica.

2.2.5 GESTIÓN DE FT ANALYTICS GUARDIAN AI

Su implementación permite analizar los datos en el borde, es decir desde donde se originan, desde una unidad de monitoreo (VDF) conectada directamente a los activos, esta envía los datos recopilados a la capa de control o los envía directamente mediante la firma eléctrica a esta herramienta para el análisis de los datos.

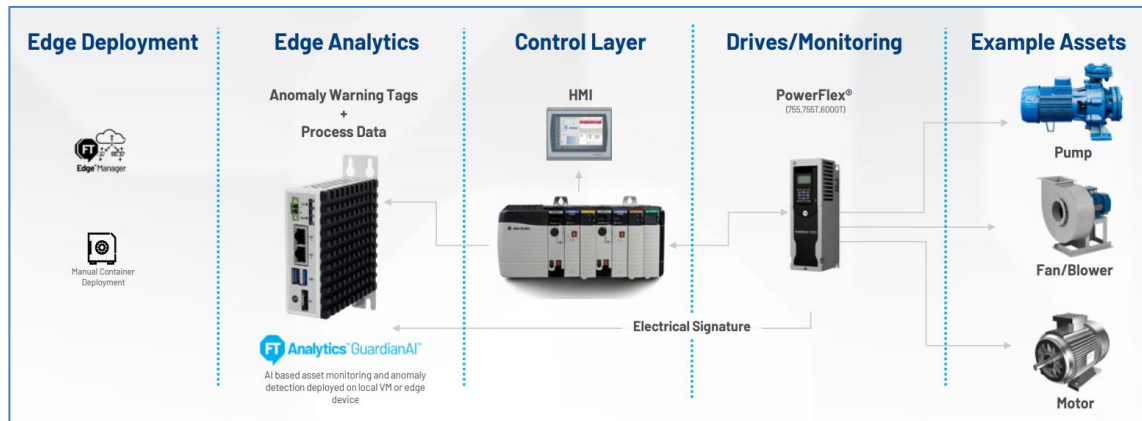


Figura 5. Análisis de los datos desde el origen.

Esta herramienta se conecta a las unidades PowerFlex que están controlando la velocidad y el par del motor para recopilar datos operativos y de rendimiento, a través de una red directa y cableada para transmitir datos en tiempo real y sin intermediarios o por una red en puente, que quiere decir una conexión que implica el uso de un controlador Logix como intermediario. Permitiendo el acceso a la interfaz de usuario a través de un navegador desde cualquier cliente web en la misma red. También, proporciona alertas de anomalías por correo electrónico mediante el acceso al servidor SMTP.

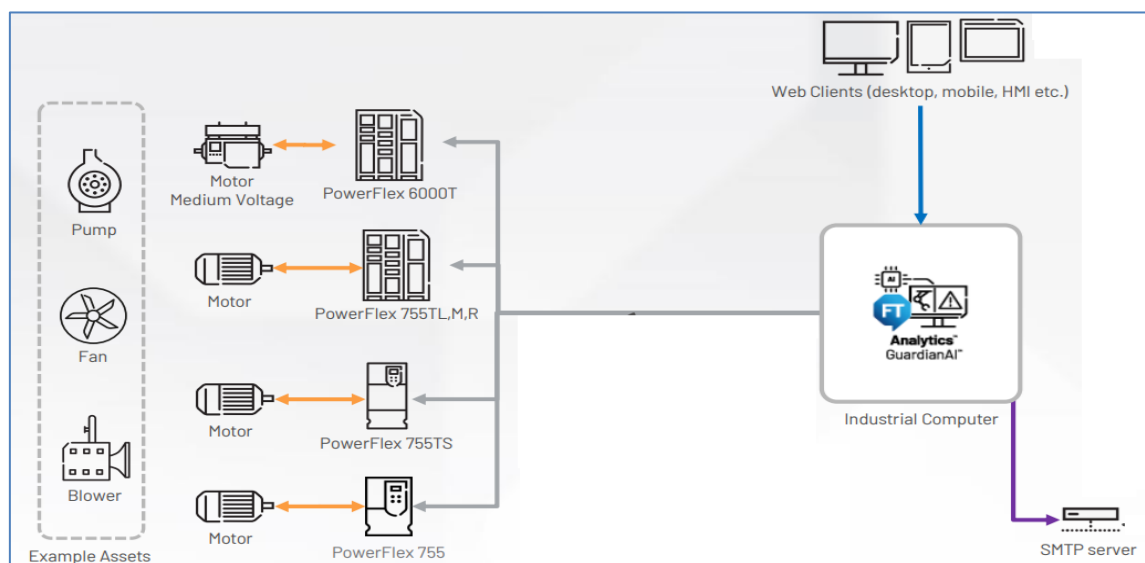


Figura 6. Administración de FT Analytics Guardian AI.

2.3 SISTEMAS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL

2.3.1 SISTEMA SCADA

Los sistemas SCADA se conocen en español como "Control Supervisor y Adquisición de Datos". El SCADA permite la gestión y control de cualquier sistema local o remoto gracias a una interfaz gráfica que comunica al usuario con el sistema. Es un conjunto de aplicaciones de software especialmente diseñadas para funcionar sobre ordenadores de control de producción, con acceso a la planta mediante la comunicación digital con instrumentos y actuadores, e interfaz gráfica de alto nivel para el operador. Aunque inicialmente solo era un programa que permitía la supervisión y adquisición de datos en procesos de control, en los últimos tiempos ha surgido una serie de productos de hardware y buses especialmente diseñados o adaptados para este tipo de sistemas. La interconexión de los sistemas SCADA también es propia, y se realiza mediante una interfaz del PC a la planta centralizada, cerrando el lazo sobre el ordenador principal de supervisión. El sistema permite comunicarse con los dispositivos de campo para controlar el proceso en forma automática desde la pantalla del ordenador, que es configurada por el usuario y puede ser modificada con facilidad. Además, provee a diversos usuarios de toda la información que se genera en el proceso productivo.

Sus principales funciones son:

- Adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos recopilados de múltiples fuentes, como sensores y controladores.
- Supervisión continua de procesos y equipos para monitorear la evolución de las variables de control.
- Control de procesos, permitiendo a los operadores realizar ajustes desde la interfaz SCADA.
- Generar alarmas y notificaciones, para que el operador tome medidas inmediatas para mitigar el problema.
- Ofrece interfaces gráficas para representar visualmente los procesos y sistemas, facilitando la interpretación de datos y el seguimiento del rendimiento.
- Guarda datos históricos para análisis posteriores, informes y auditorías. Esto es útil para el seguimiento de tendencias y la mejora continua de procesos.
- Proporciona herramientas para analizar datos históricos y generar informes, lo que ayuda en la toma de decisiones y la planificación operativa.
- Facilita la comunicación y la integración con otros sistemas y dispositivos, lo que permite una gestión más coordinada de las operaciones industriales.
- Implementa medidas de seguridad para controlar el acceso a datos y funciones, asegurando que solo personal autorizado pueda operar el sistema.

- Soporta diversos protocolos de comunicación, lo que permite la conexión con una amplia variedad de dispositivos y sistemas.

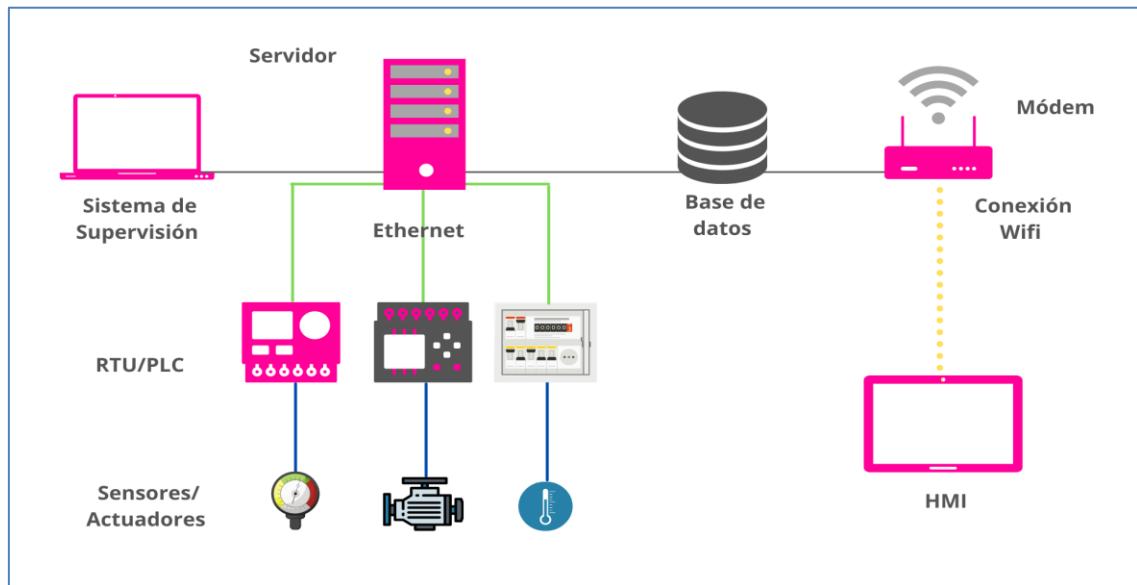


Figura 7. Ejemplo de un sistema SCADA.

2.3.2 SISTEMA DCS

Un DCS (Sistema de Control Distribuido) es un sistema de automatización utilizado principalmente en procesos industriales que requieren un control preciso y continuo. En un DCS, los controladores y el procesamiento de datos están distribuidos de manera local en diferentes áreas de la planta, con funciones controladas y monitoreadas desde estaciones centrales conectados a través de una red de comunicación de alta velocidad.

2.4 TECNOLOGÍAS Y PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL

La comunicación industrial es crucial para el funcionamiento eficiente de sistemas automatizados y permite la interacción entre distintos dispositivos y controladores. A continuación, se presentan varios protocolos de comunicación industrial relevantes.

2.4.1 ETHERNET/IP

Ethernet es una tecnología para el intercambio de información en redes de datos por cable que utiliza el estándar IEEE 802.3 y en la capa superior usa CIP (Protocolo Industrial Común), un protocolo gestionado por ODVA (Asociación abierta de proveedores de DeviceNet). Este protocolo es utilizado en aplicaciones que requieren alta velocidad y gran volumen de datos ya que facilita la integración e interoperabilidad de dispositivos de diferentes fabricantes.



2.4.2 DEVICENET

DeviceNet es un protocolo de comunicación que permite la conexión de dispositivos de automatización como sensores y actuadores a través de una red. Basado en CAN bus, ofrece comunicación robusta y eficiente.

Utiliza una arquitectura maestro/esclavo, permitiendo la conexión de múltiples dispositivos, ideal para aplicaciones donde se requiere monitoreo y control en tiempo real, facilitando la implementación de sistemas de automatización distribuidos.

2.4.3 RED RIO (REMOTE I/O)

RIO es una arquitectura de red utilizada para conectar dispositivos de entrada y salida remotos a un controlador central. Puesto que permite la expansión de las capacidades de I/O de un sistema de control y utiliza una comunicación basada en un bus, lo que reduce el cableado y simplifica la instalación.

Es común en aplicaciones de automatización industrial que requieren flexibilidad en la ubicación de los dispositivos de I/O.

2.4.4 PROTOCOLO HART

HART es un protocolo de comunicación que permite la transmisión de datos de campo entre dispositivos inteligentes y sistemas de control. Soporta comunicación digital sobre una señal analógica de 4-20 mA y permite la transmisión de datos de diagnóstico y configuración, además de los datos de proceso.

Es ampliamente utilizado en la industria de procesos, mejorando la capacidad de monitoreo y mantenimiento de equipos.

2.4.5 MODBUS

Modbus es un protocolo de comunicación abierto y ampliamente utilizado en la automatización industrial. Opera en modelos maestro/esclavo, es compatible con varias redes de comunicación, como Modbus RTU (sobre RS-232 o RS-485) y Modbus TCP/IP y su formato es sencillo y fácil de implementar, lo que permite su uso en sistemas donde la simplicidad es clave.

Es uno de los protocolos más populares en automatización industrial por su compatibilidad universal y fácil implementación, utilizado en sistemas de monitoreo y control, tanto en plantas pequeñas como grandes instalaciones.



2.4.6 PROFIBUS

Es un protocolo de red estandarizado que soporta altas velocidades de comunicación (hasta 12 Mbps). Tiene dos versiones principales: PROFIBUS-DP (para la automatización de fábricas) y PROFIBUS-PA (para automatización de procesos). Utiliza el concepto maestro/esclavo en PROFIBUS-DP y tiene una arquitectura descentralizada, lo que permite la operación de múltiples dispositivos.

Es conocido por su robustez y capacidad para transmitir grandes volúmenes de datos de manera eficiente, siendo esencial en entornos donde la fiabilidad es crucial.

2.4.7 CAN Bus

CAN bus es un protocolo de comunicación en serie diseñado inicialmente para sistemas de control de vehículos, pero que ha sido adoptado ampliamente en automatización industrial por su robustez y fiabilidad. Opera en tiempo real y permite la transmisión eficiente de datos con baja latencia. Utiliza un esquema de comunicación multimaestro y soporta priorización de mensajes y es muy resistente a interferencias electromagnéticas, lo que lo hace adecuado para entornos industriales ruidosos. Es crucial en aplicaciones donde la fiabilidad y la robustez son prioritarias, como en sistemas de control en vehículos, robots y máquinas en líneas de producción.

2.4.8 CONTROLNET

ControlNet es un protocolo industrial de red desarrollado por Rockwell Automation, que está diseñado para proporcionar de alta velocidad entre dispositivos de control y supervisión. Este Protocolo ofrece una comunicación determinista y programada, lo que es esencial para aplicaciones que requieren una sincronización precisa y control en tiempo real, como el control de movimiento o sistemas de alta velocidad, la robótica y procesos de manufactura. Además, puede configurarse en redes de tipo bus o anillo y permite la distribución de entradas y salidas (I/O) en ubicaciones remotas con sincronización precisa, lo que es clave en sistemas de control distribuidos.



CAPITULO III

ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA DE LA PLANTA

3. CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA PLANTA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DEL AZÚCAR

La producción de azúcar utiliza como materia prima la remolacha y sigue un proceso industrial que involucra varias etapas, desde la cosecha de la remolacha hasta la distribución del producto. A continuación, se describe brevemente cada etapa del proceso.

✓ Materia Prima:

La remolacha es una planta y es la fuente para la obtención de azúcar, puede llegar a pesar de 1000 a 1500 gr. Y contiene un promedio de 15% a 17% de azúcar, un valor inferior a esto indica disminución en su calidad.

Para Definir el punto óptimo de cosecha se toman muestras periódicas y se determina el contenido de azúcar y la pureza del jugo, siendo los valores medios de 88% a 90%.

✓ Recepción y Almacenamiento:

La remolacha es transportada en camión a la fábrica, la cual es pesada y analizada en un laboratorio para determinar la cantidad de azúcar que posee.

Se almacena en silos de acopio para su posterior elaboración, el periodo entre el acopio y el inicio de la elaboración no debe ser superior a 24 horas ya que la remolacha entra en un proceso de descomposición.

La remolacha es transportada a la fábrica mediante el uso de agua a presión y conducida a través de canales centrales.

✓ Preparación:

La preparación involucra varias etapas, donde la remolacha primero pasa por equipos que separan las piedras y el pasto para evitar problemas con las máquinas que cortan la remolacha. Luego, por medio de una bomba se eleva a la lavadora para limpieza con agua eliminando la tierra y la piedrecilla adherida. Finalmente, es enviada sobre las máquinas cortadoras, que son tolvas que reciben la remolacha y la cortan en tiritas como tallarines, llamadas "coseta fresca" esto se realiza para aumentar su superficie y poder extraer la mayor cantidad de azúcar en la etapa de difusión. En esta etapa lo más importante es extraer al máximo la azúcar y el mínimo de impurezas.

✓ Extracción:

La coseta fresca es extraída por la zona inferior de las tolvas y cae en cintas transportadoras donde es pesada por una romana y luego es enviada a los maceradores que son equipos de gran capacidad donde se mezcla la coseta con jugo salido de las torres de difusión que elevan la temperatura de la coseta a más o menos 80°C. Con esto se produce la desnaturalización de las células de la remolacha, quedando en condiciones de entregar azúcar por medio de la difusión.



La coseta es impulsada posteriormente por una bomba a la parte inferior de las torres de difusión, a la torre le entra agua caliente por la zona superior, entonces en contra corriente se va extrayendo el azúcar. El agua baja enriqueciéndose en azúcar y la coseta sube entregando azúcar que tiene en sus células. De la parte superior de la torre sale coseta agotada con muy poca azúcar que no resulta económico seguir extrayendo y de la parte inferior sale jugo de circulación que va al macerador, del macerador se obtiene el jugo crudo frío necesario para continuar con el proceso de fabricación de azúcar. A la coseta agotada se le adiciona yeso, sulfato de calcio, con el objeto de aumentar su resistencia mecánica, para luego ser prensada. La coseta prensada es enviada al secador de coseta para luego ser comercializada como subproducto y el agua prensada es devuelta a la torre de difusión ya que contiene azúcar.

✓ **Purificación:**

El jugo crudo además de azúcar tiene una serie de impurezas que es necesario eliminar para conseguir mayor rendimiento al cristalizarla. Esta eliminación se efectúa por medio de la purificación calco-carbónica haciendo uso de cal y de gas CO₂, producidos en el horno de cal. Del horno de cal se extrae lechada de cal, que se obtiene de cocer la piedra caliza al interior del horno. La lechada se adiciona al jugo crudo en 2 etapas de carbonatación para aumentar el pH del jugo a un valor óptimo y así evitar incrustaciones por sales de calcio en la etapa posterior de evaporación, durante la etapa de carbonatación el jugo crudo es decantado y filtrado para eliminar residuos y se convierte en jugo claro.

✓ **Evaporación:**

El jugo claro tiene una concentración de 12% de azúcar y se somete a un proceso de evaporación en serie al pasar por una estación de 5 efectos que hierven el jugo para concentrar el contenido de azúcar. Estos evaporadores provocan la evaporación del agua produciéndose un jarabe espeso con alta concentración de sacarosa. El jugo que sale de la estación evaporadora tiene alrededor de 54% a 56% de azúcar y alrededor de 60°Bx a 62°Bx y se denomina jugo denso. La estación evaporadora es el motor térmico de la fábrica, la forma de aprovechar los vahos y los condensados es lo que define el consumo de vapor y por lo tanto el consumo de combustible.



✓ **Cristalización:**

Esta etapa es muy importante porque en ella la azúcar disuelta se cristaliza. Esto se realiza en 3 etapas sucesivas, con centrifugaciones intermedias. El jugo denso se mezcla con azúcar amarilla y se forma el licor standard que tiene 62°Bx a 66°Bx, luego se filtra para eliminar el material en suspensión y finalmente se introduce en los tachos de cocimiento A. En ellos, se continua la evaporación aplicando vacío y agitación para evitar que se caramelize el azúcar, cuando se alcanza un cierto grado de concentración se le introduce slurry que son cristales muy finos de azúcar, con lo que se empieza a formar el cristal deseado. En este momento se detiene el cocimiento, se corta el vapor, se corta el vacío y se descarga la masa cocida en los cristalizadores.

✓ **Centrifugado:**

En esta etapa la masa cocida se centrifuga para separar los cristales del jarabe. De esta forma la azúcar queda retenida en las mallas del canasto giratorio de la centrifuga, el jarabe que se desprende es llamado sirope. Las centrifugas hacen todo el ciclo de carga, centrifugación, lavado y descarga automáticamente, solo se debe iniciar el ciclo. El lavado se realiza con agua y luego con vapor. El azúcar se seca y luego se envasa.

✓ **Secado, envasado y almacenamiento de azúcar:**

La azúcar que sale de las centrifugas tiene alrededor de 2% de humedad, en esta condición no se puede guardar ya que se endurece. Por esto se seca en un tambor rotatorio donde entra el azúcar húmeda y se pone en contacto con una corriente de aire caliente a 95 °C, la azúcar seca se envía a una tolva sobre la sala de envasado o se envía al silo domo para almacenarla. El azúcar se envasa en diversos formatos, que incluyen bolsas de 1 kg, 5 kg, sacos de 25 kg y maxi sacos de 1200 kg, entre otros. Estos empaques permiten su distribución y comercialización a gran escala.

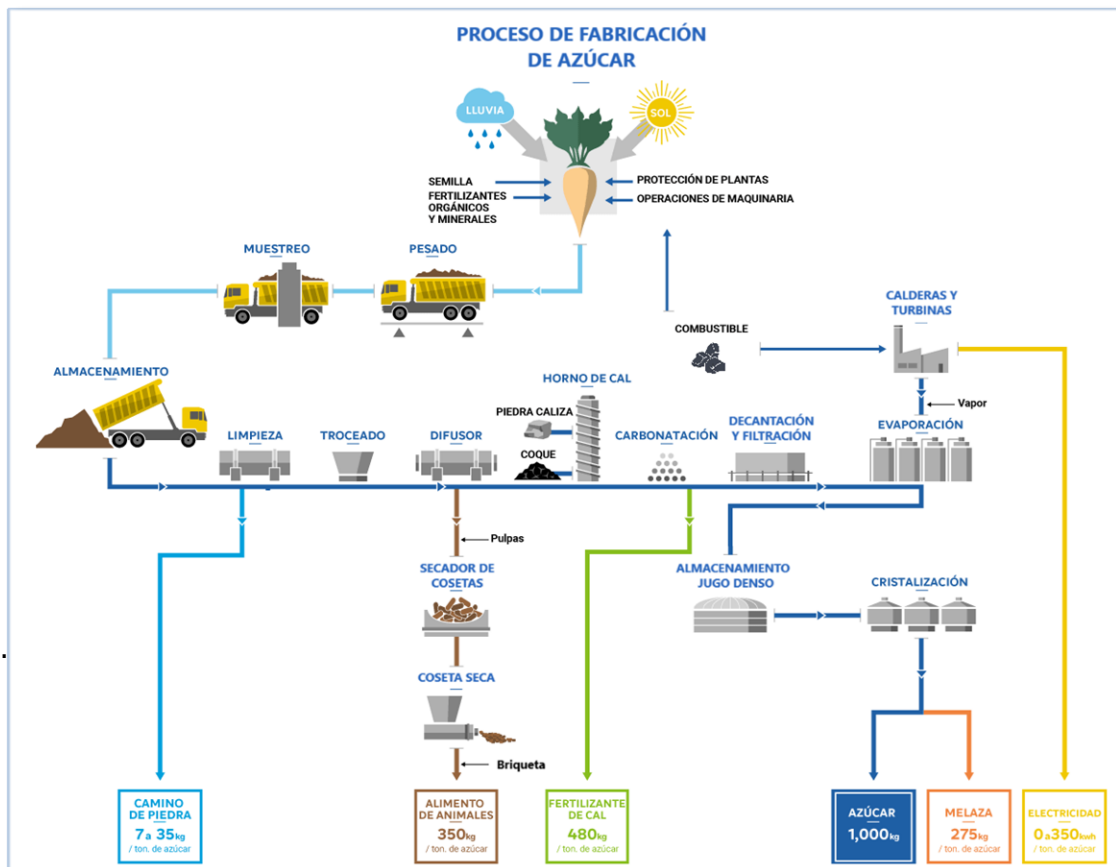


Figura 8. Proceso del azúcar de remolacha.

3.2 CARACTERÍSTICAS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA CONSIDERADO EN LA INTEGRACIÓN

Para la implementación se hará uso del variador de frecuencia PowerFlex 755TS de Allen-Bradley, este variador posee características avanzadas, que permiten una integración eficiente y flexible en sistemas de automatización industrial. A continuación, describiré las principales características técnicas y funcionales de este variador, así como sus ventajas para esta aplicación específica.

3.2.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

El PowerFlex 755TS ofrece un conjunto de especificaciones técnicas destacadas:

- **Rango de Potencia:** El variador es capaz de operar en un rango de potencia que va desde 7.5 hasta 450 kW, lo cual lo hace adecuado para aplicaciones de alta demanda energética.
- **Voltaje de Entrada:** Compatible con rangos de voltaje de 380V a 690V, ideal para plantas industriales con requisitos de media y alta tensión.
- **Frecuencia de Operación:** Admite frecuencias de entrada de 50 y 60 Hz, permitiendo su integración en redes eléctricas de diferentes regiones.

- **Eficiencia Energética:** Su diseño optimizado permite reducir el consumo energético, ofreciendo un alto nivel de eficiencia y contribuyendo a la reducción de costos operativos.

3.2.2 CAPACIDADES DE CONTROL

El PowerFlex 755TS incluye avanzadas opciones de control que facilitan una regulación precisa de motores de corriente alterna (CA):

- **Control Vectorial sin Sensor:** Permite un control preciso del par y la velocidad sin necesidad de sensores adicionales, facilitando la instalación y reducción de costos.
- **Modo de Control Adaptativo:** Se ajusta automáticamente a las condiciones de carga para mejorar el rendimiento y la eficiencia.
- **Capacidades de Par Regenerativo:** Ideal para aplicaciones que requieren un retorno de energía a la red, optimizando la gestión energética.

3.2.3 INTEGRACIÓN CON SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

El variador PowerFlex 755TS ofrece opciones avanzadas de conectividad, que permiten su integración en redes de control industrial:

- **Protocolos de Comunicación:** Soporta Ethernet/IP, DeviceNet y ControlNet, facilitando su integración en arquitecturas de automatización de Rockwell Automation y otras plataformas.
- **Control Remoto y Diagnóstico:** Permite el monitoreo remoto de parámetros de operación y diagnóstico, mejorando la capacidad de supervisión y mantenimiento predictivo.
- **Módulos de Expansión y Personalización:** Ofrece la posibilidad de agregar módulos adicionales para ampliar su funcionalidad según los requerimientos específicos de la aplicación.

3.2.4 VENTAJAS PARA LA APLICACIÓN

El PowerFlex 755TS se destaca en aplicaciones que requieren un alto nivel de control y confiabilidad. Sus ventajas incluyen:

- **Optimización del Consumo Energético:** Contribuye a la eficiencia energética del sistema, reduciendo los costos operativos a largo plazo.
- **Reducción de Mantenimiento:** Gracias a su diseño robusto y capacidades de monitoreo, disminuye los tiempos de inactividad y reduce la necesidad de intervenciones de mantenimiento.
- **Flexibilidad en la Configuración:** Su capacidad para adaptarse a distintos tipos de carga y entornos industriales permite un amplio rango de aplicaciones. Estas características hacen del PowerFlex 755TS una opción ideal para la integración en sistemas que requieren precisión, eficiencia y capacidad de adaptación en entornos de alta demanda industrial.

- **Firma eléctrica:** Describe el comportamiento eléctrico del variador de frecuencia en tiempo real. Esta firma incluye información sobre voltaje, corriente, potencia, y otros parámetros eléctricos, que pueden ayudar a identificar el estado y el rendimiento del equipo. "FT Analytics Guardian AI" utiliza estos datos para realizar análisis, detectar anomalías y predecir fallas, lo que permite una gestión proactiva del mantenimiento y mejora la eficiencia operativa.



Figura 9. Variador de frecuencia PowerFlex 755TS.

3.3 REVISIÓN DE LOS SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN EXISTENTES

La arquitectura de automatización industrial empleada está basada en la tecnología de Rockwell Automation. Que consiste en un sistema de control de procesos orientado a la gestión y supervisión de la planta azucarera. La arquitectura incluye varios componentes principales que trabajan juntos para controlar diferentes áreas de la planta.

La comunicación entre los componentes se realiza mediante una red de campo, que conecta los distintos módulos de control y monitoreo de la planta. Cada componente importante en este sistema de control tiene una dirección IP asignada, lo que permite su comunicación y monitoreo centralizado.

3.3.1 RACK DE VIRTUALIZACIÓN

Compuesto por 2 servidores que permiten centralizar toda la información de los distintos procesos de la planta, monitoreando en tiempo real todos los parámetros importantes de la operación, tales como temperatura, presión, nivel de líquidos, velocidad de los motores, y cualquier otra variable crítica del proceso productivo.

A través del software HMI/SCADA los operadores visualizan y controlan cada etapa del proceso en una única interfaz. Esto es especialmente útil para coordinar la operación de la planta, ya que reduce la necesidad de supervisión manual.

Los dos servidores están configurados en una arquitectura redundante, lo que significa que, si uno de ellos falla, el otro puede tomar su lugar automáticamente. Este tipo de configuración garantiza la alta disponibilidad del sistema, lo que es esencial para evitar la interrupción del proceso y lograr una continuidad operacional de la planta. El rack de virtualización permite que estos servidores manejen múltiples máquinas virtuales (VMs) de manera eficiente. Lo que permite virtualizar diversas aplicaciones y sistemas operativos dentro de un mismo hardware, lo que optimiza el uso de los recursos físicos de la planta y permite una mejor administración.

De esta forma la planta puede ejecutar varios sistemas críticos simultáneamente, como el sistema HMI, sistemas de análisis de datos, software de diagnóstico o bases de datos sin necesidad de tener un servidor físico independiente para cada función. Esto también facilita la escalabilidad, ya que se pueden agregar nuevas funciones o sistemas sin necesidad de hardware adicional.

El rack de virtualización también soporta estaciones de trabajo virtualizadas que son las terminales de ingeniería para supervisar el estado de los servidores y acceder al sistema desde ubicaciones remotas dentro de la planta o incluso fuera de ella. Esto es útil para tareas de diagnóstico y ajustes en los sistemas de control de forma remota. Este acceso de ingeniería permite monitorear el rendimiento del sistema, analizar problemas, implementar actualizaciones de software y realizar configuraciones de manera más eficiente, evitando la necesidad de recorrer físicamente la planta para cada ajuste.

3.3.2 SEGMENTOS DE CONTROL DE PROCESO

Cada una de las distintas áreas de la planta tienen su propia CPU (unidad de procesamiento central) y PLC (Controlador lógico programable) para controlar sus procesos principales. Cada PLC tiene una dirección IP asignada para identificarlo en la red. De esta forma los controladores pueden coordinar las acciones y ejecutar órdenes en tiempo real supervisando sensores y actuadores para mantener condiciones óptimas de proceso.

3.3.3 CONEXIONES DE RED Y COMUNICACIÓN

El sistema de red permite conectar todos los módulos de control y servidores HMI mediante una infraestructura de comunicación robusta y eficiente, utilizando los Switch de red Stratix 2000 y 8000 de Allen Bradley diseñados específicamente para entornos industriales exigentes, que son componentes claves en el sistema de control, ya que permiten la interconexión de todos los dispositivos de la planta y aseguran una comunicación confiable y robusta en la red.

Los switch Stratix 8000 están dispuestos en una topología de red en anillo, lo cual significa que están conectados entre sí formando un circuito cerrado. Este tipo de configuración permite que la red sea altamente resistente a fallos. Por lo que, si uno de los enlaces entre switches falla, el tráfico de datos se puede redirigir automáticamente en la dirección opuesta, manteniendo la comunicación entre todos los dispositivos de la red. Esto asegura alta disponibilidad y minimiza el tiempo de inactividad, lo cual es crucial en una planta industrial donde la interrupción de la comunicación podría afectar la operación continua.

El switch Stratix 2000, es un switch industrial que interconecta los dispositivos en la red de la planta, asegurando que todos los módulos y CPUs puedan comunicarse eficientemente entre sí y con el servidor HMI.

La compatibilidad de estos switches con el protocolo industrial EtherNet/IP, permite la transmisión de datos en tiempo real entre controladores, sensores y actuadores en el sistema.

3.3.4 EQUIPOS DE CONTROL Y MONITOREO EN LA RED

- **Panel View:** Además del monitoreo centralizado, el sistema incluye paneles de control en puntos estratégicos. Esto permite a los operadores acceder de manera local y directa a controles críticos, mejorando la capacidad de respuesta ante cualquier problema o ajuste necesario en la operación.
- **Siprotec:** Se cuentan con varias unidades de equipos SIPROTEC en la subestación eléctrica de la planta. Estos equipos son una línea de dispositivos de protección y automatización de subestaciones eléctricas de Siemens, cuya función es proteger los equipos de media y alta tensión en sistemas eléctricos industriales y de distribución. detectan condiciones anómalas, como sobre corrientes, cortocircuitos, o desequilibrios de tensión, y responden rápidamente para desconectar o aislar las partes afectadas del sistema.

- **Switch Industriales:** Permiten extender la cobertura de la red a través de largas distancias y soporta topologías en anillo para mejorar la redundancia. Su uso es fundamental en entornos de planta donde existen dispositivos de control y monitoreo alejados del núcleo de la red, asegurando así la integridad de la comunicación y facilitando la supervisión centralizada en toda la planta industrial.
- **Unidad para Bus de Campo EX600:** es un módulo de comunicación desarrollado por SMC, una empresa conocida por sus soluciones en automatización industrial. Este módulo está diseñado para operar como una unidad de E/S remota en redes industriales, permitiendo la comunicación entre dispositivos de campo y el sistema de control central a través de un bus de campo. El EX600 soporta varios protocolos de comunicación de bus de campo, como EtherNet/IP, PROFINET, DeviceNet, y CC-Link.
- **ETAP (Punto de Acceso Ethernet):** Es un dispositivo que permite realizar una conexión de red directa con funcionalidades de diagnóstico y monitoreo. Mejora la accesibilidad y el monitoreo de la red, especialmente en arquitecturas de anillo, proporcionando puntos de conexión seguros y estables que ayudan a mantener la comunicación en la red.

3.3.5 ALARMAS Y SEGURIDAD

Para mejorar la seguridad y la respuesta ante fallos, el sistema cuenta con un módulo de alarmas que monitorea en tiempo real los equipos críticos y genera alertas cuando es necesario:

- **Alarmas de Fallo en Equipos Críticos:** Se emiten alertas en caso de fallos en componentes esenciales, como generadores de vapor y bombas. Estas alarmas se despliegan en la interfaz de monitoreo y notifican al personal, permitiendo una intervención rápida.
- **Alertas en Procesos Clave:** Monitorean errores en entradas analógicas y se generan alarmas por condiciones inusuales en los motores. Este sistema de alertas ayuda a prevenir daños y asegura la continuidad operativa.

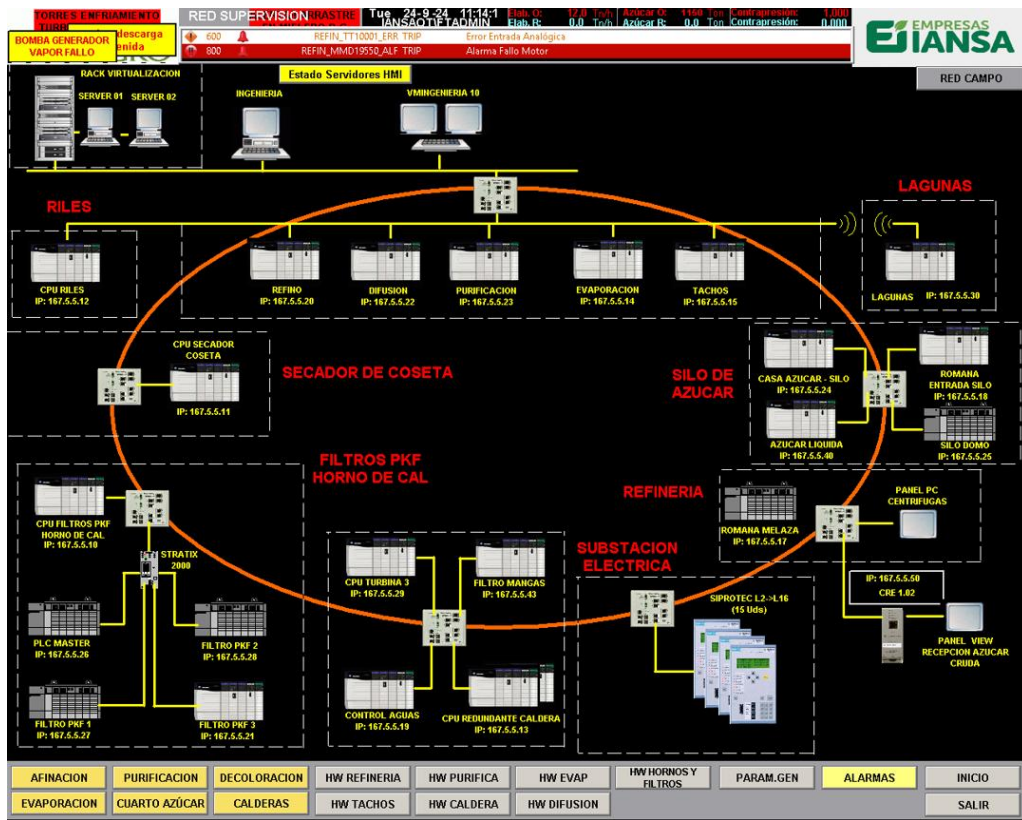


Figura 10. Arquitectura de red de supervisión de la planta.

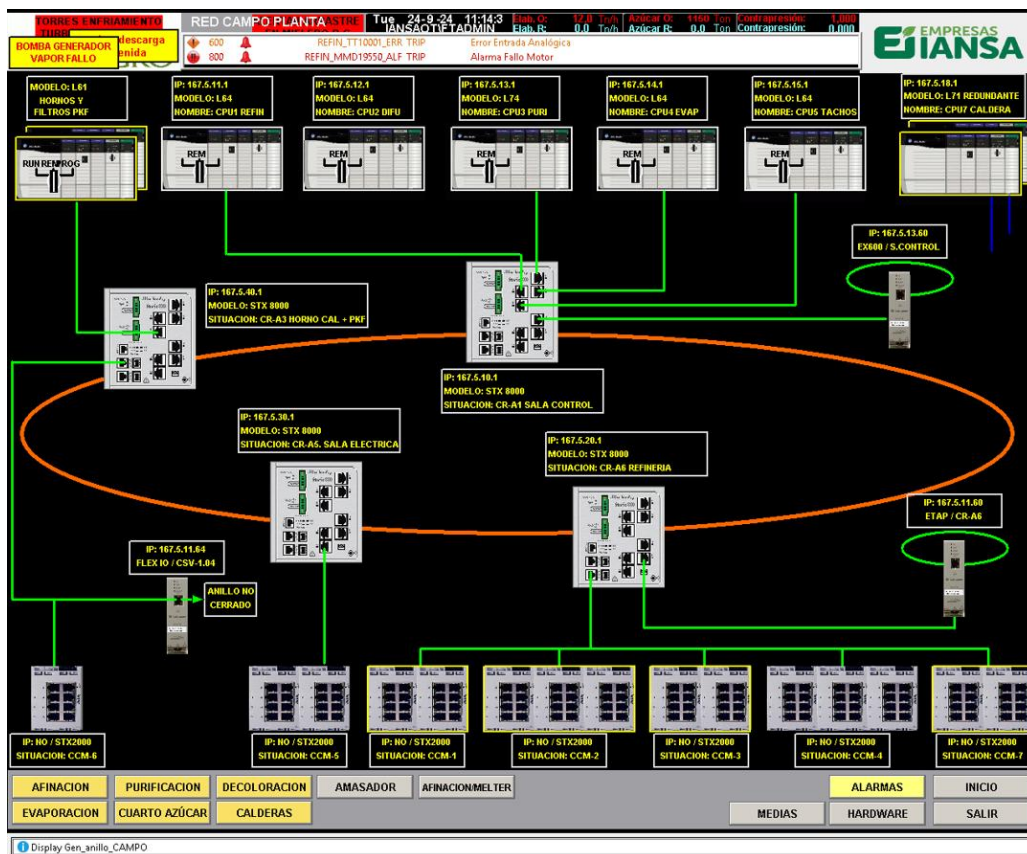


Figura 11. Arquitectura de red de campo de la planta.



CAPÍTULO IV

INTEGRACIÓN DE FT ANALYTICS GUARDIAN AI

4. CAPÍTULO IV. INTEGRACIÓN DE "FT ANALYTICS GUARDIAN AI"

4.1 PRIMERA INTEGRACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA CON EL CONTROLADOR

Para integrar el PowerFlex 755TS con un controlador de la Serie 5000, ya sea CompactLogix o ControlLogix, se utiliza el software Studio 5000. En primer lugar, se crea un nuevo proyecto donde se designa el controlador a utilizar que es el 1756-L85E, ControlLogix 5580 y se le asigna un nombre al proyecto, que es "PF755TSCCANDIA", para luego comunicar la unidad y configurar la dirección IP. Para agregar la unidad a la configuración de E/S, se hace click derecho en Ethernet y se selecciona "New Module". Se busca y crea el variador 755T y se agrega como nuevo hardware, posterior se busca la versión del variador que se utilizará en la integración, que corresponde al Powerflex 755TS y se selecciona, se le asigna un nombre y una dirección IP. La dirección asignada es 167.5.15.150.

Es importante mencionar que esta dirección no queda programada en la unidad, por lo que se debe hacer directamente en el variador de frecuencia.

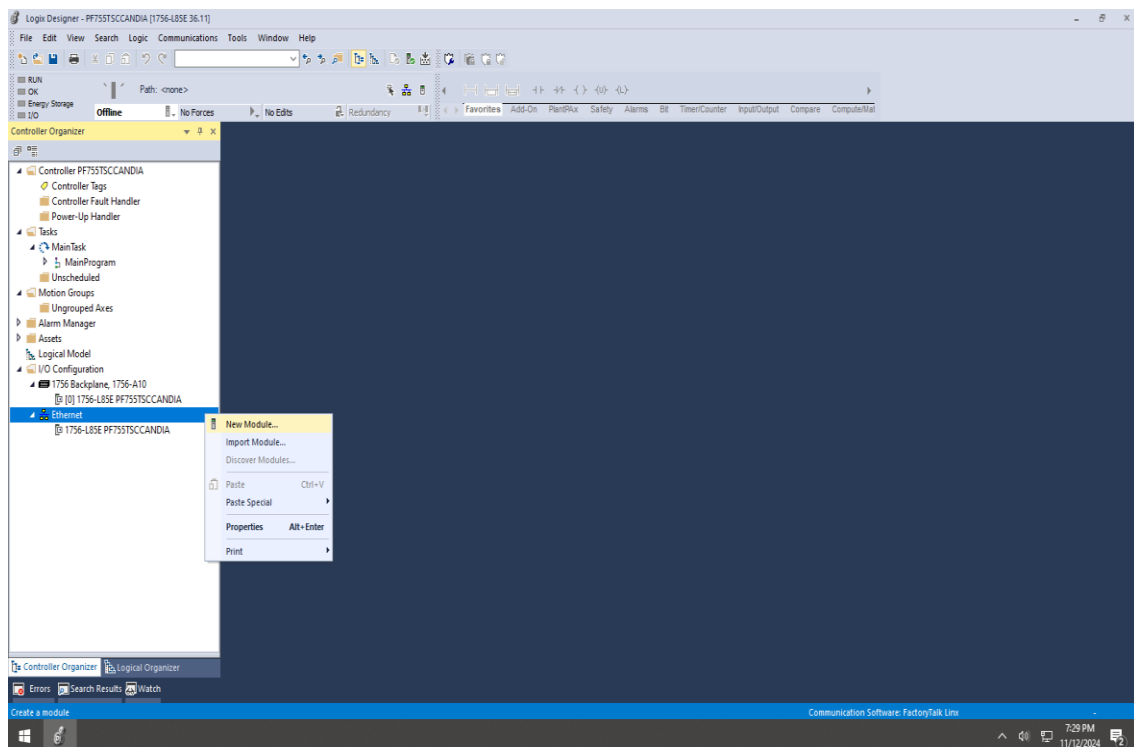


Figura 12. Integración de PowerFlex 755TS.

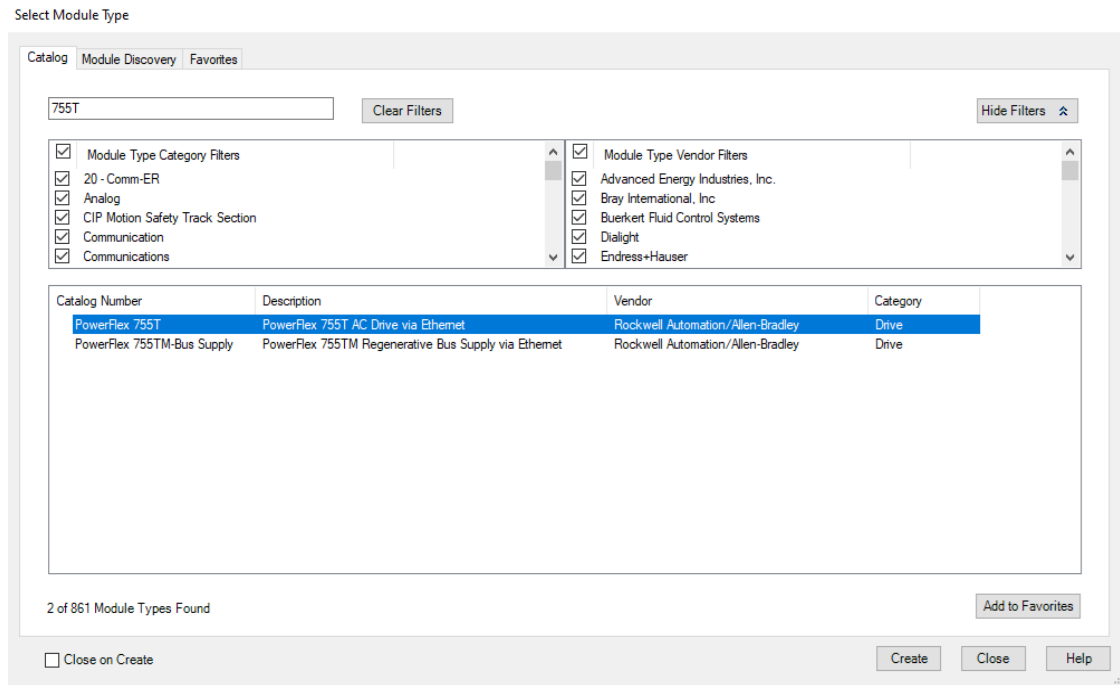


Figura 13. Búsqueda y creación del variador PowerFlex 755TS.

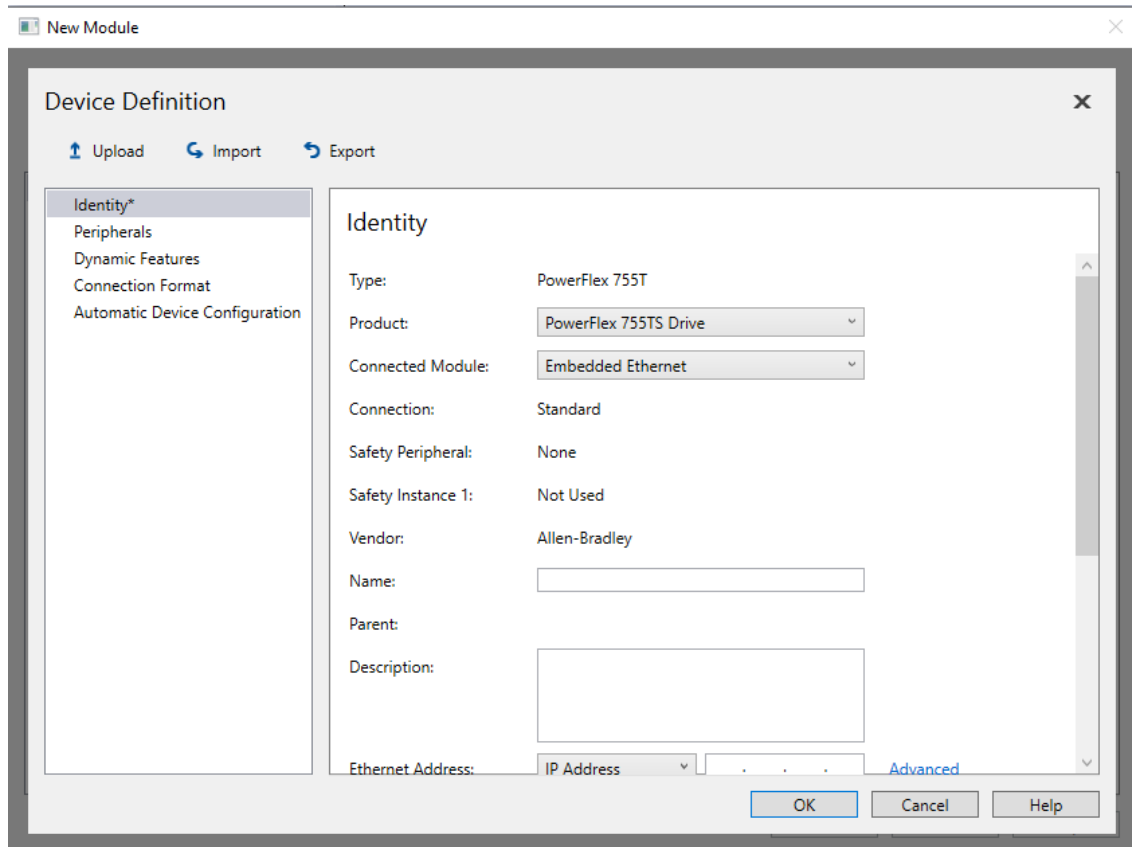


Figura 14. Selección del producto.

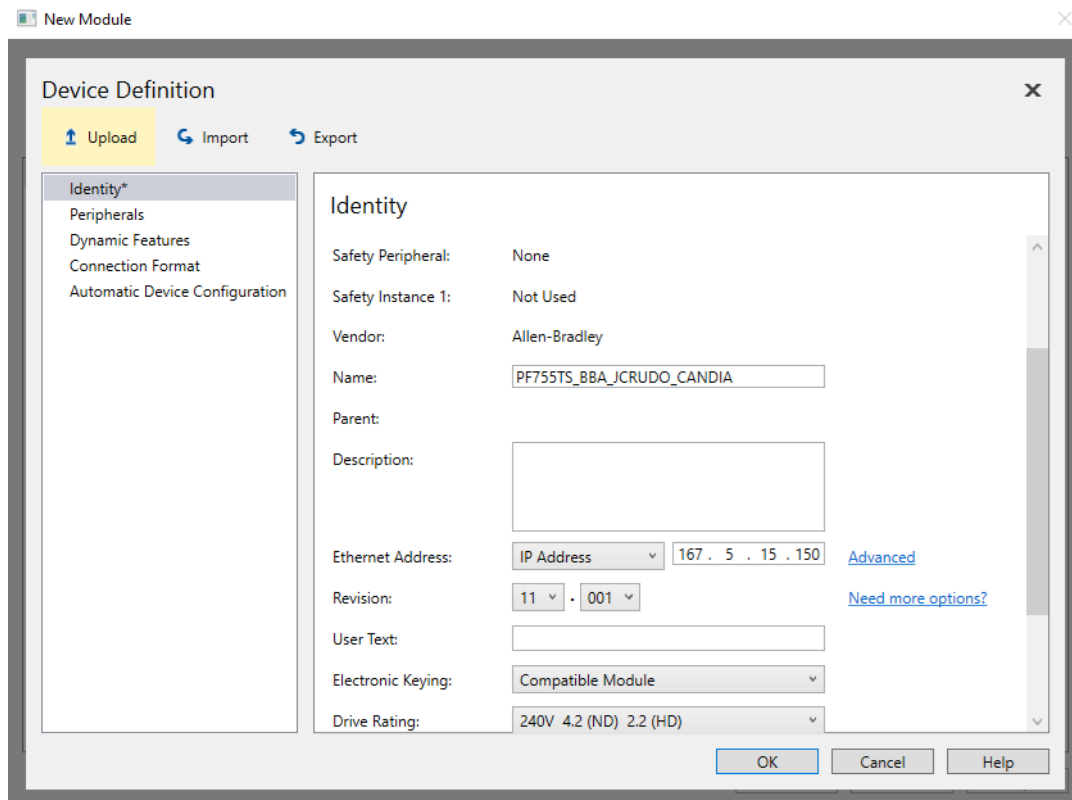


Figura 15. Asignar nombre, dirección IP y cargar desde la unidad.

Luego se cargan (Upload) los datos desde el variador y se extrae la clasificación y la información periférica de la unidad. Principalmente, el rango de potencia, la tensión de alimentación, la temperatura de funcionamiento, grado de protección, además de la información de los módulos para expandir funcionalidades, incluyendo los módulos de E/S, seguridad, comunicación y fuente de alimentación eléctrica auxiliar. En la información periférica también se incluye la comunicación integrada ya que cuenta con puertos gigabit para facilitar la gestión rápida de los datos y una integración sencilla en la red industrial. Además, incorpora información relacionada con la tecnología TotalFORCE para ofrecer un control adaptativo del motor, inteligencia operacional en tiempo real y herramientas avanzadas de puesta en marcha. Por último, incluye información de seguridad como la desconexión de par segura (STO) para prevenir el movimiento inesperado del motor de forma involuntaria para proteger al mantenedor y al equipo en caso de intervención e incluye otras funciones de seguridad integrada.

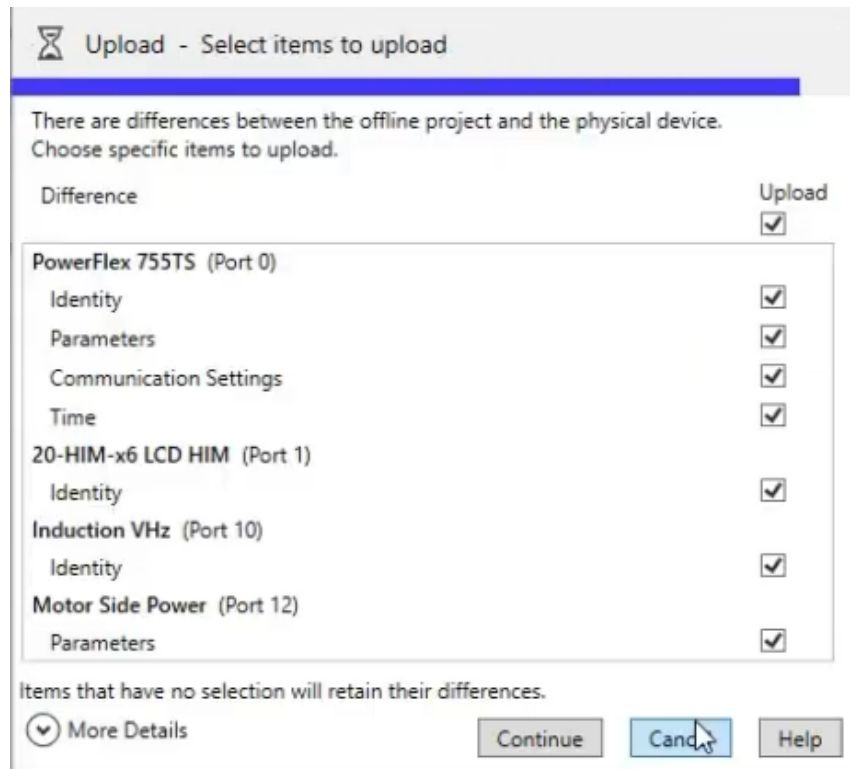


Figura 16. Proceso de carga de información de la unidad.

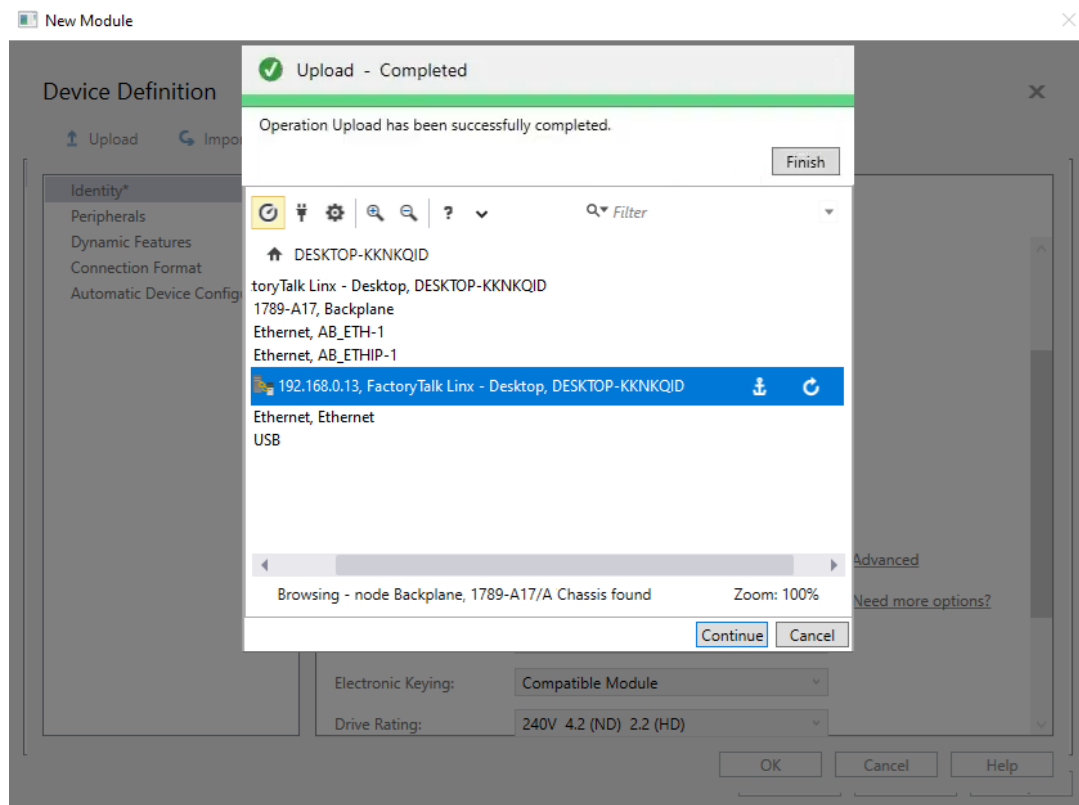


Figura 17. Carga de los datos completada.

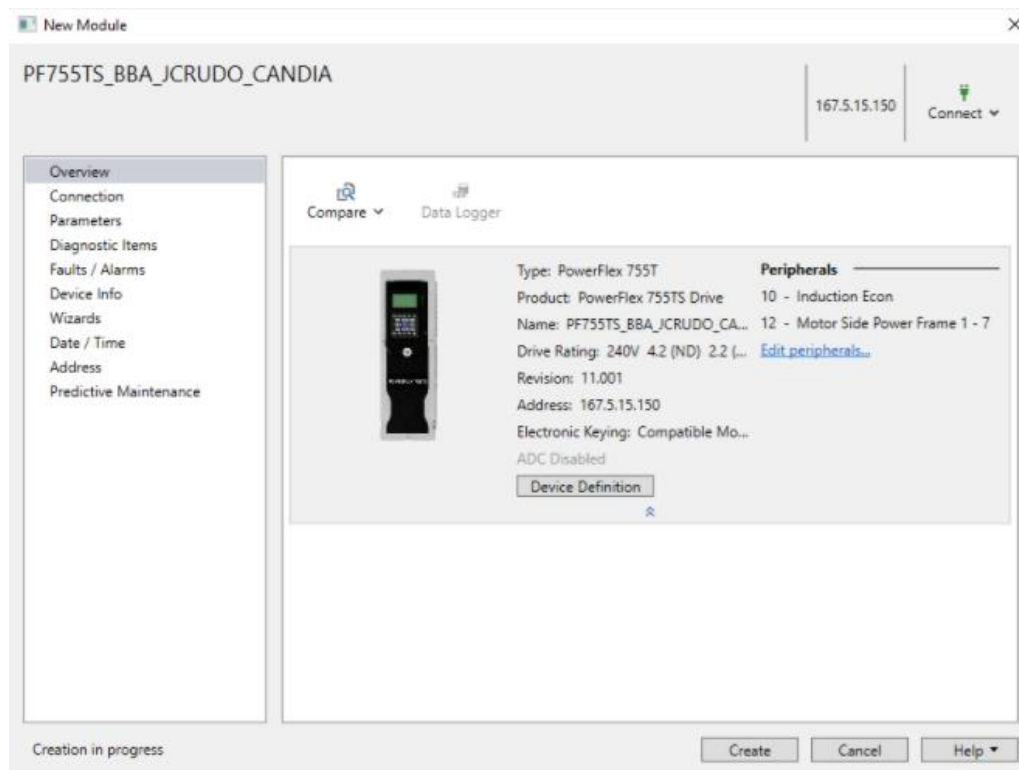


Figura 18. Conexión a la red de comunicación de la planta.

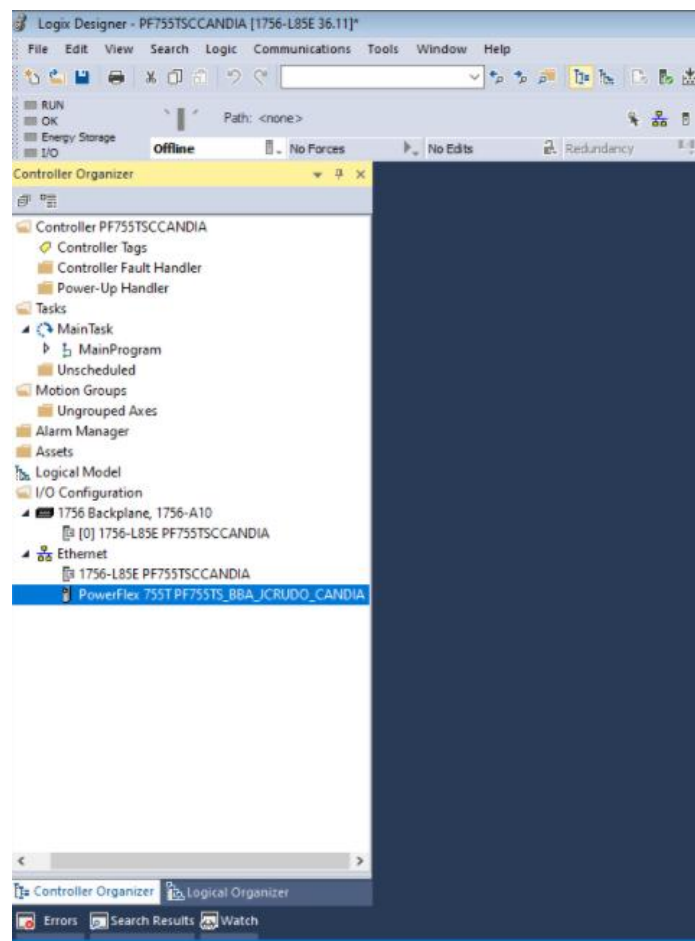


Figura 19. Módulo de la unidad agregado.

Una vez cargada la información de clasificación de la unidad en la definición del módulo para ser almacenada en el software, se podrá visualizar la unidad en el árbol de organización del controlador, como se visualiza en la figura 19.

Para agregar el enlace de datos que permite al controlador Logix, leer y escribir información de parámetros adicionales desde y hacia el variador, se hace doble click en el Powerflex 755TS desde el árbol de organización y se despliega una ventana con el variador, se selecciona definición del dispositivo "Device Definition" y se despliega una nueva ventana donde se selecciona "Connection Format" y se comienza a agregar y seleccionar todos los parámetros de entradas y salidas que se desea leer y escribir. Antes de leer o escribir en el controlador, se verifica que el firmware del variador esté actualizado a la última versión. Esto se realiza directamente a través del Studio 5000, descargando la actualización desde el sitio web de Rockwell Automation.

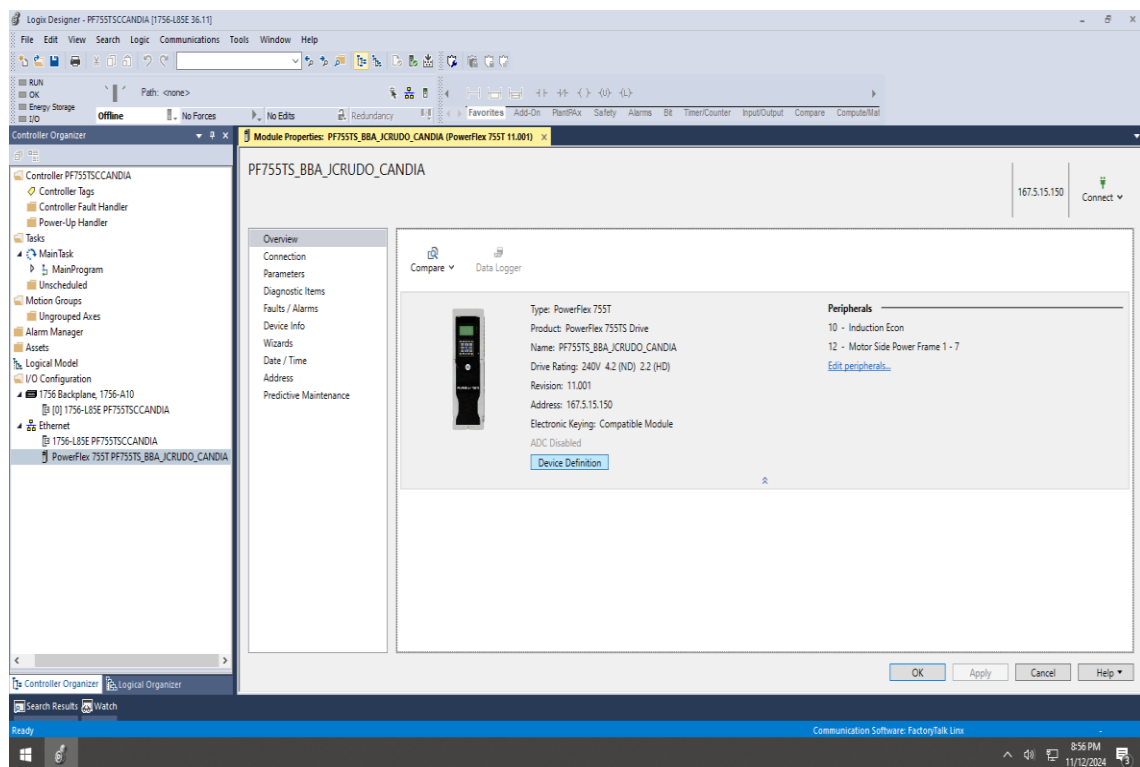


Figura 20. Agregar enlace de datos.

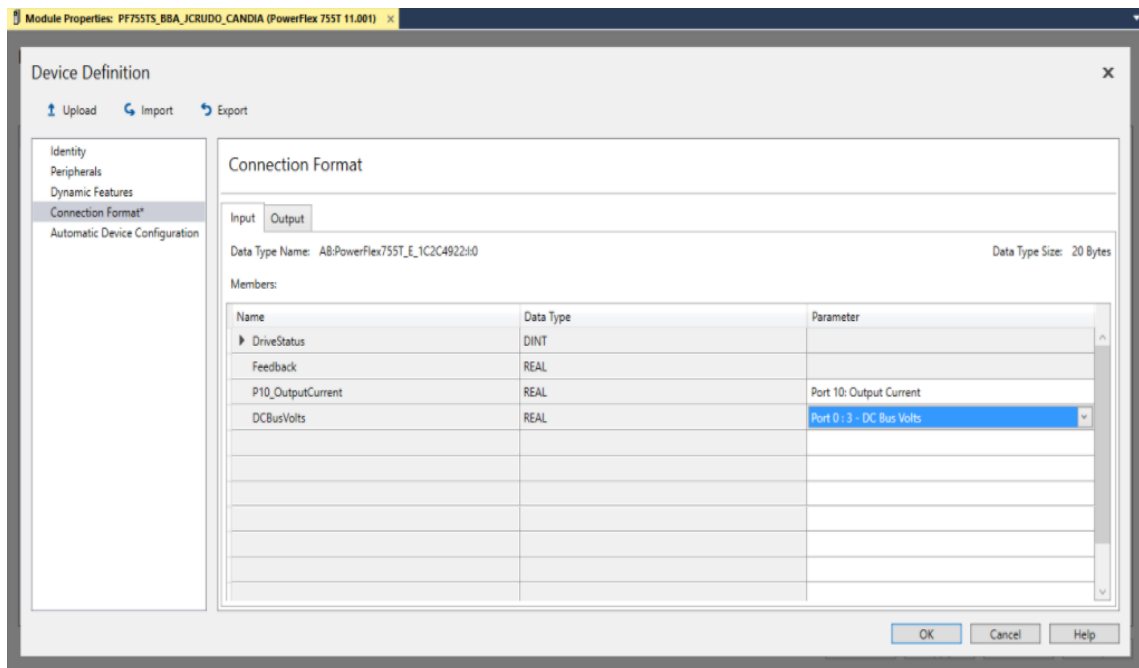


Figura 21. Selección de los parámetros de entrada.

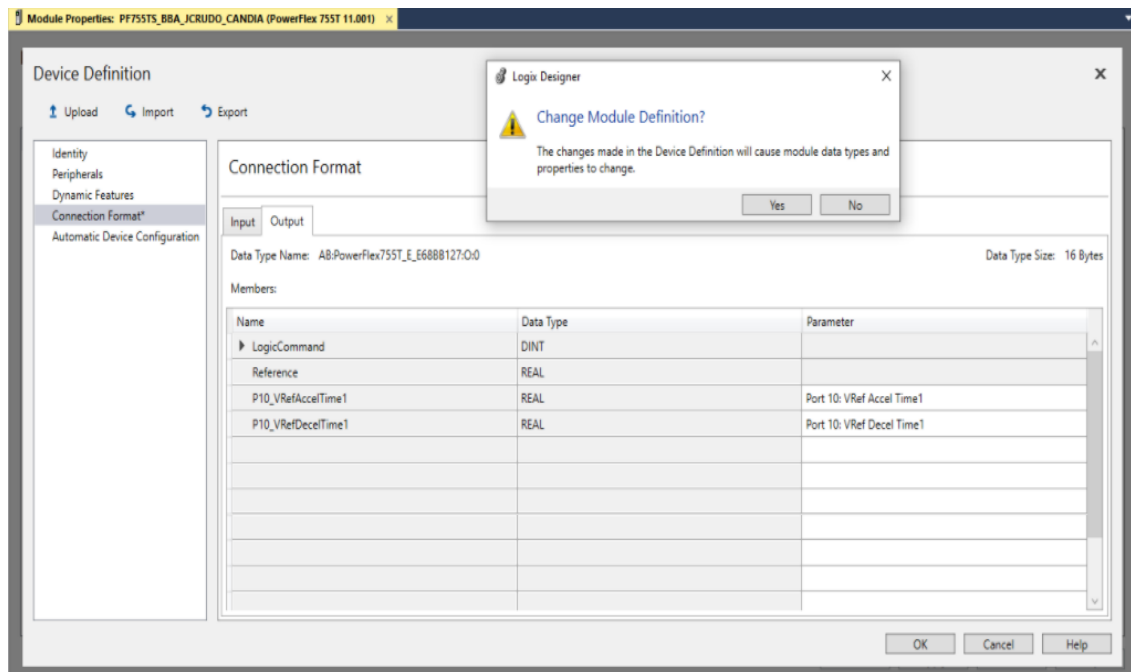


Figura 22. Selección de los parámetros de salida.

Ahora se descarga el proyecto hacia el controlador, primero se debe ir al icono "Who Active" y se despliega una ventana donde se busca el controlador y luego se descarga hacia el variador de frecuencia. Es importante mencionar que se puede realizar una prueba de operación con el motor conectado para verificar que los parámetros estén funcionando correctamente.

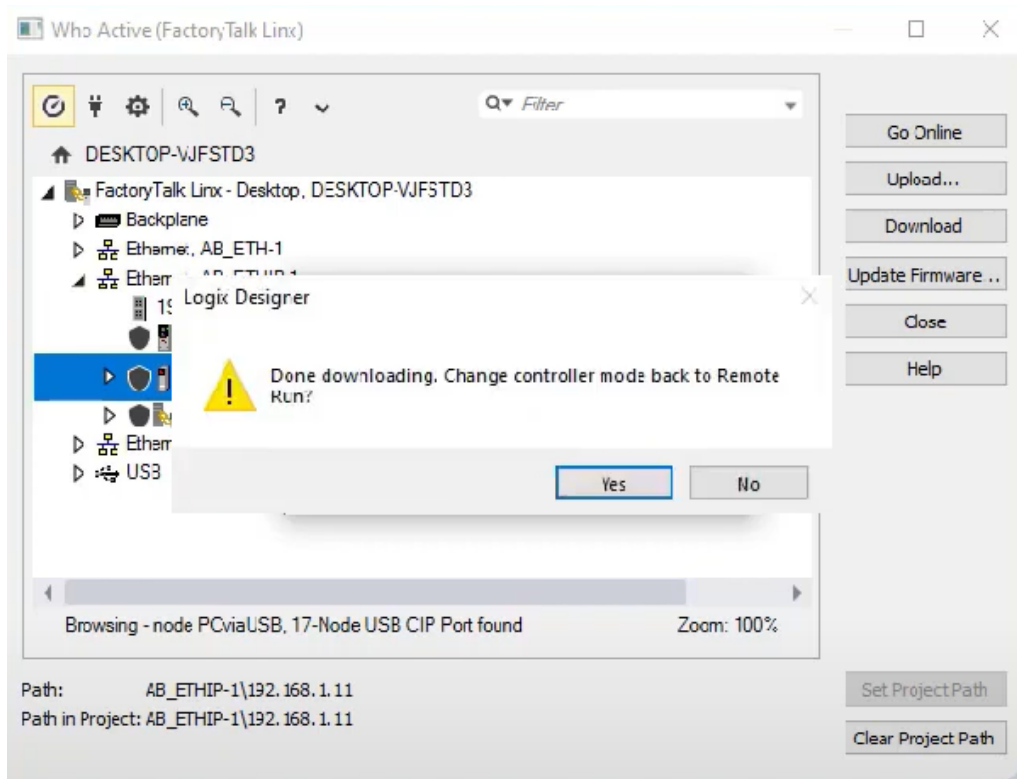


Figura 23. Descarga de la información a la unidad.

Es normal que se produzca una falla de E/S después de descargar porque los enlaces de datos configurados en el controlador no se han agregado a la unidad. Logix Designer correlaciona el proyecto con la información de parámetros en el variador e informa cualquier diferencia. En el caso de que existan diferencias en los datos de enlace, existe la opción de correlacionar los datos marcando la casilla "Use Project" que corregirá este error y permitirá establecer la comunicación con el Powerflex 755TS.

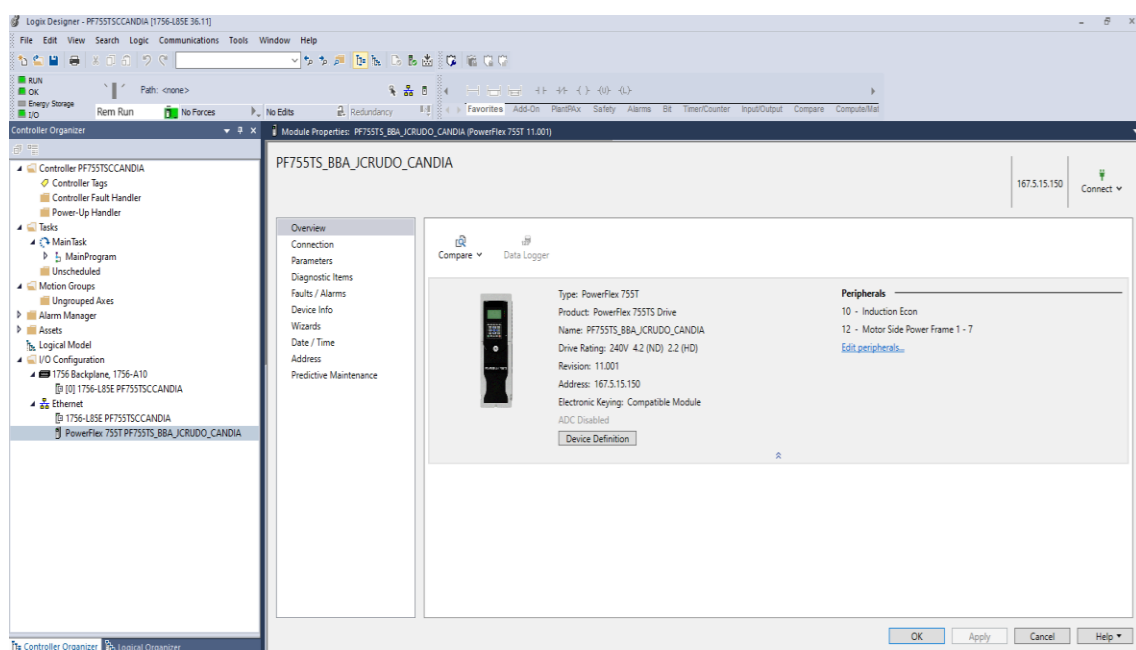
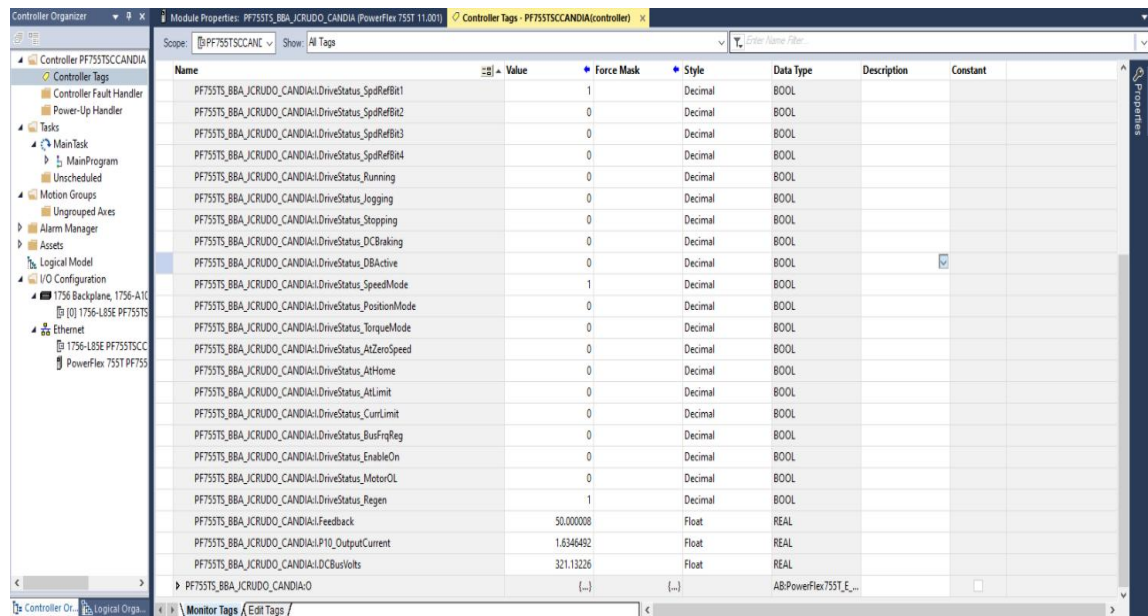


Figura 24. Controlador en línea y comunicado con la unidad.

Con esto concluye la integración principal del Powerflex 755TS. El siguiente paso es mostrar cómo navegar e identificar los tags del controlador. Los tags son generados automáticamente y pueden ser usados para leer los estados del variador y controlar el variador mediante los parámetros de entradas y salidas.



Name	Value	Force Mask	Style	Data Type	Description	Constant
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.DriveStatus_SpotRefBit1		1	Decimal	BOOL		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.DriveStatus_SpotRefBit2		0	Decimal	BOOL		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.DriveStatus_SpotRefBit3		0	Decimal	BOOL		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.DriveStatus_SpotRefBit4		0	Decimal	BOOL		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.DriveStatus_Running		0	Decimal	BOOL		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.DriveStatus_Jogging		0	Decimal	BOOL		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.DriveStatus_Stopping		0	Decimal	BOOL		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.DriveStatus_DCBreaking		0	Decimal	BOOL		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.DriveStatus_DBActive		0	Decimal	BOOL		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.DriveStatus_SpeedMode		1	Decimal	BOOL		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.DriveStatus_PositionMode		0	Decimal	BOOL		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.DriveStatus_TorqueMode		0	Decimal	BOOL		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.DriveStatus_AzZeroSpeed		0	Decimal	BOOL		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.DriveStatus_AtHome		0	Decimal	BOOL		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.DriveStatus_AtLimit		0	Decimal	BOOL		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.DriveStatus_CurrLimit		0	Decimal	BOOL		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.DriveStatus_BusFrgReg		0	Decimal	BOOL		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.DriveStatus_EnableOn		0	Decimal	BOOL		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.DriveStatus_MotorOL		0	Decimal	BOOL		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.DriveStatus_Regen		1	Decimal	BOOL		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.Feedback	50.000008			Float		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.P10_OutputCurrent	1.6346492			Float		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.DCIBusVolts	321.13226			Float		
PF755TS_BBA_JCRUDO_CANDIA1.O	(...)			AB:PowerFlex755T_E...		

Figura 25. Tags y variables de estado en tiempo real.

En conclusión, La integración del Powerflex 755TS es un proceso sencillo y puede ahorrar un tiempo de programación significativo si se realiza con las herramientas apropiadas y de forma sistemática. Con Studio 5000, se puede monitorear y modificar parámetros en tiempo real, y realizar diagnósticos en caso de errores o fallos del variador.

Existen diversas herramientas que se pueden utilizar con los variadores de frecuencia Powerflex 755, como:

1. DriveExecutive:

- Herramienta de software incluida en DriveTools SP que permite la programación y solución de problemas de variadores PowerFlex.
- Útil para la configuración avanzada y el mantenimiento de variadores PowerFlex, especialmente cuando se requiere una interfaz dedicada para la gestión de parámetros y diagnósticos.

2. Studio 5000 Logix Designer:

- Utilizado cuando el variador está integrado con controladores CompactLogix o ControlLogix.
- Configuración, monitoreo y ajuste avanzado de parámetros directamente desde el sistema de control.

4.2.1 REQUISITOS PREVIOS

Se debe cumplir con los siguientes requisitos:

1. **Hardware:**

- CPU: Procesador de múltiples núcleos compatible con virtualización.
- RAM: Al menos 16 GB (recomendado).
- Almacenamiento: SSD con al menos 100 GB libres.
- Conexión de red estable.

2. **Software:**

- Licencia válida de "FactoryTalk Analytics Guardian AI".
- Máquina virtual configurada con un sistema operativo Linux compatible (Ubuntu Server 20.04, CentOS 8 o Red Hat Enterprise Linux son los recomendados).
- Docker y Kubernetes preinstalados en Linux (si no lo están, se instalarán más adelante).
- Herramientas de gestión de paquetes para Linux.

3. **Acceso a Rockwell Automation:**

- Credenciales de FactoryTalk Hub.
- Descarga previa de los archivos de instalación desde el portal de Rockwell Automation.

4.2.2 INTEGRACIÓN DE FACTORY TALK ANALYTICS GUARDIAN AI

Lo primero es acceder al portal de Rockwell Automation con las credenciales, buscar el software y descargar los paquetes correspondientes. Luego, se debe transferir los archivos a Linux en la máquina virtual, extraer los paquetes y ejecutar el instalador. Durante la instalación, se deberá confirmar dependencias y directorios de instalación. Una vez instalado, se debe abrir un navegador web en la misma red que el servidor Linux e ingresa la URL proporcionada, en este caso es <http://192.168.94.128>. Que es la dirección IP que se le asignó a la máquina virtual y de esta forma se accede al inicio de sesión y se conecta con el software.

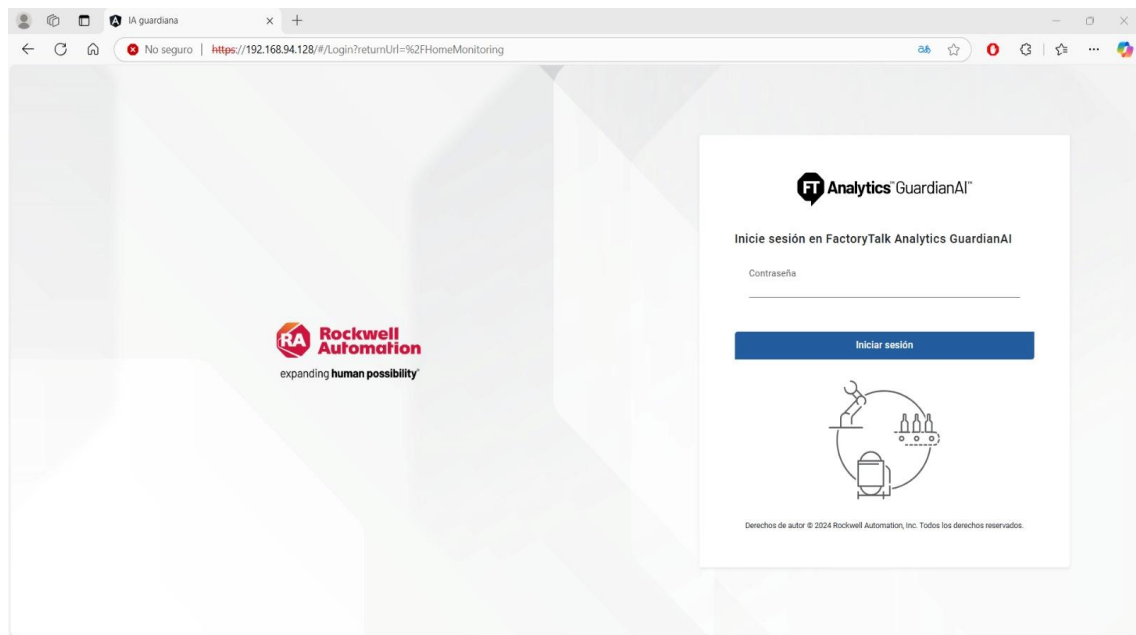


Figura 27. Página de inicio de sesión del software.

Se deben ingresar las credenciales iniciales de usuario, que son las de administrador y la que se configura durante la instalación. Por seguridad es recomendable cambiar la contraseña de administrador desde la interfaz web. Además, se debe registrar la licencia proporcionada por Rockwell Automation.

Después de iniciar sesión, se debe seleccionar la zona horaria regional para "FT Analytics Guardian AI". La zona horaria la utiliza la aplicación para registrar marcas de tiempo de eventos de riesgo de desviación y fallas encontradas durante el monitoreo de activos. La zona horaria se puede modificar yendo a la página de configuración general usando el ícono de engranaje en la esquina superior derecha de la aplicación.

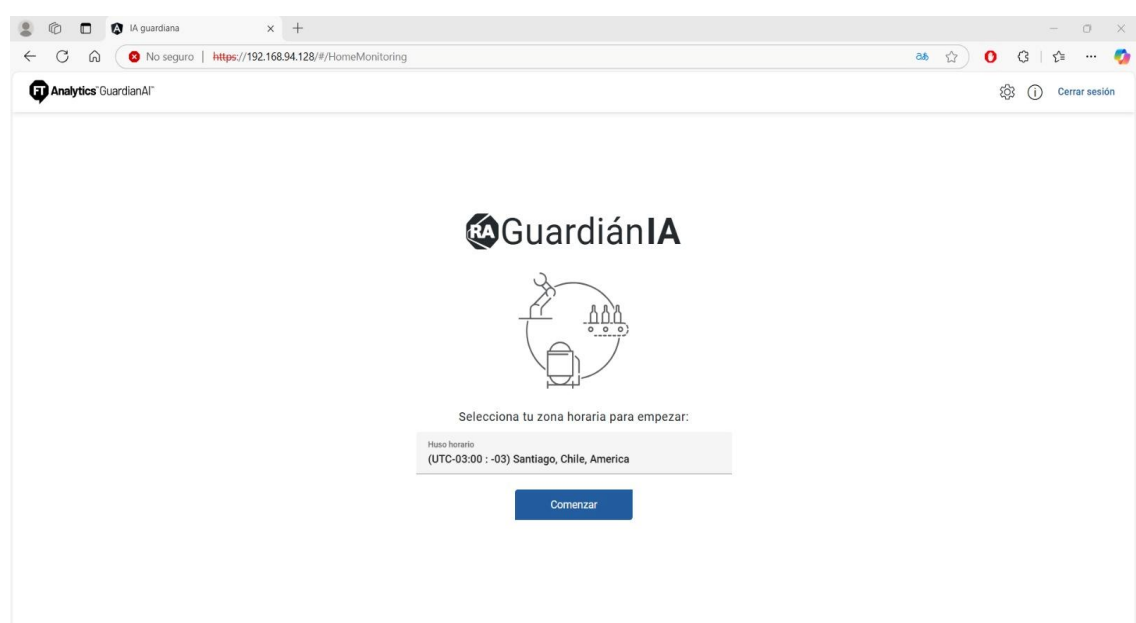


Figura 28. Configuración zona horaria.

El espacio de trabajo de configuración esta accesible desde la pestaña "monitoreo", donde se crean las carpetas para agregar activos y configurar los parámetros de entrenamiento. Realizar este paso a paso en la creación de un nuevo activo es fácil e intuitivo.

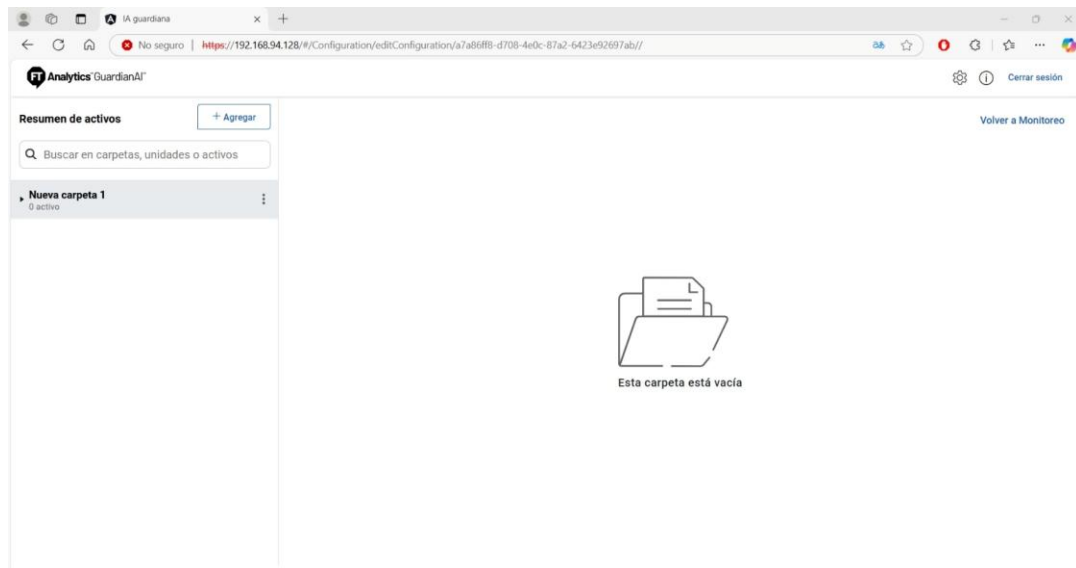


Figura 29. Agregar un nuevo activo.

4.3 AGREGAR Y CONFIGURAR UN NUEVO ACTIVO

To add a new asset to monitor, the user should complete the four steps summarized in the following diagram.

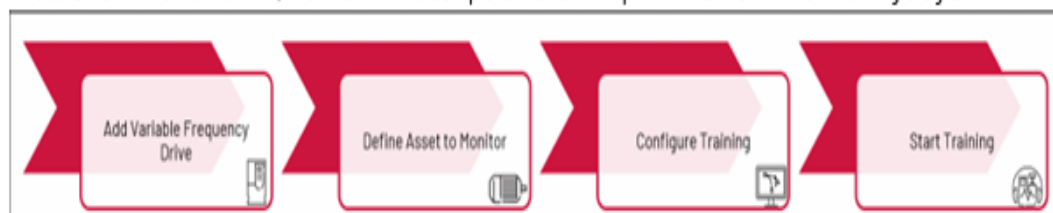


Figura 30. Pasos para lograr monitorear un activo.

En la etapa 1, que es la etapa denominada "conducir", se selecciona el tipo de unidad, es decir si corresponde a un sistema de almacenamiento, conexión a dispositivos, o fuente de datos específica para su monitoreo. Luego, se le asigna un nombre y se deja una descripción relacionada con la unidad. Por último, se establece la "ruta de la unidad" que se refiere a la ubicación específica de los datos o recursos que el sistema debe monitorear o utilizar. Que para este caso es el servidor principal de la planta donde se almacena y administra la información.

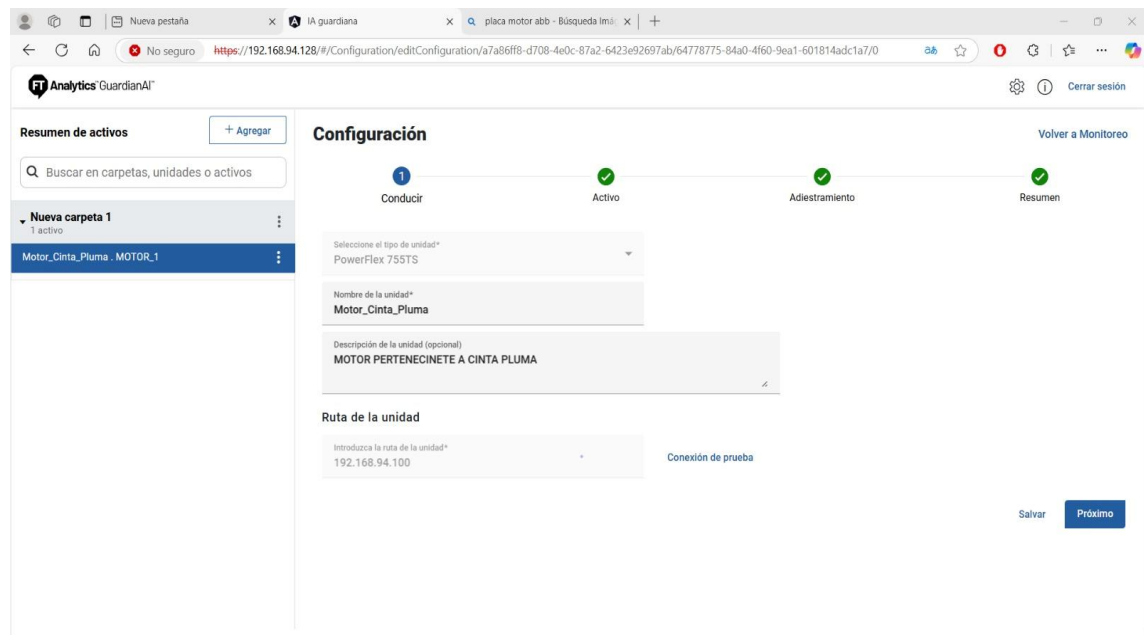


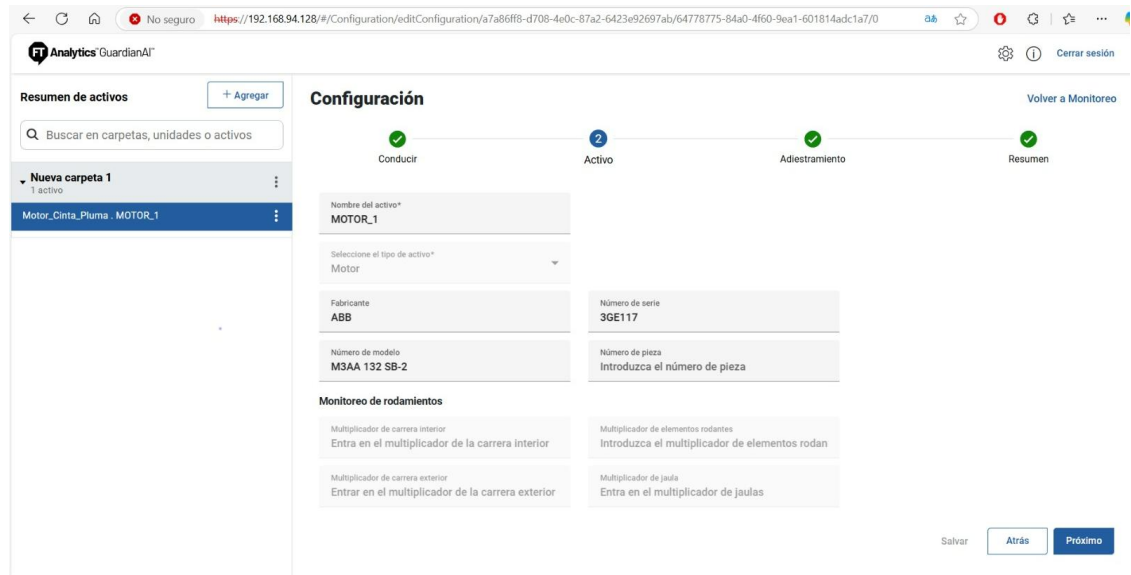
Figura 31. Configuración de etapa 1 "conducir".

Continuando con la etapa 2 que se denomina "Activo", es donde se introduce información clave del activo para su monitoreo y futuro análisis.

El equipo que se integra es el "motor de la cinta pluma" que es la cinta que transporta la remolacha una vez descargada de los camiones al silo de acopio.

Esta configuración se inicia asignando el nombre del activo que se está configurando para identificarlo dentro del sistema, luego se selecciona el tipo de activo, por ejemplo, bomba, motor, transportador o ventilador, en este caso es un motor, de esta forma se clasifica el activo para aplicar parámetros y configuraciones específicas en el análisis. En esta ventana también se introduce información del activo como: el fabricante, número de serie, el modelo del equipo y el número de piezas. De esta forma se documenta e identifica el activo dentro del sistema, proporcionando detalles técnicos y facilitando con esta información la gestión de piezas de repuesto y mantenimiento.

En la siguiente sección dependiendo del activo se introduce la información relacionada para el motor: se introduce la potencia en kilovatios (kW) o caballos de fuerza (HP) y velocidad nominal en revoluciones por minuto (RPM), la frecuencia de operación, el voltaje, la corriente nominal y la configuración de rodamientos específicos del motor para el monitoreo de vibraciones, también, se ingresa el factor de servicio que indica cuanto puede operar el motor por encima de su capacidad nominal y se introduce información para ajustes específicos para identificar fallas en partes del motor.



The screenshot shows the configuration interface for step 2, "Activo". The interface is divided into several sections:

- Resumen de activos:** Includes a search bar and a list of assets under "Nueva carpeta 1". One asset, "Motor_Cinta_Pluma - MOTOR_1", is listed.
- Configuración:** A progress bar at the top shows four steps: "Conducir" (completed), "Activo" (current step, highlighted with a '2'), "Adiestramiento" (completed), and "Resumen" (completed). Below the progress bar, the configuration form includes:
 - Nombre del activo*:** MOTOR_1
 - Seleccione el tipo de activo*:** Motor
 - Fabricante:** ABB
 - Número de serie:** 3GE117
 - Número de modelo:** M3AA 132 SB-2
 - Número de pieza:** Introduzca el número de pieza
 - Monitoreo de rodamientos:**
 - Multiplicador de carrera interior:** Entra en el multiplicador de la carrera interior
 - Multiplicador de elementos rodantes:** Introduzca el multiplicador de elementos rodantes
 - Multiplicador de carrera exterior:** Entra en el multiplicador de la carrera exterior
 - Multiplicador de jaula:** Entra en el multiplicador de jaulas
- Buttons:** "Salvar", "Atrás", and "Próximo".

Figura 32. Configuración de etapa 2 "activo".

La etapa 3 de la configuración del software comienza con la configuración de los parámetros de frecuencia mínima y máxima del motor los cuales se ajustan en 20 Hz y 60 Hz respectivamente, luego se definen los ajustes avanzados iniciando por la iteración de entrenamiento que se refiere al número de veces que un modelo de inteligencia artificial o aprendizaje automático revisa los datos durante el proceso de entrenamiento para ajustar de mejor manera sus parámetros y mejorar su precisión predictiva la cual se ajusta a un valor de 100 iteraciones. Por último, se ajusta el valor de disparo en 20 Hz que se refiere a un parámetro configurable que establece un umbral o límite a partir del cual se activa una alerta o disparador dentro del sistema, el valor de disparo de 20 Hz se seleccionó como una condición inicial o valor base en el proceso de monitoreo para evaluar la respuesta del equipo. A medida que avance el entrenamiento, este valor se va ajustando con base en datos históricos o condiciones específicas del activo.

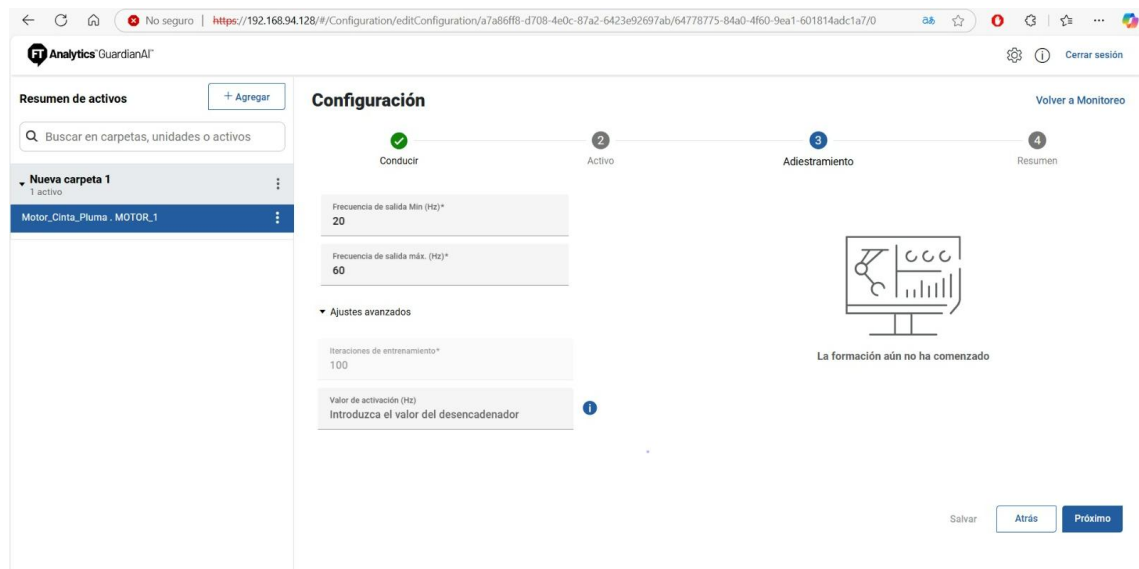


Figura 33. Configuración de la etapa 3 "adiestramiento".

En la etapa final de la integración del activo se visualiza el resumen de la configuración. La información del drive o variador de frecuencia como: el nombre, el tipo de unidad y la dirección IP asignada en la unidad dentro de la red de comunicación.

En esta etapa también se visualiza la información del activo, que es principalmente el motor conectado al variador de frecuencia Powerflex 755TS y la información de la capacitación o adiestramiento de la inteligencia artificial.

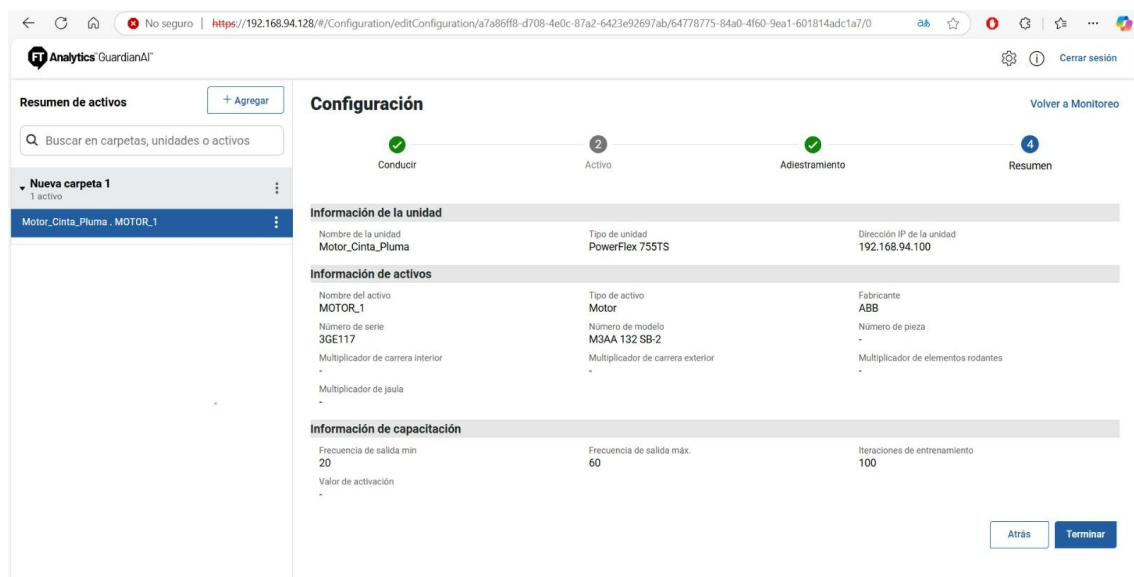


Figura 34. Visualización de la etapa 4 "resumen".

4.4 ENTRENAMIENTO DE LA LÍNEA DE BASE

Al ajustar estos parámetros se estaría en condiciones de comenzar la formación de la inteligencia artificial para empezar a aplicar el análisis predictivo en el activo, este debe estar operando en modo de funcionamiento normal ya que "FactoryTalk Analytics Guardian AI" está diseñado para observar al activo en condiciones de uso normales para entrenar modelos en las distintas velocidades de operación.

La etapa de aprendizaje se realiza con el variador de frecuencia Powerflex 755TS conectado a la red y funcionando, se utiliza el botón "Record" en el software para comenzar a recopilar los datos y de esta forma empieza el entrenamiento de la inteligencia artificial que monitorea el comportamiento de la frecuencia de trabajo del equipo, la cual indica el progreso a través de una barra de llenado. Cuando la barra comienza a completarse, quiere decir que el modelo está actualmente entrenándose con datos en esta frecuencia. Si el estado de la barra muestra "Not Started" con 0% de progreso, significa que el modelo no ha recibido datos en esas frecuencias.

Es importante indicar que el entrenamiento se enfoca en frecuencias donde el equipo presenta actividad relevante, de esta manera se monitorean progresos individuales por frecuencia para identificar posibles anomalías o patrones críticos.

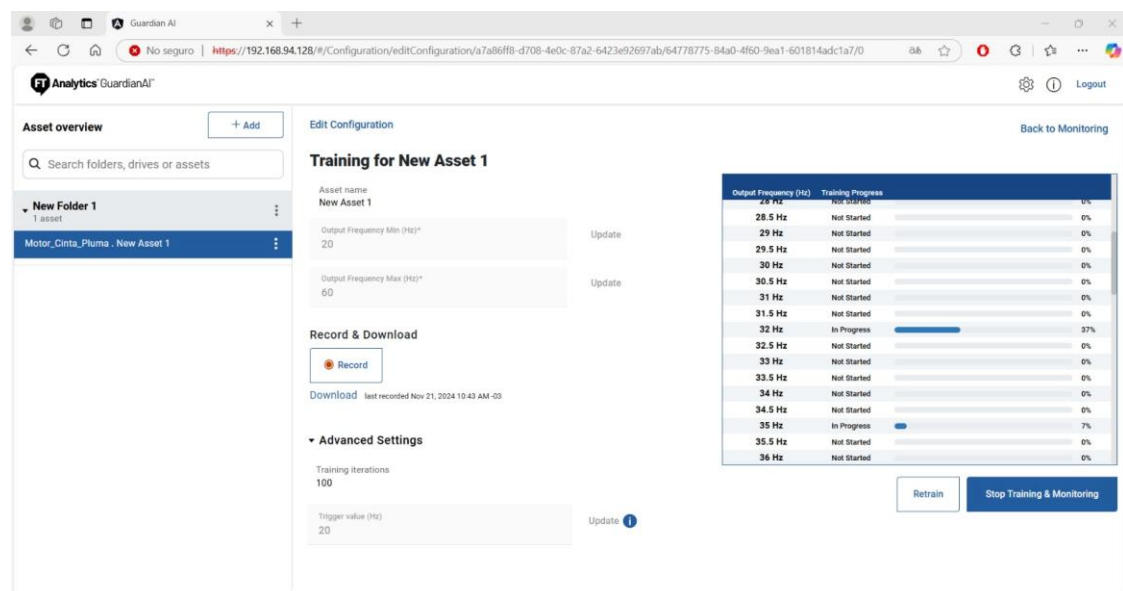


Figura 35. Entrenamiento de un nuevo activo.

Cuando la barra se completa, quiere decir que estas frecuencias ya han sido entrenadas y monitoreadas exitosamente, lo que significa que el modelo ha recopilado y procesado suficiente información. Las barras incompletas representan frecuencias que necesitan más datos. Para completar el entrenamiento en las demás frecuencias, es crucial que el activo opere en esos rangos y que el sistema esté registrando correctamente los datos.

El monitoreo completo se logrará cuando todas las frecuencias registren suficiente actividad y progreso. Para entrenar el software en las distintas frecuencias, se realizaron pruebas controladas, llevando el motor a diferentes frecuencias de manera manual y automática. Este proceso se llevó a cabo gradualmente para cubrir todas las frecuencias registradas en el sistema.

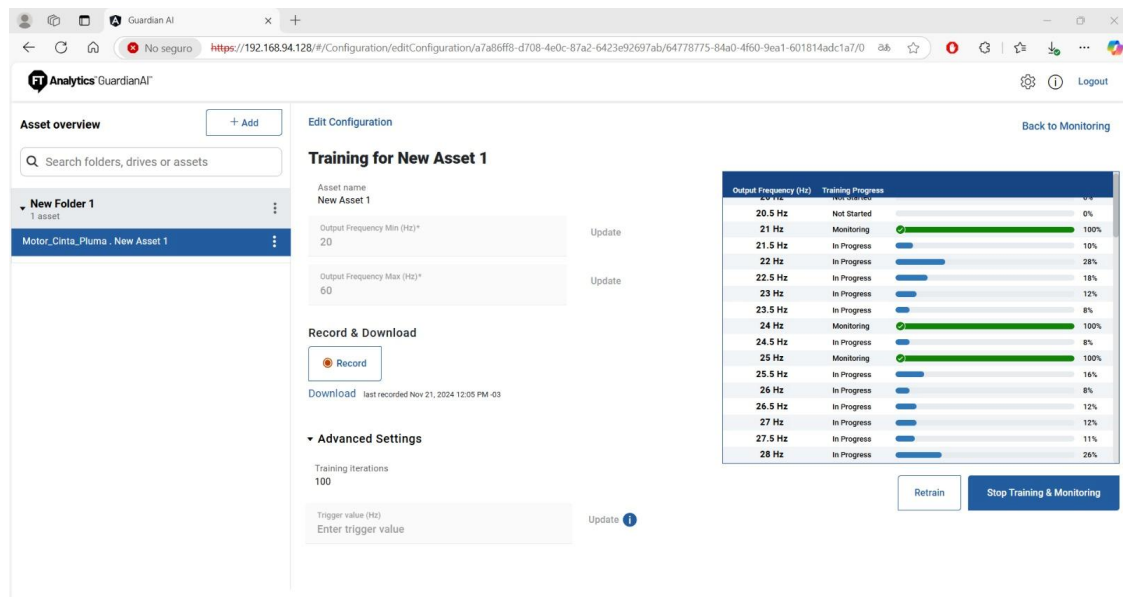


Figura 36. Entrenamiento completado de distintas frecuencias.

Durante el proceso de entrenamiento se deben validar las condiciones operativas, verificando que el sistema esté recibiendo señales correctas de las mediciones del activo como vibración, corriente, velocidad, voltaje, etc. Por consiguiente, se debe mantener la operación estable asegurando que el motor funcione durante un tiempo suficiente en cada frecuencia para que el modelo acumule los datos necesarios.

El reentrenamiento de un activo puede ser importante si se realiza un cambio físico significativo en el activo. Un ejemplo podría ser el reemplazo del motor u otro de diferentes características y capacidades o una realineación completa de un acoplamiento.

Como la inteligencia artificial inicia el proceso de adiestramiento cuando detecta un cambio físico importante. En este escenario, la aplicación monitorea la degradación adicional a partir de la nueva línea base adquirida.

Si un usuario realiza un cambio físico importante sin volver a entrenar el sistema, existe la posibilidad de que "FactoryTalk Analytics Guardian AI" interprete una operación normal como un comportamiento anómalo.

Si se detectan demasiados falsos positivos después de un evento de mantenimiento importante, "FactoryTalk Analytics Guardian AI" se debe volver a entrenar para adquirir una nueva línea base de comportamiento del activo.

4.5 DETECCIÓN DE ANOMALÍAS Y RIESGOS DE FALLAS

Para detectar las nuevas desviaciones que no han sido identificadas durante el aprendizaje de la AI en el activo, se usa el flujo de trabajo de riesgo de desviaciones orientado a las fallas. Por lo que la Inteligencia Artificial aprende los nuevos modos de falla y si ocurre una desviación relacionada con el mismo modo de falla, surge un riesgo de falla el cual es detectado e informado.

Las anomalías detectadas en el sistema durante el flujo de trabajo se procesan, se etiquetan y se manejan como riesgos de falla. Al detectar una anomalía en el sistema se registra y clasifica como una desviación. En el panel de "Deviation" (desviación), se listan las anomalías detectadas con información relevante, como: el porcentaje por encima de la línea base, la duración del evento y la fecha y hora en que se identificó la desviación.

Para realizar las pruebas de funcionamiento del sistema se realizaron pruebas de operación normal con un motor eléctrico en óptimas condiciones conectado al variador de frecuencia y además, se realizaron pruebas con un motor defectuoso conectado al mismo variador de frecuencia en el taller eléctrico de la planta, para este último motor se detectó una falla que muestra una desviación crítica considerable del activo, además se indicó que la desviación detectada aún no ha sido clasificada como riesgo de falla.

La desviación detectada se indica con un identificador único que en este caso es ID: 000001, el pico sobre la línea de base "Peak Above Baseline" indica un pico por encima de la línea base normal del motor del 1255.6%. Este es un incremento extremadamente alto en comparación con el comportamiento esperado o habitual del motor. Esto se relaciona con vibraciones excesivas y anomalías mecánicas detectadas. La ocurrencia se produjo 2 veces durante la operación del motor y el evento se detectó el 5 de diciembre de 2024 a las 4:30 PM.

Una vez etiquetada la desviación detectada, esta se convierte en un riesgo de falla. Para resolver el riesgo de falla detectado, primero se resuelve la falla física en el activo, ya que, si se marca el problema como resuelto y este persiste, "FactoryTalk Analytics Guardia AI" volverá a mostrar la anomalía como un riesgo de falla.

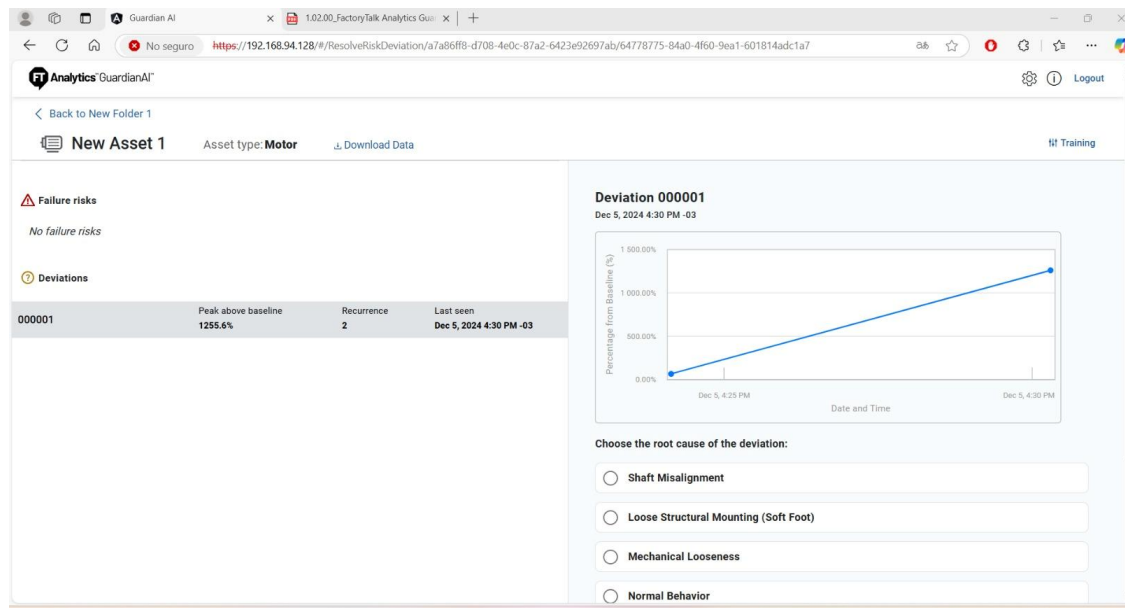


Figura 37. Desviación 1, detectada por la inteligencia artificial.

Todas las anomalías detectadas por el software aparecerán como desviación. Una vez etiquetada la desviación se convierte en un riesgo de falla hasta que se marque y resuelva la falla, además se le pueden asociar recomendaciones en caso de que ocurra nuevamente la misma falla. Si se determina que la falla es producida de acuerdo al comportamiento normal del activo se puede reconocer el patrón detectado como normal.

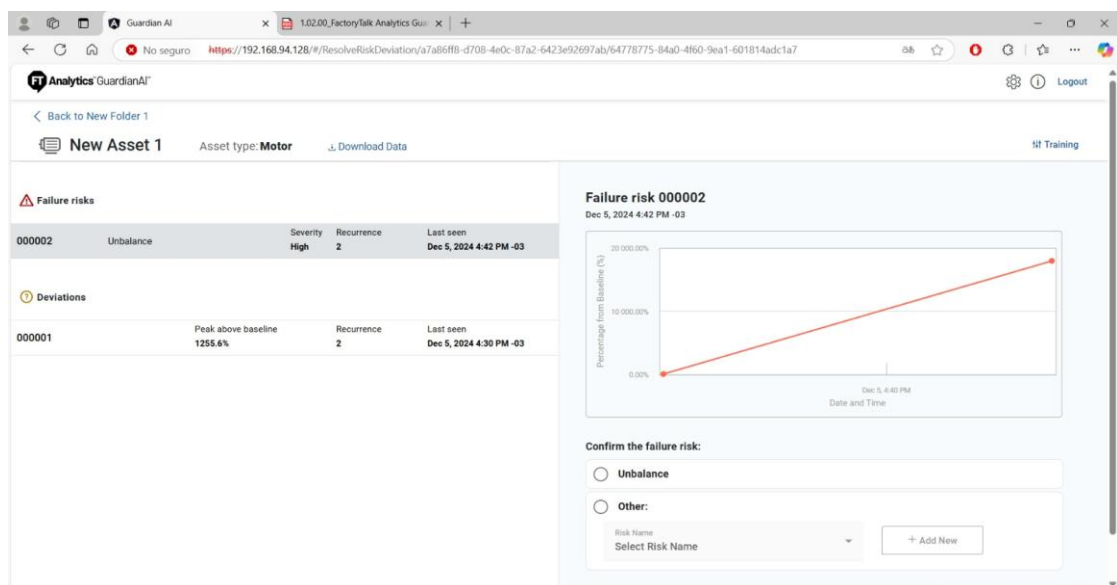


Figura 38. Resolver y confirmar riesgo de falla.

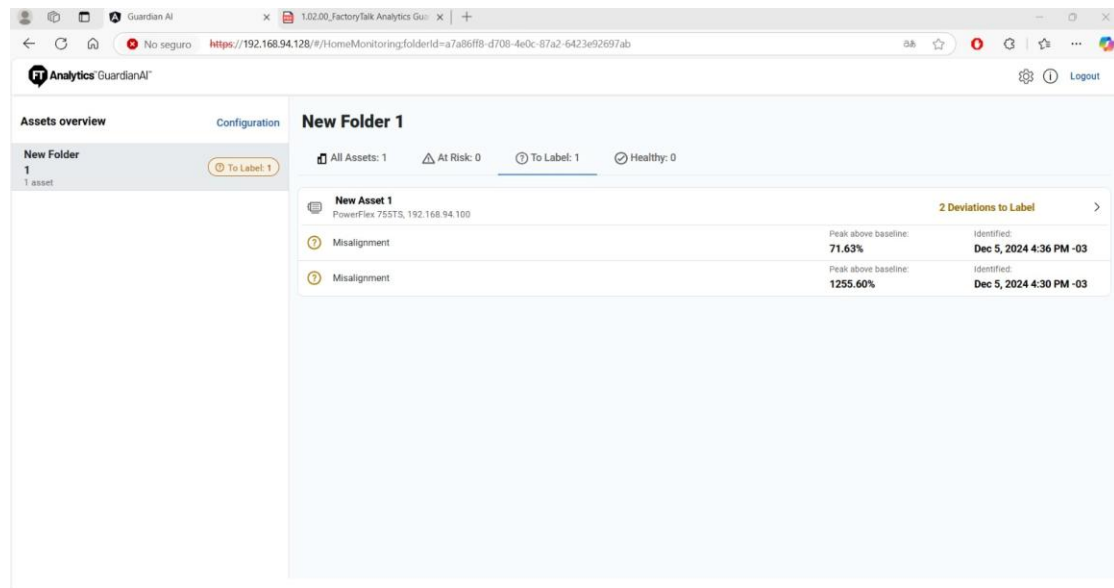


Figura 39. Fallas etiquetadas.

FactoryTalk Analytics Guardian AI utiliza datos de corriente trifásica de alta resolución como entrada y crea una huella digital única (grupo) para la desviación. Las desviaciones que pertenecen al mismo grupo se mostrarán como un conjunto, acompañado de un gráfico que representa cada evento detectado.

Cada punto en el gráfico corresponde a un evento de desviación. Se puede interactuar con el gráfico pasando el cursor sobre un punto específico para examinar detalles adicionales, como el momento en que ocurrió el evento.

4.6 MODO DE FALLA BASADA EN PRIMEROS PRINCIPIOS

Al brindar recomendaciones basadas en primeros principios, algunas frecuencias pueden superponerse, lo que da como resultado múltiples sugerencias generadas por "FactoryTalk Analytics Guardian AI".

Para entender este principio, se analizará el funcionamiento de los motores, ya que "FactoryTalk Analytics Guardian AI" puede diferenciar entre fallas relacionadas con los rodamientos, problemas de montaje, problemas de acoplamiento y la aplicación de carga. Por ejemplo, en el caso de una falla en un cojinete, se verán varias recomendaciones, como fallas en la bola, la pista interior, la pista exterior o la jaula.

En conclusión, el principio de funcionamiento combina el análisis de frecuencias características y el modelado basado en primeros principios para diagnosticar modos de falla específicos en equipos rotativos. Esto permite identificar y diferenciar fallas en componentes críticos como rodamientos, acoplamientos y sistemas de carga, ayudando a reducir tiempos de inactividad y mejorar la eficiencia del mantenimiento



predictivo. Si no se aplica ninguna de las recomendaciones del primer principio, el usuario puede optar por crear una nueva etiqueta donde se puede describir la nueva falla.

4.7 NOTIFICACIÓN DE ALERTAS

“FT Analytics Guardian AI” informa sobre las fallas detectadas mediante notificaciones claras y en tiempo real a través de diversos canales y herramientas. Los métodos más comunes incluyen:

- **Alertas en el HMI o SCADA:** La interfaz del sistema de control muestra mensajes detallados sobre la falla, indicando su naturaleza, gravedad y posibles causas.
- **Notificaciones por correo electrónico:** El sistema puede enviar notificaciones automatizadas con un resumen del problema detectado, permitiendo recibir actualizaciones incluso fuera del sitio.
- **Panel de diagnóstico en tiempo real:** En la plataforma de FT Analytics, se presenta un tablero visual que destaca anomalías, patrones sospechosos y datos históricos para un análisis más profundo.
- **Alertas móviles:** A través de aplicaciones o mensajes SMS, envía información de manera inmediata para garantizar una respuesta rápida.

Estos métodos garantizan actuar de forma proactiva para minimizar los impactos operativos.



CAPÍTULO V

EVALUACIÓN DEL PROYECTO

5. CAPÍTULO V. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA IMPLEMENTACION

5.1 ANÁLISIS DEL IMPACTO EN LA EFICIENCIA OPERATIVA

La implementación de "FactoryTalk Analytics Guardian AI" mejora la eficiencia operativa en la planta. Y lo hace mediante la:

5.1.1 OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO Y MONITOREO EN TIEMPO REAL

- **Eficiencia de la producción:** Con el monitoreo en tiempo real proporcionado por el sistema, se ajusta y optimiza el rendimiento de los equipos según las condiciones operativas, lo que minimiza el tiempo de inactividad no planificado y mejora el flujo de trabajo.
- **Control de calidad:** Al aplicar el análisis predictivo mejora la calidad del producto al identificar variables o condiciones que puedan afectar la producción, permitiendo realizar ajustes preventivos antes de que se presenten fallos.
- **Detección de ineficiencias:** Al identificar las áreas que están operando de manera ineficiente, se optimizan los recursos (energía, personal, equipos) y se reducen desperdicios.

5.1.2 REDUCCIÓN DE ERRORES HUMANOS

- Al usar datos en tiempo real y recomendaciones basadas en IA, los operadores tomarán decisiones informadas, reduciendo la probabilidad de errores humanos y mejorando la consistencia de la producción.

5.1.3 MEJORA DE LA TOMA DE DECISIONES

- **Análisis de datos históricos y en tiempo real:** Las capacidades predictivas del sistema permiten anticipar necesidades operativas, con el fin de optimizar la planificación y minimizar decisiones de último minuto que puedan interrumpir la operación.

5.2 INDICADORES CLAVES DE RENDIMIENTO (KPI)

Los KPI son una herramienta fundamental para medir el impacto de esta tecnología en la operación de la planta. En el caso de la implementación de "FT Analytics Guardian AI", los KPI permiten realizar un seguimiento objetivo y cuantificable de la eficiencia, reducción de tiempos de inactividad y control de costos. A continuación, se presentan algunos de los KPI que se utilizarán en esta evaluación:

5.2.1 KPI 1: REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE INACTIVIDAD

Este indicador mide el tiempo que los equipos están fuera de servicio debido a fallas no planificadas. Ya que, un sistema predictivo como "FT Analytics Guardian AI" permite anticipar fallas y reducir estos tiempos.

"FactoryTalk Analytics Guardian AI" puede reducir el tiempo de inactividad de los equipos entre un 30% y un 50% y aumentar la vida útil de los equipos entre un 20% y un 40%.

- **Tiempo total de inactividad antes de usar la IA:** Durante la producción de azúcar del periodo 2024, los equipos estuvieron inactivos durante 163 horas debido a fallas imprevistas.
- **Tiempo total de inactividad después de usar la IA:** Luego de implementar esta herramienta predictiva, se estima que los equipos estarán en funcionamiento un 30% más de tiempo debido a la predicción de fallos, lo que reduciría las horas de inactividad a 114 horas.

5.2.2 KPI 2: MEJORA DE LA PRODUCCIÓN

Este indicador mide el aumento en la producción total gracias a la reducción de detenciones imprevistas y la optimización de procesos. Con la mejora en la disponibilidad de los equipos, se logra aumentar la producción sin comprometer la calidad.

Para aplicar este KPI, se considera el incremento en la producción debido a la reducción de paros y la mejora en la disponibilidad de los equipos.

- **Producción antes de usar la IA:** La planta cortó en promedio 5700 ton/día de remolacha y produjo en promedio 1080 ton/día de azúcar blanca, considerando un rendimiento de 12% a 17%.
- **Producción después de usar la IA:** Después de la implementación de la IA, gracias a la optimización, se estima que la planta produzca 1240 ton/día de azúcar blanca. Considerando la disponibilidad de los equipos y la reducción de los tiempos de inactividad. Considerando un aumento de un 10% a un 13 % en la producción.

5.2.3 KPI 3: REDUCCIÓN DE COSTOS DE MANTENIMIENTO

Este indicador refleja la disminución de costos asociados a mantenimiento reactivo (emergencias y reparaciones costosas), gracias al mantenimiento predictivo optimizado proporcionado por esta herramienta tecnológica.

Para aplicar este KPI, se consideran los costos de mantenimiento antes y después de la implementación de esta herramienta.

- **Costos de mantenimiento antes de usar la IA:** Los costos mensuales por reparaciones urgentes en promedio son de USD 4.000.
- **Costos de mantenimiento después de usar la IA:** Con la implementación del mantenimiento predictivo, esos costos se estiman disminuirán a USD 2.800 debido a la menor cantidad de reparaciones urgentes.

5.3 ANÁLISIS DE COSTOS Y BENEFICIOS DEL PROYECTO

Los principales costos que presenta la implementación de este proyecto, son los relacionados con la adquisición de esta herramienta y su incorporación como tecnología nueva e innovadora, además de los equipos necesarios para realizar la comunicación efectiva y generar el análisis predictivo. Estos costos se han dividido en categorías para realizar un análisis más detallado:

5.3.1 ADQUISICIÓN DEL SOFTWARE Y HARDWARE

- **Licencias de FactoryTalk Analytics Guardian AI:** \$14.699.157 (USD 15.000).
- **Adquisición de 3 variadores de frecuencia compatibles (PowerFlex 755TS):** \$13.897.569 (USD 14.182) c/u. Total \$41.692.707 (USD 42.546).
- **Mantenimiento de Servidor para virtualización (hardware adicional) y mejora de sus capacidades:** \$ 4.409.747 (USD 4.500).
- **Costos adicionales por sensores o equipos complementarios:** \$ 2.939.831 (USD 3.000).
- **COSTO TOTAL INICIAL:** \$63.741.442 (USD 65.015).

5.3.2 INSTALACIÓN, CONFIGURACIÓN Y CAPACITACIÓN

- **Horas de trabajo de ingeniería (120 horas x USD 50/hora):** \$ 5.800.000 (USD 5.918).
- **Capacitación del personal (8 horas x USD 38/hora x 9 personas):** \$2.640.000 (USD 2.694).
- **TOTAL, COSTOS DE INSTALACIÓN Y CAPACITACIÓN:** \$8.440.000 (USD 8.612).



BALANCE DE COSTO INICIAL FIJO					
ADQUISICIÓN DE SOFTWARE Y HARDWARE				Total costos de adquisición	
Item	Cantidad	Costo	Costo total	\$63.741.442	
Licencia del software	1	\$14.699.157	\$14.699.157		
VDF PowerFlex 755TS	3	\$13.897.569	\$41.692.707		
Mantenimiento servidor	1	\$4.409.747	\$4.409.747		
Sensores	1	\$2.939.831	\$2.939.831		
INSTALACIÓN, CONFIGURACIÓN Y CAPACITACIÓN				Total costos de instalación y capacitación	
Cargo	Nº de puestos	Horas utilizadas	Valor de la hora	Rem. unitaria	Rem. Total
Ingeniero de Control	1	120	\$48.333	\$1.450.000	\$5.800.000
Técnicos Mantenedores	8	9	\$36.667	\$1.100.000	\$2.640.000
TOTAL					\$8.440.000
COSTO TOTAL INICIAL					
TOTAL		\$72.181.442			

Figura 40. Inversión inicial.

5.3.3 ESTIMACIÓN DE COSTOS OPERATIVOS – MANTENIMIENTO ANUAL

- **Renovación de licencias:** \$3.919.775/año (USD 4.000/año).
- **Soporte técnico y actualizaciones del software:** \$2.939.831/año (USD 3.000/año).
- **Mantenimiento del hardware (3% del costo inicial):** \$1.911.343/año (USD 2.000/año).
- **COSTO OPERATIVO ANUAL ESTIMADO:** \$8.770.949 (USD 8.950/año).

COSTOS DE MANTENCIÓN	
Costo anual	Precio plan anual
Renovación de licencia de software	\$ 3.919.775
Soporte técnico Rockwell Automation	\$ 2.939.831
Mantenimiento de hardware	\$ 1.911.343
TOTAL ANUAL	\$ 8.770.949

Figura 41. Costos de mantenimiento anual.

5.3.4 BENEFICIOS ECONÓMICOS PROYECTADOS

La implementación de "FactoryTalk Analytics Guardian AI", promete generar un impacto económico positivo para la planta azucarera. Estos beneficios se derivan de la capacidad del sistema para predecir fallas, optimizar el mantenimiento y reducir los tiempos de inactividad no planificados, lo que mejora tanto la productividad como la eficiencia operativa. A continuación, se detallan los beneficios económicos más destacados:

5.3.5 REDUCCIÓN DE COSTOS DE MANTENIMIENTO (KPI 1 Y 3)

- **Ahorro en fallas críticas evitadas (estimado 80%):** \$23.518.651/año (USD 24.000/año).
- **Reducción de costos de intervención urgente y tiempos de inactividad (estimado 30%):** \$14.111.190 /año (USD 14.400/año).

5.3.6 MINIMIZACIÓN DE TIEMPOS DE INACTIVIDAD (KPI 2)

- **Producción no interrumpida (2 días menos de paros x USD 10.000/día):** \$19.598.876/año (USD 20.000/año).

5.3.7 EXTENSIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE EQUIPOS (KPI 3)

- **Ahorro en reemplazo de equipos (20% menos):** \$9.799.438 (USD 10.000/año).

BENEFICIOS ECONÓMICOS PROYECTADOS	
ITEM	Precio plan anual
Ahorro en fallas evitadas	\$ 23.518.651
Reducción de costos de intervención	\$ 14.111.190
Producción no interrumpida (2 días/año)	\$ 19.598.876
Ahorro en reemplazo de equipos	\$ 9.799.438
TOTAL ANUAL	\$ 67.028.155

Figura 42. Beneficios proyectados.

5.4 RESULTADO DE ANÁLISIS ECONÓMICO

Una vez identificados, medidos y calculados los beneficios y costos relevantes del proyecto, lo siguiente es estimar el flujo de beneficios neto que otorgará el nuevo sistema en el tiempo. Por lo que se realiza una evaluación económica del proyecto para ratificar la rentabilidad del mismo.

Para realizar estos cálculos se utiliza la tasa de descuento "r" de la empresa, es decir que como la empresa rentó en promedio los últimos 5 años un 15% anual, este valor se ocupa para representar la mejor alternativa de inversión.

Respecto al periodo de evaluación, se estima en base a una proyección de 5 años considerando principalmente la disponibilidad de cambios tecnológicos y el aporte de nuevos activos y tecnologías en la planta.

5.4.1 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

INVERSIÓN INICIAL						
<i>Adquisición del software y hardware</i>		\$63.741.442			<i>Impuesto</i>	27%
<i>Instalación, configuración y capacitación</i>		\$8.440.000			<i>Inversión</i>	-72.181.442
<i>Inversión Inicial Total</i>		\$72.181.442				
Año	1	2	3	4	5	
Beneficios proyectados	\$67.028.155	\$67.028.155	\$67.028.155	\$67.028.155	\$67.028.155	
Mantenimiento	\$8.770.949	\$8.770.949	\$8.770.949	\$8.770.949	\$8.770.949	
FLUJO DE CAJA NETO						
	0	1	2	3	4	5
<i>Inversión</i>	-72.181.442					
<i>Ingresos por ventas</i>		\$67.028.155	\$67.028.155	\$67.028.155	\$67.028.155	\$67.028.155
<i>Mantenimiento</i>		\$8.770.949	\$8.770.949	\$8.770.949	\$8.770.949	\$8.770.949
<i>UAI</i>		58.257.206	58.257.206	58.257.206	58.257.206	58.257.206
<i>Impuesto</i>		15.729.446	15.729.446	15.729.446	15.729.446	15.729.446
<i>U. Neta</i>		42.527.760	42.527.760	42.527.760	42.527.760	42.527.760
FCN (flujo caja neto)	\$ -72.181.442	\$ 42.527.760	\$ 42.527.760	\$ 42.527.760	\$ 42.527.760	\$ 42.527.760
<i>VAN</i>	\$70.378.207					
<i>TIR</i>	52%					
<i>r</i>	15,00%					

Figura 43. Valor actual neto (VAN).

Al observar el resultado obtenido, se puede concluir que el proyecto arroja un VAN positivo de \$70.378.207 con una tasa de interés anual de 15%, por ende, desde la perspectiva económica y en función de los cálculos realizados, se puede concluir que es un proyecto recomendable y que puede influir de buena manera para implementarlo a gran escala.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6. CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La implementación del sistema de análisis predictivo "FactoryTalk Analytics Guardian AI" es una solución efectiva para anticipar fallas en equipos críticos dentro de la planta azucarera, optimizando la continuidad operativa y reduciendo los tiempos de inactividad no planificados. Este enfoque, basado en inteligencia artificial y aprendizaje automático, permite una toma de decisiones más informada y oportuna, lo que mejora significativamente la planificación y distribución de los recursos.

Además, el proyecto demuestra que se pueden reducir costos asociados a reparaciones inesperadas y aumentar la vida útil de los equipos, alineándose con objetivos de sostenibilidad y eficiencia operativa. La integración de esta tecnología representa un avance hacia la transformación digital, situando a la planta en un contexto moderno de Industria 4.0. Asimismo, la documentación detallada del procedimiento asegura que la metodología pueda replicarse y extenderse a otros equipos en el futuro, fortaleciendo la capacidad de la planta para adaptarse a desafíos tecnológicos.

Se sugiere expandir el uso del sistema "FT Analytics Guardian AI" a otros equipos claves de la planta para maximizar sus beneficios en términos de monitoreo y predicción de fallas. Es crucial continuar con la capacitación del personal para garantizar un uso óptimo y actualizado del sistema, además de realizar evaluaciones periódicas que permitan ajustar los modelos predictivos según las necesidades operativas.

También es recomendable actualizar la infraestructura de aquellos equipos que no cumplan con los requerimientos técnicos para operar de manera nativa con el sistema, lo que asegurará un rendimiento óptimo y uniforme. Por último, sería beneficioso explorar tecnologías complementarias que potencien la eficiencia y el alcance de las capacidades actuales del sistema, como herramientas avanzadas de monitoreo o integración con soluciones de IoT.



BIBLIOGRAFÍA

Tecnología Azucarera de Remolacha, volumen 3.
Producción: Gerencia de Operaciones Industriales y IANSA S.A., 1996.
Autor: Antonio Awad F.

Página Web Empresas Iansa
<http://www.empresasiansa.cl>

Allen Bradley
<http://www.ab.com>

Autómatas programables y Sistemas de Automatización
Segunda edición, septiembre de 2009.
Autores: Enrique Mandado Pérez, Jorge Marcos Acevedo, Celso Fernández Silva,
José I. Armesto Quiroga.

Automatización Industrial
Autor: Roberto Sanchiz Llopis