

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
INFORMÁTICA Y MECÁNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA LA
INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MONITOREO Y CONTROL
DEL PROYECTO CMOP DE UNA UNIDAD MINERA DE
EXTRACCIÓN DE ORO-2024**

PRESENTADO POR:

Br. RODRIGO ARRIAGA TARQUI

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

ASESOR:

MSc. LUIS JIMÉNEZ TRONCOSO

CUSCO – PERÚ

2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA LA INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MONITOREO Y CONTROL DEL PROYECTO CMOP DE UNA UNIDAD MINERA DE EXTRACCIÓN DE ORO - 2024"

Presentado por: RODRIGO ARRIAGA TARQUI DNI N° 72164970

presentado por: DNI N°:

Para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Electrónico

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 6 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 08 de Setiembre de 2025

Firma

Post firma..... Luis Jiménez Troncoso

Nro. de DNI..... 08275751

ORCID del Asesor..... 0000-0001-6414-9742

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 87259:487412835

Rodrigo Arriaga Tarqui

Tesis Rodrigo Arriaga v6.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco



Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:487412835

Fecha de entrega

27 ago 2025, 6:59 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

27 ago 2025, 7:22 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

Tesis Rodrigo Arriaga v6.pdf

Tamaño del archivo

6.3 MB

152 páginas

25.332 palabras

140.483 caracteres

6% Similitud general



El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Trabajos entregados

Fuentes principales

- 6% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

- Caracteres reemplazados**
36 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Presentación

En nuestra coyuntura, muchas de las industrias y empresas que usan sistemas automatizados no visualizan todos los datos que generan sus procesos, el principal motivo de esto es la comunicación entre diferentes fabricantes de autómatas. Para enfrentar este desafío, este proyecto de ingeniería propone un sistema SCADA con arquitectura cliente – servidor que gestiona la información de diferentes fuentes y fabricantes para mostrar el proceso en tiempo real a múltiples clientes en estaciones de trabajo, asimismo, almacena la información en un servidor de base de datos dedicado. El sistema utiliza el software Ignition para gestionar el proyecto, comunicar el servidor principal con los autómatas del fabricante Siemens y Rockwell Automation mediante tecnología OPC-UA, desarrollar un sistema SCADA en ordenadores con el módulo Vision y almacenar los datos en SQL Server.

Dedicatoria

Este proyecto va dedicado a mi madre Silvia Tarqui Ayala, quien con perseverancia y esfuerzo me enseñó que ningún obstáculo es más grande que uno mismo, a mi abuelo, Mauro Tarqui Chacón, quien me demostró que la fortaleza va más allá que la fuerza en nuestras manos, a mi padre, Cesar Arriaga Tomaylla, quien me enseñó a aprender de los errores y siempre ir en busca de lo que anhelo, y a mis hermanos, Sebastián Arriaga Tarqui y Camila Arriaga Tarqui, quienes compartieron el mismo sueño y vehemencia por ser profesionales mejor capacitados.

Agradecimientos

Deseo hacer explícito mi agradecimiento a las personas que aportaron significativamente para el desarrollo de este proyecto de tesis.

En primer lugar, agradezco el compromiso, paciencia y lucidez académica que mi asesor, MSc. Luis Jiménez Troncoso, me brindó durante el desarrollo de este proyecto de tesis. Agradezco también la contribución de conocimiento y experiencia a mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica.

A mis jefes y amigos Luis Llerena y Melvin Acuña por guiarme en el camino de la automatización industrial y brindarme su experiencia en la industria minera y cervecera. Finalmente, a todas las personas involucradas en mi crecimiento personal y profesional que me motivaron y orientaron para culminar la presente tesis.

Resumen

Para el desarrollo de este proyecto de ingeniería se recogieron los requerimientos que el sistema SCADA debía cumplir, luego, se hizo un estudio para determinar la cantidad y el tipo de dispositivos involucrados en el proyecto, con esto se verificó el direccionamiento IP de cada dispositivo y se visualizaron las topologías de red existentes por cada área de trabajo. Además, se evaluó el software desarrollador que gobernaría el servidor principal del proyecto, contrastándose las características de software de los fabricantes más comerciales y su evaluación económica.

Todo esto permitió que se estandarizaran bloques de control para manejar la misma estructura de datos en los diferentes autómatas, facilitando la comunicación del servidor principal del proyecto con los diferentes autómatas y la base de datos elegida. Gracias a esto, se crearon UDTs, templates y faceplates para llevar a cabo la arquitectura del sistema SCADA.

Con todo esto culminado, se implementó y probó el sistema SCADA en una sala de control de la empresa y se recogieron datos del proceso. Esto hizo que las horas de detención se redujeran al 21,927% respecto a la situación anterior a la implementación del sistema SCADA y en los meses siguientes al 8,830%.

Palabras clave: Sistema SCADA, UDTs, faceplates, reducción.

Abstract

For the development of this engineering project, the requirements that the SCADA system had to meet were gathered. Subsequently, a study was conducted to determine the number and type of devices involved in the project. This allowed for the verification of the IP addressing of each device and the visualization of the existing network topologies for each work area. Additionally, the software responsible for managing the project's main server was evaluated by comparing the software characteristics of the most commercially available manufacturers and conducting an economic assessment.

All this enabled the standardization of control blocks to handle the same data structure across different PLCs, facilitating communication between the project's main server, the various PLCs, and the selected database. As a result, UDTs, templates, and faceplates were created to implement the SCADA system architecture.

Once this process was completed, the SCADA system was deployed and tested in a company control room, and process data was collected. This implementation led to a reduction in downtime by 21,927% compared to the pre-SCADA system scenario and further decreased to 8,830% in the following months.

Keywords: SCADA system, UDTs, faceplates, reduction.

Introducción

En este proyecto se ha diseñado e implementado un sistema SCADA haciendo uso del software Ignition de Inductive Automation. El principal objetivo fue dar solución a la falta de integración entre dispositivos y un sistema de control ya existente en la empresa, de manera que se pudiera tomar decisiones del proceso en tiempo real. El proyecto se ha dividido en seis capítulos que cubrieron su desarrollo.

En el primer capítulo se dieron a conocer aspectos generales del proyecto, haciendo énfasis en la relevancia de integrar estos sistemas y abordando los problemas que esto trae consigo. Asimismo, se justificaron y definieron objetivos para exponer el alcance y limitaciones que tendrá el proyecto con la metodología planteada.

En el segundo capítulo se introdujo el marco teórico que respalda un mejor entendimiento de las tecnologías usadas para el desarrollo del sistema SCADA. Se mencionaron las fuentes encontradas que comparten algunos objetivos y metodologías.

En el tercer capítulo se mostraron aspectos de hardware y software existentes en la empresa.

En el cuarto capítulo se detallaron los lineamientos requeridos, así como el diseño e implementación del sistema SCADA, profundizando en la comunicación y distribución del sistema SCADA.

En el quinto capítulo se muestran los costos y presupuestos de las soluciones planteadas a la empresa, correspondiendo a licencias y hardware relacionado con estas.

Por último, en el sexto capítulo se presentan los resultados de las pruebas realizadas al sistema SCADA.

Este proyecto tiene como finalidad la integración de diferentes fabricantes de autómatas y dispositivos en un sistema SCADA que supervise y controle de manera síncrona, forjando las bases para un desarrollo con tecnologías de la industria 4.0 en nuestro país.

Glosario de términos

Lixiviación: Separación de minerales haciendo uso de soluciones.

Ignition: Software de desarrollo.

Wonderware: Software de desarrollo.

PAD: Área preparada para mineral a lixiviar.

Merril Crowe: Proceso de recuperación de oro.

MES: Manufacturing Execution System.

POMC: Proyecto de Optimización de Minerales Carbonosos.

Industria 4.0: Cuarta Revolución Industrial.

SCADA: Supervisión, Control y Adquisición de Datos.

HMI: Interfaz hombre máquina.

Scrubber: Tambor lavador.

Ball Mill: Molino de bolas.

VLAN: Virtual LAN.

UTP: Par trenzado no cubierto.

RJ45: Conector de Ethernet.

UMC: Controlador Universal de Motor.

PSTX: Arrancador de motor.

VF-AS3: Variador de frecuencia.

MV2: Variador de frecuencia.

Índice general

Presentación.....	ii
Agradecimientos.....	iv
Resumen	v
Abstract.....	vi
Introducción.....	vii
Glosario de términos.....	viii
Índice general	ix
Índice tablas.....	xv
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES	1
1.1 Descripción del Problema.....	1
1.2 Formulación del Problema.....	4
1.2.1 General.....	4
1.2.2 Específicos.....	5
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 General.....	5
1.3.2 Específicos.....	5
1.4 Justificación	5
1.5 Alcances.....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Estado del Arte	7
2.1.1 Internacional	7
2.1.2 Nacional.....	7
2.2 Fundamentos Teóricos	9
2.2.1 Sensor	9
2.2.2 Actuador	9
2.2.3 Controlador Lógico Programable	10
2.2.4 Sistema SCADA.....	10
2.2.5 ISA 101	12
2.2.6 Ciberseguridad en Sistemas SCADA	15
2.2.7 Comunicaciones Industriales en Minería	17
2.2.8 OPC (OLE for Process Control).....	18
2.2.9 MODBUS TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)	19
2.2.10 Base de Datos	20

2.2.11	Software Ignition	20
2.2.12	Integración de Sistemas Heterogéneos	25
2.2.13	UDT en Ignition.....	27
2.2.14	Template en Ignition	27
2.2.15	Faceplate en Ignition	28
2.2.16	Python en Ignition	29
2.2.17	Herencia en Ignition	31
CAPÍTULO III: SISTEMA EXISTENTE		34
3.1	Precedentes	34
3.1.1	Protocolos de Comunicación de Dispositivos de Campo	34
3.1.2	Redes por Área de Trabajo	35
CAPÍTULO IV: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL NUEVO SISTEMA.....		39
4.1	Requerimientos del Proyecto.....	40
4.1.1	Comunicación del Sistema SCADA.....	40
4.1.2	Sistema SCADA.....	40
4.1.3	Implementación en Centro de Control.....	41
4.2	Diseño.....	41
4.2.1	Arquitectura de Comunicación	41
4.2.2	Software.....	44
4.2.3	Hardware	46
4.3	Bloques de Programación.....	46
4.3.1	Rockwell Automation	46
4.3.2	Siemens.....	47
4.4	Desarrollo en Ignition.....	47
4.4.1	UDT	47
4.4.2	Template	48
4.4.3	Faceplate.....	49
4.4.4	Creación de Variables de Interés	50
4.4.5	Distribución de Sistema SCADA	50
4.5	Almacenamiento de Datos.....	61
CAPÍTULO V: COSTOS Y PRESUPUESTO		62
CAPÍTULO VI: PRUEBAS Y RESULTADOS		64
6.1	Pruebas	64
6.2	Resultados.....	67
CONCLUSIONES.....		71

RECOMENDACIONES 72
REFERENCIAS 73

Índice figuras

Figura 1.	Ubicación donde se desarrolló el proyecto de ingeniería	1
Figura 2.	Distribución por áreas del POMC	2
Figura 3.	Buena práctica para presentación de información.....	13
Figura 4.	Ejemplo planteado por el estándar ISA101	13
Figura 5.	Comparativa en uso de estándar ISA101.....	14
Figura 6.	Interrelaciones según ISA 101	15
Figura 7.	Prestaciones de software Ignition.....	21
Figura 8.	Arquitectura Single Server - Single Site en Ignition	21
Figura 9.	Gateway de Ignition.....	23
Figura 10.	Autenticación del usuario	24
Figura 11.	Módulos de Ignition	25
Figura 12.	Interfaz para crear una UDT en Ignition	27
Figura 13.	Plantilla creada para motores en el software Ignition.....	28
Figura 14.	Ejemplo de faceplate generado para sensor de nivel en Ignition	29
Figura 15.	Interfaz de Script Python en Ignition para un botón.....	31
Figura 16.	Herencia de objetos en Ignition	32
Figura 17.	Distribución geográfica de implementación del proyecto.....	34
Figura 18.	Redes virtualizadas existentes en la empresa	35
Figura 19.	Topología de red de sistema de control del Scrubber área uno	36
Figura 20.	Topología de red de sistema de control del Ball Mill área uno	36
Figura 21.	Topología de red de sistema de control del Espesador área uno	37
Figura 22.	Topología de red del área dos	37
Figura 23.	Topología de red del área tres.....	38
Figura 24.	Redes virtualizadas actuales en la empresa	39
Figura 25.	Arquitectura de control considerando solo controladores en VLAN 4 ..	40
Figura 26.	Arquitectura de comunicación para el sistema SCADA	42
Figura 27.	Alcance del proyecto de ingeniería en la pirámide de la automatización	43
Figura 28.	Diseño de template en Ignition.....	48
Figura 29.	Diseño de faceplate en Ignition	49
Figura 30.	Árbol de navegación de sistema SCADA.....	51
Figura 31.	Distribución General del área uno del sistema SCADA	52
Figura 32.	Distribución de Scrubber del área uno del sistema SCADA.....	53
Figura 33.	Distribución del Ball Mill del área uno del sistema SCADA.....	54
Figura 34.	Distribución del Espesador del área uno del sistema SCADA.....	55

Figura 35.	Distribución General del área dos del sistema SCADA	56
Figura 36.	Distribución General del área tres del sistema SCADA.....	57
Figura 37.	Distribución de los Filtros Prensa del área tres del sistema SCADA.....	58
Figura 38.	Distribución del Espesador del área tres del sistema SCADA	59
Figura 39.	Distribución de la planta de Floculante del área tres del sistema SCADA 60	
Figura 40.	Creación de tablas en Microsoft SQL Server Management Studio.....	61
Figura 41.	Implementación del sistema SCADA en la sala de control de la empresa 64	
Figura 42.	Alarmas del área tres del sistema SCADA	65
Figura 43.	Interfaz de HMI del operador para scrubber	66
Figura 44.	Cantidad de horas de parada por mes del POMC	67
Figura 45.	Análisis acotado de horas de parada del POMC.....	68
Figura 46.	Add-On de tipo AOI_AIN para un sensor de nivel analógico.....	105
Figura 47. alta	Add-On de tipo AOI_DI para un sensor discreto de presión diferencial 105	
Figura 48.	Add-On de tipo AOI_ValveSO para una válvula con solenoide	106
Figura 49.	Add-On de tipo AOI_Motor para una bomba.....	107
Figura 50.	Add-On de tipo AOI_VSD para una bomba.....	107
Figura 51.	Add-On de tipo AOI_PSTX para un agitador	109
Figura 52.	Add-On de tipo AOI_UMC100 para una bomba.....	110
Figura 53.	Add-On de tipo AOI_VFAS3 para una bomba.....	112
Figura 54.	Add-On de tipo AOI_PIDE para control de nivel	113
Figura 55.	Add-On de tipo P_Perm para faja transportadora	113
Figura 56.	Add-On de tipo P_Intlk para faja transportadora	114
Figura 57.	UDFB de tipo AOI_AIN en CCW para un sensor de nivel analógico ..	116
Figura 58.	UDFB de tipo RA_PFx_ENET_STS_CMD en CCW para comunicar con un variador PowerFlex 525	116
Figura 59. espesador	UDFB de tipo Calc_Torque en CCW para la unidad hidráulica del 117	
Figura 60. presión	FB de tipo RUS_AIn en TIA PORTAL V17 para sensor analógico de 119	
Figura 61.	FB de tipo RUS_MOTOR en TIA PORTAL V17 para una bomba.....	120
Figura 62.	FB de tipo RUS_VALVE en TIA PORTAL V17 para una válvula.....	121
Figura 63.	FB de tipo RUS_Intlk en TIA PORTAL V17 para una bomba.....	121
Figura 64.	FB de tipo RUS_Perm en TIA PORTAL V17 para un motor.....	122

Figura 65.	FB de tipo GET en TIA PORTAL V17 para comunicación con otro PLC	123
Figura 66.	FB de tipo PUT en TIA PORTAL V17 para comunicación con otro PLC	123
Figura 67.	FB de tipo MB_CLIENT en TIA PORTAL V17 para comunicación con otro PLC	124
Figura 68.	FB de tipo RUS_RS469 en TIA PORTAL V17 para el relé RS469	125
Figura 69.	Configuración de driver Siemens S7-1500 en Gateway Ignition	126
Figura 70.	Configuración de driver Allen Bradley Logix en Gateway Ignition	127
Figura 71.	Configuración de driver Modbus TCP en Gateway Ignition.....	127
Figura 72.	Configuración de driver Allen Bradley Logix en Gateway Ignition	128
Figura 73.	Configuración de driver Allen Bradley Logix en Gateway Ignition	129
Figura 74.	Configuración de driver Allen Bradley Logix en Gateway Ignition	129
Figura 75.	Configuración de driver Allen Bradley Logix en Gateway Ignition	130
Figura 76.	Configuración de driver Modbus TCP en Gateway Ignition.....	131
Figura 77.	Tendencias de evento de parada de Scrubber del 07/12/2023	132
Figura 78.	Tendencias de evento de parada de Scrubber del 05/01/2024	133
Figura 79.	Tendencias de evento de parada de Scrubber del 31/01/2024	134
Figura 80.	Configuración de conexión con base de datos en el Gateway de Ignition	135
Figura 81.	Estado de conexión de base de datos en Gateway de Ignition	136
Figura 82.	Creación de tablas en Microsoft SQL Server Management Studio.	136
Figura 83.	Configuración de tags vinculados al grupo de transacción Ball Mill en Designer	137
Figura 84.	Consulta de tabla Ball Mill mediante el DataBase Query Browser de Designer	137

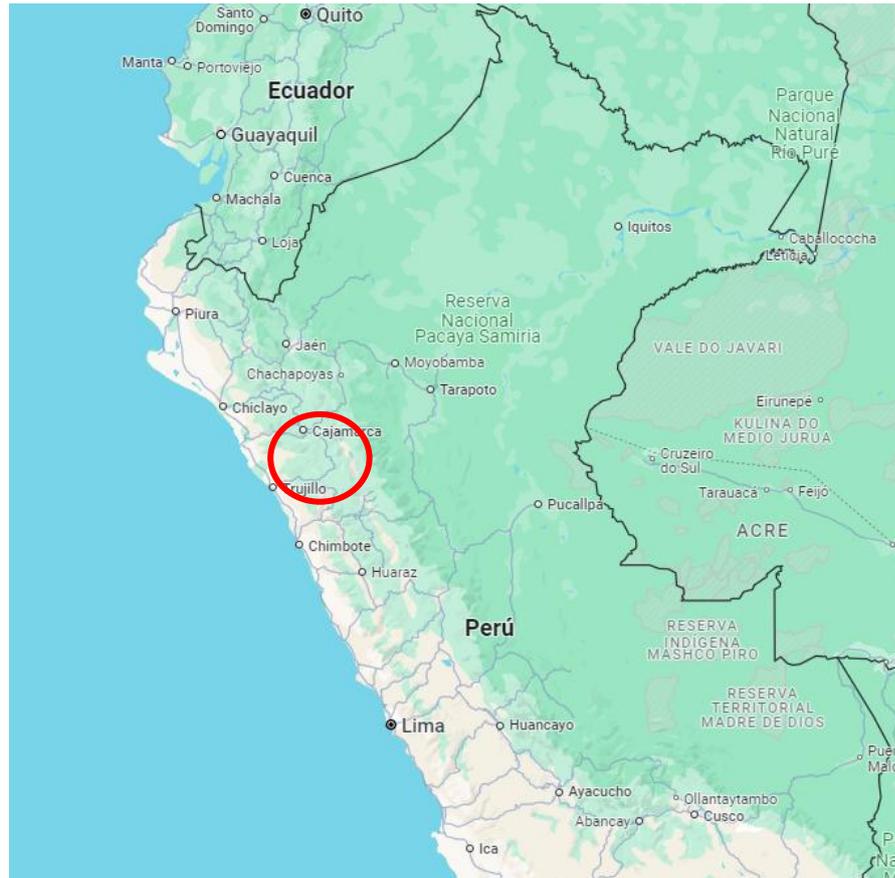
Índice tablas

Tabla 1.	Resumen de características del servidor tipo rack físico.....	38
Tabla 2.	Requisitos para el sistema SCADA	40
Tabla 3.	Comparación de principales desarrolladores de sistemas SCADA (Castillo Sierra, 2012)	44
Tabla 4.	Resumen de características del servidor virtualizado de Ignition	46
Tabla 5.	Cotización del presente proyecto de ingeniería.....	62
Tabla 6.	Cotización planteada por una contratista para la misma integración del POMC 62	
Tabla 7.	Cantidad de horas de parada y estimación de montos por mes	70
Tabla 8.	Estados del motor para un Add-On tipo AOI_PSTX.....	108
Tabla 9.	Estados del motor para un Add-On tipo AOI_UMC100	110
Tabla 10.	Estados del motor para un Add-On tipo AOI_VFAS3	111

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

La unidad minera se encuentra en el distrito de Quiruvilca en la provincia de Santiago de Chuco, departamento de La Libertad, a 141 km al este de la ciudad de Trujillo, Perú.

Figura 1. *Ubicación donde se desarrolló el proyecto de ingeniería*



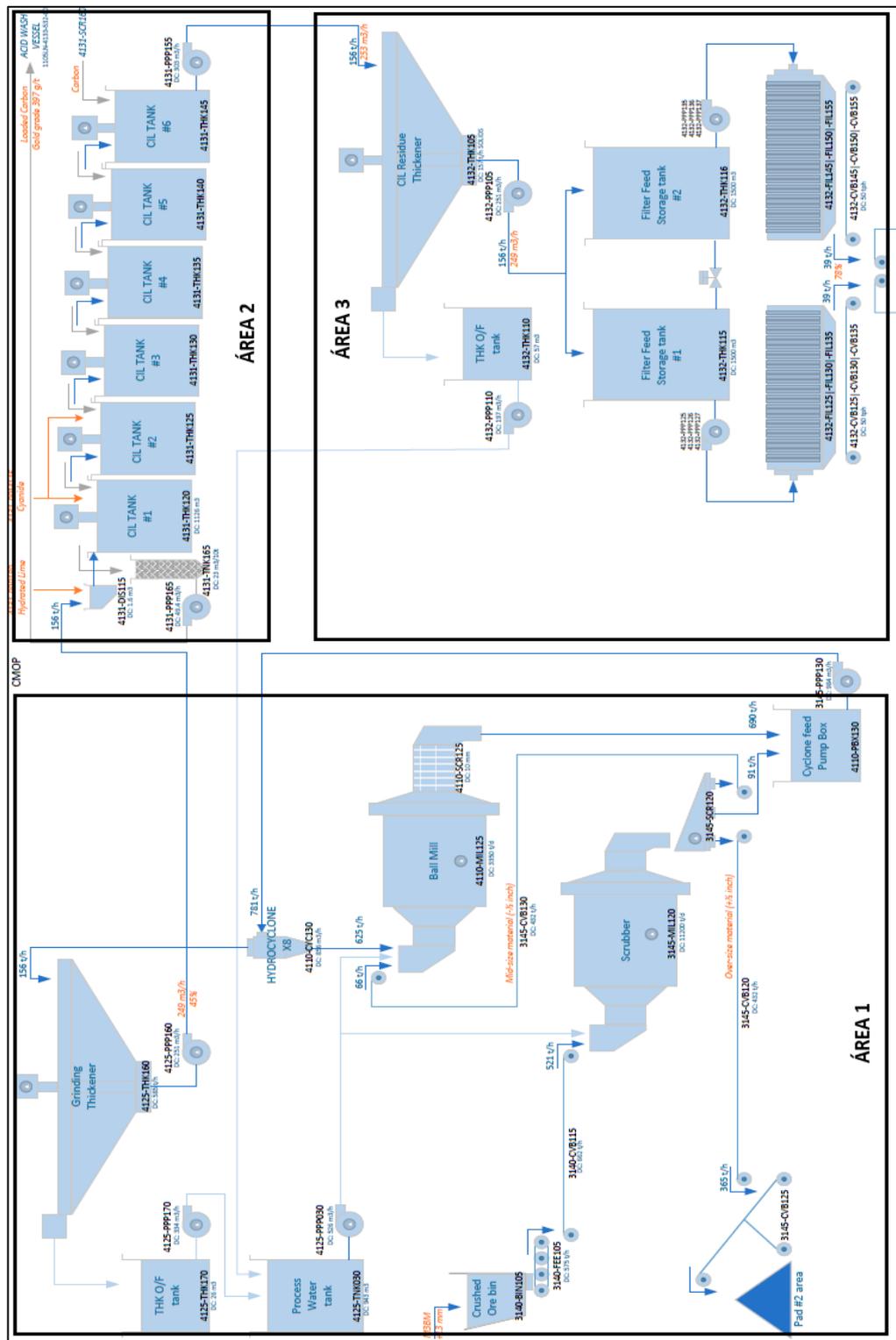
Adaptado de (Google, 2025b)

1.1 Descripción del Problema

La empresa opera en una mina de oro de tajo abierto de mediana minería (Osinermin, 2021). Procesa sus minerales con tecnología conocida como lixiviación en pilas. Con miras a extender su vida útil hasta el 2030, la empresa inició con la construcción de la infraestructura del Proyecto de Optimización de Minerales Carbonosos (POMC por sus siglas en español) o Carbonaceous Material Optimization Project (CMOP por sus siglas en inglés), en este trabajo se prefiere el acrónimo en español, que hace posible la recuperación de oro con carbón activado en un proceso llamado Carbon in Column (CIC). El POMC se divide en tres áreas:

Sistema de Clasificación de Carbono (CCS), Circuito de Carbono en Lixiviación (CIL) y Filtrado de Residuos (CIL Residue) (Vargas, 2013). En la siguiente figura se muestra la distribución por áreas del POMC.

Figura 2. Distribución por áreas del POMC



Adaptado de documentación POMC

El proceso del POMC empieza en el área uno (CCS), donde el material extraído del minado se clasifica según su tamaño para posteriormente ser llevado mediante fajas transportadoras a un tambor lavador conocido como Scrubber, aquí se mezcla el mineral con una solución que facilita el proceso. El mineral proveniente del Scrubber sigue su camino mediante fajas transportadoras hasta llegar al Molino de Bolas conocido como Ball Mill, aquí se reduce el tamaño del mineral significativamente, luego de esto, el mineral pasa por un nido de ciclones en el que se deja pasar a la siguiente etapa los minerales con menor tamaño y el excedente regresa al Ball Mill, finalmente, queda una pulpa con alta ley que es conducida al Espesador de molienda conocido como Thickener para poder extraer la mayor cantidad de agua, en este proceso se hace uso de una solución de agua y floculante para sedimentar sólidos y recuperar agua de proceso mediante rebose (Vargas, 2013).

Toda esta pulpa con alta ley se bombea hasta el área dos (CIL) donde se encuentran seis tanques en los que la pulpa de alta ley va pasando uno a uno en contra corriente a una solución con carbón activado y químicos, la pulpa con alta ley empieza en el tanque número seis y termina como pulpa de baja ley en el tanque número uno, siendo bombeada desde este tanque hasta el área tres (CIL Residue), mientras que todo el carbón activado que contiene el mineral de alta ley es enviado a la planta de CIC para su tratamiento y obtención de las barras doré (barras de oro) (Vargas, 2013).

La pulpa de baja ley enviada del área dos (CIL) llega al Espesador conocido como Thickener del área tres (CIL Residue) y se utiliza el mismo principio que en el espesador del área uno (CCS), donde se aplica una solución con floculante para la sedimentación de sólidos y así recuperar agua de proceso por rebose, mientras que la pulpa sedimentada es enviada a tanques de almacenamiento de pulpa, estos tanques sirven para alimentar los Filtros Prensa, donde se extrae lo último de agua de proceso y el material restante recibe el nombre de queques sólidos, que son enviados a los PADs para iniciar con el proceso de lixiviación (Vargas, 2013).

En abril del 2023, finalizada la etapa de construcción de la infraestructura del POMC, se quiso iniciar con la producción de minerales, sin embargo, el retraso en la llegada de los equipos de automatización ocasionaría un retraso del inicio de

operaciones. Por esto, el área de control y automatización contrató a una empresa que implementó una solución temporal para iniciar con la producción de minerales del POMC. Esta solución implementó PLCs y arquitecturas de comunicación, contemplando el uso del fabricante Siemens para los controladores y Profinet como protocolo de comunicación. Adicionalmente, la empresa contratista siguió un criterio de programación no usado por la unidad minera.

Con ésta se usan distintas marcas de controladores, protocolos de comunicación y estándares que no son utilizados en la planta. Esto generó dificultades para la supervisión, comunicación y control de las tres áreas del POMC, que ocasionó un incremento en los tiempos de detención y por lo tanto la disminución de su productividad.

El personal del área de control y automatización se encarga de brindar soporte a la planta en temas como instrumentación, comunicación y automatización de procesos, sin embargo, las dificultades mencionadas obligan al personal a ingresar al servidor que contiene el software de cada controlador y dar seguimiento a toda la lógica involucrada para hallar el origen del problema y así poder gestionar una solución. Asimismo, el operador del proceso se encarga de monitorear, operar y tomar datos periódicamente de la planta, esto último ocupa gran parte de su turno por las dificultades mencionadas.

Finalmente, el área de gestión de proyectos de la empresa tomó la decisión de conservar esta solución temporal, convirtiéndola en permanente para el POMC por encontrar complejidad y pérdidas económicas en una migración del sistema de control.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 General

La implementación de la solución temporal en el POMC utiliza diversas marcas de controladores, por lo que el uso de diferentes protocolos de comunicación (EtherNet/IP y Profinet) genera incompatibilidad de datos por la manera en que cada protocolo los gestiona en la capa de aplicación, esto genera dificultad para la supervisión y control de las tres áreas del POMC al no poder enviar datos directamente desde un controlador a otro, y ocasiona un mayor tiempo de parada

del POMC cuando se realizan mantenimientos o se tienen paradas abruptas, por lo tanto, conlleva a la disminución de la productividad.

1.2.2 Específicos

- Existe incompatibilidad de protocolos de comunicación en los controladores de las tres áreas del POMC, esto limita la comunicación de datos.
- Sin una visión de datos del proceso en tiempo real se demora en la identificación del problema que causa la detención del proceso en el POMC, y en encontrar una solución.
- La mayoría de los tiempos de detención del POMC son causados por cambios de equipos dañados o partes de estos.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Diseñar e implementar un sistema SCADA para controlar y supervisar las tres áreas del POMC de la empresa.

1.3.2 Específicos

- Diseñar un sistema SCADA que integre los protocolos de comunicación de los controladores en el POMC y cumpla con el estándar ISA 101.01.
- Implementar el sistema SCADA en un centro de control de la empresa que permita supervisar y controlar las tres áreas del POMC.
- Evaluar el impacto del sistema SCADA en la empresa antes y después de su implementación.

1.4 Justificación

La finalidad de este proyecto de ingeniería es reducir las detenciones y tiempos de parada del POMC que generarían pérdidas económicas de \$23,820 USD por hora a la empresa. La identificación de eventos del POMC que originen detenciones del proceso, tales como la activación de bloqueos de seguridad del equipo y del proceso, fallas de energía, paradas de emergencia y permisivos de arranque, mejorará gracias a la información y control proporcionado por el sistema SCADA.

1.5 Alcances

Este proyecto de ingeniería integra los distintos dispositivos de las tres áreas del POMC de la unidad minera en un sistema SCADA que cumpla con estándares internacionales. La implementación del sistema SCADA permite el control y

supervisión de las variables críticas de las tres áreas del POMC, entre las más importantes, se tiene:

- Temperatura de Trunnion del lado de Carga del Scrubber
- Temperatura de Trunnion del lado de Descarga del Scrubber
- Corriente de fase A del motor principal del Scrubber
- Corriente de fase B del motor principal del Scrubber
- Corriente de fase C del motor principal del Scrubber
- Presión del sistema de lubricación de alta del Scrubber
- Presión del sistema de lubricación de baja del Scrubber
- Flujo del sistema de lubricación de alta del Scrubber
- Flujo del sistema de lubricación de baja del Scrubber
- Temperatura de Trunnion del lado de Carga del Ball Mill
- Temperatura de Trunnion del lado de Descarga del Ball Mill
- Corriente de fase A del motor principal del Ball Mill
- Corriente de fase B del motor principal del Ball Mill
- Corriente de fase C del motor principal del Ball Mill
- Presión del sistema de lubricación de alta del Ball Mill
- Presión del sistema de lubricación de baja del Ball Mill
- Flujo del sistema de lubricación de alta del Ball Mill
- Flujo del sistema de lubricación de baja del Ball Mill
- Presión de ingreso del HPU del Espesador
- Presión de retorno del HPU del Espesador
- Presión de cama del Espesador
- Modo de operación del Espesador
- Nivel de cama del Espesador
- Nivel de líquido suspendido del Espesador
- Posición de la rastra del Espesador

Finalmente, la información del proceso se almacena en una base de datos para su posterior estructuración y análisis.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del Arte

2.1.1 Internacional

En el trabajo de fin de máster (Lachguer, 2020) se presenta un proyecto sobre una posible implementación tecnológica en la empresa Suez en Alicante-España. Este proyecto es motivado por el riesgo operativo al que esta empresa se enfrenta al contar únicamente con tecnología de Wonderware para sistemas SCADA. Los resultados de este proyecto reflejan que todos los módulos de la plataforma Wonderware se desarrollaron con normalidad en Ignition, a excepción de uno en el que se tuvo que adoptar una solución; asimismo, se concluye en que esta plataforma es muy competitiva y totalmente apta para sustituir la usada anteriormente por la empresa. El criterio de diseño en este trabajo se referencia para desarrollar el sistema SCADA del presente proyecto de ingeniería.

En el proyecto planteado por Herrera Alvarado (2018) se desarrolló un sistema SCADA con acceso a todo dispositivo con tecnología Java. En este proyecto cada variable de interés es almacenada en una base de datos en MySQL para generación de tendencias que faciliten el soporte para el personal de mantenimiento. Así pues, dicho sistema desarrollado para mantenimiento predictivo fundamenta su uso en la comparación de variables eléctricas y setpoints tales como potencia, rendimiento, corriente de sobrecarga, entre otros. Este proyecto es referenciado para la gestión del almacenamiento de la información del proceso en una base de datos.

2.1.2 Nacional

En (Acosta Acosta & Vega Zuloeta, 2023) se propone un proyecto de automatización para el envasado de bidones aumentando la producción diaria. Para lograr esto se diseñaron estructuras requeridas en la planta, se programa en un controlador Micro850 y se comunica con el software Ignition de Inductive Automation mediante el Gateway de este último para administrar las conexiones de hardware, desarrollar una interfaz de sistema SCADA y habilitar conexión con una base de datos. La configuración del Gateway y conexión de base de datos es tomada en cuenta para el desarrollo del presente proyecto de ingeniería.

Se encontró en (Túllume Agapito & Llontop Farroñay, 2016) gran similitud en el planteamiento de un sistema SCADA para la Compañía Minera Casapalca S.A, donde se propone la implementación de este sistema para un mejor desempeño, mencionando que puede llegar a incrementar la producción en un 30%.

Asimismo, se encontró un proyecto en (Vivar Zavaleta, 2021) que propone la implementación de un sistema SCADA en mina de tajo abierto para dar solución al problema de operación de equipos en pozos profundos a consecuencia de fuertes lluvias o condiciones hidrológicas. Su principal objetivo es tener el monitoreo constante de su funcionamiento y algunas fallas, que coincide con uno de los objetivos específicos del presente trabajo.

Samata Quispe (2023) parte de una formulación del problema y consecuencias económicas similares al presente proyecto, además, menciona que el actual sistema SCADA no cumple con normas internacionales ni requerimientos necesarios para su continuidad. La manera en la que aborda el problema parte de una descripción y diagnóstico del sistema existente, luego, diseña un nuevo sistema con normativas internacionales, y finalmente, comprueba el diseño de su sistema SCADA mediante simulación. Se referencia esto para seguir el mismo flujo de trabajo, pero se usa la implementación para la comprobación del sistema SCADA.

Quispe Gonzáles (2019) plantea un sistema SCADA diseñando la arquitectura de comunicación que luego prueba mediante un prototipo hecho exclusivamente para este trabajo. La manera de abordar el diseño para desplegar una arquitectura de comunicación es detallada, por esto se toma como referencia para guiar el flujo del presente trabajo. Además, Quispe Gonzáles (2019) compara el presupuesto del proyecto respecto a otros planteados anteriormente, esto es referenciado para el desarrollo del presente proyecto.

Finalmente, Meza Titto (2019) presenta un trabajo de control automático donde tiene una conexión mediante cliente OPC al sistema SCADA, esto es referenciado en el presente trabajo para la comunicación de los diferentes controladores. La arquitectura de comunicación OPC es similar a la planteada, por esto las recomendaciones son consideradas en el diseño del presente trabajo.

2.2 Fundamentos Teóricos

2.2.1 Sensor

Por lo general, cuando se habla de un sensor se entiende como un dispositivo que cuantifica un fenómeno físico determinado (Gutiérrez Puebla, 2019). Debe entenderse que al usar el término “sensor” en este proyecto de ingeniería, se hace referencia a 2 partes fundamentales de este; el “transductor” que transforma la señal física en otra eléctrica, y el “transmisor” que filtra, amplifica o trata la señal eléctrica recibida del transductor para entregarla al sistema de control.

Un sensor industrial puede enviar la señal capturada de varias formas, estas son: resistencia (Ω), voltaje (V), corriente (mA) o protocolos de comunicación como HART. Es importante saber con qué comunicación trabaja el sensor puesto que se tendrá que usar módulos en el PLC que puedan leer dichas señales (Gutiérrez Puebla, 2019).

Para la puesta en marcha del proceso es indispensable el comisionamiento de cada equipo y dispositivo involucrado. Para esto, es de mucha ayuda el uso de faceplates, puesto que estos permiten configurar y operar cualquier equipo o dispositivo mediante su interfaz gráfica en el SCADA. En un entorno industrial, es común la configuración de un sensor por medio de estos faceplates.

2.2.2 Actuador

Es un elemento final de control que transforma un tipo de energía en otra, en el sector minero usualmente mecánica, con la finalidad de influir su comportamiento en el proceso. Estos elementos poseen naturalezas de funcionamiento diferentes, pero todos son elementos finales de un sistema para controlar un proceso. Los más comunes son motores, bombas, válvulas, cilindros neumáticos, etc.

Un motor es un actuador que transforma la energía eléctrica en energía mecánica, hay de diferentes tipos y para diferentes aplicaciones. En minería se usa mucho para transportar y procesar minerales. También es importante su seguridad, para proteger tanto el equipo mismo como el personal que trabaja en su entorno, para esto se usan diferentes sensores de vibración, temperatura e indicadores que facilitarán su soporte (Túllume Agapito & Llontop Farroñay, 2016).

Una bomba es un elemento final de control que basa su funcionamiento en el de un motor, adhiriendo a este una estructura que finalmente impulsará el fluido. Los usos más comunes en minería son bombas de agua, lodo, concreto, entre otros.

Una válvula es un elemento final de control que regula el flujo que pasa a través de una tubería. Los más usados en minería son de tipo “ON-OFF”, que cierra o abre totalmente la válvula y de tipo “Proporcional”, que puede estrangular la válvula desde 0 hasta 100% (Túllume Agapito & Llontop Farroñay, 2016).

2.2.3 Controlador Lógico Programable

Programmable Logic Controller o PLC es un controlador lógico programable utilizado en entornos industriales. Su función principal es automatizar y controlar procesos en tiempo real mediante instrucciones lógicas internas propias de su funcionamiento.

Todo PLC posee un procesador donde ejecuta y toma decisiones, una memoria donde almacena el programa, entradas donde recibe información del mundo exterior, salidas por las que da órdenes al mundo exterior y al menos un módulo de comunicación para la conexión con otras redes y dispositivos.

Es el programa que usa los criterios del desarrollador para ejecutar un determinado proceso en el PLC. Existen diferentes lenguajes de programación y entornos de desarrollo como FUP, KOP, AWL, SCL y GRAPH en Siemens y LD, ST, FBD y SFC en Rockwell, pero el más usado es Ladder o Escalera (KOP o LD).

Todo PLC cuenta con un protocolo de comunicación, el cual regula la forma en la que se envía y recibe la información, por ello se puede decir que es un conjunto de normas que hacen posible la comunicación entre dos o más dispositivos. Asimismo, controlan el flujo, corrigen errores y dotan de seguridad al intercambio de información (Gutiérrez Puebla, 2019).

Entre las principales marcas que fabrican PLCs se tiene a Siemens, Rockwell Automation (Allen-Bradley), Mitsubishi Electric, Omron, Schneider Electric, ABB, entre otros.

2.2.4 Sistema SCADA

La palabra SCADA está formada por los acrónimos de supervisión, control y adquisición de datos, es decir, un sistema que cuente con un SCADA será capaz de monitorear, supervisar y controlar el proceso, usualmente a través de monitores de escritorio, donde personal capacitado presta atención al proceso en tiempo real que se muestra en dichos monitores.

Un sistema SCADA hace posible visualizar el proceso mediante un monitor, presentando los datos en tiempo real mediante visualizadores de datos discretos y

los históricos mediante tendencias. Así también, facilita el control de equipos del proceso pudiendo accionar o detener su funcionamiento. Por otro lado, ayuda con la identificación de fallas del proceso, mostrando avisos y detalle de éstos donde también se pueden variar parámetros del proceso (Túllume Agapito & Llontop Farroñay, 2016).

Es común encontrar criterios de “Modo de operación” en un sistema SCADA, puesto que, de acuerdo con el grado de control y comunicación que se tenga, es posible operar un mismo equipo en varios modos. Los más comunes son “Local”, donde el funcionamiento dependerá del accionamiento del operador en campo y “Remoto”, donde el funcionamiento dependerá del accionamiento remoto por otro operador (no local). A su vez, un modo “Remoto” hace posible el accionamiento “Remoto-Manual”, lo que significa que, de forma remota y a criterio de un operador se ejecuta el funcionamiento de un equipo. Mientras que el accionamiento “Remoto-Automático” hace que de forma remota y a criterio de un programa de PLC se ejecute el funcionamiento de un equipo.

Una de las características más importantes de un sistema SCADA es que pueda almacenar los datos. Esto con finalidad de tener acceso a ellos para visualizar su comportamiento en el tiempo. Algunos sistemas SCADA trabajan con bases de datos internos o externos de acuerdo con su requerimiento.

Cuando se habla de un sistema SCADA es imprescindible hablar de los avisos o alarmas del proceso, puesto que estas nos mostrarán visualmente el comportamiento atípico de una o más variables del proceso mediante mensajes mostrados en pantalla. Cabe mencionar que estas vienen acompañadas de colores llamativos como rojo y amarillo (Túllume Agapito & Llontop Farroñay, 2016).

Así como las alarmas nos muestran comportamientos atípicos de variables, un sistema SCADA debe mostrar el actual estado de todos los dispositivos comunicados con el sistema en mención. Por lo general, se usan 3 estados en un dispositivo; “Running” que indica dispositivo en funcionamiento, “Stopped” que indica dispositivo detenido y “Fault” que indica falla del dispositivo. Estos estados vienen acompañados de diferentes colores para su identificación, siendo; verde, gris y rojo respectivamente.

La seguridad es un pilar fundamental en el desarrollo de sistemas SCADA, para ello se usan diferentes criterios al momento de poner en marcha los equipos en campo. Uno de estos se llama “Permisivo de Arranque”, su uso es una buena

práctica para el arranque de cualquier equipo en campo, puesto que deben cumplirse algunos requisitos específicos de cada equipo para lograr su arranque. Por otro lado, se conoce como “Interlock” a un criterio de seguridad implementado en el funcionamiento del equipo; es decir, una vez que el equipo ya entró en funcionamiento y dejan de cumplirse algunos requisitos de su funcionamiento, el interlock asociado hará que el equipo se detenga por seguridad. Cabe mencionar que estos dos parámetros son configurables por el desarrollador (Túllume Agapito & Llontop Farroñay, 2016).

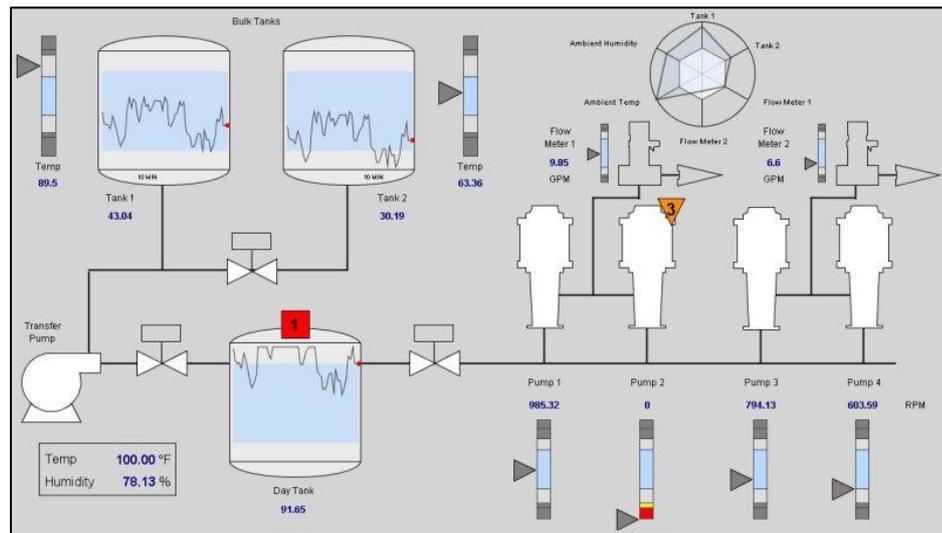
Otra característica fundamental que hace robusto el uso de sistemas SCADA es el control que se tiene del proceso. De acuerdo con el grado de implementación de dichos sistemas, se podrá controlar con exactitud cada equipo del sistema. Esta característica facilita el control, desde una sala comando, de todo el proceso.

2.2.5 ISA 101

La norma ANSI/ISA-101.01-2015 es un estándar industrial internacional que recopila las mejores prácticas para el desarrollo de HMIs y SCADAs (International Society of Automation [ISA], 2015). Esta norma está respaldada en estudios como (Automatización industrial y transformación digital en la industria, 2024). Haciendo uso de este estándar se deben implementar criterios de diseño para un eficiente uso en operación y mantenimiento, esto mejorará las habilidades del operador para detectar y responder a diversas situaciones.

Una de las buenas prácticas planteadas en esta norma es la presentación de datos de manera gráfica, en lugar de mostrar los datos solamente en tiempo real y de manera discreta, como se muestra en la siguiente figura.

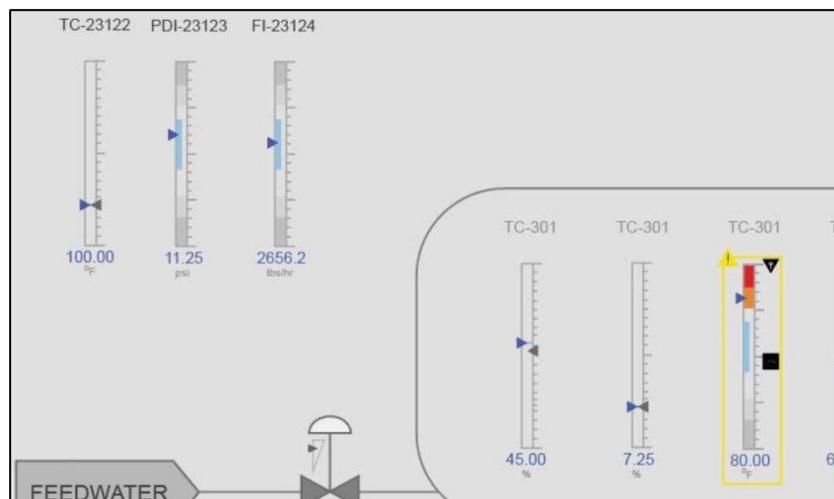
Figura 3. Buena práctica para presentación de información



Adaptado de (ISA, 2015)

Otra práctica destacada es el uso de colores sobrios monocromáticos para los esquemáticos y dispositivos, y colores llamativos para avisos o alarmas (ISA, 2015), como se muestra en la siguiente figura.

Figura 4. Ejemplo planteado por el estándar ISA101

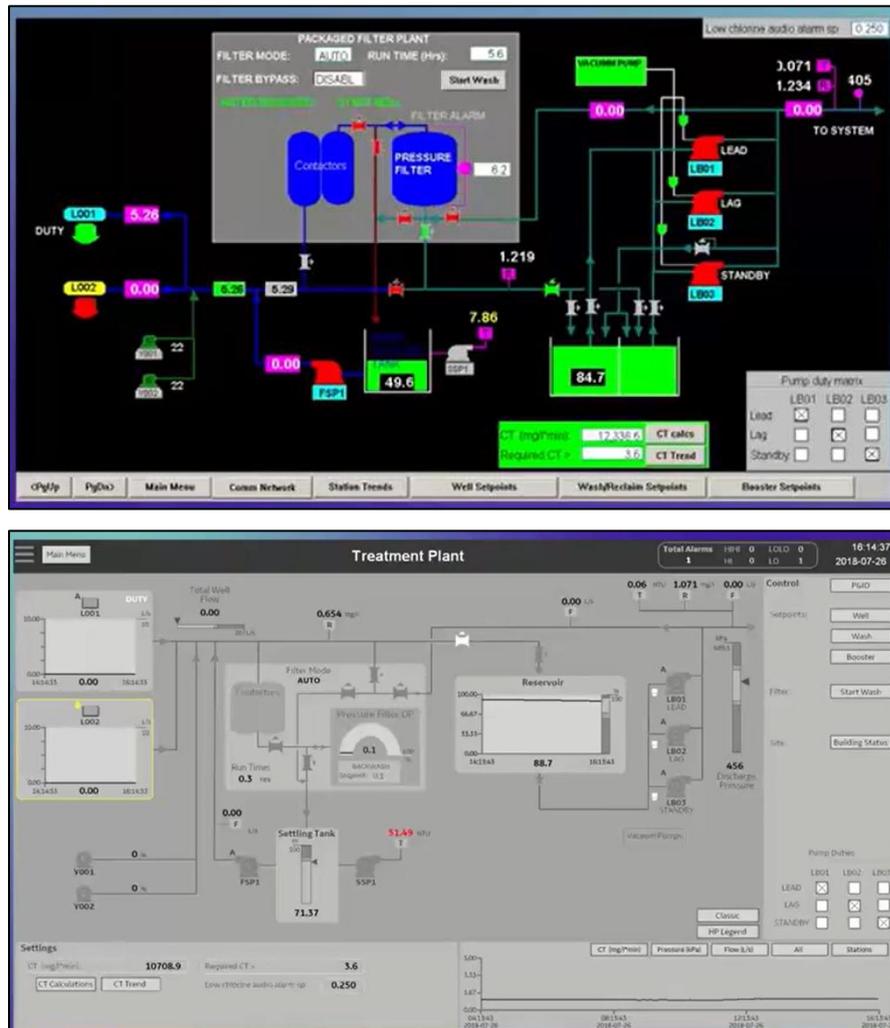


Adaptado de (ISA, 2015)

Es importante tomar en cuenta que el uso de colores para alarmas o notificaciones más comunes están en una escala de “High-High”, “High”, “Low” y “Low-Low” para rojo, amarillo, amarillo y rojo respectivamente.

En las siguientes imágenes, se compara el mismo proceso haciendo uso de la normativa presentada en esta sección, además se presenta su interrelación según el estándar.

Figura 5. Comparativa en uso de estándar ISA101



Adaptado de (ISA, 2015)

Asimismo, existen criterios de uso limitado de colores para reducir la carga excesiva en el diseño.

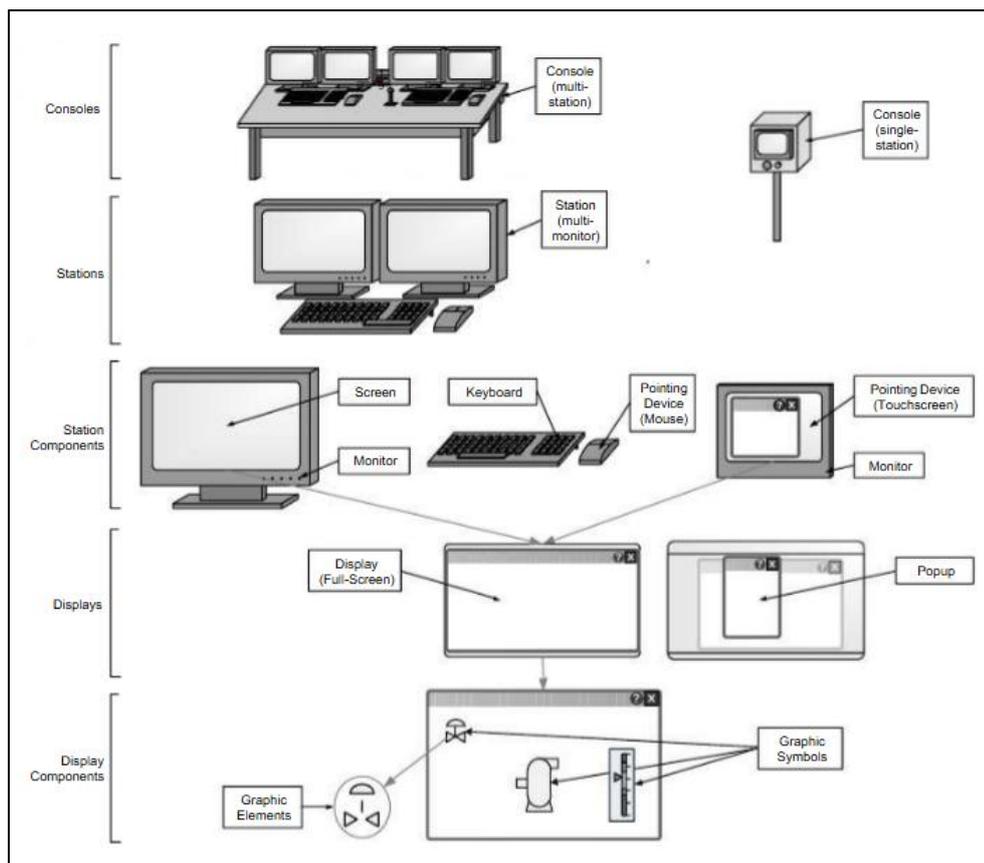
Representación apropiada de alarmas.

- Prioridad 1 (Crítica): Máximo tiempo de respuesta 5 minutos.
- Prioridad 2 (Alta): Máximo tiempo de respuesta 30 minutos.
- Prioridad 3 (Media): Máximo tiempo de respuesta 60 minutos.
- Prioridad 4 (Baja): Máximo tiempo de respuesta 120 minutos.

Navegación y jerarquía de pantallas.

- Nivel 1: Todo el rango de control del operador (de un solo vistazo).
- Nivel 2: Subunidad controlada por el operador.
- Nivel 3: Unidad detallada del proceso, grupos de equipos pequeños, detalles, tendencias, valores, alarmas y estado de equipos.
- Nivel 4: Unidad de proceso de soporte y pantallas de diagnóstico, detalles interlocks, etc.

Figura 6. *Interrelaciones según ISA 101*



Adaptado de (ISA, 2015)

2.2.6 Ciberseguridad en Sistemas SCADA

Los sistemas SCADA fueron originalmente diseñados para operar en entornos cerrados y confiables. Sin embargo, con la progresiva integración de estos sistemas a redes de propósito general basadas en protocolos estándar (TCP/IP, HTTP, OPC-UA), han surgido nuevas superficies de ataque que comprometen la disponibilidad, integridad y confidencialidad de la operación industrial (Pillitteri & Lightman, 2014).

A continuación, se describen las principales amenazas que enfrentan los sistemas SCADA, particularmente en entornos mineros, donde su explotación puede conllevar a fallas operativas, pérdidas económicas, riesgos humanos y daños ambientales.

- **Malware industrial dirigido:** Una de las amenazas más críticas en entornos SCADA es el malware especializado para sistemas de control industrial. Estas amenazas emplean técnicas de persistencia, escalada de privilegios y manipulación directa de PLCs. Por ejemplo, Stuxnet fue capaz de alterar la frecuencia de operación de centrifugadoras manipulando el código de los PLC de Siemens, sin alterar las lecturas presentadas en el HMI (Byres, 2004). En minería, una amenaza de este tipo podría modificar el criterio de bombeo de bombas o alterar la dosificación de reactivos en un proceso de lixiviación, generando impactos operativos y ambientales.
- **Denegación de servicio:** Estos ataques buscan saturar los recursos de red o cómputo del sistema SCADA, haciendo que dispositivos críticos como servidores SCADA, bases de datos o gateways se vuelvan inoperables. Esto puede lograrse mediante sobrecarga de tráfico MODBUS/TCP o explotación de puertos abiertos en switches industriales mal configurados (International Society of Automation [ISA], 2021). En minería, una denegación de servicio puede impedir la visualización remota del estado de válvulas de proceso o la pérdida de trazabilidad de variables críticas como nivel de tanques o presión de línea.
- **Robo de credenciales y privilegios:** En muchos sistemas SCADA heredados, se emplean credenciales por defecto o contraseñas compartidas, lo cual facilita el acceso no autorizado a interfaces, servidores SCADA o incluso al dominio de Windows que gestiona la red OT. A través de técnicas como phishing dirigido o ataques de diccionario sobre interfaces RDP expuestas, un atacante puede obtener credenciales administrativas y modificar directamente las configuraciones de control, con consecuencias críticas (Morris & Gao, 2013).
- **Escaneo de red:** Herramientas de escaneo como Shodan o Nmap permiten a un atacante identificar dispositivos industriales conectados a redes públicas o mal segmentadas, recolectando información sensible como IPs, puertos

abiertos, y versiones de firmware (Mashima & Chen, 2023). En muchos casos, se han encontrado PLCs y HMIs expuestos directamente a Internet con configuraciones por defecto, facilitando ataques dirigidos.

2.2.7 Comunicaciones Industriales en Minería

La minería moderna depende de sistemas altamente automatizados que requieren transmisión confiable de datos entre sensores, actuadores, PLCs, estaciones de supervisión y sistemas empresariales. Para lograr esta interoperabilidad, se emplean redes de comunicación industrial, diseñadas específicamente para entornos hostiles, con requisitos de baja latencia, alta disponibilidad y tolerancia a fallos (Williams, 2020).

A continuación, se analizan los principales protocolos, topologías y tecnologías de comunicación industrial aplicadas al sector minero, considerando sus implicancias técnicas, ventajas, limitaciones y desafíos de integración.

- MODBUS (RTU y TCP/IP): MODBUS es uno de los protocolos industriales más utilizados por su simplicidad y amplia compatibilidad. En minería se usa comúnmente para comunicaciones entre sensores de nivel, temperatura y caudal, así como entre PLCs y sistemas SCADA. MODBUS RTU opera sobre RS-485 o RS-232, siendo adecuado para distancias cortas y ambientes ruidosos. MODBUS TCP permite encapsular tramas MODBUS en TCP/IP, facilitando su uso sobre redes Ethernet industriales. No obstante, MODBUS carece de mecanismos de autenticación o cifrado, lo que lo vuelve vulnerable a ataques (National Institute of Standards and Technology [NIST], 2015).
- PROFIBUS y PROFINET: PROFIBUS (Process Field Bus) es un protocolo de comunicación serial determinista ampliamente adoptado en procesos mineros críticos. Es utilizado para integrar instrumentos de campo, válvulas inteligentes y sistemas de dosificación. PROFINET, evolución sobre Ethernet, permite sincronización de datos en tiempo real (RT) y tiempo iso-crítico (IRT), siendo apto para controlar accionamientos de fajas transportadoras, celdas de flotación y sistemas de bombeo (PROFIBUS & PROFINET International, 2018).
- Ethernet/IP y DeviceNet: Ethernet/IP (Ethernet Industrial Protocol), promovido por Rockwell Automation, se basa en el modelo CIP (Common

Industrial Protocol) y es utilizado en muchas plantas mineras automatizadas con controladores Allen-Bradley. Permite integración vertical con sistemas MES y ERP, pero requiere redes de alta disponibilidad y switches industriales gestionados para garantizar QoS (Calidad de Servicio) (ODVA, 2021).

Los entornos mineros presentan desafíos particulares para la implementación de redes industriales. Entre las arquitecturas más comunes se encuentran:

- Topología en anillo: Basada en tecnologías como Media Redundancy Protocol (MRP) o Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP), esta topología garantiza continuidad ante la falla de un segmento de red. Es crucial para zonas críticas como estaciones de bombeo (Siemens AG, 2019).
- Redes inalámbricas industriales (IWLAN): La aplicación de redes inalámbricas han permitido extender el monitoreo a zonas de difícil acceso sin tender cableado costoso o peligroso. Estas redes son utilizadas para la medición de presión en relaveras, control ambiental o detección de gases tóxicos (International Society of Automation [ISA], 2020). La latencia, interferencias y el consumo energético son retos permanentes en este tipo de soluciones.
- Fibra óptica: Es ampliamente empleada como backbone de red en plantas industriales y refinerías, por su inmunidad al ruido electromagnético, alta velocidad de transmisión y alcance. Se utiliza comúnmente en la interconexión de salas de control, y centros de datos industriales. (Lu & Kwasinski, 2021).

Las comunicaciones industriales constituyen la columna vertebral de la automatización minera. La selección adecuada de protocolos, topologías y dispositivos de red debe considerar no solo la compatibilidad técnica, sino también la robustez frente a condiciones extremas y los riesgos de ciberseguridad inherentes a la convergencia OT/IT.

2.2.8 OPC (OLE for Process Control)

Es una tecnología de comunicación abierta que permite que dos o más dispositivos puedan intercambiar información sin importar el fabricante, usa la arquitectura cliente-servidor, lo que indica que un software consigue y gestiona los datos en el servidor, para que otro software los use en el cliente (KEPServerEX OPC, s. f.).

Como precedente se tiene a OPC-DA (Data Access) que es una temprana tecnología propia de OPC que da especificaciones para acceder solamente a datos en tiempo real. Este primer desarrollo permitió asociar 3 atributos en tiempo real, mediante un ítem de transferencia, estos son el valor, calidad y marca de tiempo (OPC Foundation, s. f.-a). Cabe resaltar que este desarrollo se basó en dos modelos hasta entonces desarrollados por Microsoft; COM y DCOM que permiten a estos la comunicación entre sí haciendo uso de llamadas a procedimientos remotos (Microsoft, s. f.).

OPC-UA (Unified Architecture) es la actual tecnología propia de OPC que utiliza el criterio de arquitectura unificada (por sus siglas en inglés). Usa el estándar IEC62541 (describe el servicio de OPC-UA como cliente y servidor) que hace posible su uso en distintos sistemas operativos, hace posible también la comunicación entre dispositivos de distintos niveles de la automatización y asocia características de versiones anteriores como OPC DA en su tecnología (OPC Foundation, s. f.-b).

OPC no está limitado a trabajar en un solo medio físico, puede trabajar con Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, Internet y hasta puede coexistir con protocolos ya usados en la industria como Modbus, Profibus, Profinet y DeviceNet (KEPServerEX OPC, s. f.).

2.2.9 MODBUS TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)

Se llama así porque el protocolo Modbus usa como medio físico a Ethernet TCP/IP, siendo esta una variante que mantiene la arquitectura de maestro-esclavo en su comunicación. Cuenta con 4 segmentos de trama que definen su transmisión, el primero es “Dirección” con la que identifica al dispositivo, luego se tiene “Función” donde se define la solicitud realizada al esclavo, así mismo “Datos” que consigna el valor de la petición, y finalmente “Verificación de Error” que se encarga de la validez de la transacción. Cabe resaltar que las tramas cambiarán ligeramente para un maestro y esclavo, sin embargo, mantendrán su naturaleza hexadecimal (Schneider Electric, 2024b).

Para lectura en Modbus es necesario especificar una función para leer un valor deseado, así 01H para leer el estado de una salida discreta, 02H para leer el estado de una entrada discreta, 03H para leer el estado de un registro de retención y 04H para leer un registro de entrada (Schneider Electric, 2024a).

Al igual que en la lectura, para escribir también es necesario especificar una función, así 05H para escribir en una salida discreta y 06H para escribir en un registro de retención (Schneider Electric, 2024a).

2.2.10 Base de Datos

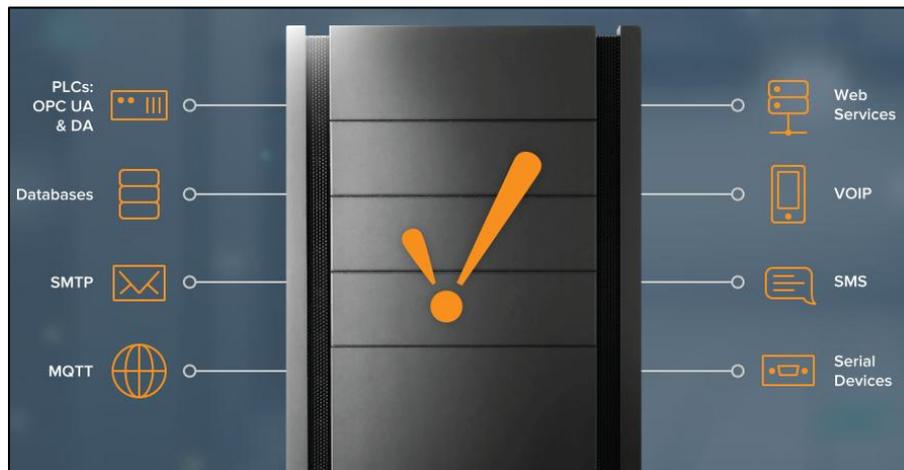
Una base de datos es un conjunto organizado de datos que basa su funcionamiento en criterios informáticos y electrónicos. Es muy común, en este tipo de bases de datos, usar lenguajes de consulta estructurados o también conocidos como SQL por sus siglas en inglés. Su funcionalidad se ha extendido a tantos campos que en varias industrias es indispensable su conocimiento. Asimismo, hace posible estrechar brechas para el uso de tecnologías de industria 4.0 mediante el almacenamiento de datos de proceso.

Toda base de datos posee un motor principal conocido como DBMS por sus siglas en inglés o Sistema Gestor de Base de Datos que, en el caso de bases de datos relacionales, se almacenan en filas, columnas y tablas para poder modificar, controlar y actualizar sus datos, para esto se hace uso de lenguajes como SQL para dar instrucciones que faciliten el tratamiento de datos y motores locales como SQL Server, MySQL, PostgreSQL, SQLite, MariaDB, entre otros y en la nube como AWS, Microsoft Azure, Google Cloud Platform, Oracle, entre otros (Oracle, 2024).

2.2.11 Software Ignition

Ignition es un entorno de desarrollo integrado escrito en Java por Inductive Automation en el año 2010, especialmente diseñado para aplicaciones industriales como SCADA, HMI, IIoT, MES, Alarmas, Reportes, Aplicaciones móviles y Computación Edge. Además de esto, posee interoperabilidad, esto significa que Ignition tiene fácil conexión con una amplia variedad de dispositivos y gestores de bases de datos locales y en la nube. Asimismo, funciona en cualquier sistema operativo como iOS, Windows y Linux. Ignition trabaja con 4 ediciones principales para diferentes propósitos Ignition Maker, Ignition, Ignition Edge e Ignition Cloud (Inductive University, 2024). Como se muestra en la siguiente figura.

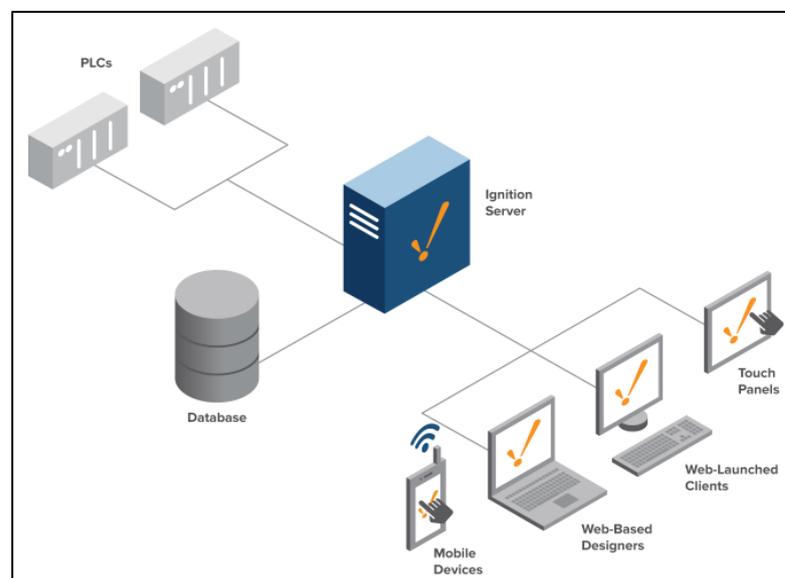
Figura 7. Prestaciones de software Ignition



Adaptado de (Inductive Automation, 2023a)

Ignition ofrece diversas arquitecturas pensadas para cualquier aplicación. La arquitectura “Single Server - Single Site” es la más sencilla de estas, ya que involucra un solo servidor principal que gestiona las peticiones de los clientes que se encuentran en el mismo lugar de trabajo, esta misma condición deberán cumplir los PLCs y bases de datos conectados al servidor principal de Ignition.

Figura 8. Arquitectura Single Server - Single Site en Ignition



Adaptado de (Inductive Automation, 2023a)

La arquitectura “Single Server – Multiple Sites” utiliza un solo servidor principal, pero, a diferencia de la anterior, sus PLCs y clientes no necesariamente deben estar

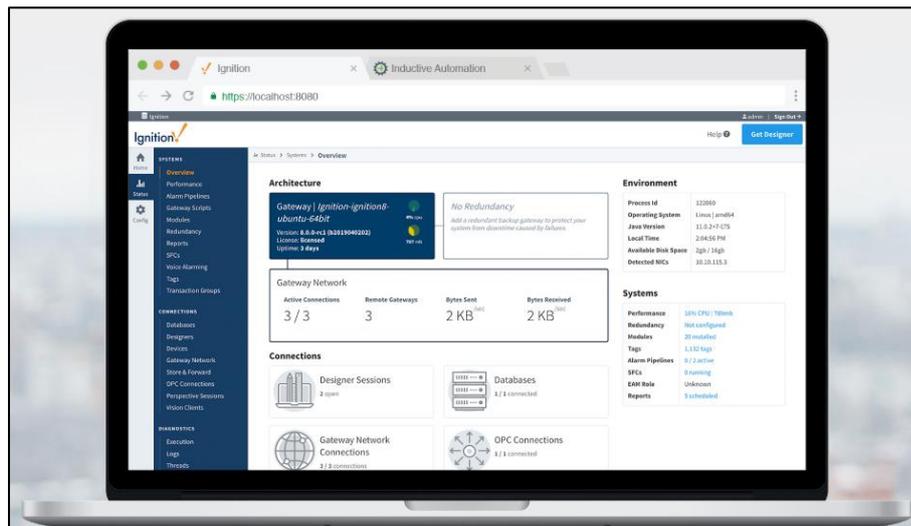
en el mismo lugar de trabajo, esto quiere decir que el servidor principal recolecta los datos de fuentes alejadas a su instalación principal.

La arquitectura “Multiple Servers – Multiple Sites” trabaja con más de un servidor de Ignition, esta arquitectura está pensada para comunicar grandes áreas de trabajo que manejan diferentes procesos y diferentes servidores, lo cual permite compartir datos que se encuentran en otro servidor de Ignition.

La arquitectura “Multiple Server – Multiple Sites – Central Database” es parecida a la anterior, con diferencia que almacenará sus datos en una base de datos central que no necesariamente debe estar ubicada en el mismo lugar de trabajo. Finalmente, se cuenta con las variantes de la arquitectura “Hub and Spoke” que trabaja con un nodo central (servidor principal) en el que se recopilan, procesan y almacenan los datos remotos que provienen de los puntos periféricos o spokes. Esta arquitectura trabaja como un sistema confiable que registra los datos desde ubicaciones remotas a través de Internet (Inductive University, 2024).

La configuración de su gateway o puerta de enlace solamente se puede hacer mediante el servidor principal, aquí se puede configurar parámetros de comunicación con dispositivos conectados como PLCs, bases de datos y otros mediante OPC-UA, también es posible la administración de licencias, sesiones de Perspective, clientes de Vision, dispositivos y bases de datos conectados con su estado y sesiones del diseñador. También se configuran temas de seguridad, respaldo de datos, diagnósticos, historización, alarmas, reportes, conexiones, entre otros. El correcto entendimiento del Gateway de Ignition es importante para un uso eficiente de sus herramientas y prestaciones a nivel industrial (Inductive University, 2024). En la siguiente figura se muestra la interfaz del Gateway de Ignition.

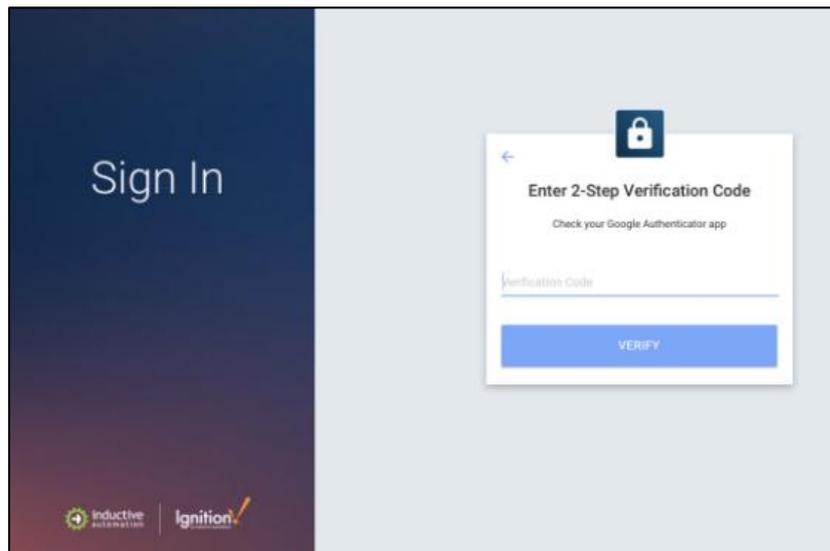
Figura 9. Gateway de Ignition



Adaptado de (Inductive Automation, 2023a)

Uno de los aspectos mejor respaldados por Inductive Automation es la seguridad, notándose un gran despliegue en áreas como la autenticación de usuarios para ingresar al Gateway, Designer, clientes de Vision, sesiones de Perspective, apartado “Estado en Gateway”, apartado “Configuración en Gateway”, entre otros. Así también se solicita la autenticación de roles creados por el desarrollador, esto significa que permite controlar el acceso de cada conexión para cada recurso como pantallas, datos y funciones. Por otro lado, para la seguridad de red Ignition utiliza TLS (Transport Security Layer) que cifrará los datos enviados a través HTTP y Web Sockets, usados para comunicación entre Designer, clientes de Vision y sesiones de Perspective. Adicionalmente, la facultad de realizar un seguimiento a configuraciones, actividades del sistema, inicios de sesión, entre otros son posibles gracias a la auditoría y registro que tiene Ignition (NVT Tecnologías, 2023). Esto se observa en la siguiente figura.

Figura 10. *Autenticación del usuario*



Adaptado de (Inductive Automation, 2023a)

Una de sus principales características es la potencia de sus módulos, entre ellos están; “Vision” que se usa principalmente para el desarrollo de SCADAs y HMIs en dispositivos de escritorio y de campo, “Perspective” que se usa para el desarrollo de interfaces móviles y navegadores web, “SQL Bridge” que es usado para comunicar bases de datos relacionales externas con el proceso y así poder almacenar la información, “Tag Historian” que se usa también para almacenar información de manera interna; es decir, sin conexión a ninguna base de datos externa, “Reporting” para la generación de reportes dinámicos, “Alarm Notification” para la notificación de alarmas mediante diferentes medios de comunicación, “Enterprise Administration” es un módulo destinado para la administración de múltiples instalaciones de Ignition que permite acortar tiempos, mejorar la seguridad e incrementar su eficiencia y “OPC-UA” probablemente uno de los más importantes módulos para hacer posible la comunicación de Ignition con cualquier otro dispositivo que tenga OPC-UA (Inductive University, 2024). Esto se refleja en la siguiente figura.

Figura 11. Módulos de Ignition



Adaptado de (Inductive Automation, 2023a)

2.2.12 Integración de Sistemas Heterogéneos

La automatización industrial contemporánea, especialmente en entornos como la minería, se caracteriza por la coexistencia de sistemas heterogéneos provenientes de distintos fabricantes, con tecnologías, protocolos y arquitecturas propietarias. Esta diversidad incluye PLCs, sistemas SCADA/HMI, dispositivos de campo, servidores de bases de datos y plataformas de análisis. La integración eficiente y segura de estos sistemas se vuelve esencial para alcanzar una operación centralizada (Wollschlaeger, 2017).

La minería, al incorporar soluciones de múltiples proveedores como Rockwell Automation, Siemens, Schneider Electric, y plataformas SCADA como Ignition, requiere de una capa de estandarización que permita la interoperabilidad entre estos dispositivos. A continuación, se describe el enfoque técnico de integración utilizando tecnologías modernas y estándares abiertos, destacando el rol central del protocolo OPC UA.

- Interoperabilidad con OPC UA: Ha surgido como el estándar de referencia para la integración de sistemas industriales heterogéneos. A diferencia de su predecesor (OPC clásico basado en COM/DCOM), OPC UA es multiplataforma, orientado a servicios (SOA), y permite la transmisión de datos, eventos, historiales y estructuras complejas de información de forma

segura y escalable (OPC Foundation, 2021). Las principales ventajas de OPC UA en minería incluyen:

- Independencia de proveedor: Compatible con Siemens, Rockwell, Schneider, Omron, etc.
 - Seguridad integrada: Soporta autenticación por certificados, cifrado TLS y control de acceso.
 - Escalabilidad vertical y horizontal: Facilita la integración desde sensores hasta plataformas cloud como Azure o AWS.
- Integración Ignition SCADA: Como se mencionó, Ignition es una plataforma SCADA/MES de arquitectura modular, basada en Java, que actúa como un potente middleware para integrar datos de múltiples fuentes. Su compatibilidad nativa con OPC UA, así como con protocolos específicos mediante módulos (como MQTT Engine, Modbus, Siemens Driver, Allen-Bradley Driver), la convierte en una solución ideal para unificar entornos mixtos (Inductive Automation, 2023a).
- Conectividad con Siemens: Ignition dispone de un driver nativo para Siemens S7-300/400/1200/1500, que permite la lectura directa de datos desde los PLCs vía Ethernet, sin requerir hardware adicional. Además, se puede integrar con servidores OPC UA Siemens (como SIMATIC NET o S7-1500 OPC UA Server).
 - Conectividad con Rockwell Automation: Ignition se comunica con controladores Allen-Bradley mediante su módulo Allen-Bradley Driver, soportando los protocolos EtherNet/IP y Logix. También puede integrarse con FactoryTalk Linx Gateway OPC UA Server de Rockwell para un modelo basado en servidor intermedio.
 - Ignition Gateway: Ignition actúa como un “hub” de integración donde se conectan múltiples fuentes de datos (PLCs, bases de datos, APIs REST), y desde el cual se puede: Visualizar procesos en tiempo real mediante HMI web, registrar historiales en bases de datos SQL, y exponer los datos vía OPC UA, MQTT u otros protocolos.

La integración de sistemas heterogéneos es un pilar de la automatización avanzada en minería. Herramientas como OPC UA, Ignition y las plataformas industriales de Siemens y Rockwell permiten una interoperabilidad segura, escalable y estructurada entre múltiples dispositivos y fabricantes. Esta integración habilita el

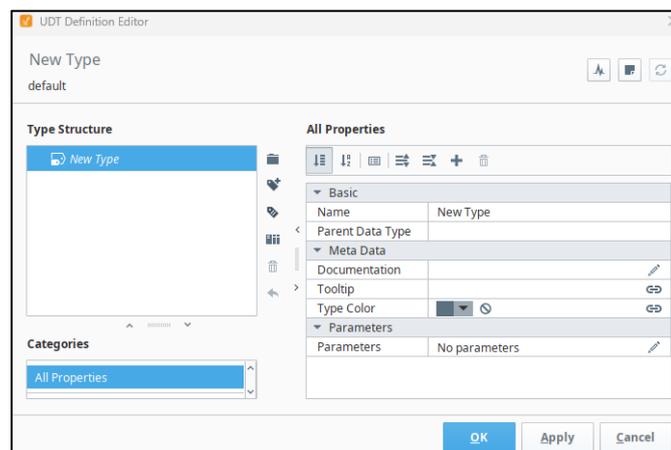
control centralizado, la toma de decisiones basada en datos en tiempo real, y la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo y optimización energética.

2.2.13 UDT en Ignition

Un UDT o User Defined Types en inglés, es un tipo de dato definido por el usuario, esto significa que se pueden aprovechar las bondades de la programación orientada a objetos. Otra forma de definir un UDT es como una plantilla para la creación de datos que cumple similar función a una clase, donde los objetos que instancian esta clase (UDT) son los datos creados a partir de esta plantilla.

Una particularidad de Ignition es que permite desarrollar proyectos con UDTs y templates que facilitan la labor para crear pantallas complejas. Asimismo, todas las instancias heredan cualquier cambio definido por el usuario (Inductive Automation, 2024a). Esto se observa en la siguiente figura.

Figura 12. *Interfaz para crear una UDT en Ignition*



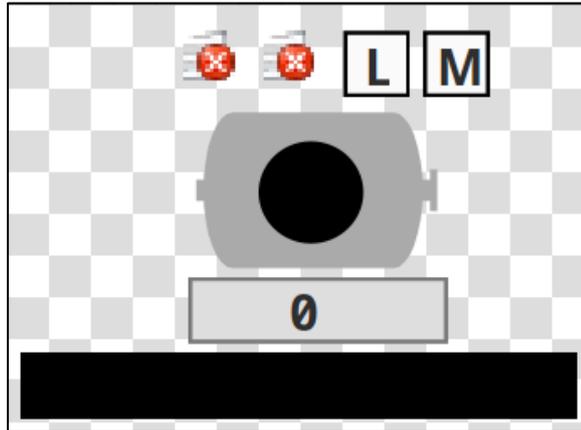
Adaptado de (Inductive Automation, 2023b)

2.2.14 Template en Ignition

Al igual que una UDT, un template es una plantilla, pero esta es exclusivamente para crear objetos. También es posible usar criterios de programación orientada a objetos ya que un template hace posible instanciar o crear más objetos con características similares. Al crear un template este se denomina maestro y los demás son esclavos, por lo que, si el usuario hace cambios en el template maestro, los objetos o esclavos también aplicaran este cambio.

Uno de los usos más frecuentes con templates es cuando se necesita crear muchos dispositivos como bombas o válvulas, puesto que comparten características y criterios de control (Inductive Automation, 2020). Esto se observa en la siguiente figura.

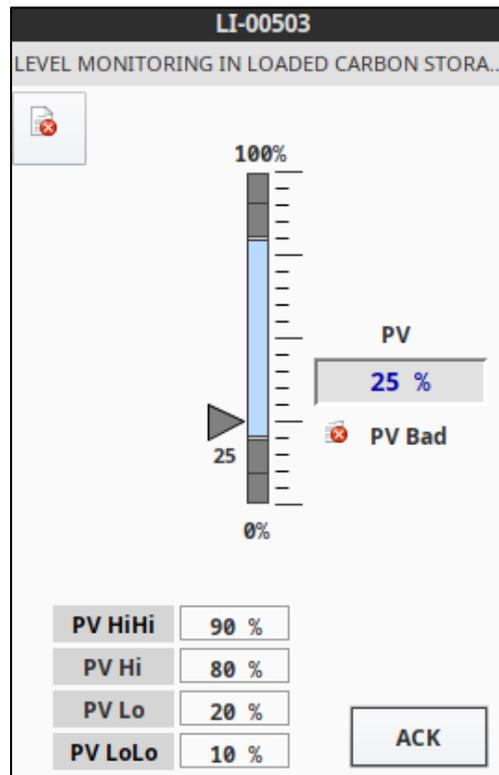
Figura 13. *Plantilla creada para motores en el software Ignition*



2.2.15 Faceplate en Ignition

Es una interfaz gráfica especializada o también definida como una ventana flotante que brinda detalles del dispositivo. Es importante destacar que un faceplate brinda información adicional del dispositivo vinculado, además, gracias a la programación orientada a objetos usada por Ignition, se puede usar un faceplate basado en una UDT creados ambos por el usuario, así el diseño de una pantalla compleja se puede generalizar para varias (Inductive Automation, s. f.-b). Esto se observa en la siguiente figura.

Figura 14. Ejemplo de faceplate generado para sensor de nivel en Ignition



2.2.16 Python en Ignition

La plataforma de Ignition SCADA permite el uso de Python como lenguaje de scripting a través de su motor de ejecución denominado “Ignition Scripting API”, el cual está basado en Jython, una implementación de Python sobre la máquina virtual de Java (JVM) (Inductive Automation, s. f.-a). Esta característica da a Ignition de una capacidad de personalización avanzada, facilitando la automatización de tareas complejas, integración con servicios externos, procesamiento de datos, y control lógico adaptativo en tiempo real.

Ignition incorpora un motor de scripting embebido que ejecuta código en distintos contextos:

- Event Handlers: Scripts activados por eventos de interfaz gráfica (botones, menús, componentes).
- Tag Events: Scripts ligados a cambios en valores de variables de proceso (tags).
- Gateway Scripts: Tareas que se ejecutan de forma automática en segundo plano, como temporizadores, controladores de procesos o servicios web.

- Expression and Transform Scripts: Scripts usados en bindings para manipulación de datos en visualizaciones.
- Project Library Scripts: Librerías reutilizables de funciones personalizadas definidas por el usuario.

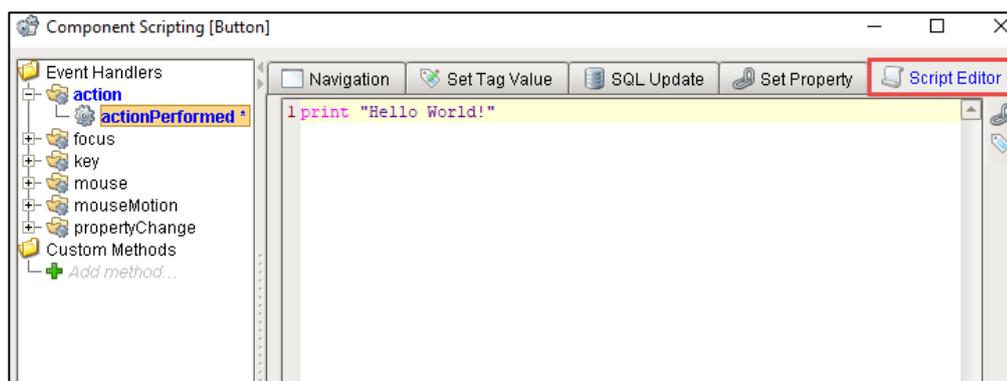
Este scripting está basado en Python 2.7, debido a que Jython no soporta actualmente versiones superiores. Sin embargo, su integración con Java permite acceso a bibliotecas externas y clases Java directamente desde el código Python, ampliando su alcance técnico (Jython Project, s. f.).

El uso de Python en Ignition es particularmente útil en el contexto minero por su capacidad de automatizar procesos industriales complejos. Algunas aplicaciones típicas incluyen:

- Control de lógica avanzada: Si bien la lógica de bajo nivel se ejecuta en los PLCs (Siemens, Rockwell), Ignition permite implementar lógica de más alto nivel.
- Generación automática de reportes: Python puede utilizarse para generar reportes automáticos en PDF con datos históricos de producción, calidad del mineral, consumo energético, etc.
- Comunicación con APIs externas: Ignition permite usar scripts Python para enviar o recibir datos desde plataformas web externas (sistemas ERP, gestión de mantenimiento, plataformas cloud).
- Procesamiento y análisis de datos: Los scripts permiten filtrar y transformar datos para dashboards o alarmas inteligentes, incluyendo cálculos como promedio móvil, eficiencia energética, o alertas condicionales por contexto.
- Automatización de tareas programadas: Por ejemplo, un script que registre cada hora el caudal totalizado en una tabla SQL.

La inclusión de Python scripting en Ignition SCADA representa un recurso altamente potente para ampliar las capacidades del sistema de supervisión en una planta minera. Desde el control lógico de procesos a la integración con plataformas externas, el uso de scripts permite implementar soluciones adaptadas a las necesidades específicas de operación, contribuyendo a una mayor eficiencia, automatización y digitalización de la operación minera dentro del paradigma de la Industria 4.0. Esto se refleja en la siguiente figura.

Figura 15. *Interfaz de Script Python en Ignition para un botón*



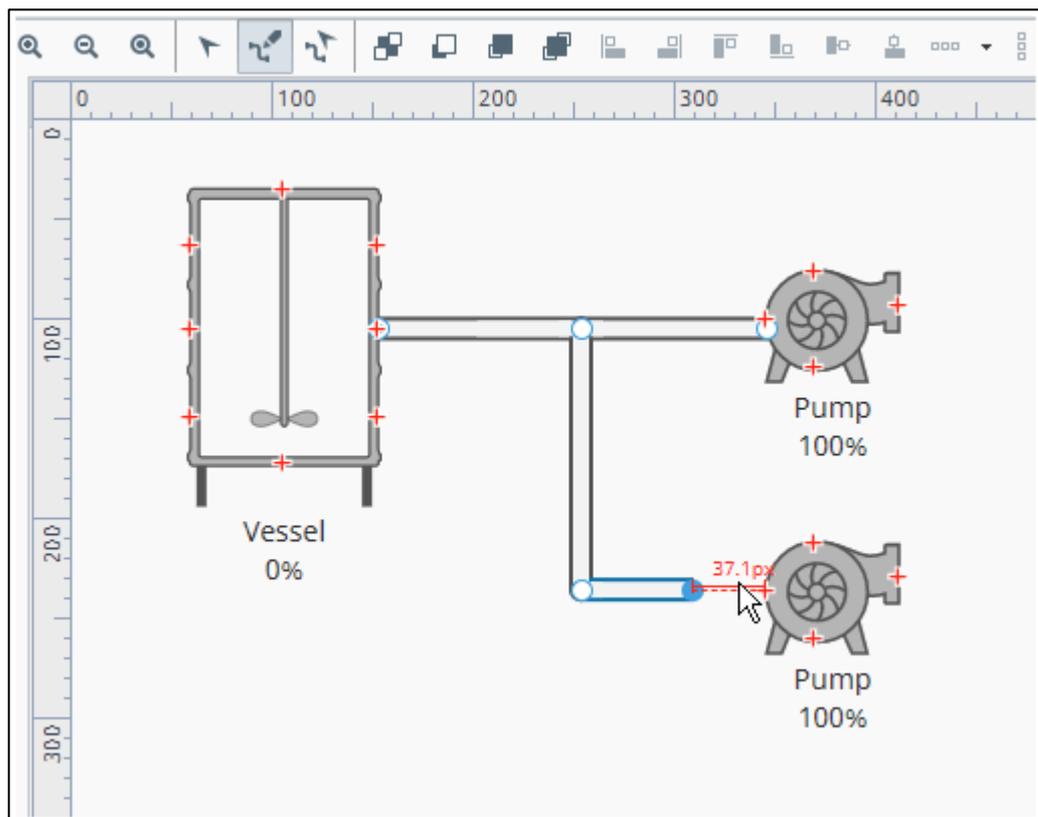
Adaptado de (Inductive Automation, s. f.-a)

2.2.17 Herencia en Ignition

En plataformas SCADA modernas como Ignition, el concepto de herencia permite estructurar soluciones reutilizables, escalables y mantenibles. A diferencia de los sistemas SCADA tradicionales centrados en objetos estáticos, Ignition adopta una filosofía de desarrollo orientada a objetos, permitiendo la definición de templates, UDTs y componentes heredables, lo que permite extender funcionalidades sin duplicar código ni configuración (Inductive Automation, 2023b).

Este paradigma es especialmente relevante en el contexto minero, donde existen múltiples instancias de equipos similares (bombas, sensores, válvulas, etc.), que deben representarse de manera estandarizada y flexible. Esto se observa en la siguiente figura.

Figura 16. *Herencia de objetos en Ignition*



Adaptado de (Inductive Automation, 2023b)

Una plantilla de UDT puede representar, por ejemplo, una bomba, con tags como Estado, Velocidad, Caudal, Alarma, etc. A partir de esta plantilla, se pueden crear instancias individuales para cada equipo de campo. La herencia permite que un nuevo UDT se base en otro ya existente (UDT padre), agregando o sobrescribiendo miembros. Esta estructura facilita la administración masiva de dispositivos, la aplicación de lógica común (alarma, logging) y la compatibilidad con scripts y bindings automáticos (Gómez et al., 2020).

Cada template puede tener propiedades internas y externas, las cuales pueden enlazarse a tags o valores dinámicos desde el exterior. Además, Ignition permite que los templates incluyan otros templates internamente, y que una plantilla sea construida a partir de otra. Así, un template base puede contener la lógica general de una válvula, y otros templates pueden extenderlo.

Asimismo, Ignition permite crear jerarquías de componentes visuales mediante:

- Componentes personalizados que se comportan como objetos extendidos (agregando propiedades, eventos y métodos).

- Librerías de componentes donde se definen comportamientos comunes (colores, animaciones, eventos) reutilizables.
- Bindings heredados que se propagan desde niveles superiores de la interfaz.

Esto permite que los cambios aplicados a una plantilla base se reflejen automáticamente en todas sus instancias, lo cual reduce el riesgo de errores, mejora la mantenibilidad y acelera el desarrollo del SCADA.

El uso de herencia en Ignition, tanto a nivel de etiquetas (UDTs) como de visualización (Templates y Faceplates), constituye una práctica esencial para el diseño modular, eficiente y robusto de sistemas SCADA en entornos industriales complejos como la minería. Este enfoque no solo acelera el desarrollo inicial del sistema, sino que permite su evolución controlada en el tiempo, lo cual es crítico en proyectos con largo ciclo de vida operativo y alta rotación de equipos.

CAPÍTULO III: SISTEMA EXISTENTE

El sistema existente se distribuye como se muestra en la siguiente figura, esto permite una comprensión geográfica de la implementación del proyecto dentro de la misma unidad minera.

Figura 17. *Distribución geográfica de implementación del proyecto*



Adaptado de (Google, 2025a)

3.1 Precedentes

Con la documentación presentada por la empresa contratista y la existente en la unidad minera, se revisaron las filosofías de control, arquitecturas de comunicación, protocolos y demás aspectos técnicos para un buen entendimiento del equipamiento existente del POMC.

3.1.1 Protocolos de Comunicación de Dispositivos de Campo

Revisando documentos existentes del área 1 (CCS) del POMC, se observó que los dispositivos involucrados en el control del Scrubber usan Profinet, mientras que dispositivos involucrados en el control del Ball Mill y Espesador usan EtherNet/IP.

Por su parte, documentos correspondientes al área 2 (CIL) del POMC indican que la comunicación del controlador principal usa EtherNet/IP.

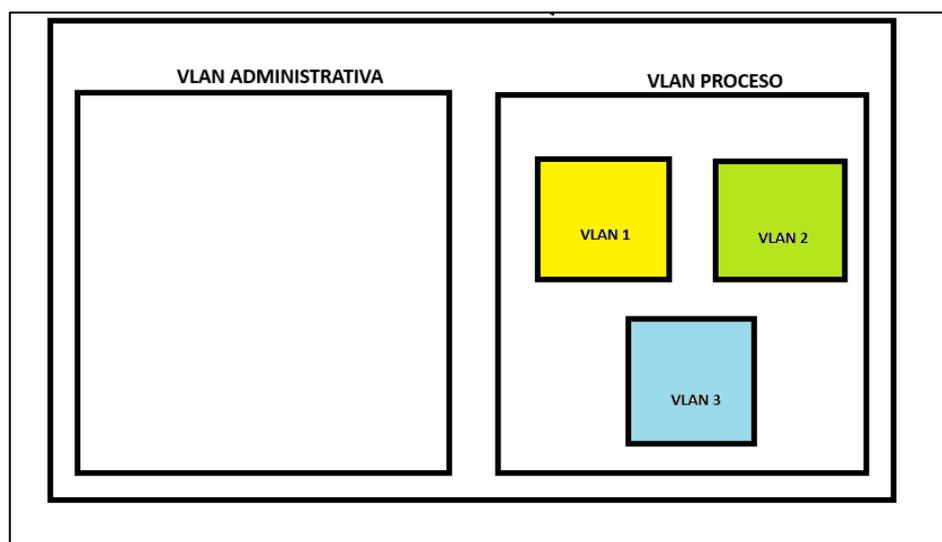
Así también se trabaja en el área 3 (CIL Residue) del POMC, donde todos los filtros, el espesador y el controlador supervisor trabajan bajo comunicación EtherNet/IP.

3.1.2 Redes por Área de Trabajo

El sistema de control existente cuenta con un direccionamiento de dispositivos IP para cada subproceso de cada área, las direcciones IP son mostradas en el anexo 1, anexo 2 y anexo 3 del presente documento. Cabe resaltar que dicho direccionamiento funciona por el medio físico Ethernet (UTP de cobre con RJ45) basándose en TCP/IP.

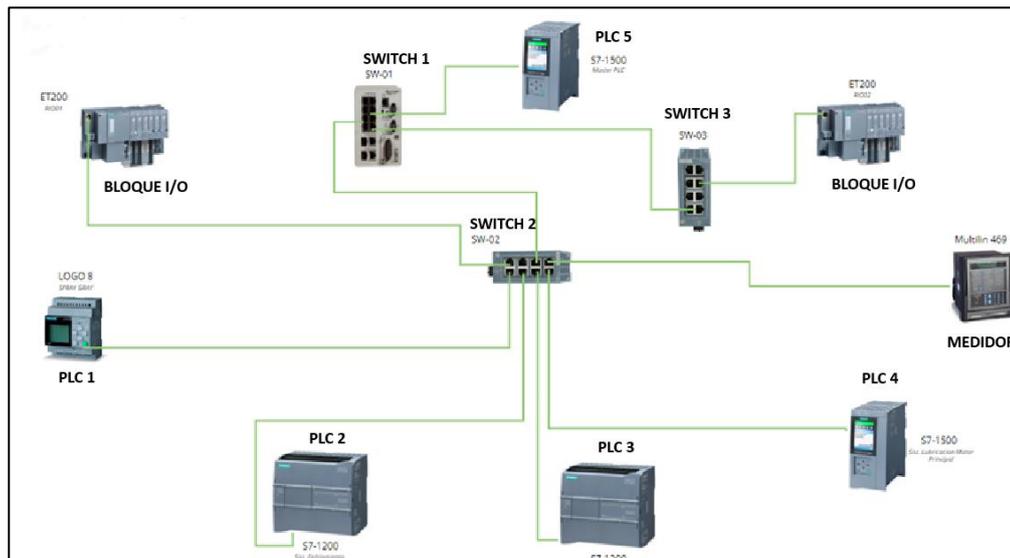
Se tuvo presente que la administración de direcciones para la unidad minera fue virtualizada a través de 2 VLAN, una administrativa y otra de proceso. La VLAN de proceso se subdividía en VLAN 1, VLAN 2 y VLAN 3 para el área uno (CCS), área dos (CIL) y área tres (CIL Residue) respectivamente. Estos son segmentos de red local de uso limitado a cada área y no tienen comunicación con otras VLAN ni con otro dispositivo fuera de su topología. Esto se observa en la siguiente figura.

Figura 18. *Redes virtualizadas existentes en la empresa*



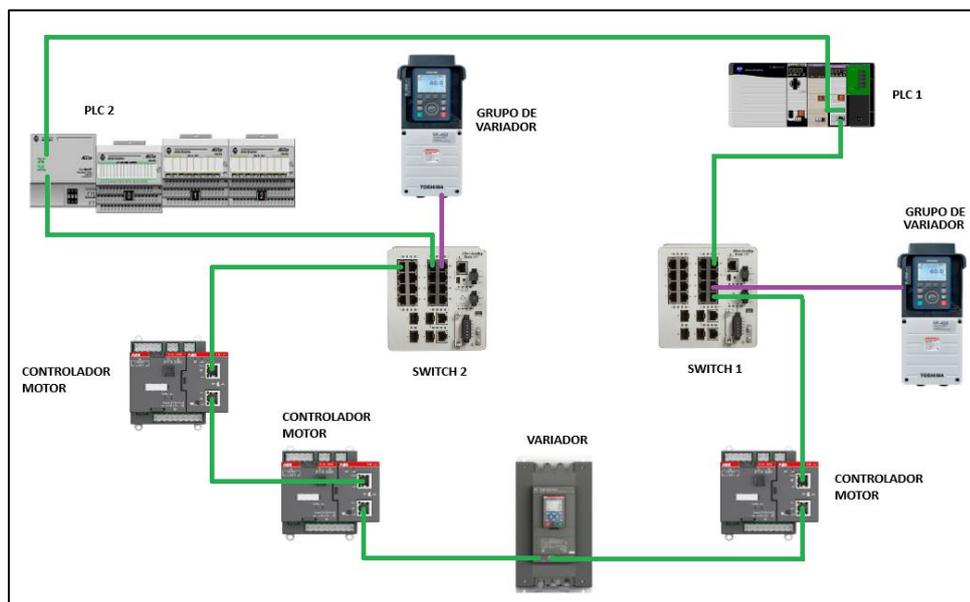
El área uno (CCS) comprende de 3 subprocesos automatizados. El primero involucra el sistema de control del Scrubber, el segundo involucra el sistema de control del Ball Mill y el último involucra el sistema de control del Espesador. En el sistema de control del Scrubber se utilizó el soporte del fabricante Siemens para los controladores y algunos switches, describiendo una topología de red tipo estrella. Esto se observa en el siguiente esquema.

Figura 19. Topología de red de sistema de control del Scrubber área uno



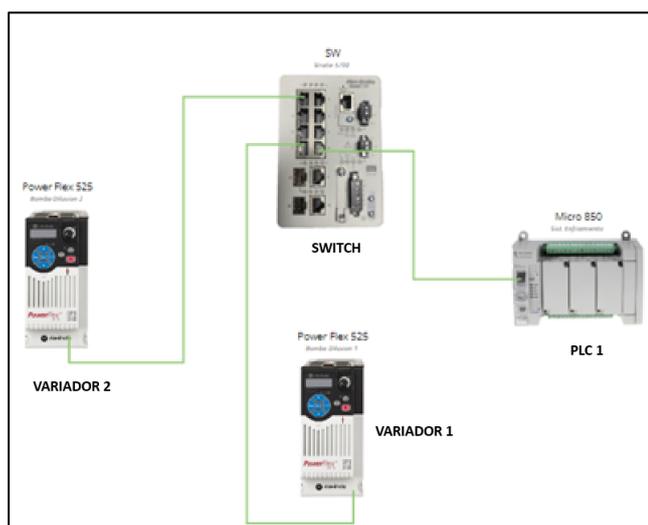
En el sistema de control del Ball Mill se utilizó el soporte del fabricante Rockwell Automation para los controladores y switches administrables, describiendo una topología de red híbrida entre anillo y estrella. Esto se observa en el siguiente esquema.

Figura 20. Topología de red de sistema de control del Ball Mill área uno



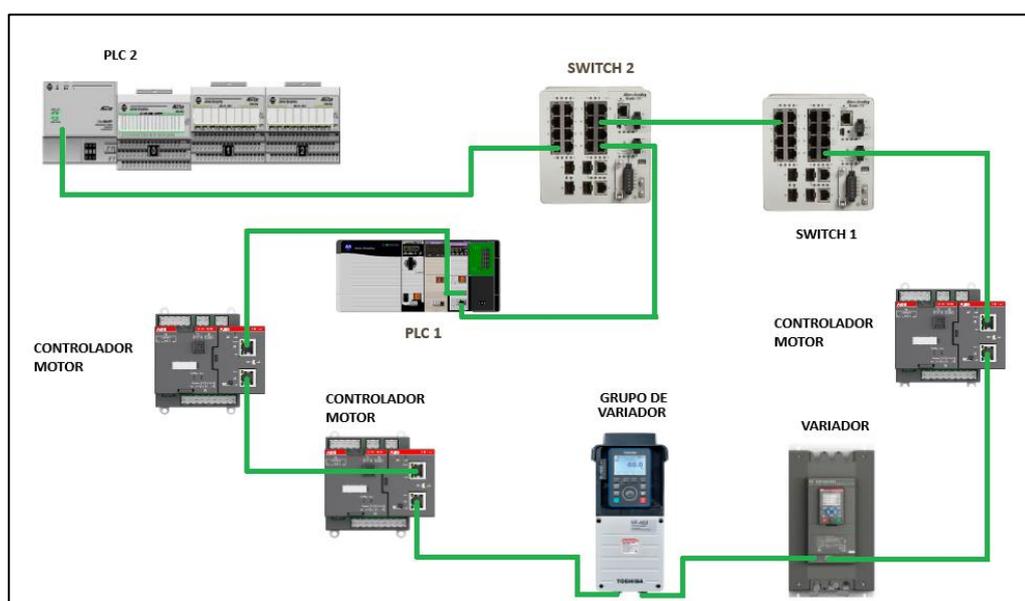
En el sistema de control del Espesador se utilizó también el soporte del fabricante Rockwell Automation para el controlador y switch administrable, describiendo una topología de red tipo estrella. Esto se observa en el siguiente esquema.

Figura 21. Topología de red de sistema de control del Espesador área uno



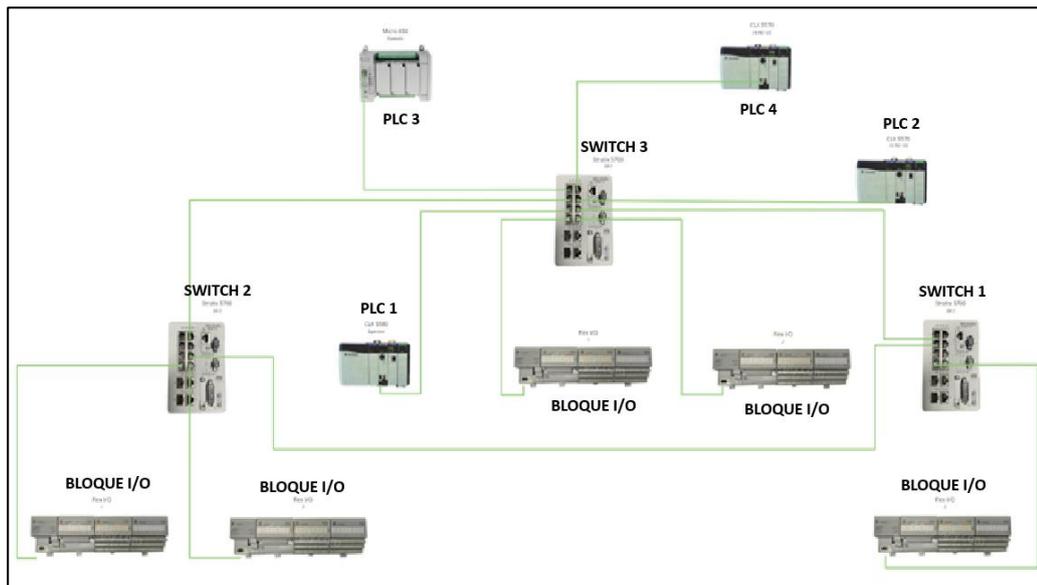
El área dos (CIL) posee comunicación mediante EtherNet/IP con todos sus dispositivos en campo. En esta área del POMC (CIL) solo se usó una topología de red híbrida entre anillo y estrella. Esto se refleja en la siguiente figura.

Figura 22. Topología de red del área dos



El área tres (CIL Residue) comprende de 3 subprocesos automatizados y una topología de red híbrida entre estrella y anillo. Dos de ellos involucran un sistema de control propio de un Filtro Prensa mientras que el otro involucra un sistema de control de un Espesador. Esto se observa en el siguiente esquema.

Figura 23. Topología de red del área tres



Por otro lado, se muestran las características de hardware del servidor principal existente usado en la unidad minera para la virtualización de distintos servidores.

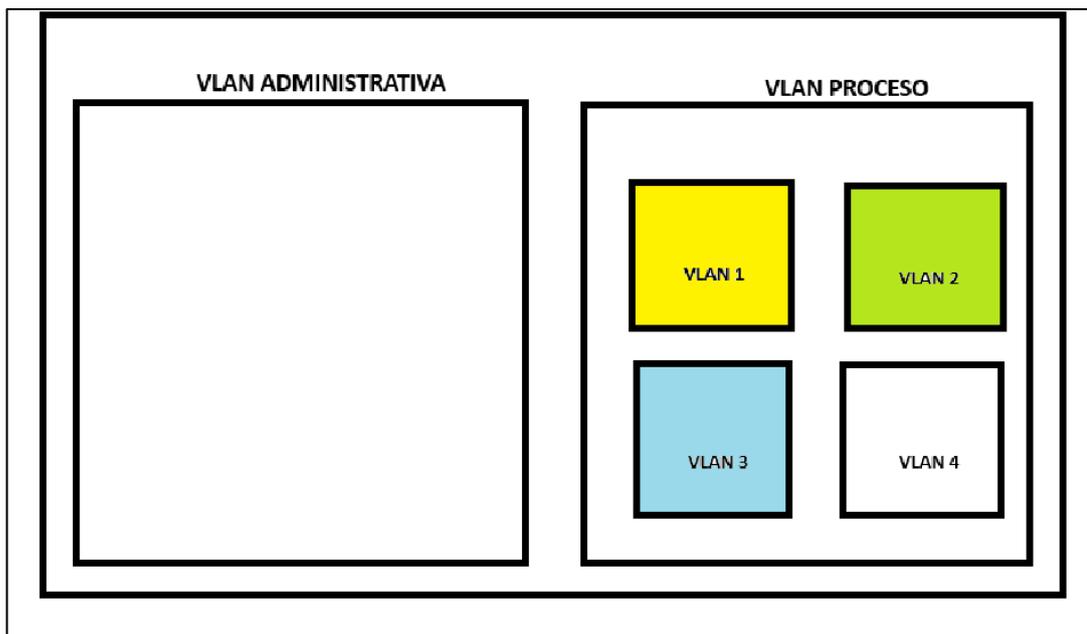
Tabla 1. Resumen de características del servidor tipo rack físico

Servidor Físico	
Característica	Descripción
Hypervisor	VM Ware ESXi 7.02
Model	VCSC-C220-M5SX
Processor	Intel Xeon Silver 4210R @2.4GHz-4 CPU
Logical processors	40

CAPÍTULO IV: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL NUEVO SISTEMA

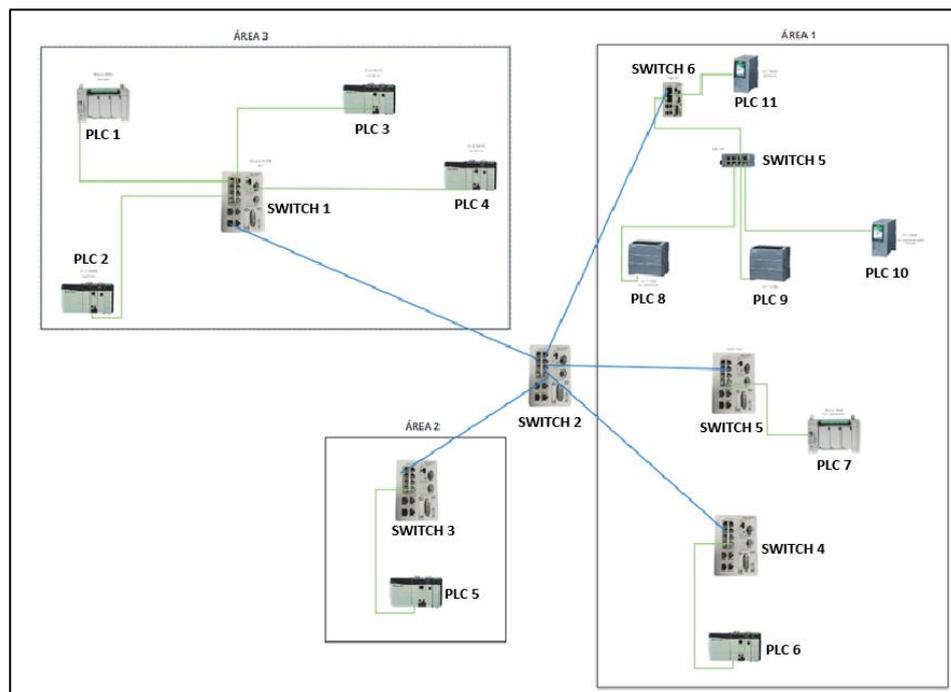
Para el diseño del presente proyecto se creó la VLAN 4 y se distribuyó en todo el POMC para comunicar todos los controladores y switches administrables del proyecto. La siguiente figura muestra la actual distribución de las redes virtualizadas en la empresa, incluyendo la VLAN 4.

Figura 24. *Redes virtualizadas actuales en la empresa*



Entonces, la arquitectura de control que posee la VLAN 4, considerando solamente controladores, se muestra en la siguiente figura.

Figura 25. Arquitectura de control considerando solo controladores en VLAN 4



4.1 Requerimientos del Proyecto

4.1.1 Comunicación del Sistema SCADA

Para la centralización del POMC, es necesaria la conexión del servidor principal del sistema SCADA con la VLAN 4, donde dicho servidor tendrá alcance a todos los controladores pertenecientes a la VLAN 4.

4.1.2 Sistema SCADA

Tabla 2. Requisitos para el sistema SCADA

Requisito	Descripción
Fabricantes	Siemens Rockwell Automation
Comunicación	Ethernet
Usuarios	10 usuarios simultáneos
Diseño	Estándar ISA 101.01
Almacenamiento	Base de datos
Seguridad	Niveles de seguridad según usuario
Gestión	Creación de usuarios, brindar o negar permisos

4.1.3 Implementación en Centro de Control

Para la implementación del sistema SCADA en el centro de control de la empresa se necesitará un servidor principal. Este servidor centralizará todas las imágenes del sistema SCADA para ser usadas por los clientes. A continuación, se muestran las características del servidor, según la guía planteada por NV Tecnologías (NVT Tecnologías, 2024) (empresa de soporte de Ignition en Latinoamérica) para un “Proyecto de Ignition Mediano”.

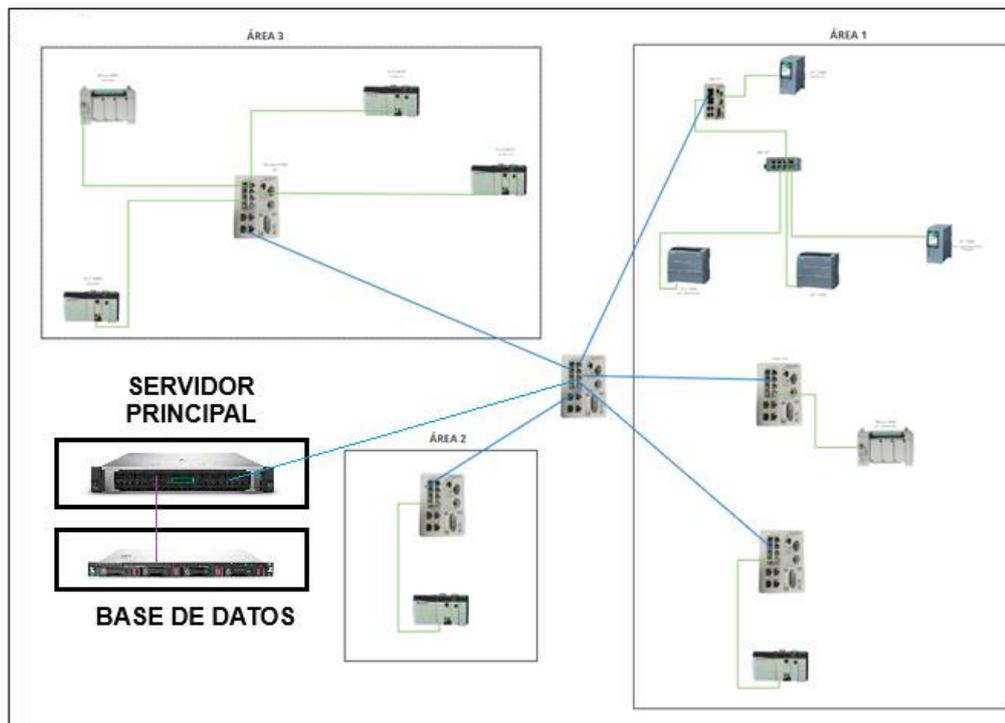
- 4 núcleos (3 GHz o más)
- 4GB de memoria RAM
- Memoria interna tipo SSD
- 1-25 dispositivos
- 10000 etiquetas
- 20 clientes concurrentes

4.2 Diseño

4.2.1 Arquitectura de Comunicación

La arquitectura de comunicación fue elegida para que la comunicación con los controladores de la VLAN 4 sea directa, es decir, para que el servidor principal de Ignition tenga alcance a cada uno de los controladores del POMC, eligiendo así una topología de red tipo estrella, aprovechando las características del switch administrable principal. Para que esto sea posible, se comunicó el servidor principal de Ignition mediante Ethernet hasta un switch administrable que pertenece a la VLAN 4. La arquitectura completa se muestra en la siguiente figura.

Figura 26. Arquitectura de comunicación para el sistema SCADA



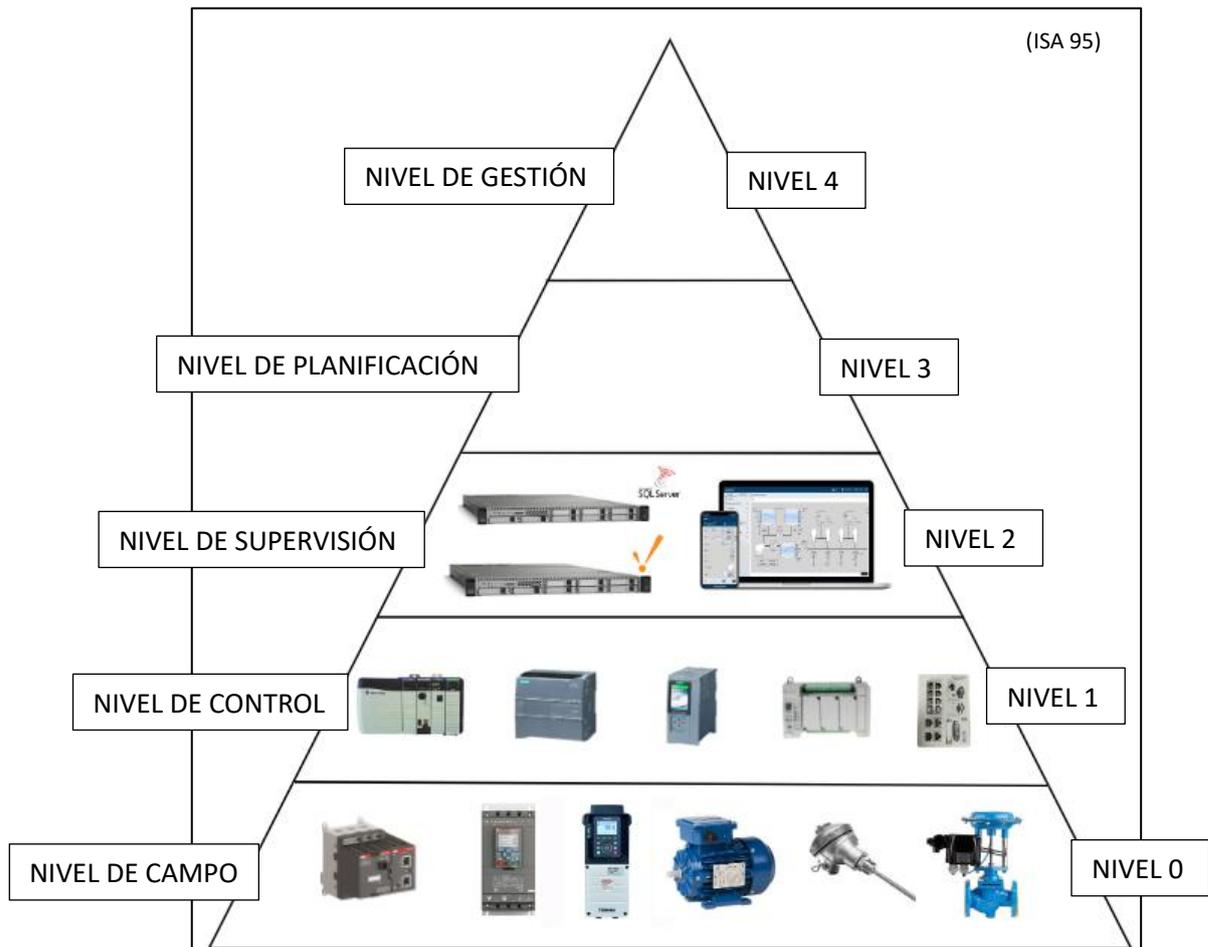
Para la comunicación de todos los controladores con el servidor principal de Ignition se eligió OPC-UA en modo cliente, esto motivado por la simplicidad de la conexión entre dispositivos y la rápida navegación del usuario entre pantallas del sistema SCADA. Para esto se tuvo que crear una conexión previa de cada controlador en el Gateway del servidor principal de Ignition haciendo uso de los drivers embebidos que trae el software.

Para el almacenamiento histórico de datos fue necesaria la conexión de una base de datos estructurada con el servidor principal de Ignition. Previo a esto, se creó una base de datos con tablas correspondientes, donde se especificaron columnas y detalles necesarios para el almacenamiento de la información. Así, mediante el Gateway de Ignition se creó una conexión nueva con el JDBC correspondiente y las credenciales de la base de datos.

Por otro lado, este diseño muestra que en el primer nivel de la automatización se encuentran los diferentes dispositivos de las subredes: VLAN 1, VLAN 2 y VLAN 3, es decir, sensores, actuadores y otros dispositivos de campo presentes en el POMC de la unidad minera, en el segundo nivel de automatización se encuentran los PLCs y en el tercer nivel de la automatización se encuentran: el servidor principal de Ignition y la base de datos. De esta forma se resalta que el presente

proyecto tiene alcance hasta el tercer nivel de la automatización, sin embargo, deja bases sólidas para trabajar en las 2 siguientes etapas de la pirámide de la automatización, puesto que el software y la infraestructura utilizada fueron elegidas con esta visión. En la siguiente figura se puede observar lo mencionado líneas arriba.

Figura 27. Alcance del proyecto de ingeniería en la pirámide de la automatización



4.2.2 Software

Tabla 3. *Comparación de principales desarrolladores de sistemas SCADA (Castillo Sierra, 2012)*

Fabricante	Siemens	Rockwell Automation	Inductive Automation
Software	WinCC	Factory Talk View Site Edition	Ignition Vision
Sistema Operativo	Windows	Windows	Multiplataforma: Windows macOS Linux
OPC	SIMATIC NET OPC Server	RSLink	Ignition OPC-UA Server
Licencia OPC	Propietario	Propietario	Gratis
Base de datos local	SQL Server	SQL Server	SQL Server MySQL PostgreSQL Oracle
Licencia SCADA	Propietario	Propietario	Propietario
Lenguaje programación	VB-Scripting y C-Scripting	Visual Basic	Python
Seguridad	Autenticación por roles	Autenticación por roles	Autenticación por usuarios y roles Autenticación por directorio activo
Driver de PLC	Productos Siemens	Productos Rockwell Automation	Productos de: Rockwell Automation Siemens Schneider Electric Mitsubishi Electric Omron ABB
Acceso simultaneo	Limitado por licencias	Limitado por licencias	Ilimitado

Se optó por el software desarrollado por Inductive Automation, llamado Ignition porque cumple con todos los requisitos del sistema SCADA mostrados en la tabla 2, es decir, brinda comunicación a sistemas de diferentes fabricantes con su

servidor principal, tiene la ventaja de ser usado por múltiples usuarios sin costos adicionales de licencia. Además, su interfaz de desarrollo permite cumplir con estándares internacionales como ISA 101 mientras se supervisa el proceso en tiempo real. Finalmente, permite la conexión externa con una base de datos para almacenamiento de información y presta mejor seguridad con personalización de usuarios y roles.

El uso de licencias de los módulos de Ignition fueron indispensables para cumplir con los requerimientos del sistema SCADA. Con la licencia básica se limitaban las funciones a un periodo obligatorio de refresco manual de 2 horas. Esta licencia básica trae consigo prestaciones como la comunicación mediante OPC-UA con otros dispositivos, la gestión de configuraciones mediante el Gateway de Ignition, entre otros, sin embargo, es limitada para la aplicación en este proyecto.

Adquirir las licencias de Ignition permitió desarrollar aplicaciones SCADA y HMI para monitores de una sala de control, HMI de campo y equipos de escritorio, permitió el uso ilimitado de clientes al mismo tiempo. Hizo posible la actualización del diseño en todas las pantallas creadas. Asimismo, facilitó la comunicación con una base de datos externa para el almacenamiento de datos. Por otro lado, soportó Python (Inductive Automation, 2024c) e hizo posible diseñar aplicaciones para móviles y navegadores web pudiendo controlar y supervisar el proceso en tiempo real, contemplando las prestaciones del proyecto (Inductive Automation, 2024b).

La selección del gestor de base de datos dependió más de la afinidad que se tuvo con cada uno de ellos, sin embargo, se sabe que entre los más populares se tiene: MySQL y SQL Server. Ambos gestores trabajan con Ignition, sin embargo, la diferencia entre ambos radicará en la aplicación que se le dé, ya que MySQL es de uso orientado a proyectos más pequeños con necesidades de datos más simples, por ello más económico. Por otro lado, SQL Server es un gestor de uso orientado a proyectos más grandes con datos complejos, lo cual eleva su costo.

En el presente proyecto se analizaron estas opciones, limitando al uso de SQL Server por la afinidad que tiene el desarrollador del presente proyecto con dicho gestor de base de datos y por la existencia de licenciamiento para este software por parte de la empresa. Además, con una visión futura de almacenar datos más

complejos y trabajar con herramientas de industria 4.0. En el siguiente capítulo se muestran los detalles económicos de las cotizaciones del software.

Gracias a estas cotizaciones se observa la clara ventaja económica en inversión del proyecto con el software Ignition.

4.2.3 Hardware

Los criterios más relevantes en la elección del servidor principal de Ignition se basaron en la existencia del servidor físico mostrado en el anterior capítulo, usando las licencias existentes del software VMWare de la empresa, así como requisitos planteados por el presente proyecto y sugerencias de la guía planteada por NV Tecnologías. Por tal motivo, se eligen las características de hardware del servidor principal de Ignition, mostradas en los anexos 5, 6 y 7 y resumidas en la siguiente tabla (NVT Tecnologías, 2024).

Tabla 4. Resumen de características del servidor virtualizado de Ignition

Servidor Virtual	
Característica	Descripción
Sistema Operativo	Windows Server 2019 Estándar 64 bits
Fabricante de Sistema	VMware Inc.
Procesador	Intel Xeon Silver 4210R @2.4GHz-4 CPU
RAM	24 GB
Memoria Interna	300 GB

4.3 Bloques de Programación

4.3.1 Rockwell Automation

Para autómatas ControlLogix 5570 y ControlLogix 5580 presentes en el POMC se usó el software de programación Studio5000 desarrollado por Rockwell Automation, donde se usaron instrucciones Add-On (bloques) propios del software. Cada instrucción Add-On cuenta con un tipo de dato definido, el cual fue modificado mediante su software de programación para manejar un estándar en la unidad minera.

Para autómatas Micro 850 presentes en el POMC se usó el software de programación Connected Components Workbench (CCW) desarrollado por Rockwell Automation, donde se usaron instrucciones UDFB (Bloque de Función

Definida por el Usuario) generadas en el mismo proyecto. Esto permitió realizar la programación abstrayendo el funcionamiento de un proceso específico y usándolo para los demás procesos del mismo PLC. El entendimiento de librerías y estándares existentes es importante para el desarrollo del presente proyecto, para esto, en el anexo 19 se explicarán criterios básicos de cada instrucción usada para generar los datos y funciones utilizadas posteriormente.

4.3.2 Siemens

Para autómatas S7-1500 y S7-1200 presentes en el POMC se usó el software de programación TIA PORTAL V17 desarrollado por Siemens, donde se usaron bloques FB (Bloque de Función) propias del software. Cada bloque FB cuenta con un tipo de dato definido, el cual fue modificado mediante su software de programación para manejar un estándar en la unidad minera. Igualmente, este apartado está desarrollado detalladamente en el anexo 20 del presente documento.

4.4 Desarrollo en Ignition

Para el desarrollo en Ignition, es necesaria la comunicación de todos los dispositivos (PLCs) con el servidor principal de Ignition, esto se realizó mediante OPC-UA en modo cliente. Para esto se tuvo que crear una conexión previa de cada dispositivo en el Gateway de Ignition, haciendo uso de los drivers embebidos que trae el software, este procedimiento se detalla en el anexo 21 del presente documento.

4.4.1 UDT

En el desarrollo del sistema SCADA fue indispensable el uso de programación orientada a objetos y con esto el uso de UDTs en todo el proyecto, estas estructuras se usaron para abstraer el comportamiento de un tipo de dato repetitivo y poder usarlo en diferentes entornos sin la necesidad de volver a crearlo. Es así como se generaron UDTs de tipo: motor, válvula, tanque, sensor, etc.

Para su creación se usó un parámetro común a todos dentro del UDT llamado “ADDR” de tipo entero, este parámetro se manipuló para conseguir cada uno de los ítems relevantes del PLC. A continuación, se muestra un ejemplo usado de los parámetros de conexión.

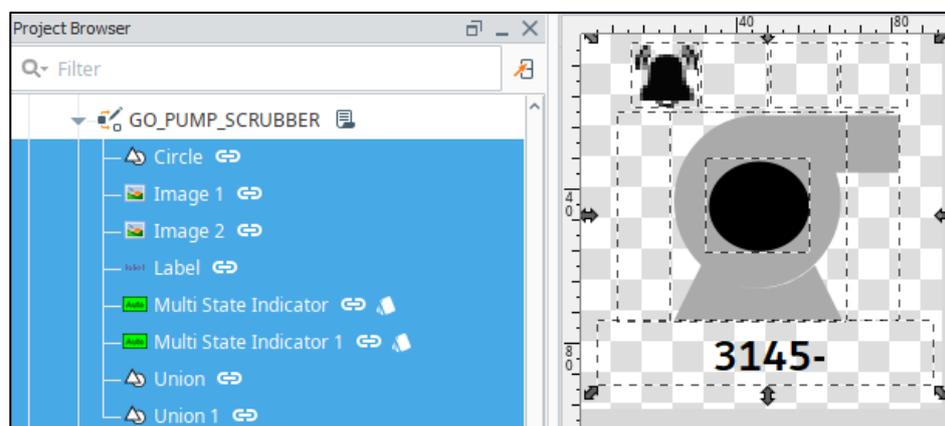
La dirección $ns=1; s=[3145_SCRUBBER]DB7, REAL\{ADDR+28\}$ en Ignition se compone de diferentes elementos que indican cómo acceder a un valor específico dentro del PLC:

- Espacio de nombres (ns): 1 indica que el valor se encuentra en el espacio de nombres con el ID 1.
- Ruta de símbolo (s): [3145_SCRUBBER]DB7 identifica el símbolo específico al que se quiere acceder. Donde [3145_SCRUBBER] es el nombre del dispositivo y DB7 el nombre del símbolo dentro del dispositivo.
- Tipo de dato (REAL): indica que el valor es un número de punto flotante.
- Modificador de dirección (ADDR+28): modifica la dirección base del símbolo en 28 bytes. Esto se usa para acceder a diferentes ítems de un tipo de dato complejo.

4.4.2 Template

Observando complejidad de los datos del sistema SCADA y su uso repetitivo se planteó el diseño de objetos generales o templates para facilitar el trabajo de diseño a nivel gráfico. Cada uno de éstos representaron gráficamente un conjunto de datos propios del equipo o dispositivo para supervisar los parámetros en el sistema SCADA. Para su implementación se crearon los parámetros que usa el template vinculándolos con todos los ítems del UDT correspondiente. Luego, se diseñó el objeto global siguiendo el estándar ISA 101.01 y con este cada uno de sus componentes, dotando de propiedades a cada uno de estos. En la siguiente figura se muestra su diseño y configuración de propiedades en el entorno de desarrollo.

Figura 28. *Diseño de template en Ignition*

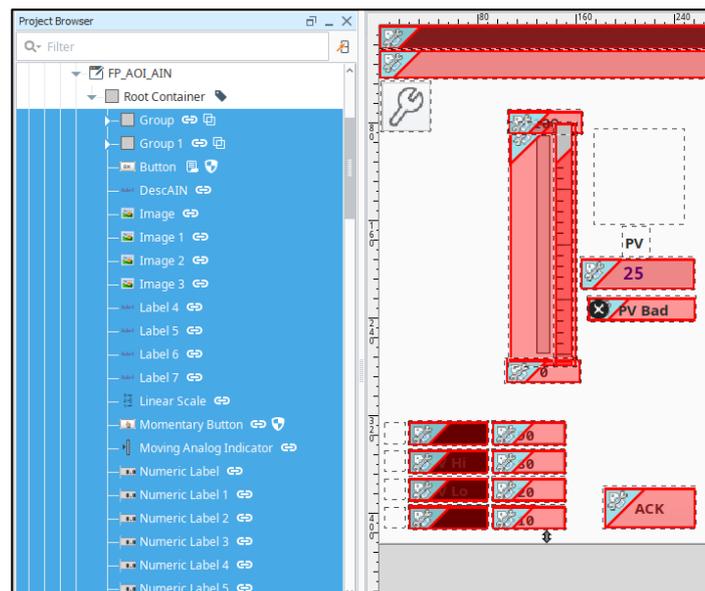


4.4.3 Faceplate

Un sistema SCADA trae consigo pantallas de configuración de sus equipos y dispositivos, es por lo que surgió la necesidad de usar faceplates de configuración que brinden más información del sistema SCADA y de forma sencilla. Su implantación facilitó la gestión de parámetros del sistema SCADA.

Para esto, se asoció cada uno de los faceplates con un UDT y un template creado previamente, para brindar todos los parámetros que trae consigo. Su diseño fue similar al de un template, primero se crearon los parámetros que usó el faceplate vinculados con todos los ítems del UDT correspondiente. Luego, se diseñó la interfaz visual del faceplate siguiendo el estándar ISA 101.01 y con éste cada uno de sus componentes, dotando de propiedades a cada uno de éstos. En la siguiente figura se muestra su diseño y configuración de propiedades en el entorno de desarrollo.

Figura 29. *Diseño de faceplate en Ignition*



Finalmente, se configuró dicho objeto para que, con un clic sobre este, se pasen todos los tags involucrados a la ventana emergente de faceplate. Es así como un faceplate emergente recibe la información necesaria para mostrarla en una interfaz más amigable.

4.4.4 Creación de Variables de Interés

Luego de la comunicación con el servidor principal de Ignition y la generación de UDTs, templates y faceplates, lo siguiente fue crear las variables para enlazarlas con sus respectivos autómatas e instanciar todos sus atributos.

Para esto, primero se creó un tag instanciando un UDT y se le asignó un nombre luego, se ingresaron los parámetros para la conexión propios del tag del controlador. El primer parámetro correspondió al nombre de la conexión generada al momento de comunicar el controlador con el servidor principal, en el Gateway de Ignition. El segundo correspondió al nombre de la variable existente en el controlador.

Un caso particular fue la creación de variables con comunicación Modbus, donde primero se declaró en el PLC de origen (Micro850) como una variable Modbus a enviar a través de TCP. Luego, se analizaron 2 formas para instanciar las variables en el Gateway de Ignition, la primera fue la creación de cada variable de manera individual, la segunda fue generando arrays que contengan el mismo tipo de dato. La diferencia fue que al momento de instanciar las variables desde la interfaz de Ignition, con la primera forma se instanció con el tag creado, sin embargo, con la segunda forma se instanció con el tag creado por defecto en el array, obligando a renombrar el tag creado.

4.4.5 Distribución de Sistema SCADA

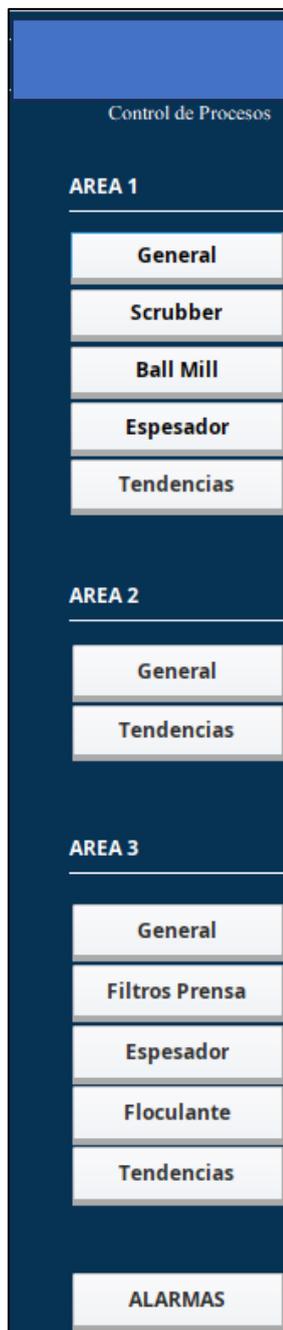
Para facilitar la navegación en el sistema SCADA se separaron los procesos con su respectiva área y se planteó un árbol de navegación que facilite el acceso a cada una de éstas.

En el árbol de navegación se dispuso de un botón de acceso directo a la pantalla “General”, “Scrubber”, “Ball Mill”, “Espesador” y “Tendencias” del área uno (CCS). Para el área dos (CIL) se dispuso de un botón de acceso directo a la pantalla “General” y “Tendencias”. Para el área tres (CIL Residue) se dispuso de un botón de acceso directo a la pantalla “General”, “Filtros Prensa”, “Espesador”, “Floculante” y “Tendencias”.

Finalmente, se dispuso del botón “Alarmas” para mostrar la pantalla donde se visualizan todas las alarmas del proyecto, pudiendo distinguir entre criticidad y

tiempo de activación. La siguiente figura muestra el árbol de navegación como menú principal de cualquier usuario del sistema SCADA.

Figura 30. *Árbol de navegación de sistema SCADA*



La distribución de cada pantalla del sistema SCADA obedece a los PFDs del POMC, mostrados en los anexos 10 al 16 donde se realizó un resumen de los equipos y subprocesos más importantes para mostrar en el sistema SCADA. Las siguientes figuras muestran la distribución del sistema SCADA.

Figura 31. Distribución General del área uno del sistema SCADA

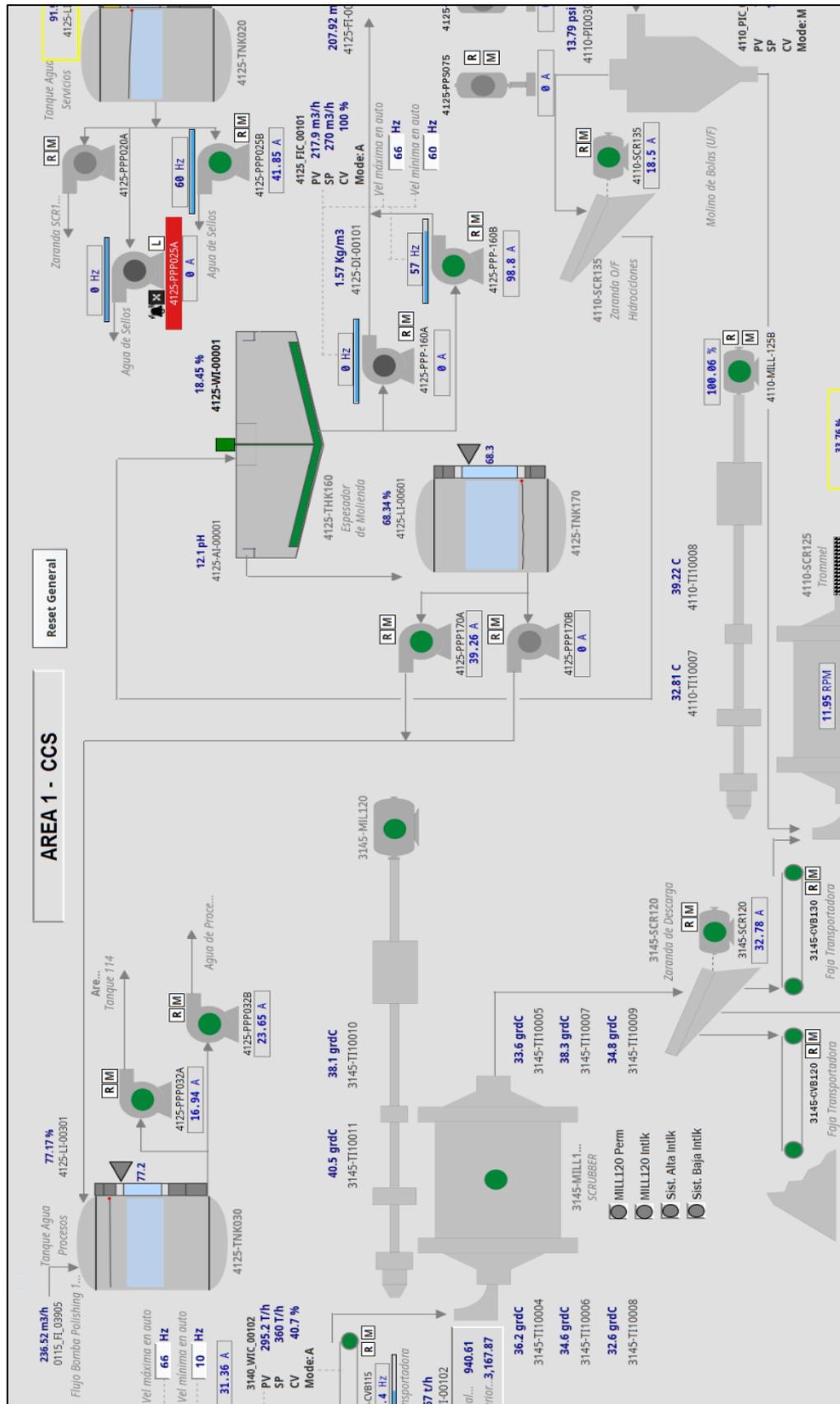


Figura 32. Distribución de Scrubber del área uno del sistema SCADA

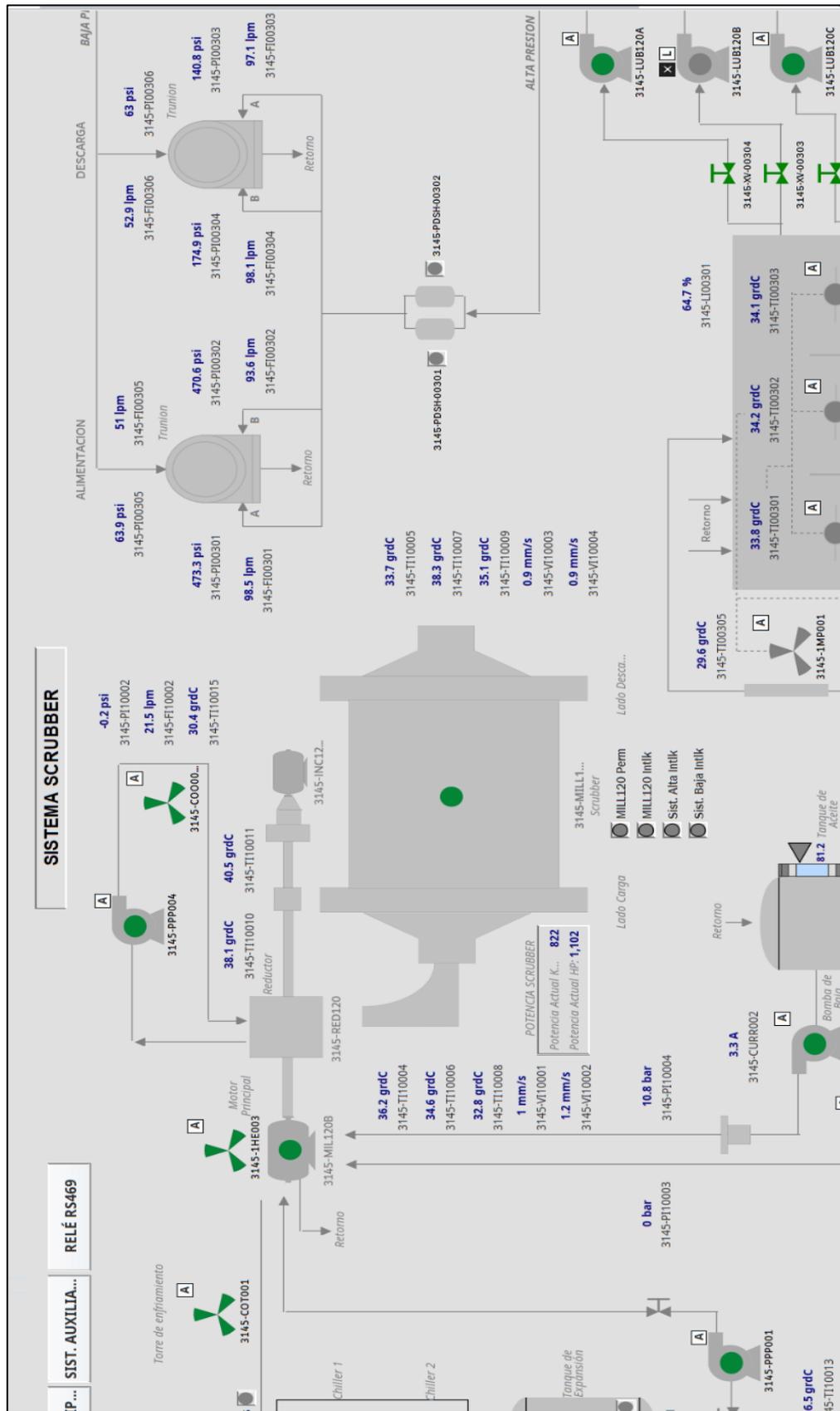


Figura 33. Distribución del Ball Mill del área uno del sistema SCADA

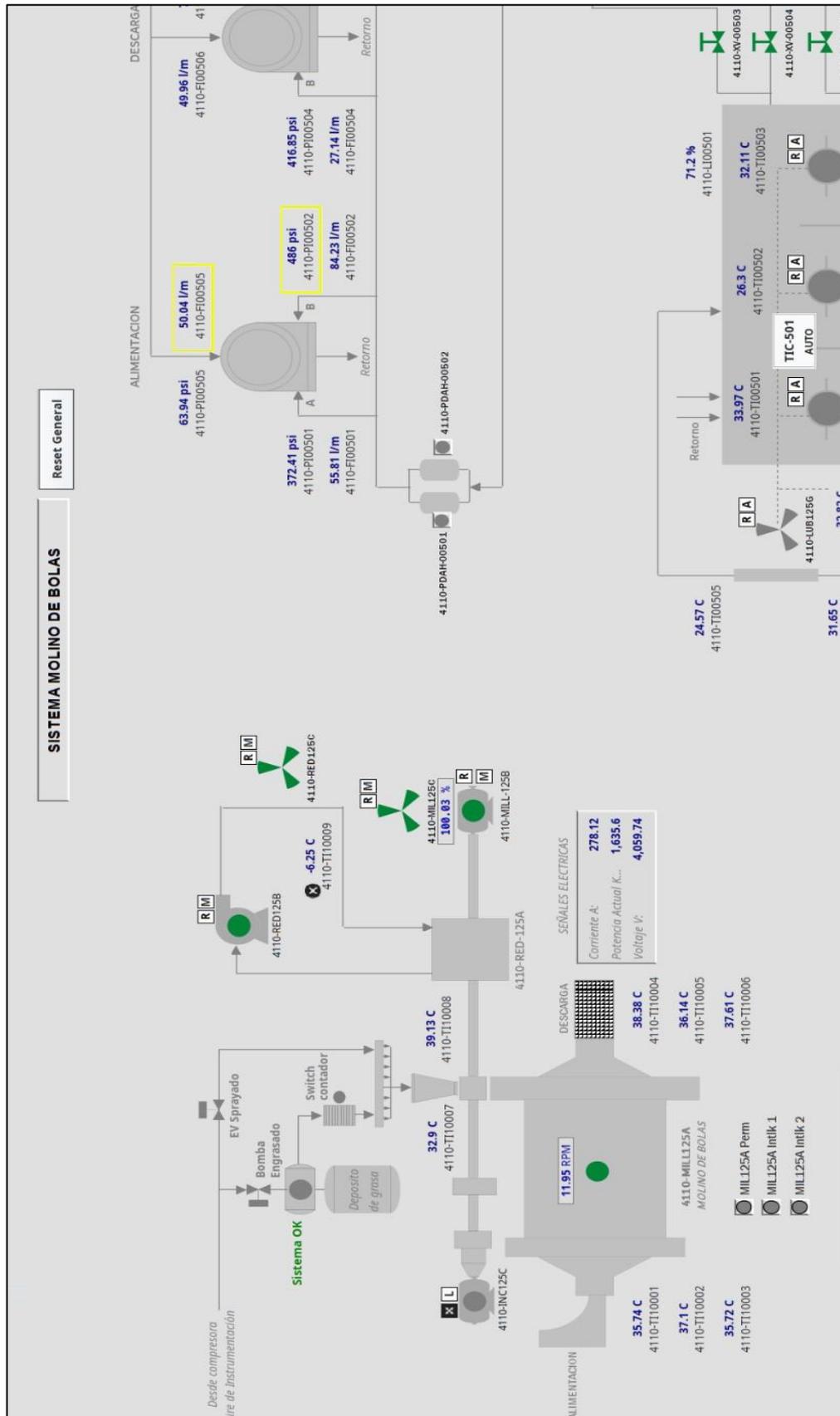


Figura 34. Distribución del Espesador del área uno del sistema SCADA

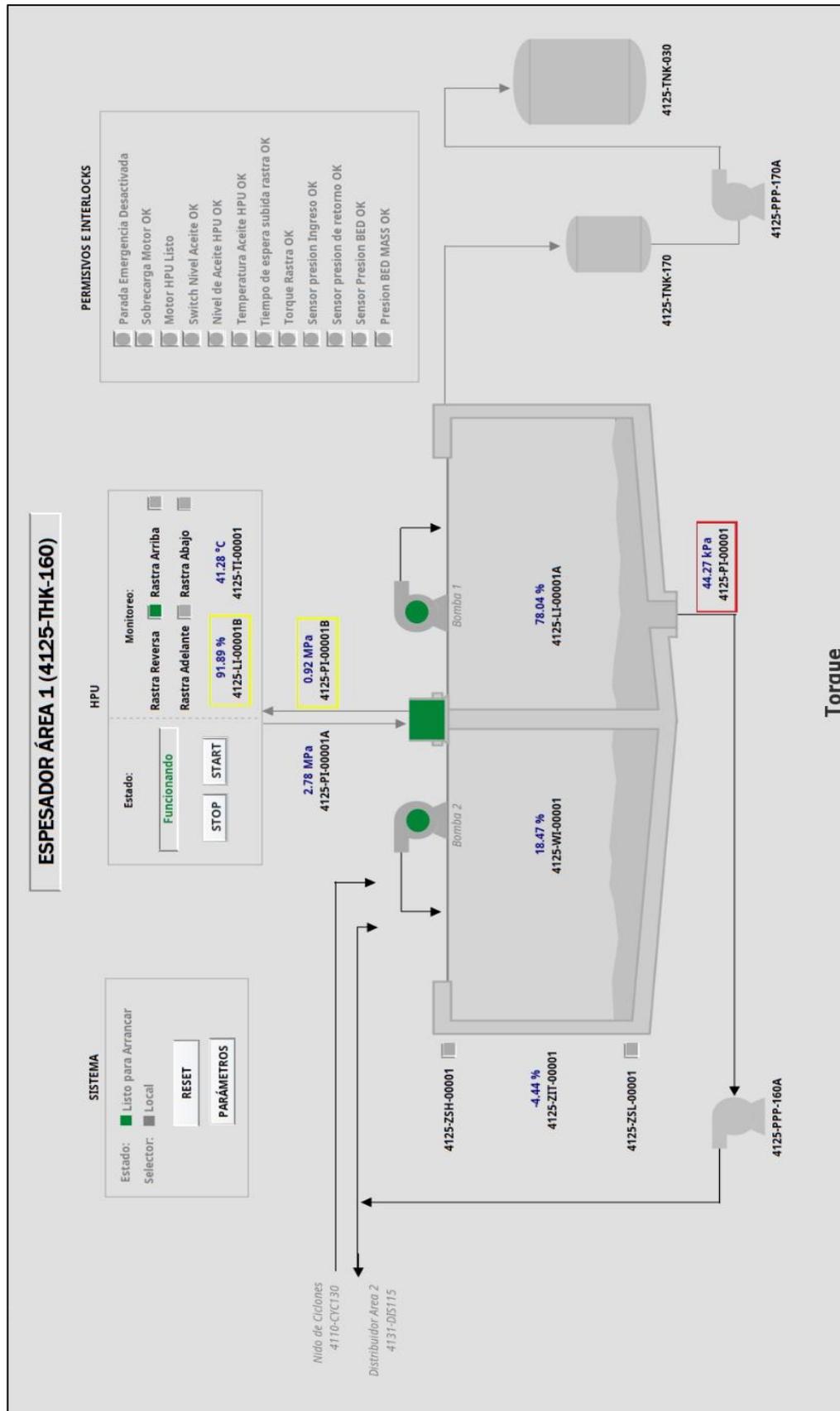


Figura 35. Distribución General del área dos del sistema SCADA

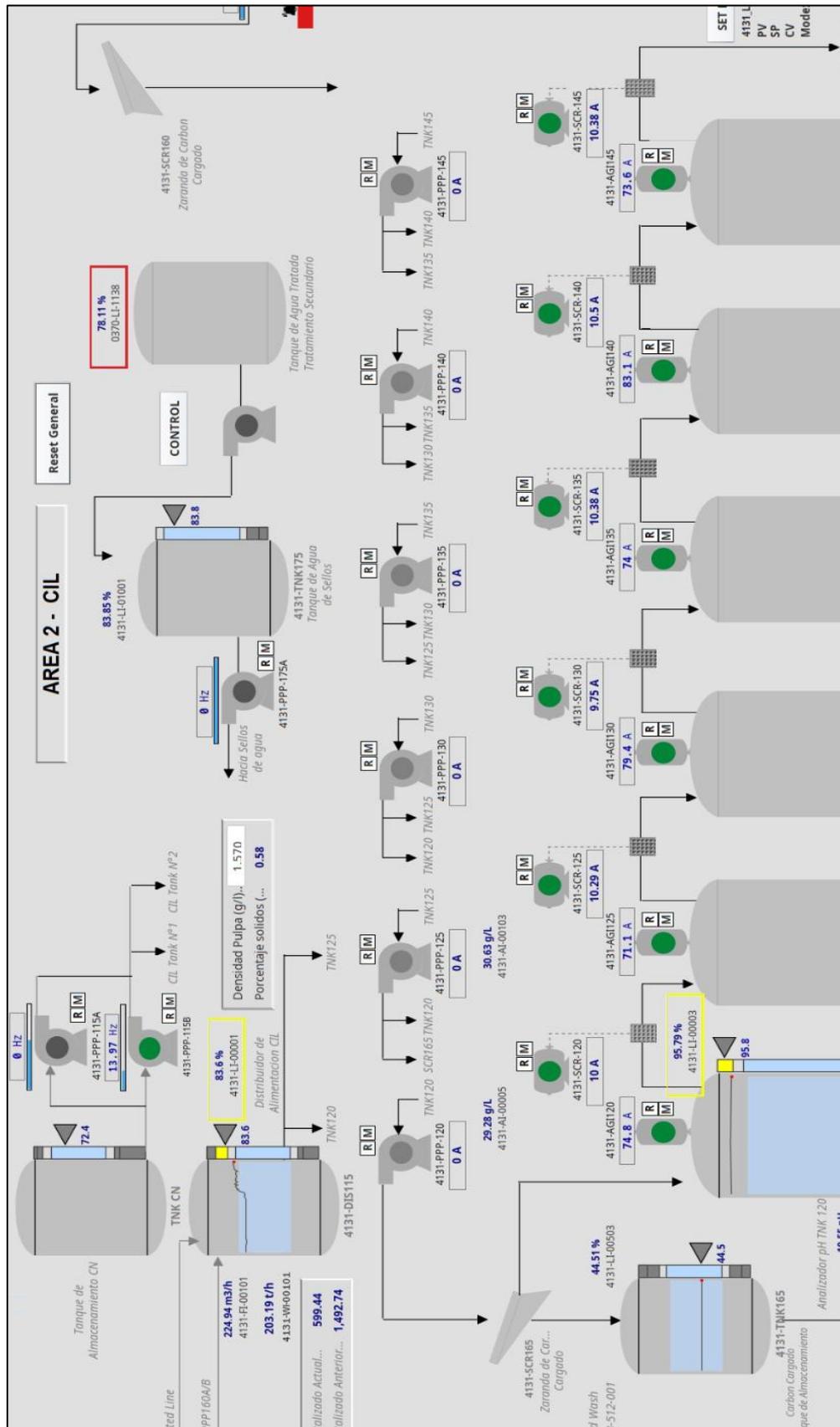


Figura 36. Distribución General del área tres del sistema SCADA

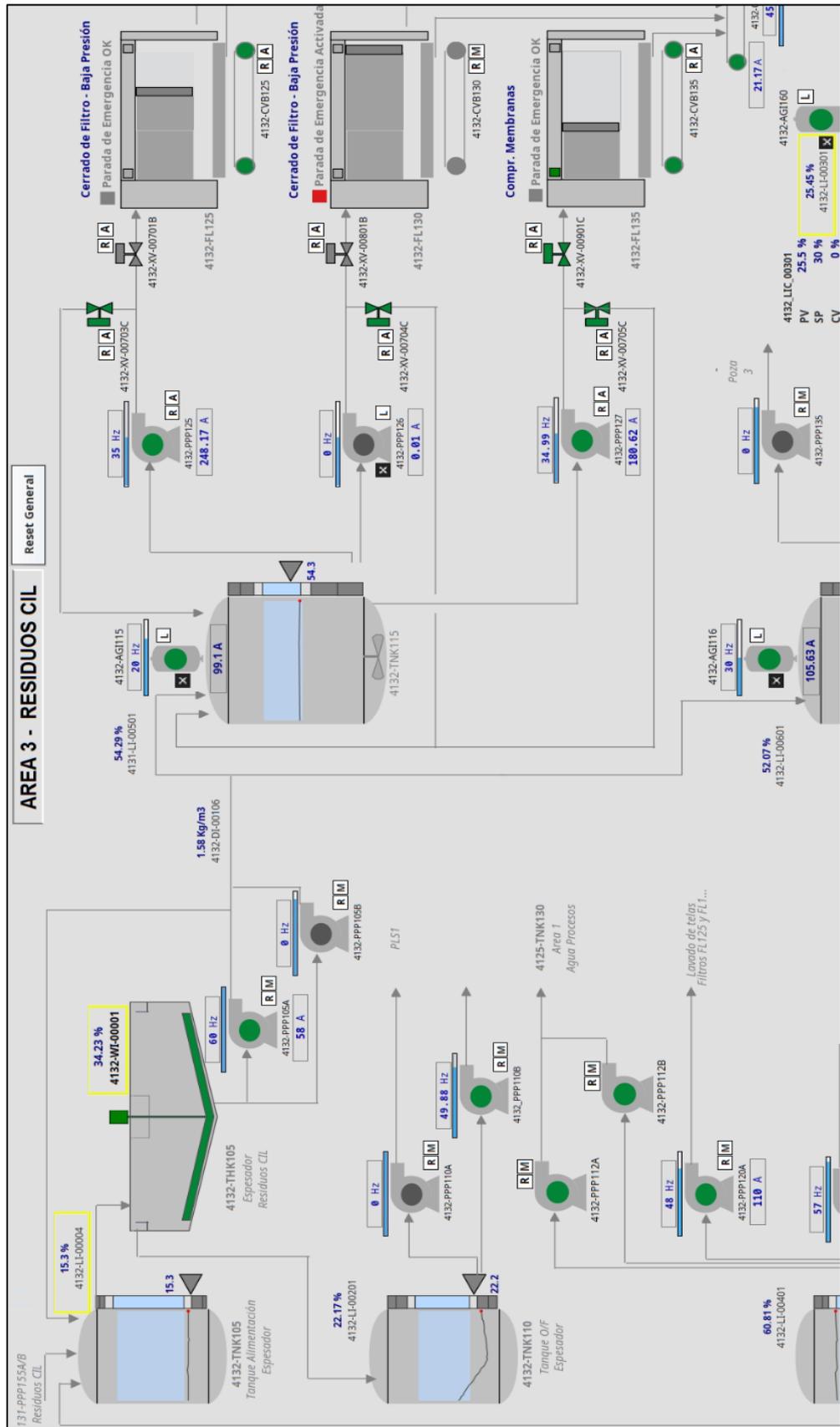


Figura 37. Distribución de los Filtros Prensa del área tres del sistema SCADA

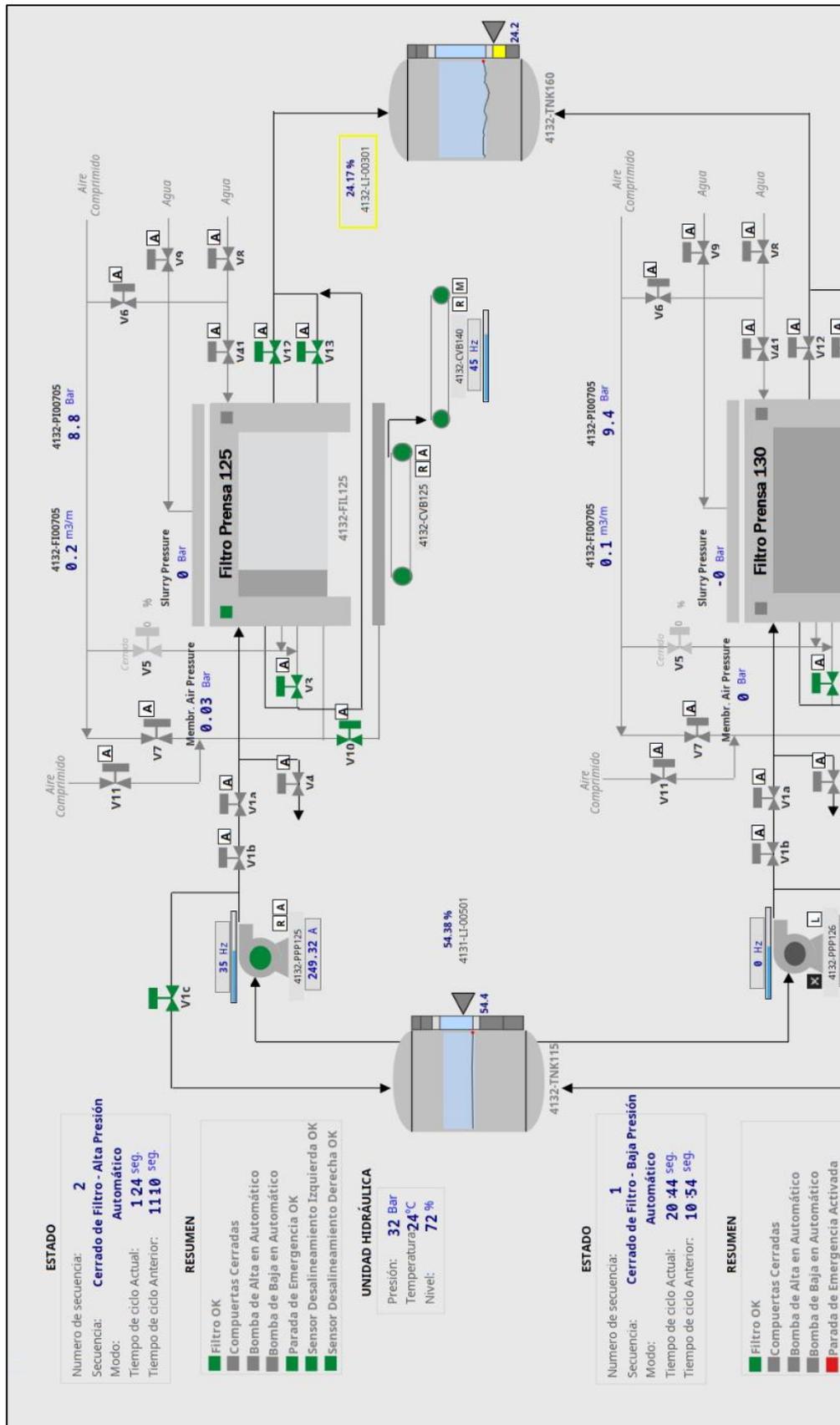


Figura 38. Distribución del Espesador del área tres del sistema SCADA

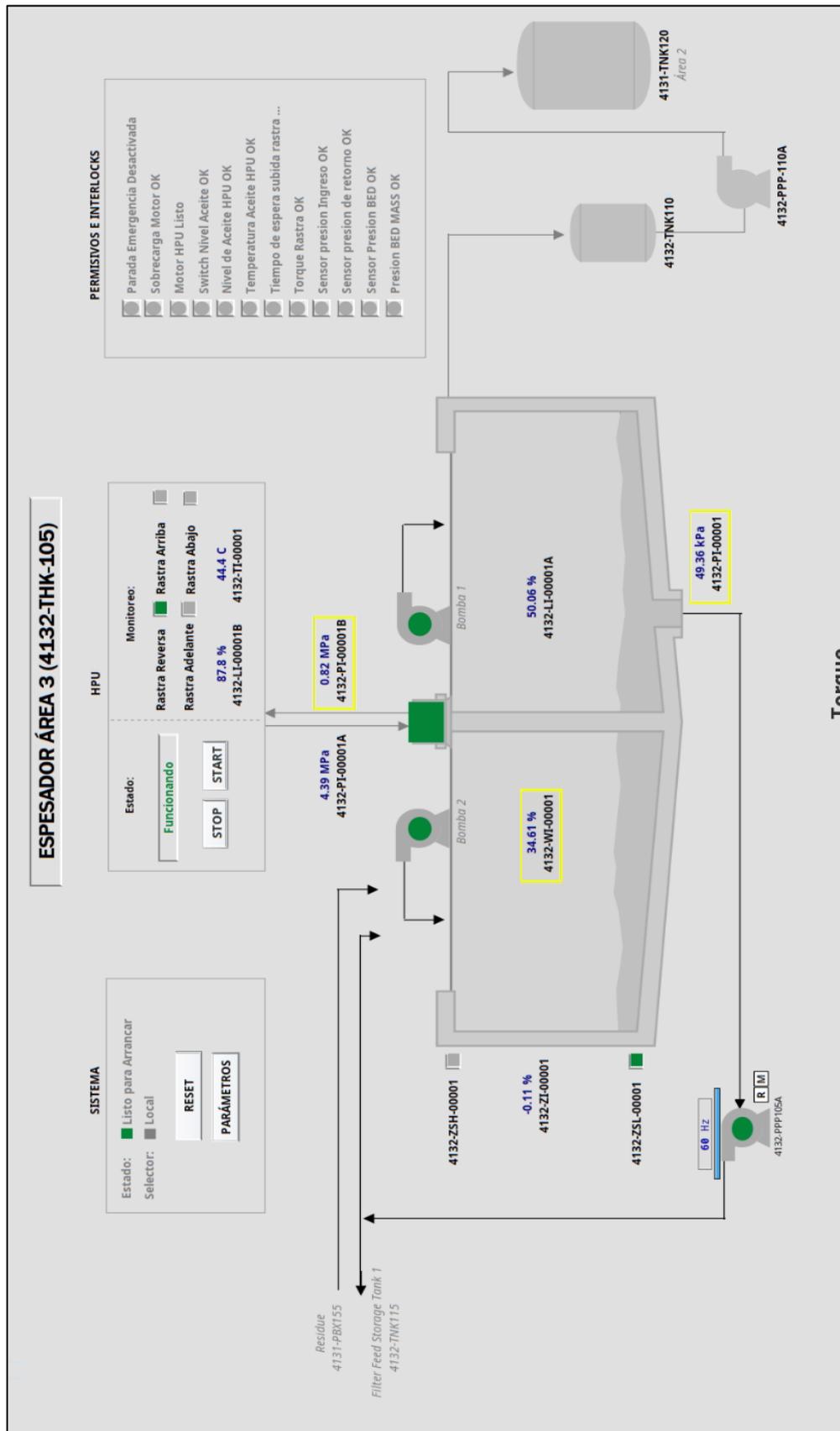
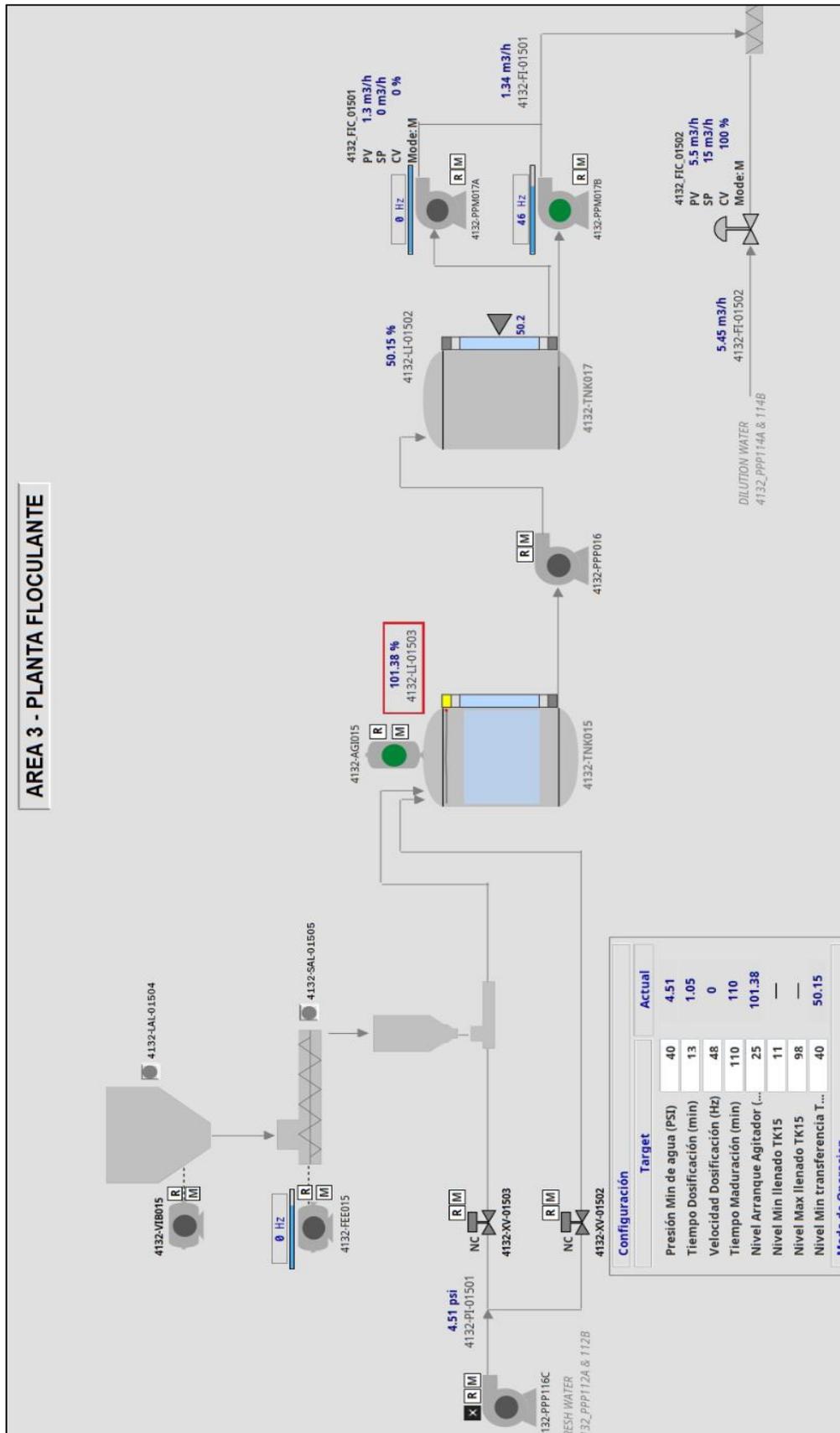


Figura 39. Distribución de la planta de Floculante del área tres del sistema SCADA



4.5 Almacenamiento de Datos

Como ya se discutió el uso de una base de datos para el almacenamiento de la información, se hizo la configuración en el Gateway del servidor principal de Ignition con la base de datos externa “SQL_Server”, gracias a esto fue posible escribir y leer los datos bidireccionalmente. En el entorno de Ignition y gracias al módulo SQL Bridge de Ignition, se crearon grupos de transacciones SQL para la administración de tags en la base de datos externa.

Antes de proceder con la configuración en el entorno de Ignition, se generaron tablas en el Gestor de Base de Datos que contienen columnas de las variables de interés, como se muestra en la siguiente figura. El detalle de esto se tiene en el anexo 23.

Figura 40. Creación de tablas en Microsoft SQL Server Management Studio

Column Name	Data Type	Allow Nulls
Fecha	datetime	<input checked="" type="checkbox"/>
TIT_10004	real	<input checked="" type="checkbox"/>
TIT_10005	real	<input checked="" type="checkbox"/>
TIT_10006	real	<input checked="" type="checkbox"/>
TIT_10007	real	<input checked="" type="checkbox"/>
TIT_10008	real	<input checked="" type="checkbox"/>
TIT_10009	real	<input checked="" type="checkbox"/>
Current_A	real	<input checked="" type="checkbox"/>
Current_B	real	<input checked="" type="checkbox"/>
Current_C	real	<input checked="" type="checkbox"/>
PIT_00301	real	<input checked="" type="checkbox"/>
PIT_00302	real	<input checked="" type="checkbox"/>
PIT_00303	real	<input checked="" type="checkbox"/>
PIT_00304	real	<input checked="" type="checkbox"/>
PT00305	real	<input checked="" type="checkbox"/>
PT00306	real	<input checked="" type="checkbox"/>
FT00301	real	<input checked="" type="checkbox"/>
FT00302	real	<input checked="" type="checkbox"/>
FT00303	real	<input checked="" type="checkbox"/>

Luego, se generó un grupo de transacción para cada tabla correspondiente a “Scrubber”, “Ball Mill” y “Espesador” donde en cada uno de ellas se vincularon los tags de interés.

CAPÍTULO V: COSTOS Y PRESUPUESTO

La solución planteada en el presente proyecto fue contrastada con otra solución presentada también a la unidad minera, puesto que mucha tecnología de este fabricante (Rockwell Automation) es usada por la empresa y se tiene experiencia con varios proyectos.

Las siguientes tablas muestran detalladamente el costo para la adquisición de licencias y hardware relacionado para cada solución. Cabe mencionar que ambas pretenden resolver el mismo problema con diferentes soluciones y costos relacionados.

Tabla 5. Cotización del presente proyecto de ingeniería

COTIZACIÓN			
IGNITION	CANT.	COSTO BASE	TOTAL
Plataforma de Ignition (Requerido)	1	600.00	600.00
Licencia Módulo de Visión Ilimitada	1	7,180.00	7,180.00
Licencia de Módulo de Bridge SQL	1	1745.00	1745.00
Licencia de Módulo de Informes	1	3,400.00	3,400.00
Licencia de Módulo de Desarrollo Web	1	1,390.00	1,390.00
Licencia de Módulo de Perspective	1	10,725.00	10,725.00
TOTAL (USD)			25,040.00

Adaptada de anexo 9.

Tabla 6. Cotización planteada por una contratista para la misma integración del POMC

COTIZACIÓN			
ROCKWELL AUTOMATION	CANT.	COSTO BASE	TOTAL
Servidor de Datos	1	6,000.00	6,000.00
Servidor de HMI	1	6,000.00	6,000.00
Servidor de Estación de Ingeniería	1	6,000.00	6,000.00
Licencia Factory Talk View Site Edition Server	1	2,500.00	2,500.00

Licencia Factory Talk Links	1	2,200.00	2,200.00
Licencia Factory Talk View Studio	1	3,000.00	3,000.00
Licencia Factory Talk View Side Edition Client	30	2,000.00	60,000.00
OPC para comunicación con PLCs de Siemens	1	3,000.00	3,000.00
Desarrollador (15 USD / hora)	2	7,560.00	15,120.00
TOTAL (USD)			103,820.00

Adaptada de documentación POMC.

Gracias a esta comparación se puede observar claramente que la inversión económica del presente proyecto es menor a la planteada por la contratista.

CAPÍTULO VI: PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1 Pruebas

Culminada la etapa de diseño del sistema SCADA se procedió a su implementación en la sala de control de la empresa, donde se realizaron las primeras pruebas de operación del sistema SCADA. En este punto se crearon y designaron usuarios para la operación, se depuraron errores gráficos y se realizaron pruebas con cada equipo del POMC que se tuviera en el sistema SCADA, estas pruebas dieron soporte para continuar con la capacitación al personal operador de la sala de control en la empresa, en la siguiente figura se muestra esto último.

Figura 41. Implementación del sistema SCADA en la sala de control de la empresa



Posterior a esto se tuvo un periodo de prueba de 1 mes, evaluando el desempeño del sistema SCADA, durante el cual estuvo operativo e inició con la centralización de tareas del POMC. En este periodo se observaron reiteradas alarmas en el

sistema SCADA que mostraban comportamientos atípicos de ciertas variables como la presión del sistema de lubricación alta del scrubber, corriente del motor principal del scrubber, presión del nuevo sistema de lubricación alta del scrubber, etc., del POMC que generaban paradas de proceso, por tal motivo se realizó un análisis de las señales más importantes mostrado en el anexo 22. La siguiente figura muestra algunas alarmas del sistema SCADA.

Figura 42. Alarmas del área tres del sistema SCADA

ALARMAS ÁREA 3					
Active Time	Display Path	Current State	Priority	Event ID	Event Name
7/30/24, 6:50 PM	Area 3	Active, Unacknowledged	Medium	5C50205-4351-4006-8b5	
7/30/24, 9:47 PM	Area 3	Cleared, Unacknowledged	Medium	c31b4c30-935c-4d9f-8a2	
7/30/24, 9:45 PM	Area 3	Cleared, Unacknowledged	Medium	46d3d70d-bab3-4d91-a2	
7/30/24, 9:16 PM	Area 3	Cleared, Unacknowledged	Medium	a7751c11-8fed-45b9-a2	
7/30/24, 9:28 PM	Area 3	Active, Unacknowledged	Critical	979c40ea-6c23-4230-a1	
7/30/24, 9:26 PM	Area 3	Active, Unacknowledged	Medium	150a0a11-140a-4200-9f	
7/30/24, 9:26 PM	Area 3	Active, Unacknowledged	Medium	1197250d-720e-4307-9f	
7/30/24, 9:26 PM	Area 3	Active, Unacknowledged	Medium	1070510100-3f20-427e	
7/30/24, 7:39 PM	Area 3	Cleared, Unacknowledged	Medium	f977e460-d206-45bd-ab	
7/30/24, 7:41 PM	Area 3	Cleared, Unacknowledged	Critical	894e6a06-448c-4908-91	
7/30/24, 7:10 PM	Area 3	Active, Unacknowledged	Medium	6d110ad1-9a3c-4943-9b	
7/30/24, 8:42 PM	Area 3	Cleared, Unacknowledged	Medium	3138aadf-5824-41b5-9d	
7/30/24, 7:17 PM	Area 3	Cleared, Unacknowledged	Medium	fdbe027-7ca3-4276-a47	
7/30/24, 7:18 PM	Area 3	Cleared, Unacknowledged	Critical	ec5952ae-8231-492b-a6	
7/30/24, 8:57 PM	Area 3	Cleared, Unacknowledged	Medium	8563ab96-bac8-4bea-82	
7/30/24, 7:39 PM	Area 3	Cleared, Unacknowledged	Medium	83a488f3-b81f-4ac8-9ab	
7/30/24, 7:38 PM	Area 3	Active, Unacknowledged	Medium	1a05595a-8a02-4008-9f	
7/30/24, 7:38 PM	Area 3	Active, Unacknowledged	Medium	1070510100-3f20-427e	
7/30/24, 7:44 PM	Area 3	Cleared, Unacknowledged	Medium	ffb5811c-3aee-41ef-45da	
7/30/24, 7:27 PM	Area 3	Cleared, Unacknowledged	Medium	39159534-3d81-4035-82	
7/30/24, 7:40 PM	Area 3	Cleared, Unacknowledged	Critical	d16f63e4-c135-4dfe-953	
7/30/24, 7:41 PM	Area 3	Active, Unacknowledged	Medium	c1b311110c04-200e-9b	
7/30/24, 7:40 PM	Area 3	Active, Unacknowledged	Medium	6d110ad1-9a3c-4943-9b	
7/30/24, 6:29 PM	Area 3	Cleared, Unacknowledged	Medium	74dc164f-fe10-4344-b61	
7/30/24, 6:39 PM	Area 3	Cleared, Unacknowledged	Medium	d9d42496-a128-495f-87	
7/30/24, 6:40 PM	Area 3	Cleared, Unacknowledged	Medium	558656b6-8156-4ad2-9b	
7/30/24, 7:32 PM	Area 3	Cleared, Unacknowledged	Medium	03114a3e-85c3-4ee7-ad	
7/30/24, 7:32 PM	Area 3	Cleared, Unacknowledged	Medium	0ef02a2c-640a-492d-a14	
7/30/24, 7:26 PM	Area 3	Cleared, Unacknowledged	Medium	03de036d-9679-419c-94	
7/30/24, 7:26 PM	Area 3	Cleared, Unacknowledged	Medium	545ace99-b6bf-47da-b31	
7/30/24, 7:23 PM	Area 3	Cleared, Unacknowledged	Medium	25ba0648-d2b3-48f7-94	

Haciendo un análisis de las horas de parada del POMC, se encontró relación de estas con variables del proceso. Motivo por el que se identificaron como variables críticas del proceso. A partir de esto, se empezó con un seguimiento más riguroso de dichas señales para analizar el comportamiento de estas ante una parada del proceso. Cabe resaltar que un gran número de paradas del proceso se originaron por algún comportamiento no natural de estas variables críticas, es decir, un evento que desencadenó más eventos.

Luego del seguimiento de estos eventos por parte del área de control y automatización de la empresa y gran número de reuniones con otras áreas, se presentaron las siguientes sugerencias que involucran los siguientes parámetros.

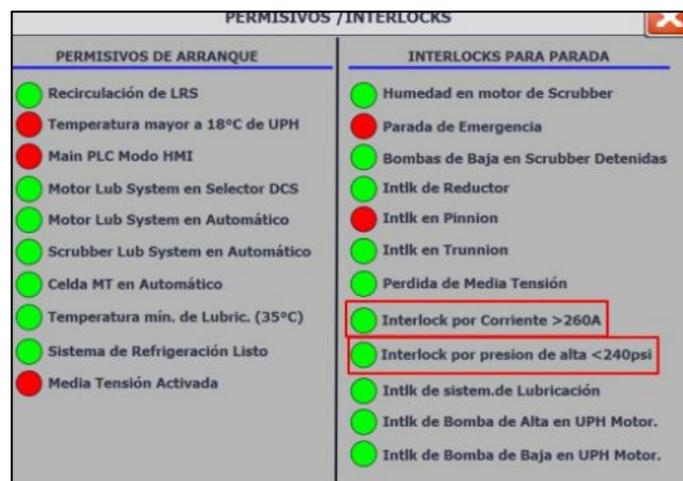
Activación de interlocks en:

- Caída de presión del sistema de lubricación alta del scrubber
(PT10007 <= 240 PSI)

- Sobre corriente del motor principal del scrubber
(3145-CMP120.II0001A > 260A)
- Caída de presión del nuevo sistema de lubricación alta del scrubber
(PI00301 <= 160 PSI)
(PI00302 <= 160 PSI)
(PI00303 <= 160 PSI)
(PI00304 <= 160 PSI)

En la siguiente figura se muestra la interfaz en el HMI del operador, donde se resaltan los cambios realizados.

Figura 43. Interfaz de HMI del operador para scrubber



Adaptado de documentación POMC.

Activación de alarmas en:

- Caída de presión del sistema de lubricación alta del scrubber
(PT10007 <= 280 PSI)
- Sobre corriente del motor principal del scrubber
(3145-CMP120.II0001A > 255A)
- Incremento de temperatura en trunnion del scrubber
(TIT_10004 >= 40°C)
(TIT_10005 >= 40°C)
(TIT_10006 >= 40°C)
(TIT_10007 >= 40°C)
(TIT_10008 >= 45°C)
(TIT_10009 >= 40°C)
- Caída de presión del nuevo sistema de lubricación alta del scrubber

(PI00301 <= 350 PSI)

(PI00302 <= 350 PSI)

(PI00303 <= 350 PSI)

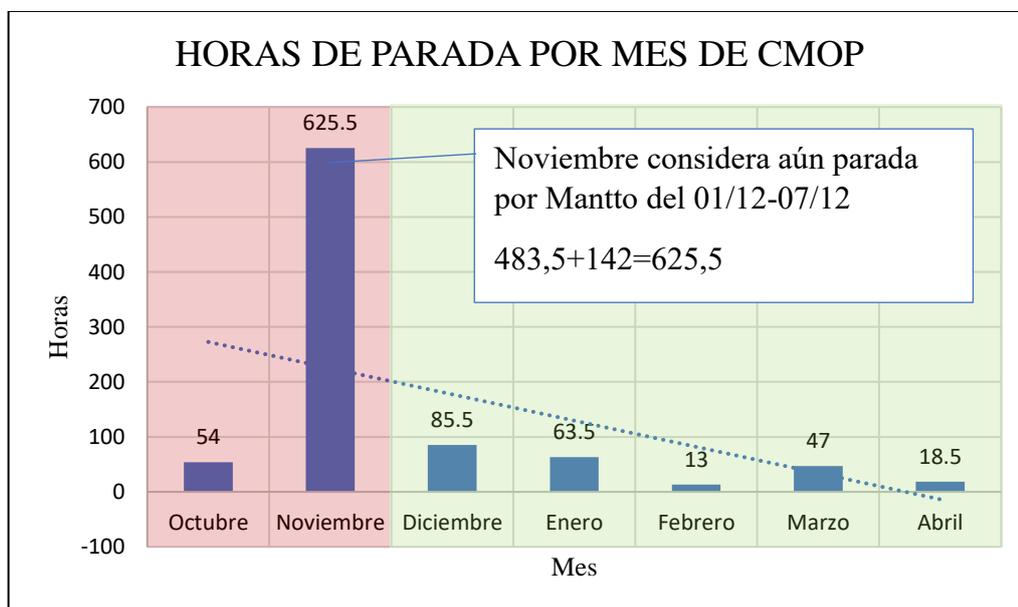
(PI00304 <= 350 PSI)

6.2 Resultados

Luego de la etapa de prueba y tomando en cuenta las sugerencias del personal operador, se validó y puso en funcionamiento la sala de control con el sistema SCADA.

Asimismo, se realizó un análisis de la información almacenada desde el 01/10/2023 hasta el 30/04/2024 para mostrar el impacto de la implementación del sistema SCADA en la empresa. En el anexo 17 se adjuntan las tablas generadas donde se detalló la fecha y cantidad de horas de cada parada del scrubber, especificando el evento que desencadenó dicha parada. Se generó la siguiente figura para poder interpretar mejor los datos adquiridos.

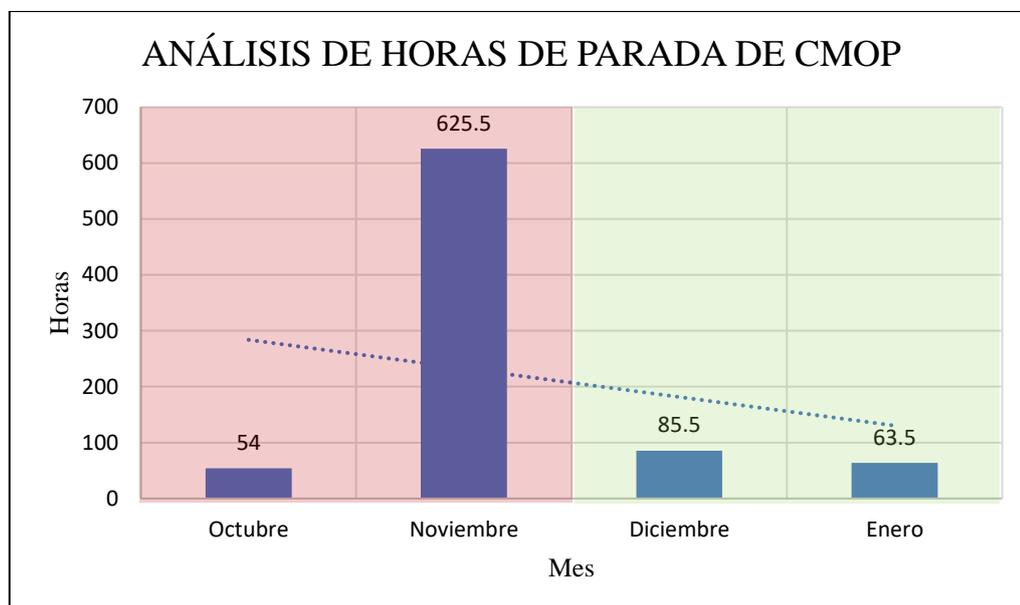
Figura 44. *Cantidad de horas de parada por mes del POMC*



Partiendo de este resumen, validado por el área de control y automatización de la unidad minera, se hizo un análisis de las horas de detención antes y después de la implementación del sistema SCADA del POMC, ajustando un periodo de dos meses, que comprenden desde octubre del 2023 hasta enero del 2024. Cabe

mencionar que la implementación se llevó a cabo a mediados de noviembre del 2023. Esto se refleja en la siguiente figura.

Figura 45. Análisis acotado de horas de parada del POMC



Entre el mes de octubre y noviembre se acumularon 679,5 horas de detención, mientras que entre diciembre y enero se acumularon 149 horas de detención, esto significa que hubo una reducción al 21,927% respecto a la situación anterior a la implementación del sistema SCADA. En la siguiente expresión se describe matemáticamente lo mencionado.

$$679,5 \text{ horas} = 100\%$$

$$149 \text{ horas} = X$$

Entonces,

$$X = \frac{149 \text{ horas} * 100\%}{679,5 \text{ horas}} = 21,927\%$$

La reducción es,

$$R = 100\% - X = 78,072\%$$

De la misma forma, analizando para los siguientes meses correspondientes a febrero y marzo del 2024, se redujo al 8,830%, teniendo una reducción del 91,169% en las horas de detención del POMC.

Cada parada de producción en el área uno ocasiona una pérdida significativa en la producción general del POMC, puesto que este proceso es continuo y la parada en dicha área fuerza la detención de las demás áreas (área dos y área tres).

Esta parada posee un impacto económico negativo en la producción diaria del POMC. A continuación, se detallará el costo estimado de cada parada en horas del POMC con supervisión del área de finanzas de la empresa.

El throughput estimado para el POMC es de 4500 toneladas extraídas por día, calculando este parámetro en horas se divide en 24 partes iguales para hallar el throughput estimado para cada hora.

Es vital tomar en cuenta la ley que maneja el área de laboratorio químico de la empresa, donde se indica un promedio de 3 gramos de oro por tonelada que se extrae. Asimismo, se maneja un parámetro llamado recuperación estimada, el cual hace más exacto el cálculo. El parámetro de recuperación estimada por el laboratorio químico de la unidad minera es del 60%.

La conversión de gramos a onzas es necesaria para la estimación del precio final, donde 1 onza de oro equivale a 28,3495 gramos de este.

Finalmente, el precio de 1 onza de oro equivale a dos mil dólares americanos en promedio.

Con todo esto, se puede estimar el impacto económico por hora de producción del POMC.

$$TP_{CMOP} = 4500 \text{ Tn/día}$$

Entonces, calculando el throughput estimado por hora:

$$TP_{CMOP_{hr}} = \frac{TP_{CMOP}}{24} = \frac{4500 \text{ Tn}}{24 \text{ hr}} = 187.5 \text{ Tn/hr}$$

Usando la ley del laboratorio químico, se tiene:

$$gr_{Au_{hr}} = TP_{CMOP_{hr}} * Ley = \frac{187.5 \frac{Tn}{hr} * 3gr}{Tn} = 562.5 \text{ gr/hr}$$

Aplicando la recuperación estimada del 60%, se tiene:

$$gr_{est_{hr}} = gr_{Au_{hr}} * 0.6 = 562.5 \frac{gr}{hr} * 0.6 = 337.5 \text{ gr/hr}$$

Convirtiendo a onzas, se tiene:

$$Oz_{est_{hr}} = gr_{est_{hr}} * \frac{1 \text{ oz}}{28.3495 \text{ gr}} = \frac{337.5 \frac{gr}{hr} * 1 \text{ oz}}{28.3495 \text{ gr}} = 11.91 \text{ oz/hr}$$

Calculando el precio en dólares americanos, se tiene:

$$X_{hr} = Oz_{est_{hr}} * Precio(\$) = 11.91 \frac{\text{oz}}{\text{hr}} * \frac{2000 \$}{1 \text{ oz}} = 23820 \text{ \$/hr}$$

Esto último indica que cada hora de parada en el POMC se están perdiendo \$23,820 USD.

Con esta información y la expuesta en la figura 46 del presente documento, se estima una pérdida económica considerable por mes, mostrada a continuación.

Tabla 7. Cantidad de horas de parada y estimación de montos por mes

Paradas		
Mes	Horas	Monto
Octubre	54	\$ 1,286,280.00
Noviembre	483.5	\$ 11,516,970.00
Diciembre	227.5	\$ 5,419,050.00
Enero	63.5	\$ 1,512,570.00
Febrero	13	\$ 309,660.00
Marzo	47	\$ 1,119,540.00
Abril	18.5	\$ 440,670.00
Total		\$ 21,604,740.00

En las anteriores figuras se mostró la reducción de horas de parada del POMC, evidenciando mayoría en los meses previos a la implementación y notoria reducción en los meses posteriores a la implementación.

Toda esta información pondera el impacto positivo que tuvo el desarrollo e implementación del presente proyecto en la empresa, motivada por el alcance que tiene el sistema SCADA, desde el personal operador hasta el área de gerencia de la empresa.

CONCLUSIONES

1. Se diseñó un sistema SCADA que integra 2 protocolos de comunicación usados por los controladores en el POMC y que cumple con el estándar ISA 101.01. Este sistema SCADA permite la conexión de 10 usuarios al mismo tiempo, la visualización del proceso y las tendencias en tiempo real, asimismo, permite el almacenamiento en un servidor dedicado de base de datos.
2. Se implementó el sistema SCADA en el centro de control de la empresa y entró en funcionamiento por un periodo de prueba de 30 días, donde se capacitó al personal operador de la sala de control. Luego de esto, se realizaron modificaciones y ajustes en alarmas (PT10007 \leq 240 PSI, I0001A $>$ 260A, PI00301 \leq 160 PSI, PI00302 \leq 160 PSI, PI00303 \leq 160 PSI, y PI00304 \leq 160 PSI) por sugerencia del personal operador de la sala de control, quedando totalmente operativo y funcional hasta la actualidad.
3. Se concluye que el proyecto de ingeniería logra supervisar y controlar las tres áreas del POMC de manera efectiva, teniendo un impacto significativo que redujo las horas de detención al 21.927% respecto a la situación anterior a la implementación del sistema SCADA y en los meses siguientes al 8.830%. Reduciendo así la pérdida estimada de \$23,820 USD por hora de detención del POMC.
4. En concordancia con el objetivo general, se confirma que el sistema SCADA fue diseñado e implementado para supervisar y controlar de forma centralizada las tres áreas del POMC, integrando los controladores y sus protocolos de comunicación bajo el estándar ISA-101.01. El sistema, operativo en el centro de control, ofrece acceso multiusuario, visualización y tendencias en tiempo real y registro histórico en un servidor dedicado, consolidando la trazabilidad operativa y facilitando la toma de decisiones y la mejora continua del proceso.

RECOMENDACIONES

En la programación de autómatas se recomienda usar bloques de datos DB no optimizados en el software TIA PORTAL para un desarrollo más sencillo en Ignition al momento de crear UDTs.

Se recomienda migrar el autómata del sistema de control del Espesador del área uno y área tres (Micro 850) para mejorar la comunicación mediante OPC-UA y no usar Modbus TCP/IP, puesto que este último limita las funciones del sistema SCADA.

Se recomienda capacitación constante al personal operador en el uso de visualizadores de tendencias de las variables del sistema SCADA, puesto que se observó cierta demora en el aprendizaje. Asimismo, se recomienda mejorar las características del hardware del servidor principal virtualizado de Ignition para reducir tiempos de análisis del comportamiento de una variable del sistema SCADA.

Se recomienda la implementación de repetidores de red inalámbrica en todas las instalaciones de la empresa para mejorar la conexión de los clientes a través de sus dispositivos.

Se recomienda estructurar la base de datos vinculada al sistema SCADA y analizar las variables de interés para realizar mantenimiento preventivo.

Finalmente, se recomienda continuar con el desarrollo de un sistema más robusto que incluya al sistema SCADA y softwares de gestión para escalar en la pirámide de la automatización.

REFERENCIAS

- Acosta Acosta, R. O., & Vega Zuloeta, G. R. (2023). *Diseño de un sistema de planificación, supervisión y control empleando el software Ignition para el proceso de envasado de agua purificada de la empresa Agua Fridann* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/11345>
- Automatización industrial y transformación digital en la industria* (2024). [eBook Kindle]. Amazon. <https://www.amazon.com/dp/B0CSF2MNG5>
- Byres, E., Franz, M., & Miller, D. (2004). The use of attack trees in assessing vulnerabilities in SCADA systems. En *Proceedings of the International Infrastructure Survivability Workshop*.
- Castillo Sierra, C. P. (2012). *Driver de comunicaciones entre un controlador lógico programable llamado SiBAS y un sistema SCADA sobre plataforma de software libre* [Trabajo académico, Universidad Autónoma de Bucaramanga]. https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/3471/2012_Articulo_Castillo_Sierra_Claudia_Patricia.pdf
- Google (2025a). *Misquichilca, Huamachuco, La Libertad, Perú – vista de mapa* [Google Maps]. Recuperado el 27 de mayo de 2025, de <https://maps.app.goo.gl/ABCdefGHiJKL1234>
- Google (2025b). *Perú – vista de mapa* [Google Maps]. Recuperado el 27 de mayo de 2025, de <https://www.google.com/maps/@-10.0,-75.0,5z>
- Gutiérrez Puebla, J. (2019). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. Dykinson.
- Gómez, E. (2020). Design patterns for SCADA systems using object-oriented concepts. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(4), 2528–2535.
- Inductive Automation (s. f.). *Ignition 8 user manual – Scripting*. Recuperado el 27 de mayo de 2025, de <https://www.docs.inductiveautomation.com/display/DOC81/Scripting+in+Ignition>

- Inductive Automation (2020). *Visualization and dashboards: Templates*.
<https://www.docs.inductiveautomation.com/docs/7.9/visualization-and-dashboards/templates>
- Inductive Automation (2023a). *Ignition 8: User manual and architecture guide*. Inductive Automation.
- Inductive Automation (2023b). *Object-oriented design in SCADA: UDTs and templates* [Manual técnico]. Inductive Automation.
- Inductive Automation (2024a). *Introduction to Ignition 8.1*.
<https://www.docs.inductiveautomation.com/docs/8.1/intro>
- Inductive Automation (2024b). *Perspective module*.
<https://inductiveautomation.com/ignition/modules/perspective>
- Inductive Automation (2024c). *Scripting in Ignition: Web services, SOAP, and REST*.
<https://www.docs.inductiveautomation.com/docs/8.1/platform/scripting/scripting-in-ignition/web-services-suds-and-rest>
- Inductive University (2024). *Ignition overview*.
<https://inductiveuniversity.com/courses/ignition/ignition-overview/8.1>
- International Society of Automation (2015). *Human-machine interfaces for process automation systems* (ANSI/ISA-101.01-2015). ISA.
<https://search.worldcat.org/es/title/933295102>
- International Society of Automation (2020). *ISA100 Wireless Compliance Institute technical report: ISA100.11a*. ISA.
- International Society of Automation (2021). *Industrial automation and control systems security*. ISA.
- Jython Project (s. f.). *Jython documentation*. Recuperado el 27 de mayo de 2025, de
<https://www.jython.org>
- KEPServerEX OPC (s. f.). *¿Qué es OPC y qué es un OPC Server?*
<https://www.kepserverexopc.com/que-es-opc-y-que-es-un-opc-server/>
- Lachguer, A. (2020). *Desarrollo de una infraestructura tipo cloud mediante tecnología Ignition* [Tesis de maestría, Universidad de Alicante].

https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/108309/1/Desarrollo_infraestructura_tipo_cloud_mediante_tecnologia_Lachguer__Abdallah.pdf

Lu, S., & Kwasinski, A. (2021). Optical communication infrastructure in industrial automation. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(4), 2631–2643.

Mashima, D., & Chen, A. (2023). Promises and pitfalls of securing industrial control systems using machine learning. *ACM Computing Surveys*, 55(3), 1–38. <https://doi.org/10.1145/3510098>

Meza Titto, E. E. (2019). *Sistema de control automático de nivel de agua en la cámara de carga basado en la lógica difusa para la central hidroeléctrica de Machupicchu* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].

Microsoft (s. f.). *COM, DCOM y bibliotecas de tipos*. Microsoft Learn. <https://learn.microsoft.com/es-es/windows/win32/midl/com-dcom-and-type-libraries>

Morris, T., & Gao, W. (2013). Industrial control system cyber attacks. En *Proceedings of the 1st International Symposium for ICS & SCADA Cyber Security Research* (pp. 22–29).

National Institute of Standards and Technology (2015). *Guide to industrial control systems (ICS) security* (NIST SP 800-82, Rev. 2). <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-82r2.pdf>

NVT Tecnologías (2023, 15 de noviembre). *Guía de fortalecimiento para la seguridad de Ignition 7.8* [Entrada de blog]. <https://www.nvtecnologias.com/blog/blog-1/guia-de-fortalecimiento-para-la-seguridad-de-ignition-78>

NVT Tecnologías (2024). *Guía de arquitectura y tamaño de Ignition Server 6.4* [Entrada de blog]. <https://www.nvtecnologias.com/blog/blog-1/guia-de-arquitectura-y-tamano-de-ignition-server-64>

ODVA (2021). *EtherNet/IP specification overview*. ODVA.

OPC Foundation (s. f.-a). *OPC Classic*. <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-classic/>

OPC Foundation (s. f.-b). *OPC Foundation*. <https://opcfoundation.org/>

- OPC Foundation (2021). *OPC Unified Architecture specification* (Parts 1–13, Version 1.04). <https://opcfoundation.org/developer-tools/specifications-unified-architecture>
- Oracle (2024). *Oracle Cloud*. <https://www.oracle.com/es/cloud/>
- Osinergmin (2021). *Panorama de la minería en el Perú*. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Libro_Panorama_de_la_Mineria_en_el_Peru.pdf
- Pillitteri, V., & Lightman, S. (2014). *Guide to industrial control systems (ICS) security* (NIST SP 800-82, Rev. 1). National Institute of Standards and Technology (NIST).
- PROFIBUS & PROFINET International (2018). *PROFINET system description* (Version 1.0).
- Quispe Gonzáles, R. A. (2019). *Diseño del sistema SCADA para el área de recepción, almacenamiento y distribución de hidrocarburos líquidos en la planta Petroperú – Cusco* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].
- Samata Quispe, G. E. (2023). *Diseño del sistema SCADA de la subestación eléctrica Dolorespata 138 kV para la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A.* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].
- Schneider Electric (2024a). *Masterpact MTZ Modbus communication* (DOCA0105EN-10) [Manual]. https://www.productinfo.schneider-electric.com/mtz_modbus_communication/doca0105-masterpact-mtz-modbus-communication/English/DOCA0105EN-10.pdf
- Schneider Electric (2024b). *Modbus – Product Range – Documents*. <https://www.se.com/pe/es/product-range/574-modbus/#documents>
- Siemens AG (2019). *Scalance network redundancy with MRP*.
- Túllume Agapito, J., & Llontop Farroñay, R. M. (2016). *Automatización e implementación de un sistema SCADA para mejorar el desempeño del sistema de izaje por winches en minería subterránea de la Compañía Minera Casapalca S.A* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/908>

- Vargas, V. (2013). *Actividad minera en el Perú: Definiciones*. Ministerio de Energía y Minas. <https://www.ramosdavila.pe/media/Leer-documento-del-MINEM.pdf>
- Vivar Zavaleta, J. V. (2021). *Implementación del sistema SCADA para las subestaciones móviles de una minera de tajo abierto* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/22368>
- Williams, E. (2020, mayo–junio). Industrial networking in harsh environments. *IEEE Industry Applications Magazine*, 26(3), 8–17.
- Wollschlaeger, M., Sauter, T., & Jasperneite, J. (2017, marzo). The future of industrial communication: Automation networks in the era of the Internet of Things and Industry 4.0. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 11(1), 17–27.

Anexos

Anexo 1. Direccionamiento IP área 1

IP	Equipo	Comunicación	Descripción
x.x.x.184	PLC	EtherNet/IP	Micro850 Thickener
x.x.x.185	HMI	EtherNet/IP	PV800
x.x.x.186	Switch Administrable	EtherNet/IP	STRATIX 5700
x.x.x.187	VFD	EtherNet/IP	Power Flex 525
x.x.x.188	VFD	EtherNet/IP	Power Flex 525
x.x.x.190	Modulo I/O	Profinet	ET200 (PN-01)
x.x.x.191	Modulo I/O	Profinet	ET200 (PN-02)
x.x.x.192	HMI	Profinet	KTP1200 (HMI-02)
x.x.x.193	Switch Administrable	Profinet	STRATIX 5700 (SW-01)
x.x.x.194	PLC	Profinet	S7-1200 (PLC-1)
x.x.x.195	HMI	Profinet	LOGO TDE
x.x.x.196	PLC	Profinet	LOGO 8 (PLC-2)
x.x.x.197	PLC	Profinet	S7-1200 (PLC-3)
x.x.x.198	HMI	Profinet	KTP400 BASIC (HMI-3)
x.x.x.199	PLC	Profinet	S7-1200 (PLC-4)
x.x.x.200	PLC	Profinet	S7-1513 (PLC-5)
x.x.x.201	HMI	Profinet	TP700 (HMI-1)
x.x.x.202	Gateway	Profinet	GTW-01
x.x.x.224	DLR	EtherNet/IP	DLR Primario
x.x.x.225	DLR	EtherNet/IP	DLR Secundario
x.x.x.226	PLC	EtherNet/IP	CLX-5580 Ball Mill
x.x.x.227	HMI	EtherNet/IP	HMI Supervisor
x.x.x.228	Driver	EtherNet/IP	Smart Controller for Gearbox Reducer (Rexnord)
x.x.x.229	Switch Administrable	EtherNet/IP	STRATIX 5700
x.x.x.230	Modulo I/O	EtherNet/IP	RIO Ball Mill
x.x.x.231	Modulo I/O	EtherNet/IP	RIO Ball Mill Lub
x.x.x.232	HMI	EtherNet/IP	HMI - Ball Mill Control Operators
x.x.x.236	Modulo I/O	EtherNet/IP	RIO#1 - Field RIO FlexIO unit
x.x.x.237	Switch Administrable	EtherNet/IP	RIO#1 Stratix 5700- Field RIO network switch

x.x.x.240	Switch Administrable	EtherNet/IP	RIO#2 Stratix 5700 - next to Screen 3145-SCR120
x.x.x.243	Switch Administrable	EtherNet/IP	RIO#3 Stratix - next to Hydro Cyclone 4110-CYC130
x.x.x.36	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Scrubber Inching Drive Motor
x.x.x.24	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - DRIBBLE BELT - APRON FEEDER
x.x.x.38	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Scrubber Gear Box Oil Cooling Radiator Fan
x.x.x.37	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Scrubber Gear Box Oil Recirculation Pump
x.x.x.35	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Scrubber Motor External Cooling Blower
x.x.x.42	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Scrubber Discharge Screen Midsize Material Conveyor Belt
x.x.x.43	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Scrubber Containment Area Sump Pump
x.x.x.89	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Ball Mill Lubrication System Oil Sump Heaters
x.x.x.34	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Scrubber Lubrication System Low Pressure Oil Pump D [Pump #2]
x.x.x.33	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Scrubber Lubrication System Low Pressure Oil Pump C [Pump #1]
x.x.x.39	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Scrubber Discharge Screen
x.x.x.77	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Ball Mill Containment Area Sump Pump
x.x.x.32	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Scrubber Lubrication System High Pressure Oil Pump B [Pump #2]
x.x.x.31	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Scrubber Lubrication System High Pressure Oil Pump A [Pump #1]
x.x.x.40	Arrancador Suave	EtherNet/IP	ABB PSTX - Scrubber Discharge Screen Oversized Material Conveyor Belt
x.x.x.25	Arrancador Suave	EtherNet/IP	ABB PSTX - CONVEYOR BELT TO SCRUBBER
x.x.x.90	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Ball Mill Lubrication System Oil Cooling Radiator Fan
x.x.x.70	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Area 1 High- Pressure Process Water Pump B

x.x.x.69	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Area 1 High-Pressure Process Water Pump A
x.x.x.54	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Hydrocyclone Overflow Screen Vibrator A
x.x.x.88	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Ball Mill Lubrication System Oil Cooling Recirculation Pump
x.x.x.62	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Area 1 Service Water Pump B
x.x.x.61	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Area 1 Service Water Pump A
x.x.x.79	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Area 1 Thickener Containment Area Sump Pump #1
x.x.x.47	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Ball Mill Lubrication System High Pressure Oil Pump B [Pump #2]
x.x.x.46	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Ball Mill Lubrication System High Pressure Oil Pump A [Pump #1]
x.x.x.51	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Ball Mill Inching Drive Motor
x.x.x.72	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Area 1 High-Pressure Process Water to Area 2 Pump B
x.x.x.71	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Area 1 High-Pressure Process Water to Area 2 Pump A
x.x.x.68	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Area 1 Thickener Overflow Pump B
x.x.x.67	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Area 1 Thickener Overflow Pump A
x.x.x.66	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Area 1 Process Water Pump B
x.x.x.65	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Area 1 Process Water Pump A
x.x.x.60	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Area 1 Flocculant System Containment Sump Pump
x.x.x.59	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Area 1 Thickener Containment Area Sump Pump #2
x.x.x.49	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Ball Mill Lubrication System Low Pressure Oil Pump D [Pump #2]
x.x.x.48	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Ball Mill Lubrication System Low Pressure Oil Pump C [Pump #1]
x.x.x.53	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Ball Mill Gear Box Oil Cooling Radiator Fan

x.x.x.52	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Ball Mill Gear Box Oil Recirculation Pump
x.x.x.50	UMC	EtherNet/IP	ABB UMC100.3 - Ball Mill Motor External Cooling Blower
x.x.x.13	VFD	EtherNet/IP	Toshiba MV2 VFD - PUMP A, FEED CYCLONE
x.x.x.17	VFD	EtherNet/IP	Toshiba MV2 VFD (Monitor Only) - Toshiba VFD for Scrubber and Ball Mill Control
x.x.x.14	VFD	EtherNet/IP	Toshiba MV2 VFD - PUMP B, FEED CYCLONE
x.x.x.23	VFD	EtherNet/IP	Toshiba AS3 - CRUSHED ORE APRON FEEDER
x.x.x.64	VFD	EtherNet/IP	Toshiba AS3 - Area 1 Gland Seal Water Pump B
x.x.x.63	VFD	EtherNet/IP	Toshiba AS3 - Area 1 Gland Seal Water Pump A
x.x.x.41	Arrancador Suave	EtherNet/IP	ABB PSTX - Scrubber Discharge Screen Oversized Material Stacker
x.x.x.15	VFD	EtherNet/IP	Toshiba AS3 - UNDERFLOW PUMP A - GRINDING THICKENER
x.x.x.16	VFD	EtherNet/IP	Toshiba AS3 - UNDERFLOW PUMP B - GRINDING THICKENER
x.x.x.11	Switch	EtherNet/IP	SWITCHGEAR 4110-SGH101

Anexo 2. Direccionamiento IP área 2

IP	Equipo	Comunicación	Descripción
x.x.x.203	Switch Administrable	EtherNet/IP	STRATIX 5400A
x.x.x.204	Switch Administrable	EtherNet/IP	STRATIX 5400A
x.x.x.205	Modulo I/O	EtherNet/IP	RIO#1 - on top of the CIL tank#130
x.x.x.206	Modulo I/O	EtherNet/IP	RIO#1 Statix SW - on top of the CIL tank#130
x.x.x.207	HMI	EtherNet/IP	HMI CCM AREA2
x.x.x.209	PLC	EtherNet/IP	CLX-5580 CIL Supervisor
x.x.x.130	Switch Administrable	EtherNet/IP	Stratix switch 1
x.x.x.131	Switch Administrable	EtherNet/IP	Stratix switch 2
x.x.x.132	PLC	EtherNet/IP	L72 PLC - Area#2 Supervisor Control
x.x.x.139	MCC	EtherNet/IP	LOW VOLTAGE MOTOR CONTROL CENTER
x.x.x.140	PLC	EtherNet/IP	CLX-5580 CIL Supervisor
x.x.x.141	UMC	EtherNet/IP	INTERSTAGE SCREEN N°1
x.x.x.142	UMC	EtherNet/IP	CARBON TRANSFER PUMP N°1
x.x.x.143	UMC	EtherNet/IP	CARBON TRANSFER PUMP N°2
x.x.x.144	UMC	EtherNet/IP	INTERSTAGE SCREEN N°2
x.x.x.145	UMC	EtherNet/IP	CARBON TRANSFER PUMP N°3
x.x.x.146	UMC	EtherNet/IP	CARBON TRANSFER PUMP N°6
x.x.x.147	UMC	EtherNet/IP	INTERSTAGE SCREEN N°3
x.x.x.148	UMC	EtherNet/IP	CARBON TRANSFER PUMP N°4
x.x.x.149	UMC	EtherNet/IP	CARBON TRANSFER PUMP N°5
x.x.x.150	UMC	EtherNet/IP	INTERSTAGE SCREEN N°4
x.x.x.151	UMC	EtherNet/IP	INTERSTAGE SCREEN N°5
x.x.x.152	UMC	EtherNet/IP	TRANSFER PUMP CIL TANK
x.x.x.157	VFD	EtherNet/IP	AS3 - LOADED CARBON PUMP
x.x.x.158	VFD	EtherNet/IP	AS3 - CARBON PUMP FOR SAFETY CARBON SCREEN
x.x.x.159	VFD	EtherNet/IP	AS3 - GLAND SEAL WATER PUMP
x.x.x.160	VFD	EtherNet/IP	AS3 - GLAND SEAL WATER PUMP
x.x.x.161	VFD	EtherNet/IP	AS3 - HYDRATED LIME PUMP A
x.x.x.162	VFD	EtherNet/IP	AS3 - HYDRATED LIME PUMP A

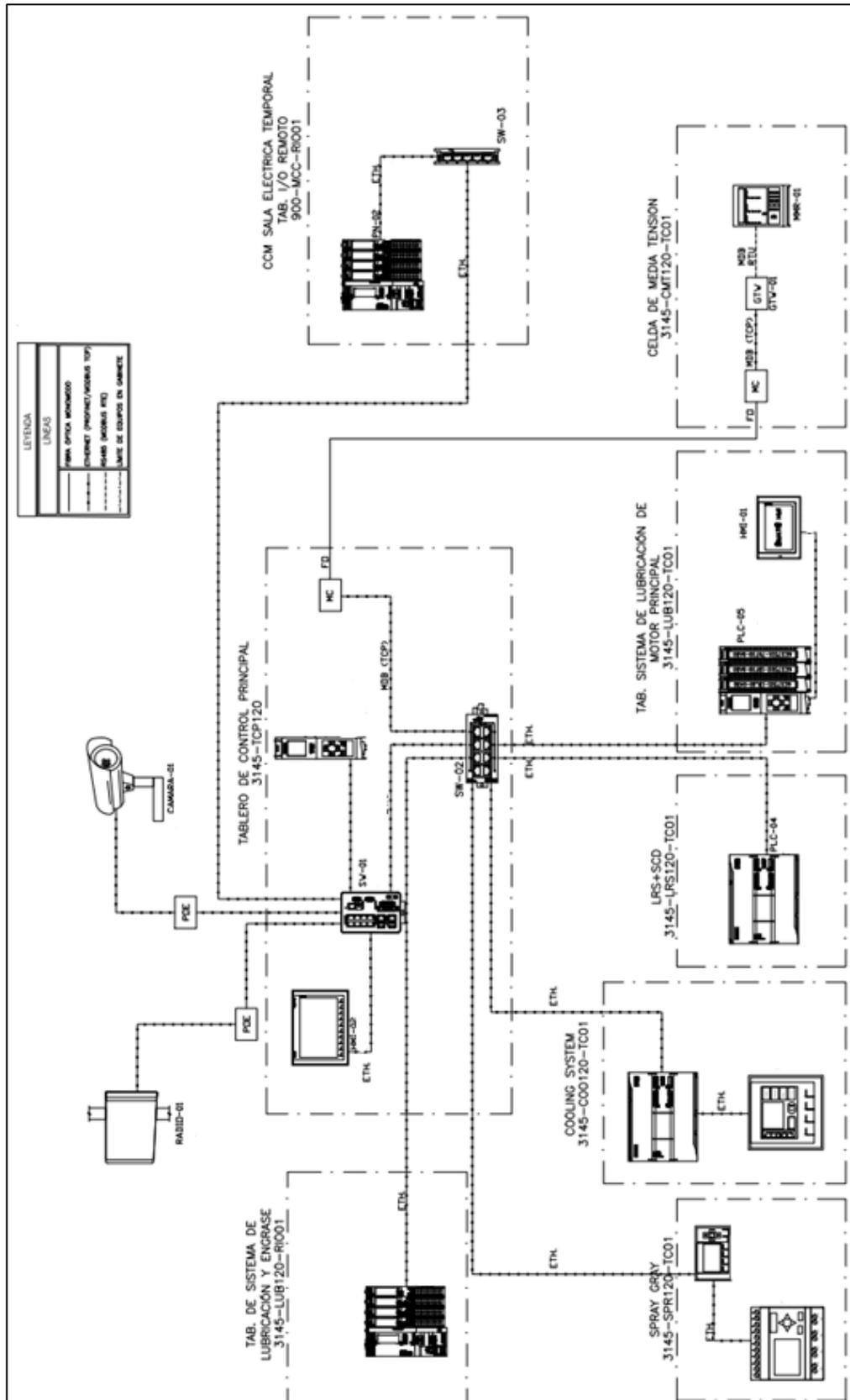
x.x.x.163	Arrancador Suave	EtherNet/IP	PSTX - CIL AGITATOR N°1
x.x.x.164	Arrancador Suave	EtherNet/IP	PSTX - CIL AGITATOR N°2
x.x.x.165	Arrancador Suave	EtherNet/IP	PSTX - CIL AGITATOR N°3
x.x.x.166	Arrancador Suave	EtherNet/IP	PSTX - CIL AGITATOR N°4
x.x.x.167	Arrancador Suave	EtherNet/IP	PSTX - CIL AGITATOR N°5
x.x.x.168	Arrancador Suave	EtherNet/IP	PSTX - CIL AGITATOR N°6
x.x.x.170	UMC	EtherNet/IP	SUMP PUMP N°1
x.x.x.171	UMC	EtherNet/IP	SUMP PUMP N°2
x.x.x.172	UMC	EtherNet/IP	SUMP PUMP N°3
x.x.x.174	VFD	EtherNet/IP	CIL RESIDUE PUMP A
x.x.x.175	VFD	EtherNet/IP	CIL RESIDUE PUMP B

Anexo 3. Direccionamiento IP área 3

IP	Equipo	Comunicación	Descripción
x.x.x.141	HMI	EtherNet/IP	Filter Press 125 (#1) HMI
x.x.x.142	HMI	EtherNet/IP	Filter Press 130 (#2) HMI
x.x.x.210	PLC	EtherNet/IP	Micro 850 Thickener 105
x.x.x.211	HMI	EtherNet/IP	PV800
x.x.x.212	VFD	EtherNet/IP	Power Flex 525
x.x.x.213	VFD	EtherNet/IP	Power Flex 525
x.x.x.214	Switch Administrable	EtherNet/IP	STRATIX 5700
x.x.x.215	PLC	EtherNet/IP	Area#3 Supervisor PLC
x.x.x.216	Switch Administrable	EtherNet/IP	Area#3 Supervisor PLC Stratix 5700
x.x.x.219	PLC	EtherNet/IP	Filter Press #1 PLC
x.x.x.220	Switch Administrable	EtherNet/IP	Filter Press #1 Stratix network switch
x.x.x.221	PLC	EtherNet/IP	Filter Press #2 PLC
x.x.x.222	Switch Administrable	EtherNet/IP	Filter Press #2 Stratix network switch
x.x.x.223	HMI	EtherNet/IP	Area #3 Supervisor HMI
x.x.x.2	Switch Administrable	EtherNet/IP	Stratix switch 1
x.x.x.3	Switch Administrable	EtherNet/IP	Stratix switch 2
x.x.x.108	PLC	EtherNet/IP	MODULO COM. 1 PLC - FILTRO 125
x.x.x.109	PLC	EtherNet/IP	MODULO COM. 2 PLC - FILTRO 125
x.x.x.110	Modulo I/O	EtherNet/IP	FLEXIO1 FILTRO 125
x.x.x.111	Modulo I/O	EtherNet/IP	FLEXIO2 FILTRO 125
x.x.x.112	HMI	EtherNet/IP	HMI FILTRO 125
x.x.x.113	Switch Administrable	EtherNet/IP	SWITCH ADMINISTRABLE FILTRO 125
x.x.x.120	Switch Administrable	EtherNet/IP	SWITCH ADMINISTRABLE FILTRO 130
x.x.x.121	PLC	EtherNet/IP	MODULO COM. 1 PLC - FILTRO 130
x.x.x.122	PLC	EtherNet/IP	MODULO COM. 2 PLC - FILTRO 130
x.x.x.123	Modulo I/O	EtherNet/IP	FLEXIO1 FILTRO 130
x.x.x.124	Modulo I/O	EtherNet/IP	FLEXIO2 FILTRO 130
x.x.x.125	HMI	EtherNet/IP	HMI FILTRO 130
x.x.x.130	Switch Administrable	EtherNet/IP	SWITCH ADMINISTRABLE FILTRO 135

x.x.x.131	PLC	EtherNet/IP	MODULO COM. 1 PLC - FILTRO 135
x.x.x.132	PLC	EtherNet/IP	MODULO COM. 2 PLC - FILTRO 135
x.x.x.133	Modulo I/O	EtherNet/IP	FLEXIO1 FILTRO 135
x.x.x.134	Modulo I/O	EtherNet/IP	FLEXIO2 FILTRO 135
x.x.x.135	HMI	EtherNet/IP	HMI FILTRO 135
x.x.x.140	Switch Administrable	EtherNet/IP	SWITCH ADMINISTRABLE - MAINPLC
x.x.x.141	PLC	EtherNet/IP	MODULO COM. 1 - MAIN PLC
x.x.x.142	PLC	EtherNet/IP	MODULO COM. 2 - MAIN PLC
x.x.x.143	Modulo I/O	EtherNet/IP	FLEXIO1 - MAINPLC
x.x.x.144	Modulo I/O	EtherNet/IP	FLEXIO2 - MAINPLC
x.x.x.145	Gateway	EtherNet/IP	GATEWAY - MAINPLC (OPCIONAL)
x.x.x.146	HMI	EtherNet/IP	HMI - MAINPLC
x.x.x.150	Switch Administrable	EtherNet/IP	SWITCH ADMINISTRABLE- RIO1
x.x.x.151	Modulo I/O	EtherNet/IP	FLEXIO1 - RIO1
x.x.x.152	Modulo I/O	EtherNet/IP	FLEXIO2 - RIO1
x.x.x.153	PLC	EtherNet/IP	PLC ESPESADOR
x.x.x.160	Switch Administrable	EtherNet/IP	SWITCH ADMINISTRABLE- RIO2
x.x.x.161	Modulo I/O	EtherNet/IP	FLEXIO - RIO2
x.x.x.162	Gateway	EtherNet/IP	GATEWAY -RIO2
x.x.x.163	HMI	EtherNet/IP	HMI - RIO2

Anexo 4. Topología de red sistema de control de Scrubber



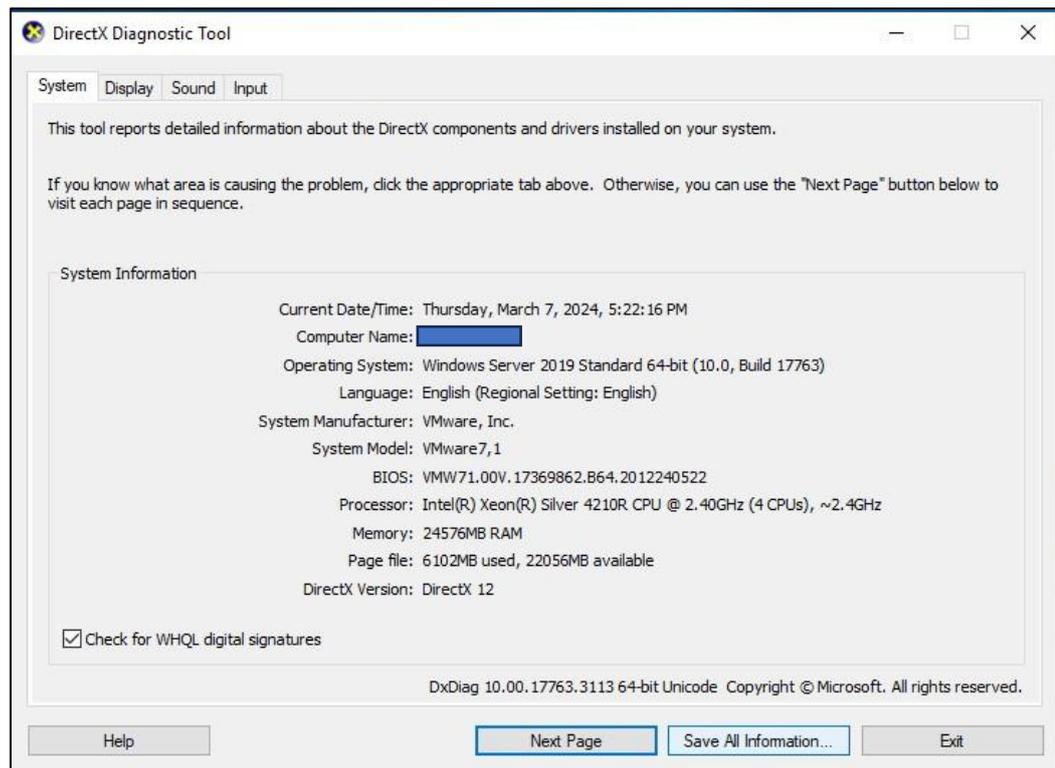
Adaptado de documentación POMC.

Anexo 5. Detalles del servidor físico en el que trabaja Ignition

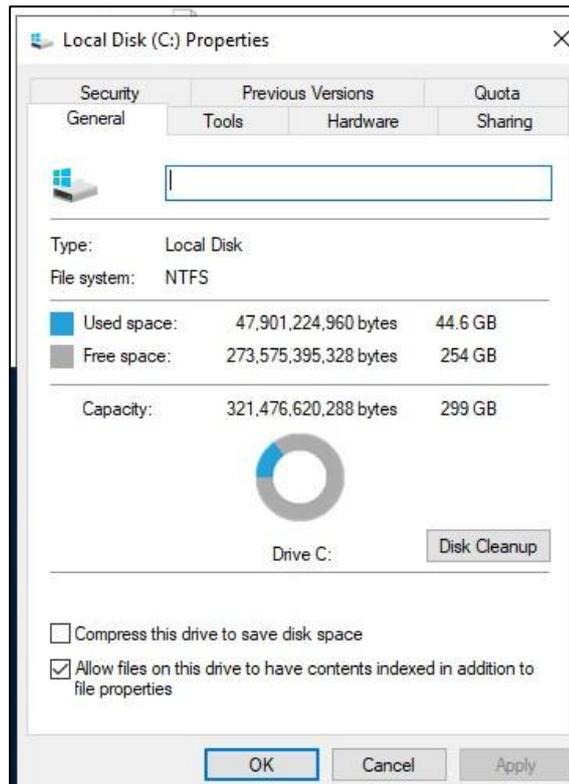
	Hypervisor:	VMware ESXi, 7.0.2, 17867351
	Model:	UCSC-C220-M5SX
	Processor Type:	Intel(R) Xeon(R) Silver 4210R CPU @ 2.40GHz
	Logical Processors:	40
	NICs:	4

Adaptado de documentación POMC.

Anexo 6. Detalles del servidor virtual de Ignition



Adaptado de documentación POMC.

Anexo 7. Detalles de almacenamiento de servidor virtual de Ignition

Adaptado de documentación POMC

Anexo 8. Especificaciones Firewall Servidor VCSC-C220-M5SX

Specifications		FORTIGATE 200F		FORTIGATE 201F	
Interfaces and Modules					
GE RJ45 Ports		16			
GE RJ45 Management / HA		1 / 1			
GE SFP Slots		8			
10 GE SFP+ FortiLink Slots (default)		2			
10 GE SFP+ Slots		2			
USB Port		1			
Console Port		1			
Onboard Storage	0	1x 480 GB SSD			
Trusted Platform Module (TPM)		Yes			
Bluetooth Low Energy (BLE)		Yes			
Included Transceivers		0			
System Performance — Enterprise Traffic Mix					
IPS Throughput ²		5 Gbps			
NGFW Throughput ^{2,4}		3.5 Gbps			
Threat Protection Throughput ^{1,5}		3 Gbps			
System Performance and Capacity					
IPv4 Firewall Throughput (1518 / 512 / 64 byte, UDP)		27 / 27 / 11 Gbps			
Firewall Latency (64 byte, UDP)		4.78 µs			
Firewall Throughput (Packet per Second)		16.5 Mpps			
Concurrent Sessions (TCP)		3 Million			
New Sessions/Second (TCP)		280 000			
Firewall Policies		10 000			
IPsec VPN Throughput (512 byte) ⁶		13 Gbps			
Gateway-to-Gateway IPsec VPN Tunnels		2000			
Client-to-Gateway IPsec VPN Tunnels		16 000			
SSL-VPN Throughput		2 Gbps			
Concurrent SSL-VPN Users (Recommended Maximum, Tunnel Mode)		500			
SSL Inspection Throughput (IPS, avg. HTTPS) ³		4 Gbps			
SSL Inspection CPS (IPS, avg. HTTPS) ³		3500			
SSL Inspection Concurrent Session (IPS, avg. HTTPS) ³		300 000			
Application Control Throughput (HTTP 64K) ²		13 Gbps			
CAPWAP Throughput (HTTP 64K)		20 Gbps			
Virtual Domains (Default / Maximum)		10 / 10			
Maximum Number of FortiSwitches Supported		64			
Maximum Number of FortiAPs (Total / Tunnel)		256 / 128			
Maximum Number of FortiTokens		5000			
High Availability Configurations		Active-Active, Active-Passive, Clustering			
Dimensions and Power					
Height x Width x Length (inches)		1.73 x 17.01 x 13.47			
Height x Width x Length (mm)		44 x 432 x 342			
Weight	9.92 lbs (4.5 kg)	10.14 lbs (4.6 kg)			
Form Factor (supports EIA/non-EIA standards)		Ear Mount, 1 RU			
AC Power Supply		100-240V AC, 50/60 Hz			
Power Consumption (Average / Maximum)	101.92 W / 118.90 W	104.52 W / 121.94 W			
Current (Maximum)		100V / 2A, 240V / 1.2A			
Heat Dissipation	405.70 BTU/h	436.98 BTU/h			
Redundant Power Supplies		Yes (Default dual non-swappable AC PSU for 1+1 Redundancy)			
Power Supply Efficiency Rating		80Plus Compliant			
Operating Environment and Certifications					
Operating Temperature		32°F to 104°F (0°C to 40°C)			
Storage Temperature		-31°F to 158°F (-35°C to 70°C)			
Humidity		20% to 90% non-condensing			
Noise Level		49.9 dBA			
Forced Airflow		Side to Back			
Operating Altitude		Up to 10 000 ft (3048 m)			
Compliance		FCC Part 15B, Class A, CE, RCM, VCCI, UL/cUL, CB, BSMI			
Certification		USGv6/IPv6			

Adaptado de documentación POMC

Anexo 9. Cotización de módulos de Ignition


Quote

Quote #1313574

Quote valid: October 6, 2023 - December 6,
2023 Payment Terms: Net 30

Bill To:

Rodrigo Arriaga

Ship To:

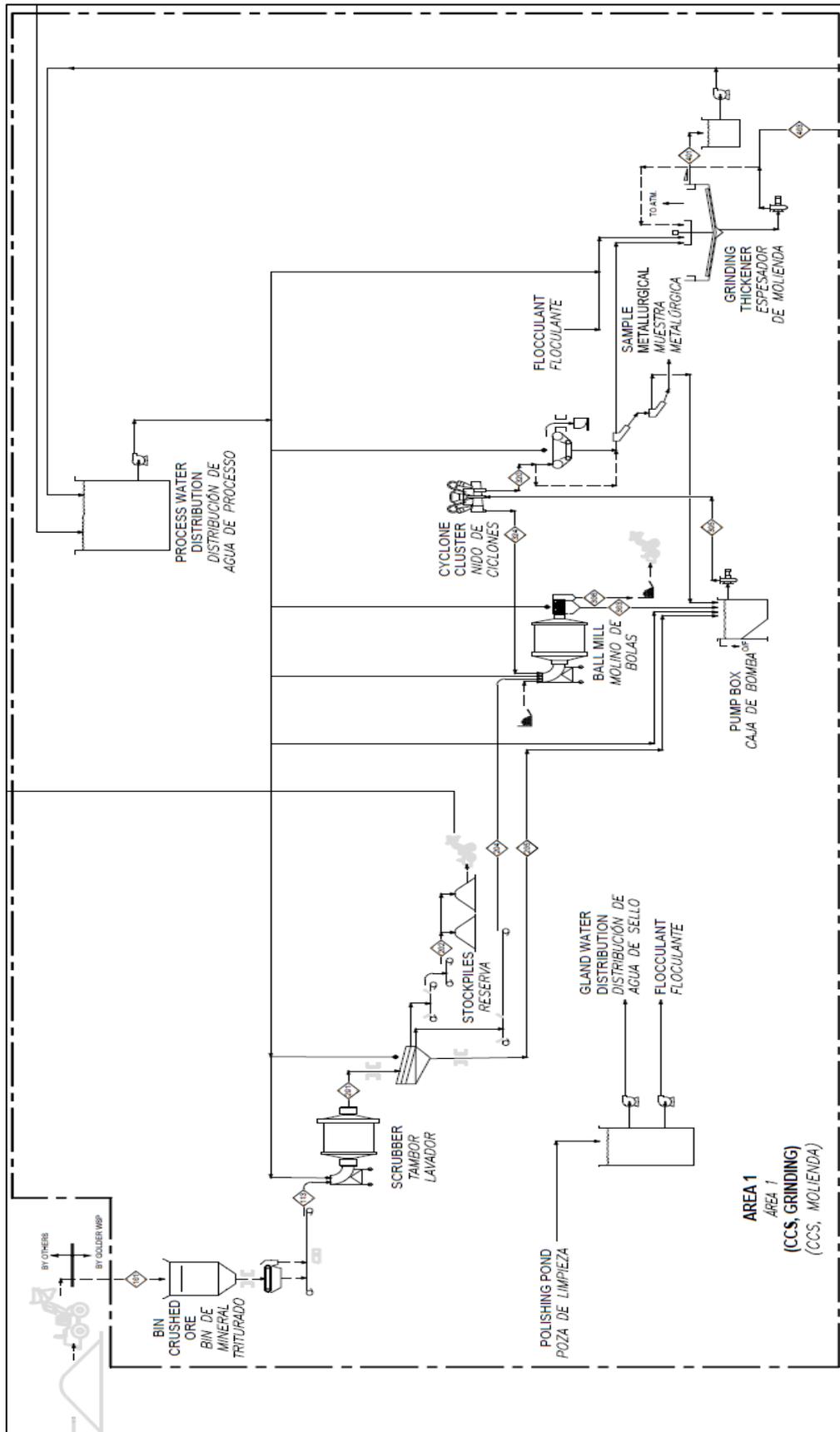
Rodrigo Arriaga

Product	Price	Qty	Total
Ignition Custom Package 8.1 - Ignition Platform - OPC UA Server Module - Core Drivers - SQL Bridge Module - WebDev Module - Perspective Module - Symbol Factory - Vision Module	\$24,140.00	1	\$24,140.00 \$21,140.00

Price	\$24,140.00
Discount	- \$3,000.00
Subtotal	\$21,140.00
Sales Tax	\$0.00
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> Total \$21,140.00 USD </div>	

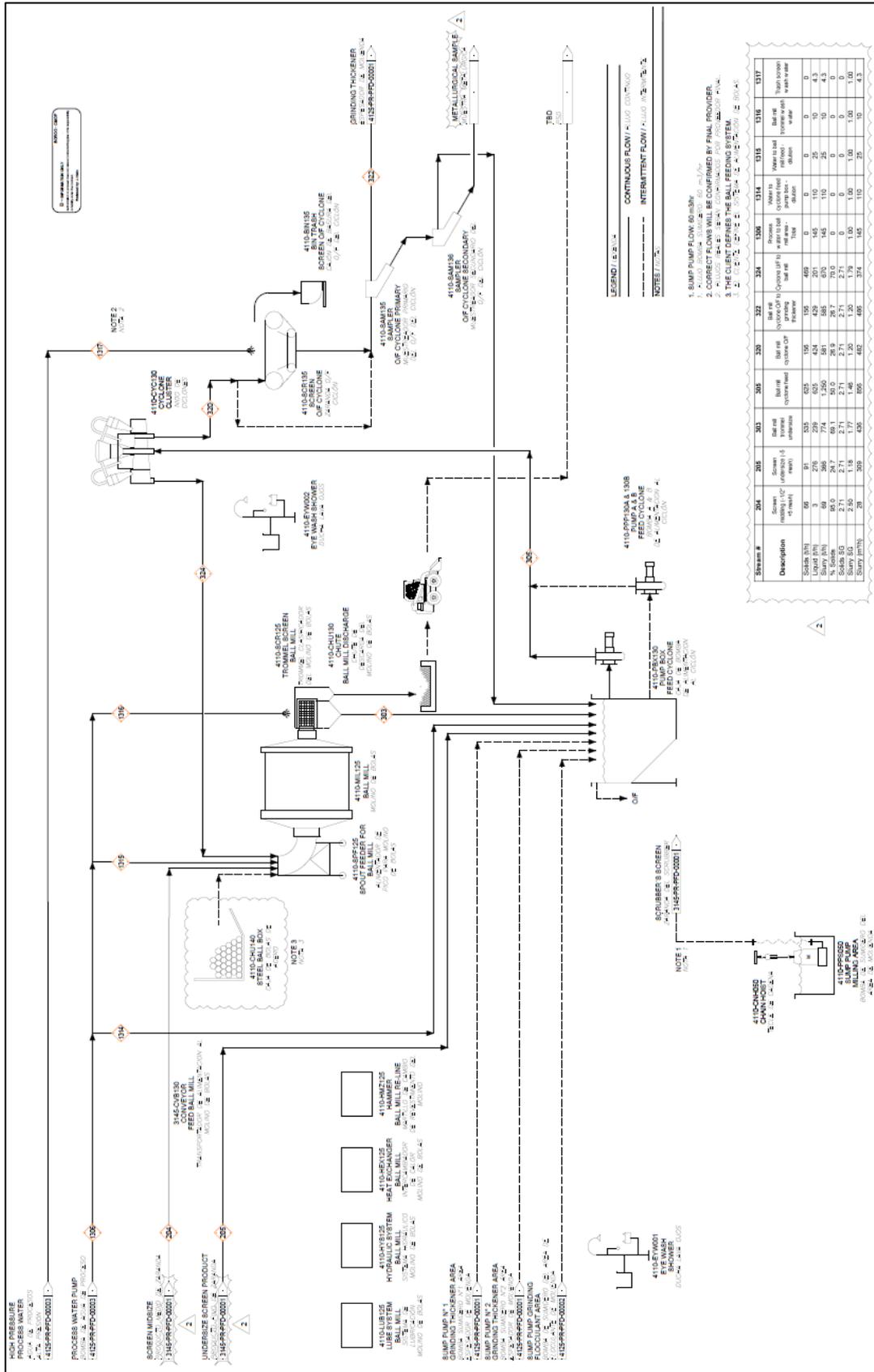
Adaptado de documentación POMC

Anexo 10. PFD General área uno.



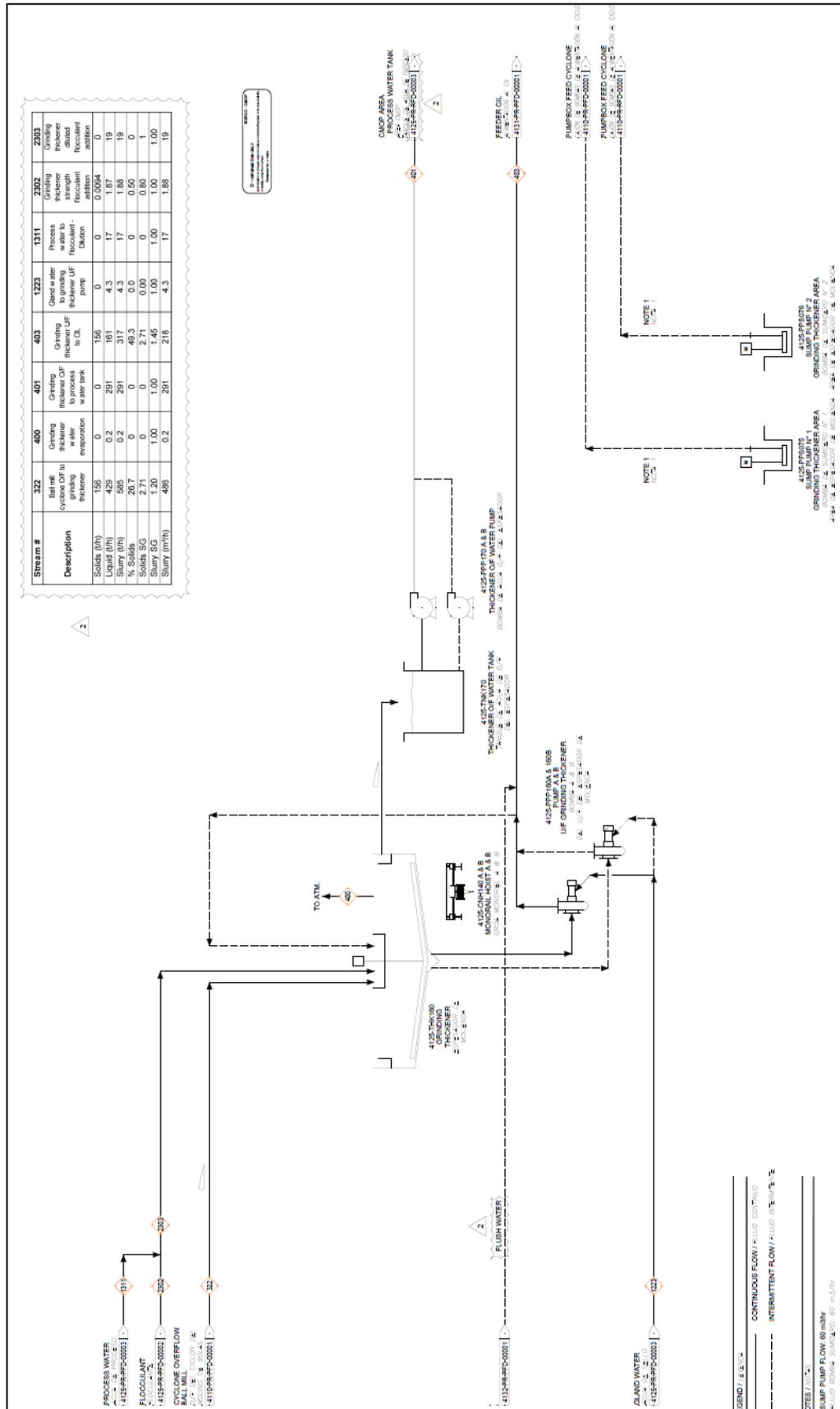
Adaptado de documentación POMC

Anexo 11. PFD Ball Mill



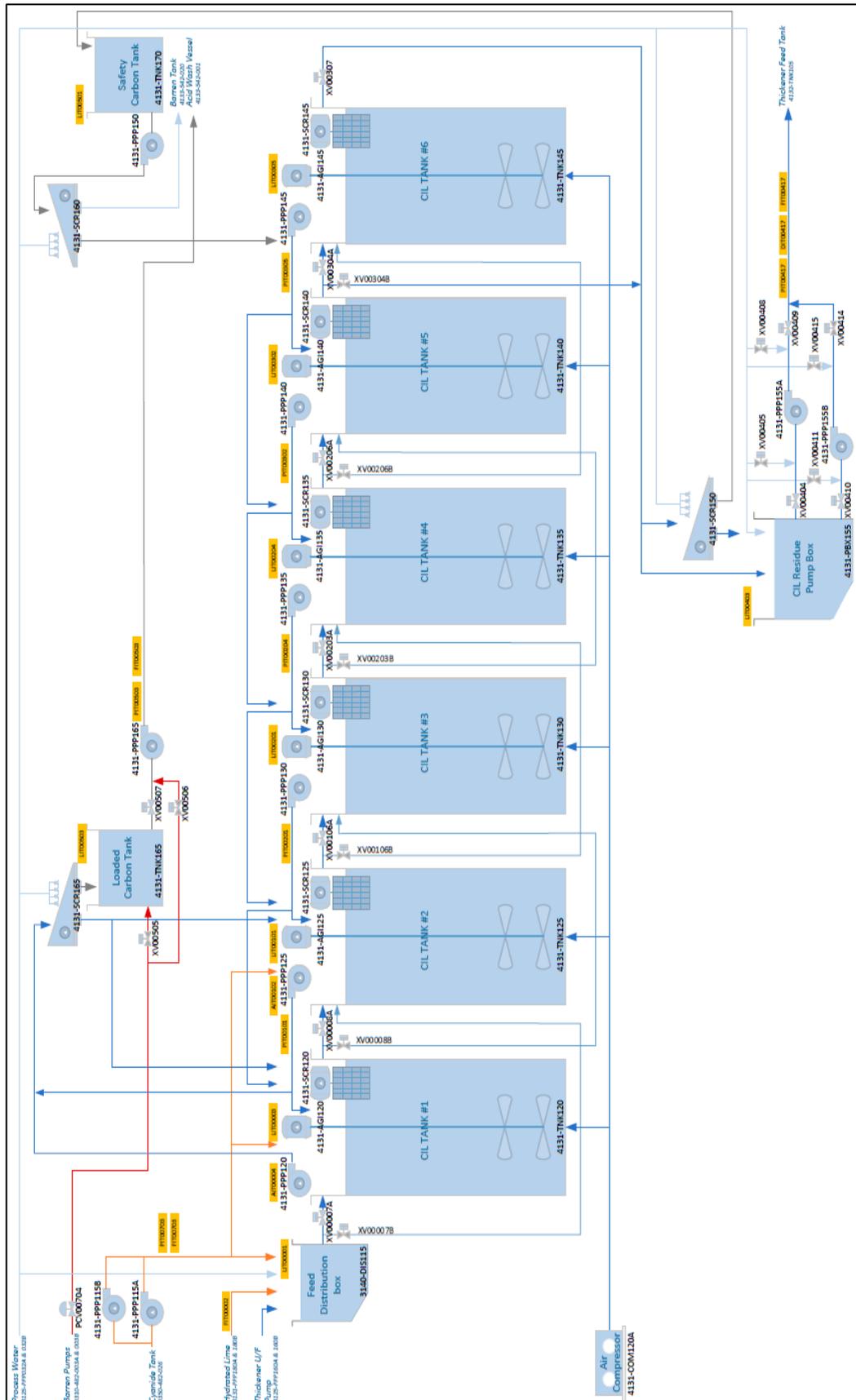
Adaptado de documentación POMC

Anexo 12. PFD Espesador área uno



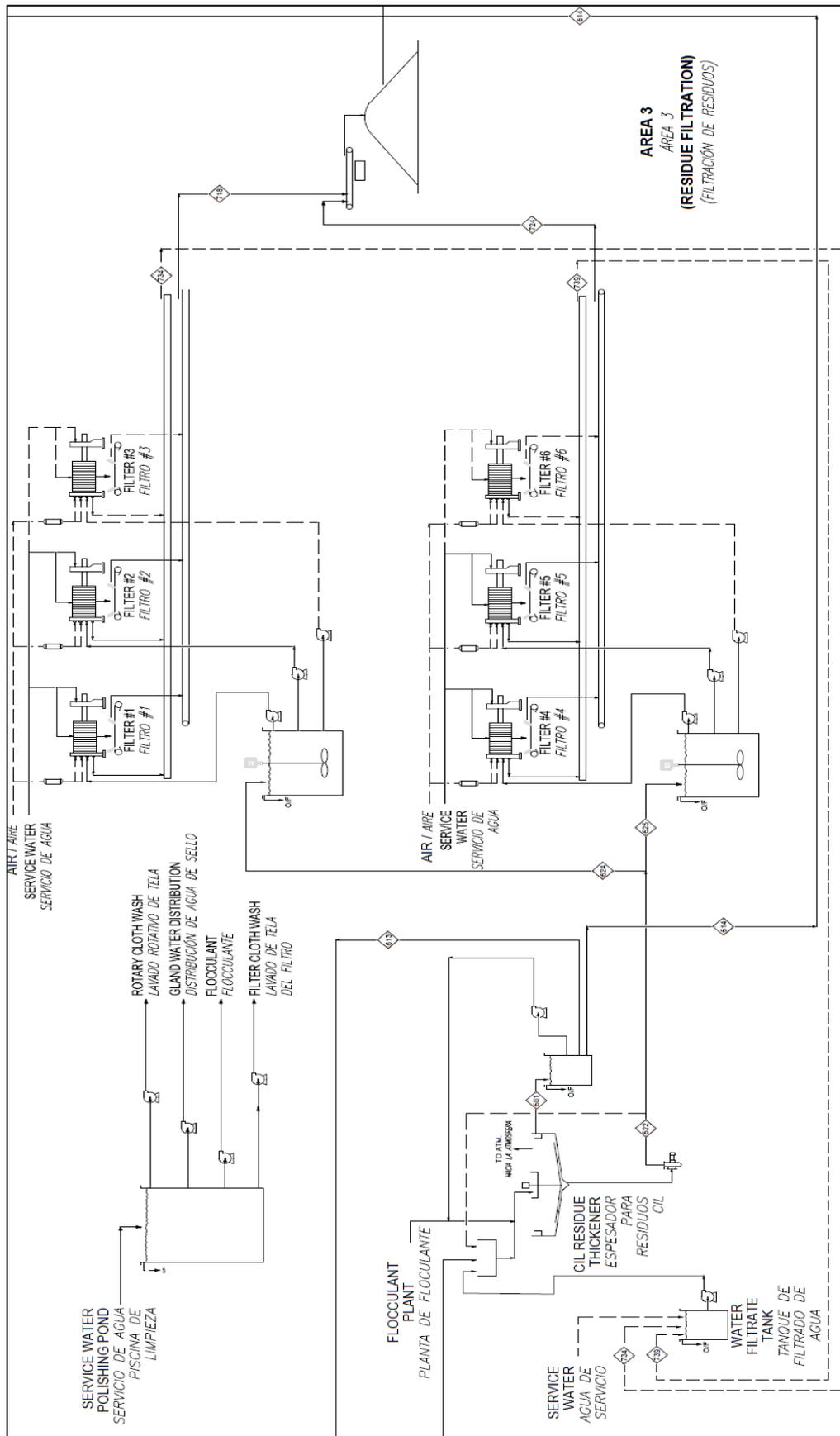
Adaptado de documentación POMC

Anexo 13. PFD General área dos



Adaptado de documentación POMC

Anexo 14. PFD General área tres



Adaptado de documentación POMC

Anexo 17. Registro de eventos de parada del POMC por mes

Paradas Octubre		
Tipo	Fecha	Duracion (Hr)
Por Corriente	05/10/2023	1.5
Otro	05/10/2023	1
Por Corriente	06/10/2023	1
Por Corriente	06/10/2023	1
Otro	06/10/2023	1
Otro	07/10/2023	0.5
Por Corriente	07/10/2023	2
Por Corriente	08/10/2023	2.5
Por Corriente	11/10/2023	14
Por Corriente	12/10/2023	2
Por Corriente	16/10/2023	2
Otro	17/10/2023	2
Por Corriente	18/10/2023	2
Por Corriente	19/10/2023	3.5
Por Presión	20/10/2023	16
Por Corriente	22/10/2023	2
		54

Paradas Noviembre		
Tipo	Fecha	Duracion (Hr)
Por Presión	05/11/2023	9
Por Presión	05/11/2023	80.5
Por Presión	14/11/2023	5
Por Presión y T°	15/11/2023	2
Por Presión y T°	15/11/2023	1
Por Presión y T°	15/11/2023	7
Por Presión y T°	16/11/2023	1
Por Mantto	16/11/2023	378
		483.5

Noviembre
considera aún
parada por
Mantto del
01/12-07/12
 $483.5+142=625.5$

Paradas Diciembre		
Tipo	Fecha	Duracion (Hr)
Por Mantto	01/12/2023	142
Por Presión y T°	07/12/2023	9
Por Corriente	07/12/2023	1
Otro	07/12/2023	37
Por Corriente	12/12/2023	2
Por Corriente	12/12/2023	3
Otro	13/12/2023	2
Por Presión	17/12/2023	5
Por Corriente	18/12/2023	2
Por Corriente	19/12/2023	1
Por Corriente	20/12/2023	0.5

Otro	20/12/2023	5
Por Corriente	23/12/2023	8
Por Presión	25/12/2023	4
Por Presión	26/12/2023	0.5
Por Corriente	27/12/2023	1
Por Corriente	31/12/2023	1
Por Corriente	31/12/2023	3.5
		227.5

Paradas Enero		
Tipo	Fecha	Duracion (Hr)
Por Corriente	03/01/2024	4
Por Corriente	04/01/2024	0.5
Por Corriente	04/01/2024	3
Por Corriente	05/01/2024	6
Por Corriente	05/01/2024	3
Por Corriente	08/01/2024	2.5
Por Presión	08/01/2024	1
Por Corriente	09/01/2024	8.5
Por Corriente	11/01/2024	1.5
Por Corriente	18/01/2024	1
Por Corriente	20/01/2024	2.5
Por Corriente	21/01/2024	1
Por Corriente	21/01/2024	1
Por Corriente	22/01/2024	2.5
Por Presión	25/01/2024	2.5
Por Presión	25/01/2024	1
Por Corriente	26/01/2024	1
Por Presión	31/01/2024	21
		63.5

Paradas Febrero		
Tipo	Fecha	Duracion (Hr)
Por Corriente	03/02/2024	1
Por Corriente	12/02/2024	1
Por Corriente	17/02/2024	1
Por Corriente	17/02/2024	1
Por Corriente	20/02/2024	1
Otro	21/02/2024	6
Por Corriente	22/02/2024	2
		13

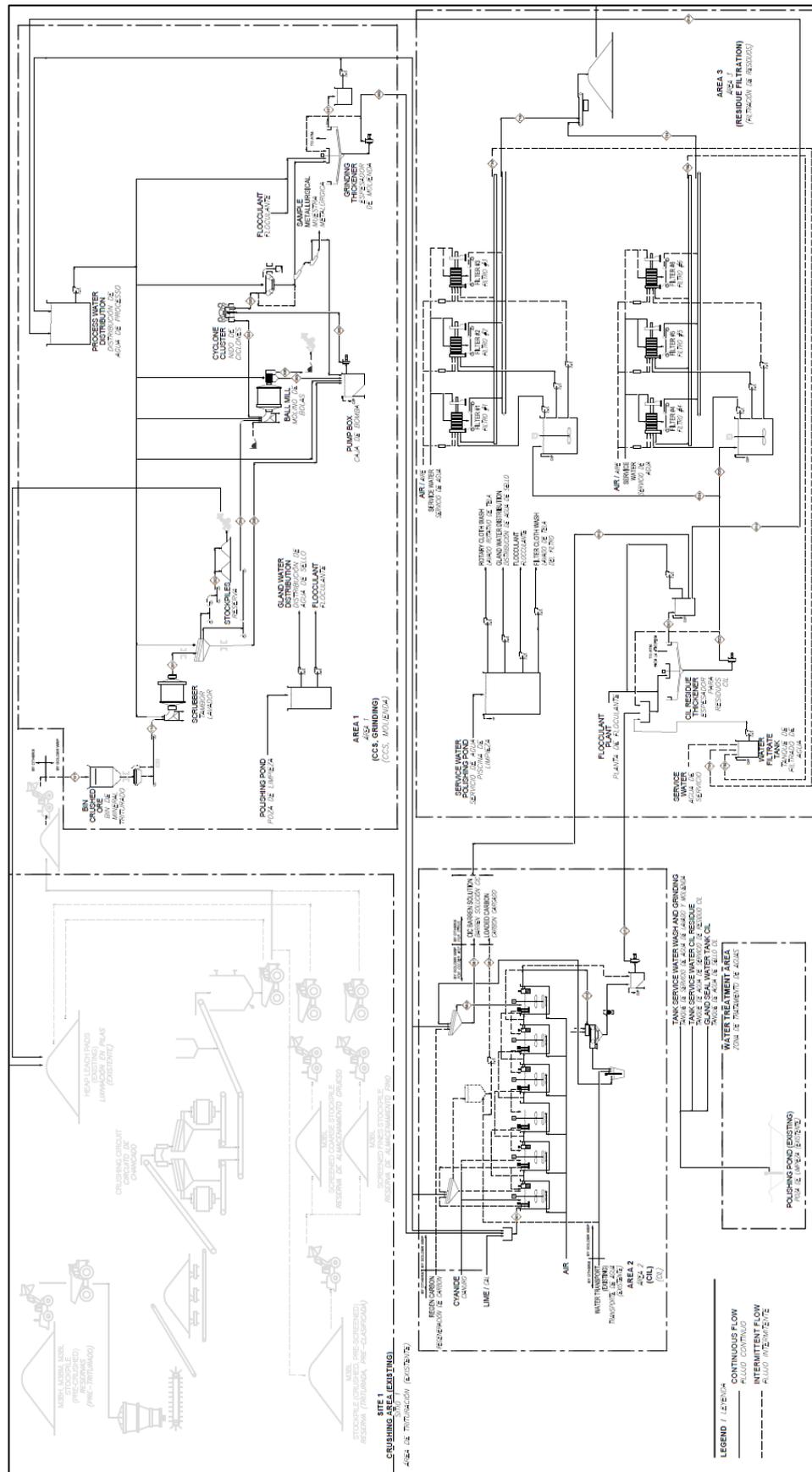
Paradas Marzo		
Tipo	Fecha	Duracion (Hr)
Por Corriente	05/03/2024	6.5
Por Corriente	08/03/2024	1

Otro	10/03/2024	3
Por Corriente	13/03/2024	15
Por Corriente	15/03/2024	1.5
Otro	18/03/2024	3.5
Por Corriente	19/03/2024	1
Por Corriente	19/03/2024	1
Por Corriente	20/03/2024	2
Por Corriente	22/03/2024	3.5
Por Corriente	27/03/2024	5
Por Corriente	31/03/2024	4
		47

Paradas Abril		
Tipo	Fecha	Duracion (Hr)
Por Corriente	01/04/2024	3.5
Por Corriente	02/04/2024	4
Por Corriente	11/04/2024	3
Por Corriente	12/04/2024	2
Por Corriente	13/04/2024	1
Por Corriente	17/04/2024	3
Por Corriente	18/04/2024	2
		18.5

Adaptado de documentación POMC

Anexo 18. PFD General del POMC



Adaptado de documentación POMC

Anexo 19. Programación Rockwell Automation

Para autómatas ControlLogix 5570 y ControlLogix 5580 presentes en el POMC se usó el software de programación Studio5000 desarrollado por Rockwell Automation, donde se usaron instrucciones Add-On propias del software. Esto permitió realizar la programación abstrayendo el funcionamiento de un proceso específico y usándolo para los demás procesos del mismo PLC.

Cada instrucción Add-On cuenta con un tipo de dato definido previamente para el que existe una relación. Existen 2 tipos de instrucciones Add-On, en el primero se tiene el bloque de instrucción generado por el fabricante, el cual fue probado por desarrolladores y tiene validez garantizada. En el segundo se tiene un bloque generado por el desarrollador del proyecto, donde se utiliza Ladder y programación orientada a objetos.

AOI_AIN

Este es un Add-On que se encarga de recibir la señal en puntos digitales y brindar información relevante para su uso. Así se tienen parámetros como lectura, simulación, configuración, alarmas, etc. A continuación, se detalla su funcionamiento.

- Configuración: Sección que se encarga de la configuración de los parámetros utilizados en todo el Add-On, entre estos se tiene el retardo de activación de alarma alta en segundos, retardo de activación de alarma alta en segundos, retardo de activación de alarma baja en segundos y retardo de activación de alarma baja en segundos.
- Escalamiento: Sección que se encarga del escalamiento de la señal de entrada (puntos digitales) a una señal del proceso. A continuación, se muestra la base matemática para escalar la señal.

$$Out = (In - InRawMin) \frac{(InEUMax - InEUMin)}{(InRawMax - InRawMin)} + InEUMin$$

Out: Salida de señal en unidades de ingeniería

In: Entrada de señal en puntos digitales

InRawMin: Entrada mínima en puntos digitales

InRawMax: Entrada máxima en puntos digitales

InEUMin: Entrada mínima en unidades de ingeniería

InEUMax: Entrada máxima en unidades de ingeniería

- Señal PV errónea: Sección del bloque que detecta un error en el valor de la señal y le asigna el valor por defecto de 0.
- Simulación: Sección que se encarga de simular el valor a la salida del bloque.
- Histéresis: Sección que se encarga de la configuración de la histéresis para la señal, donde sigue la siguiente base matemática.

$$Out = \frac{(Cfg_{Ymax} - Cfg_{Ymin})Cfg_{hys}}{100}$$

Out: Salida de histéresis

Cfg_Ymax: Valor máximo de histéresis

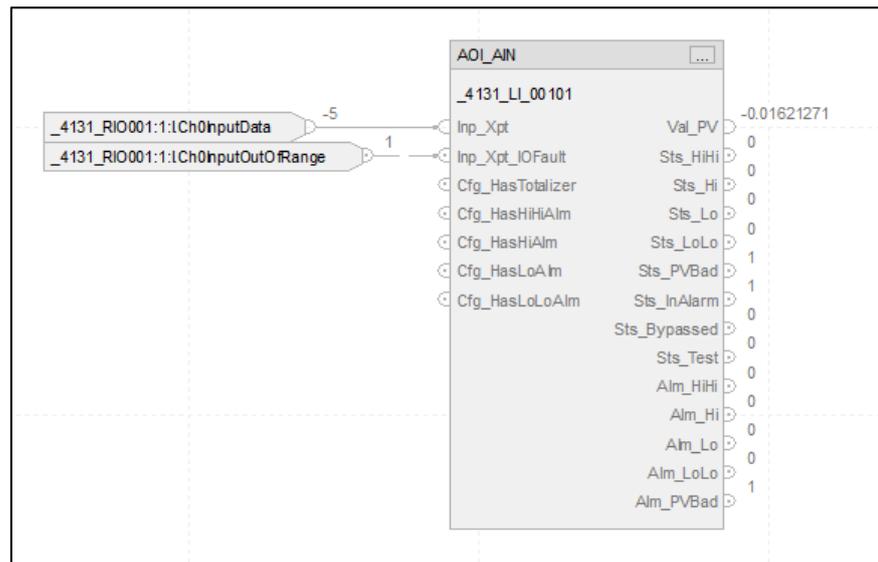
Cfg_Ymin: Valor mínimo de histéresis

Cfg_hys: Valor configurable de porcentaje de histéresis

- Alarmas: Sección en la que se configuran las distintas alarmas que genera el bloque de instrucción Add-On. Para este bloque se pueden habilitar alarmas Alta Alta, Alta, Baja y Baja Baja.

En la siguiente figura se muestra un bloque de instrucción Add-On de tipo AOI_AIN.

Figura 46. Add-On de tipo AOI_AIN para un sensor de nivel analógico



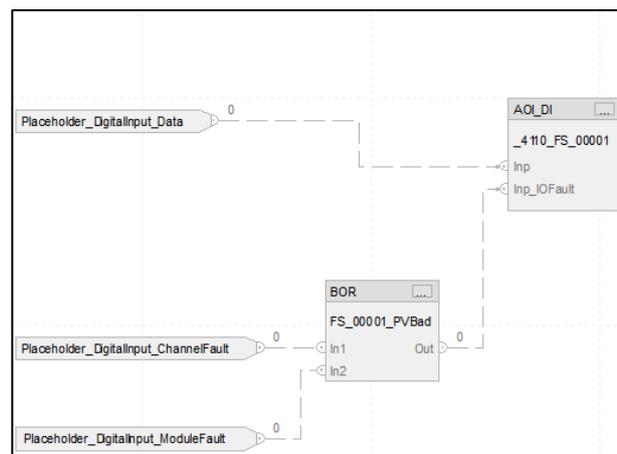
Fuente: fabricante

AOI_DI

Esta es una instrucción Add-On propia del fabricante que se encarga de recibir la señal discreta de campo y brindar información relevante para su uso. Así se tienen parámetros como estado, simulación, configuración, alarmas, etc.

En la siguiente figura se muestra un bloque de instrucción Add-On de tipo AOI_DI.

Figura 47. Add-On de tipo AOI_DI para un sensor discreto de presión diferencial alta



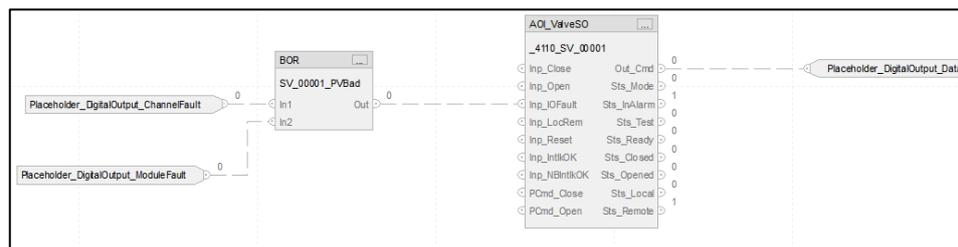
Fuente: fabricante

AOI_ValveSO

Esta es una instrucción Add-On propia del fabricante para válvulas operadas por solenoide (Solenoid Operated Valve) que se encarga de recibir las señales discretas de campo y brindar información relevante de la válvula. Así se tienen parámetros como estado, simulación, configuración, alarmas, etc.

En la siguiente figura se muestra un bloque de instrucción Add-On de tipo AOI_ValveSO.

Figura 48. Add-On de tipo AOI_ValveSO para una válvula con solenoide



Fuente: fabricante

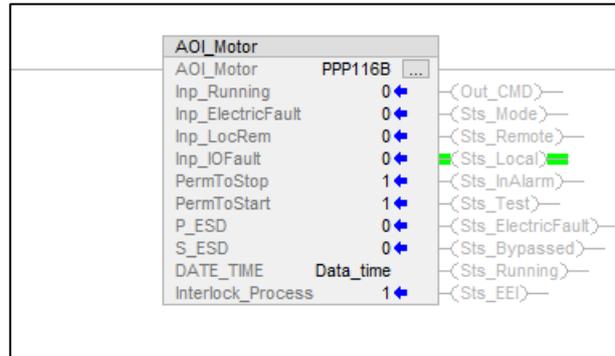
AOI_Motor

Este es un Add-On que se encarga de recibir señales para controlar y supervisar un motor y brindar información relevante para su uso. Así se tienen parámetros como estado, bypass, configuración, horómetro, etc. A continuación, se detalla su funcionamiento.

- Configuración: Sección que se encarga de la configuración de los parámetros utilizados en todo el Add-On, entre estos se tiene el retardo para falla al arrancar en segundos, retardo para falla al detenerse en segundos. Aquí también se proponen criterios de modo como local, remoto y otros estados de diagnóstico.
- Permisivos e interlocks: Sección que se encarga de condiciones necesarias que deben cumplirse para el arranque y funcionamiento del equipo.
- Comandos de arranque y detención: Sección que se encarga de hacer cumplir criterios básicos para dar un comando de arranque y también de detención del equipo.
- Fallas: Sección que se encarga de facilitar el diagnóstico de fallas en un arranque o detención del equipo.

- Bypass: Sección que se encarga de enviar a un estado de bypass al equipo.
- En la siguiente figura se muestra un bloque de instrucción Add-On de tipo AOI_Motor.

Figura 49. *Add-On de tipo AOI_Motor para una bomba*



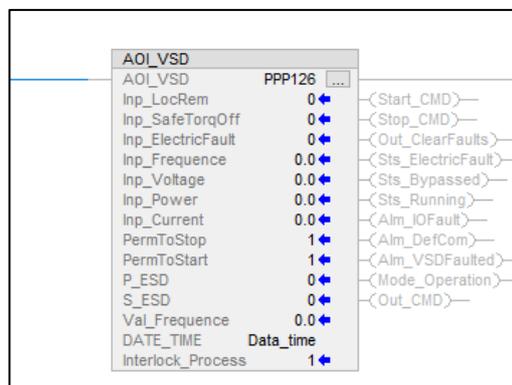
Fuente: fabricante

AOI_VSD

Este es un Add-On, brindado por el fabricante (Variable Speed non Reversible Drive o accionamiento no reversible de velocidad variable), que se encarga de recibir señales para controlar y supervisar un motor y brindar información relevante para su uso. Así se tienen parámetros como comandos, estados, alarmas, configuración, etc.

En la siguiente figura se muestra un bloque de instrucción Add-On de tipo AOI_VSD.

Figura 50. *Add-On de tipo AOI_VSD para una bomba*



Fuente: fabricante

AOI_PSTX

Este es un Add-On que se encarga de recibir señales para controlar y supervisar un arrancador tipo PSTX y brindar información relevante para su uso. Así se tienen parámetros como modo, configuración, comandos, etc. A continuación, se detalla su funcionamiento.

- Configuración: Sección que se encarga de la configuración de los parámetros utilizados en todo el Add-On, entre estos se tiene el retardo para falla al arrancar en segundos, retardo para falla al detenerse en segundos. Asimismo, determina el modo actual del equipo.
- Permisivo: Sección que se encarga de cumplir con todas las condiciones para dar el visto de un arranque y funcionamiento seguro.
- Comando: Sección que se encarga de brindar el comando para detener o arrancar el equipo, donde se cumplen ciertos criterios de operación.
- Fallas: Sección que se encarga de evaluar y gestionar las fallas en el funcionamiento del equipo.
- Bypass: Sección que se encarga de poner en modo bypass al equipo, cumpliendo ciertos requisitos del sistema.
- Estado: Sección que se encarga de brindar el estado en tiempo real del equipo, estos son:

Tabla 8. Estados del motor para un Add-On tipo AOI_PSTX

Estado	Descripción
0	Motor Detenido No listo para Arrancar
1	Motor Detenido listo para Arrancar
2	Motor Arrancando
3	Motor Funcionando
4	Motor Deteniéndose
5	Motor en Falla
6	Motor en Falla ACK

- Horómetro: Sección que se encarga de tomar el tiempo de funcionamiento del equipo.

En la siguiente figura se muestra un bloque de instrucción Add-On de tipo AOI_PSTX.

Figura 51. Add-On de tipo AOI_PSTX para un agitador

AOI_PSTX	
_4131_AGI120	
Input_Data	_4131_AGI120:I
Output_Data	_4131_AGI120:O
⊖ Cfg_HasLocRem	Sts_PV > 5
⊖ Cfg_HasMode	Sts_Bypassed > 0
⊖ Cfg_SensLocRem	Sts_Cmd > 0
⊖ Cfg_HasElectricalFault	Sts_Local > 1
	Sts_Remote > 0
	Sts_Mode > 0
	Sts_RdyToStart > 0
	Sts_Running > 1
	Sts_InAlarm > 1
	Sts_ComFault > 0
	Sts_ElectricalFault > 0
	Sts_EStop > 0
	Sts_AutoMode_SS > 0
	Sts_RdyToStar_SS > 1
	Sts_StarLoc > 1
	Sts_StopLoc > 1
	Sts_Test > 0

Fuente: fabricante

AOI_UMC100

Este es un Add-On que se encarga de recibir señales para controlar y supervisar un UMC100 y brindar información relevante para su uso. Así se tienen parámetros como mapeo de entradas, configuración, modo, etc. A continuación, se detalla su funcionamiento.

- Mapeo de entradas: Sección que se encarga de reconocer cada entrada digital para el posterior funcionamiento del equipo.
- Configuración: Sección que se encarga de la configuración de los parámetros utilizados en todo el Add-On, entre estos se tiene el retardo para falla al arrancar en segundos, retardo para falla al detenerse en segundos. Asimismo, determina el modo actual del equipo.
- Permisivo: Sección que se encarga de cumplir con todas las condiciones para dar el visto de un arranque y funcionamiento seguro.
- Comando: Sección que se encarga de brindar el comando para detener o arrancar el equipo, donde se cumplen ciertos criterios de operación.

- Fallas: Sección que se encarga de evaluar y gestionar las fallas en el funcionamiento del equipo.
- Bypass: Sección que se encarga de poner en modo bypass al equipo, cumpliendo ciertos requisitos del sistema.
- Mapeo de salidas: Sección que se encarga de direccionar las señales digitales relevantes a la salida del bloque.
- Estado: Sección que se encarga de brindar el estado en tiempo real del equipo, estos son:

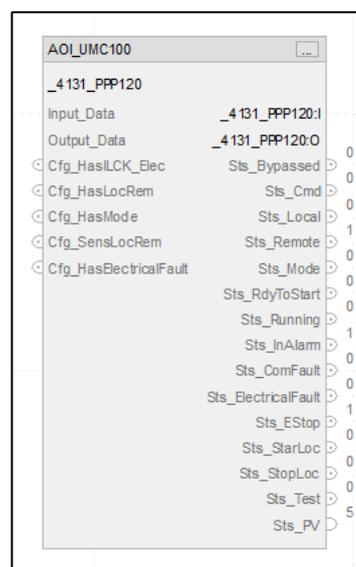
Tabla 9. Estados del motor para un Add-On tipo AOI_UMC100

Estado	Descripción
0	Motor Detenido No listo para Arrancar
1	Motor Detenido listo para Arrancar
2	Motor Arrancando
3	Motor Funcionando
4	Motor Deteniéndose
5	Motor en Falla
6	Motor en Falla ACK

- Horómetro: Sección que se encarga de tomar el tiempo de funcionamiento del equipo.

En la siguiente figura se muestra un bloque de instrucción Add-On de tipo AOI_UM100.

Figura 52. Add-On de tipo AOI_UMC100 para una bomba



Fuente: fabricante

AOI_VFAS3

Este es un Add-On que se encarga de recibir señales para controlar y supervisar un variador VFAS3 y brindar información relevante para su uso. Así se tienen parámetros como simulación, configuración de tiempos, estado de comunicación, etc. A continuación, se detalla su funcionamiento.

- Simulación: Sección que se encarga de habilitar la simulación del equipo.
- Mapeo de entradas: Sección que se encarga de reconocer cada entrada digital para el posterior funcionamiento del equipo.
- Configuración: Sección que se encarga de la configuración de los parámetros utilizados en todo el Add-On, entre estos se tiene el retardo para falla al arrancar en segundos, retardo para falla al detenerse en segundos. Asimismo, determina el modo actual del equipo.
- Lectura: Sección que se encarga de la lectura de registro para calcular amperajes, voltajes, etc.
- Modo: Sección que se encarga de indicar el modo de operación del equipo.
- Permisivo: Sección que se encarga de cumplir con todas las condiciones para dar el visto de un arranque y funcionamiento seguro.
- Comando: Sección que se encarga de brindar el comando para detener o arrancar el equipo, donde se cumplen ciertos criterios de operación.
- Fallas: Sección que se encarga de evaluar y gestionar las fallas en el funcionamiento del equipo.
- Bypass: Sección que se encarga de poner en modo bypass al equipo, cumpliendo ciertos requisitos del sistema.
- Mapeo de salidas: Sección que se encarga de direccionar las señales digitales relevantes a la salida del bloque.
- Estado: Sección que se encarga de brindar el estado en tiempo real del equipo, estos son:

Tabla 10. Estados del motor para un Add-On tipo AOI_VFAS3

Estado	Descripción
0	Motor Detenido No listo para Arrancar
1	Motor Detenido listo para Arrancar

2	Motor Arrancando
3	Motor Funcionando
4	Motor Deteniéndose
5	Motor en Falla
6	Motor en Falla ACK

- Horómetro: Sección que se encarga de tomar el tiempo de funcionamiento del equipo.

En la siguiente figura se muestra un bloque de instrucción Add-On de tipo AOI_VFAS3.

Figura 53. *Add-On de tipo AOI_VFAS3 para una bomba*



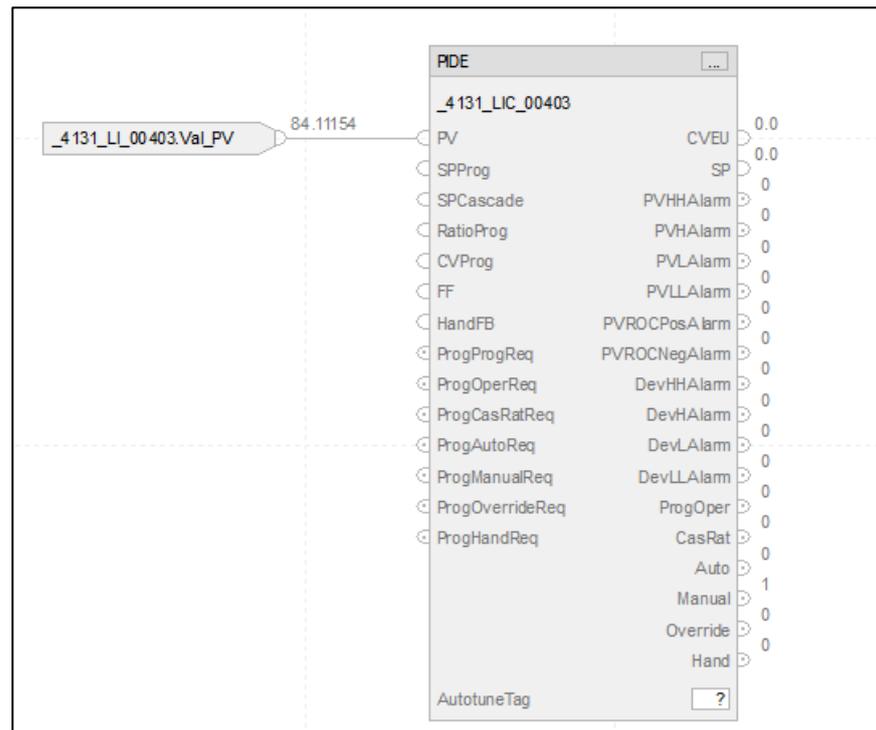
Fuente: fabricante

AOI_PIDE

Este es un Add-On que se encarga de recibir señales para controlar un determinado proceso, utilizando principios de control PID mejorado.

En la siguiente figura se muestra un bloque de instrucción Add-On de tipo AOI_PIDE.

Figura 54. *Add-On de tipo AOI_PIDE para control de nivel*



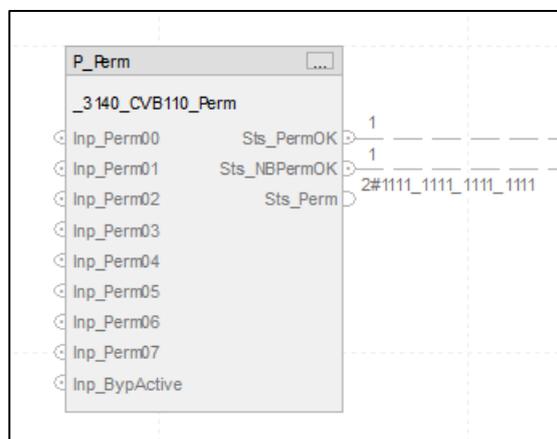
Fuente: fabricante

P_Perm

Este es un Add-On, brindado por el fabricante (Process Permissives), que se encarga de recibir señales y evaluar criterios para habilitar el arranque de un equipo.

En la siguiente figura se muestra un bloque de instrucción Add-On de tipo P_Perm.

Figura 55. *Add-On de tipo P_Perm para faja transportadora*



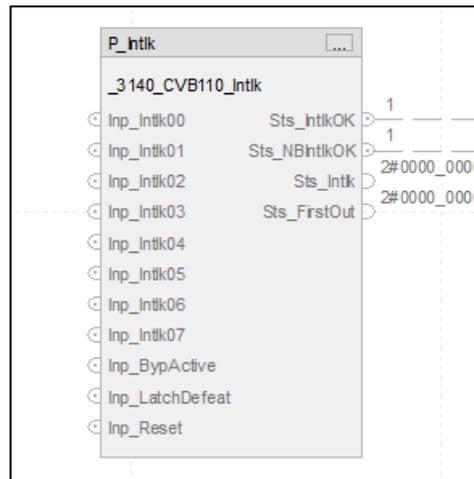
Fuente: fabricante

P_Intlk

Este es un Add-On, brindado por el fabricante (Process Interlocks), que se encarga de recibir señales y evaluar criterios para detener el funcionamiento de un equipo en marcha.

En la siguiente figura se muestra un bloque de instrucción Add-On de tipo P_Intlk.

Figura 56. *Add-On de tipo P_Intlk para faja transportadora*



Fuente: fabricante

Para autómatas Micro 850 presentes en el POMC se usó el software de programación Connected Components Workbench (CCW) desarrollado por Rockwell Automation, donde se usaron instrucciones UDFB (Bloque de Función Definida por el Usuario) generadas en el mismo proyecto. Esto permitió realizar la programación abstrayendo el funcionamiento de un proceso específico y usándolo para los demás procesos del mismo PLC.

AOI_IN (CCW)

Este es un UDFB desarrollado que se encarga de recibir la señal en puntos digitales y brindar información relevante para su uso. Así se tienen parámetros como lectura, simulación, configuración, alarmas, etc. A continuación, se detalla su funcionamiento.

- Configuración: Sección que se encarga de la configuración de los parámetros utilizados en todo el UDFB, entre estos se tiene el retardo de activación de alarma alta alta en segundos, retardo de activación de alarma alta en

segundos, retardo de activación de alarma baja en segundos y retardo de activación de alarma baja baja en segundos.

- Escalamiento: Sección que se encarga del escalamiento de la señal de entrada (puntos digitales) a una señal del proceso. A continuación, se muestra la base matemática para escalar la señal.

$$Output = (Input - InputMin) \frac{(OutputMax - OutputMin)}{(InputMax - InputMin)} + OutputMin$$

Output: Salida de señal en unidades de ingeniería

Input: Entrada de señal en puntos digitales

InputMin: Entrada mínima en puntos digitales

InputMax: Entrada máxima en puntos digitales

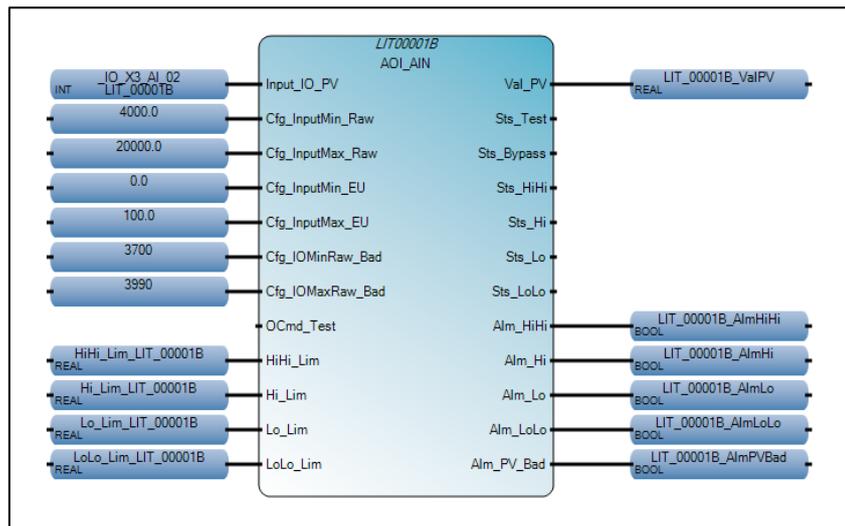
OutputMin: Salida mínima en unidades de ingeniería

OutputMax: Salida máxima en unidades de ingeniería

- Simulación: Sección que se encarga de simular el valor a la salida del bloque.
- Configuración y activación: Sección que se encarga de configurar el criterio para activar una alarma alta alta, alta, baja y baja baja.
- Falla: Sección que se encarga de dar a conocer una falla en la señal de entrada.

En la siguiente figura se muestra un bloque de instrucción UDFB de tipo AOI_AIN en CCW.

Figura 57. UDFB de tipo AOI_AIN en CCW para un sensor de nivel analógico



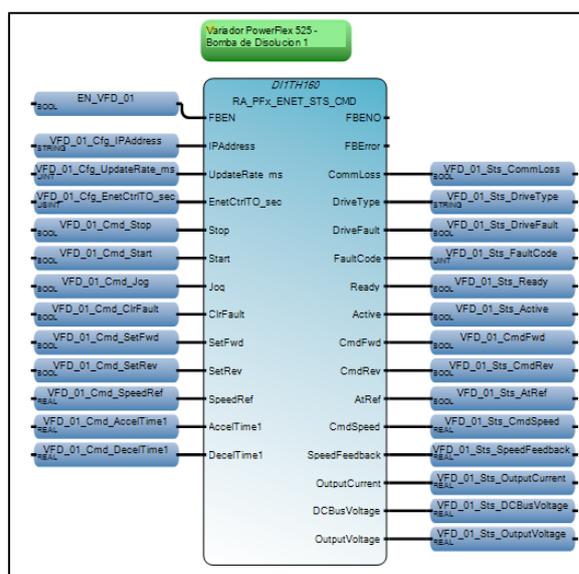
Fuente: fabricante

RA_PFx_ENET_STS_CMD

Este es un UDFB facilitado por el fabricante que se encarga de la comunicación y control con los variadores PF75x, PF52x y PF4x por ethernet. Así se tienen parámetros como velocidad, estado, falla, etc.

En la siguiente figura se muestra un bloque de instrucción UDFB de tipo RA_PFx_ENET_STS_CMD en CCW.

Figura 58. UDFB de tipo RA_PFx_ENET_STS_CMD en CCW para comunicar con un variador PowerFlex 525



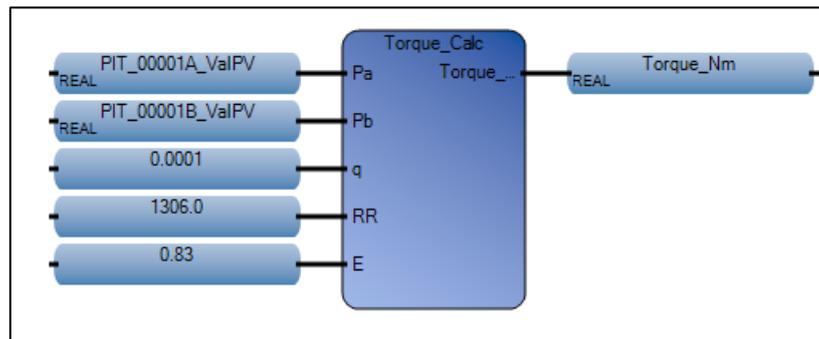
Fuente: fabricante

Calc_Torque

Este es un UDFB desarrollado que se encarga de recibir 2 señales de presión y calcular el torque en Nm asociado a estas. Este cálculo brinda un torque medido indirectamente con parámetros brindados por especialistas en mecánica del espesador.

En la siguiente figura se muestra un bloque de instrucción UDFB de tipo Calc_Torque en CCW.

Figura 59. UDFB de tipo Calc_Torque en CCW para la unidad hidráulica del espesador



Anexo 20. Programación Siemens

Para autómatas S7-1500 y S7-1200 presentes en el POMC se usó el software de programación TIA PORTAL V17 desarrollado por Siemens, donde se usaron bloques FB (Bloque de Función) propias del software. Esto permitió realizar la programación abstrayendo el funcionamiento de un proceso específico y usándolo para los demás procesos del mismo PLC.

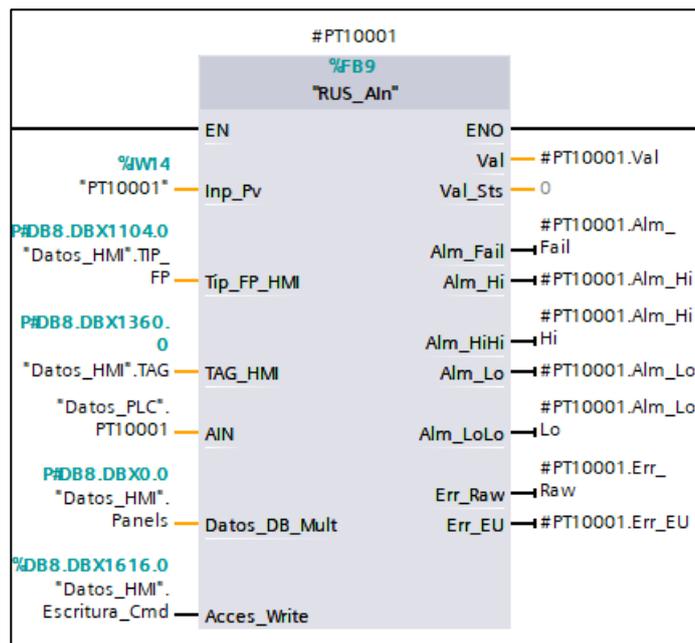
Cada bloque FB cuenta con un tipo de dato definido previamente para el que existe una relación. Existen 2 tipos de bloques FB, en el primero se tiene el bloque generado por el fabricante, el cual fue probado por desarrolladores y tiene validez garantizada. En el segundo se tiene un bloque generado por el desarrollador del proyecto del Scrubber (empresa contratista), donde se utiliza Ladder y programación orientada a objetos, sin embargo, no se tiene libre acceso por políticas de restricción generadas por la empresa contratista.

RUS_AIn

Este es un FB que se encarga de recibir la señal en puntos digitales y brindar información relevante. Para su uso, es necesario instanciar 2 tipos de datos generados previamente; “AIn” y “Multiplex”, el primero es utilizado para almacenar la data procesada del bloque FB, y el segundo es usado para procesar la señal de manera interna. Debido a que este es un FB desarrollado por el contratista, no se puede ingresar para explicar su lógica de funcionamiento. Esta limitación no impide el uso del bloque, sin embargo, es necesario entender sus parámetros externos.

En la siguiente figura se muestra un bloque FB de tipo RUS_AIn en TIA PORTAL V17.

Figura 60. *FB de tipo RUS_AIn en TIA PORTAL V17 para sensor analógico de presión*



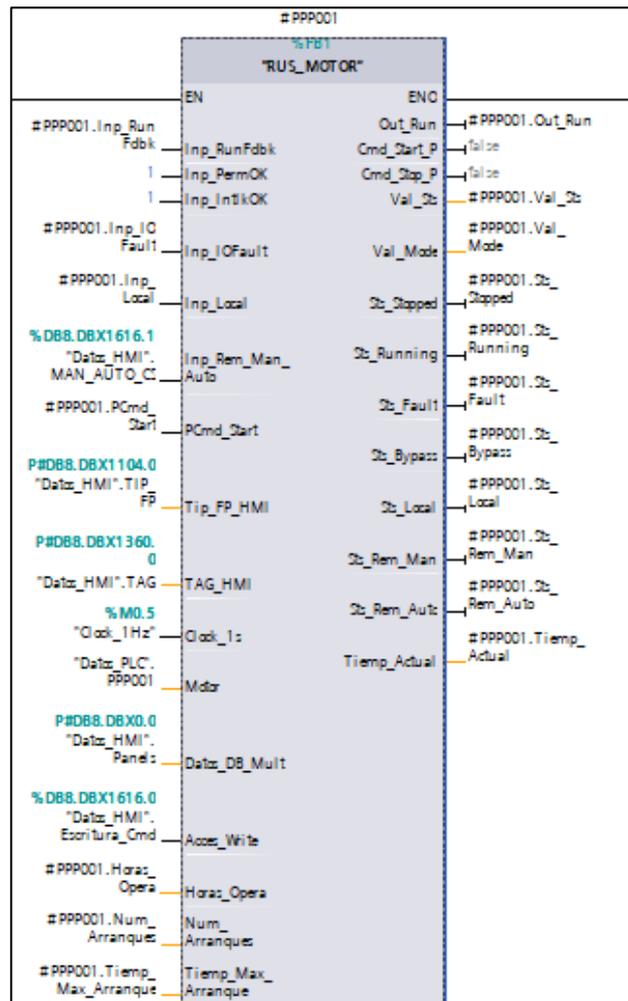
Fuente: elaboración contratista

RUS_MOTOR

Este es un FB que se encarga de recibir señales para controlar y supervisar un motor y brindar información relevante para su uso. Así se tienen parámetros como estado, modo, bypass, configuración, horómetro, etc. Para su uso, es necesario instanciar 2 tipos de datos generados previamente; “Motor” y “Multiplex”, el primero es utilizado para almacenar la data procesada del bloque FB, y el segundo es usado para procesar la señal de manera interna. Debido a que este es un FB desarrollado por el contratista, no se puede ingresar para explicar su lógica de funcionamiento. Esta limitación no impide el uso del bloque, sin embargo, es necesario entender sus parámetros externos.

En la siguiente figura se muestra un bloque FB de tipo RUS_MOTOR en TIA PORTAL V17.

Figura 61. FB de tipo RUS_MOTOR en TIA PORTAL V17 para una bomba



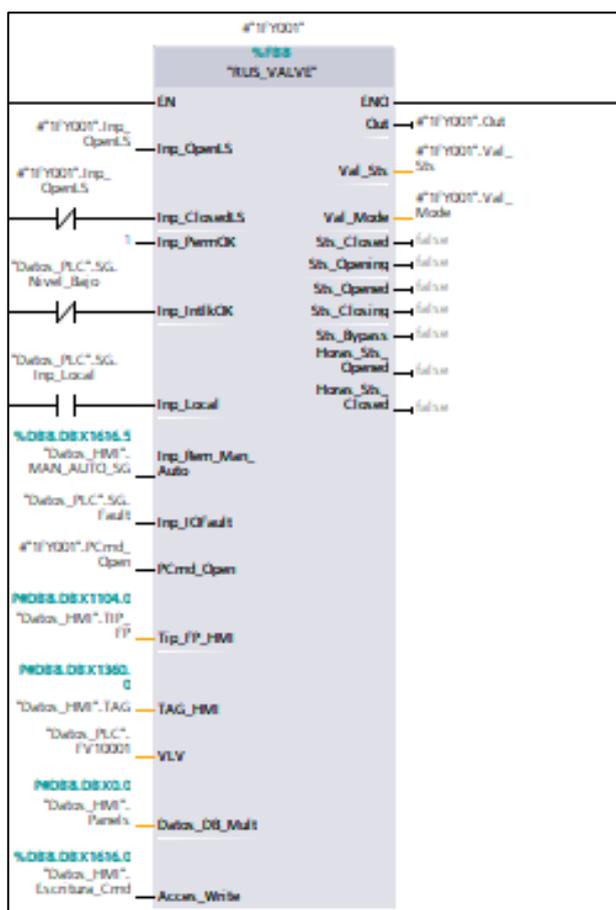
Fuente: elaboración contratista

RUS_VALVE

Este es un FB que se encarga de recibir señales para controlar y supervisar una válvula y brindar información relevante para su uso. Así se tienen parámetros como estado, modo, bypass, configuración, horómetro de estado abierto y cerrado, etc. Para su uso, es necesario instanciar 2 tipos de datos generados previamente; "Valve" y "Multiplex", el primero es utilizado para almacenar la data procesada del bloque FB, y el segundo es usado para procesar la señal de manera interna. Debido a que este es un FB desarrollado por el contratista, no se puede ingresar para explicar su lógica de funcionamiento. Esta limitación no impide el uso del bloque, sin embargo, es necesario entender sus parámetros externos.

En la siguiente figura se muestra un bloque FB de tipo RUS_VALVE en TIA PORTAL V17.

Figura 62. FB de tipo RUS_VALVE en TIA PORTAL V17 para una válvula



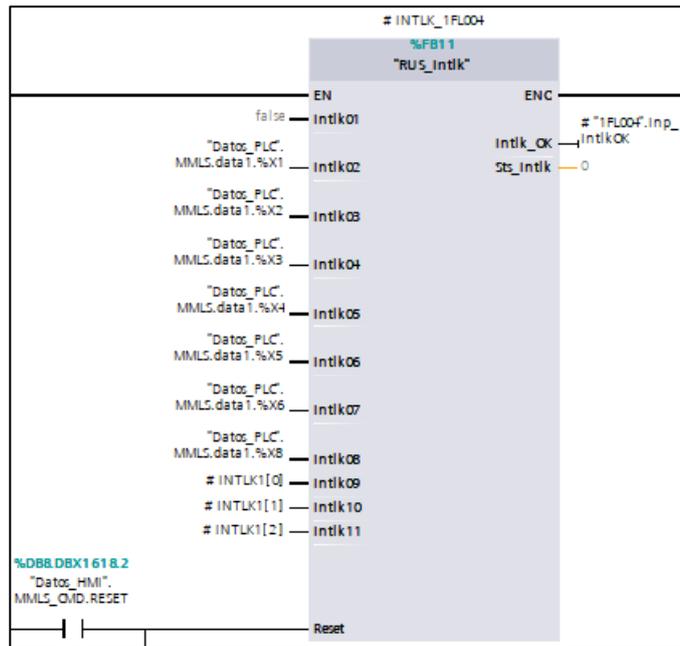
Fuente: elaboración contratista

RUS_Intlk

Este es un FB que se encarga de recibir señales para proteger el funcionamiento de un equipo. Su criterio de funcionamiento se basa en cada entrada booleana, ya que de activarse una de estas la salida cambiará de estado 1 a 0 lógico y viceversa, si ninguna de las entradas está activada, la salida se mantendrá en 1 lógico.

En la siguiente figura se muestra un bloque FB de tipo RUS_Intlk en TIA PORTAL V17.

Figura 63. FB de tipo RUS_Intlk en TIA PORTAL V17 para una bomba



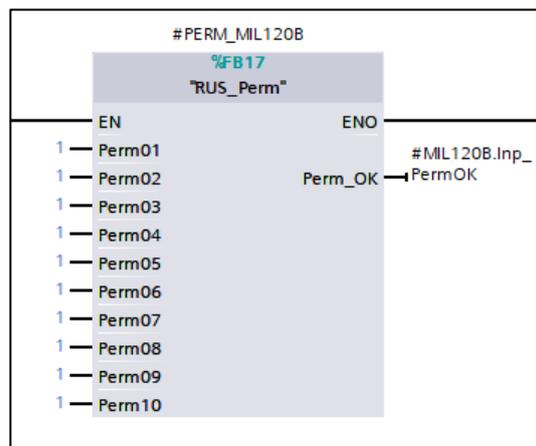
Fuente: elaboración contratista

RUS_Perm

Este es un FB que se encarga de recibir señales críticas para habilitar el arranque de un equipo. Su criterio de funcionamiento se basa en cada entrada booleana, ya que de activarse una de estas la salida cambiará de estado 1 a 0 lógico y viceversa, si ninguna de las entradas está activada, la salida se mantendrá en 1 lógico.

En la siguiente figura se muestra un bloque FB de tipo RUS_Perm en TIA PORTAL V17.

Figura 64. FB de tipo RUS_Perm en TIA PORTAL V17 para un motor



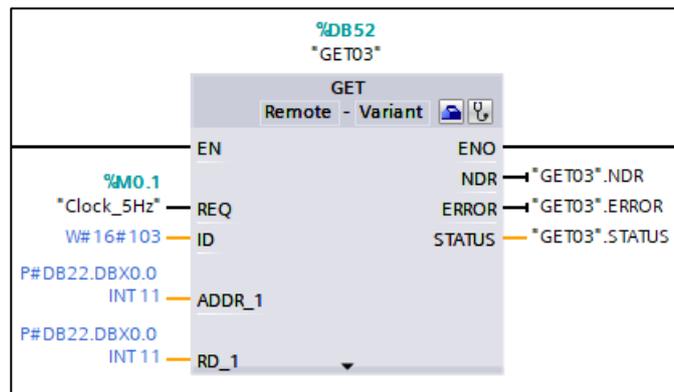
Fuente: elaboración contratista

GET

Este es un FB desarrollado por el fabricante que se encarga de la comunicación entre PLCs. Su criterio de funcionamiento se basa en leer data en una dirección y longitud específica, para almacenarla en otra dirección con una frecuencia determinada por el desarrollador.

En la siguiente figura se muestra un bloque FB de tipo GET en TIA PORTAL V17.

Figura 65. *FB de tipo GET en TIA PORTAL V17 para comunicación con otro PLC*



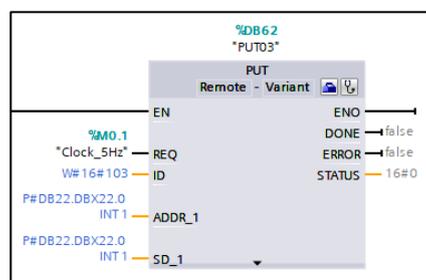
Fuente: fabricante

PUT

Este es un FB desarrollado por el fabricante que se encarga de la comunicación entre PLCs. Su criterio de funcionamiento se basa en escribir data en otro PLC con una dirección, longitud específica y frecuencia determinada por el desarrollador.

En la siguiente figura se muestra un bloque FB de tipo PUT en TIA PORTAL V17.

Figura 66. *FB de tipo PUT en TIA PORTAL V17 para comunicación con otro PLC*



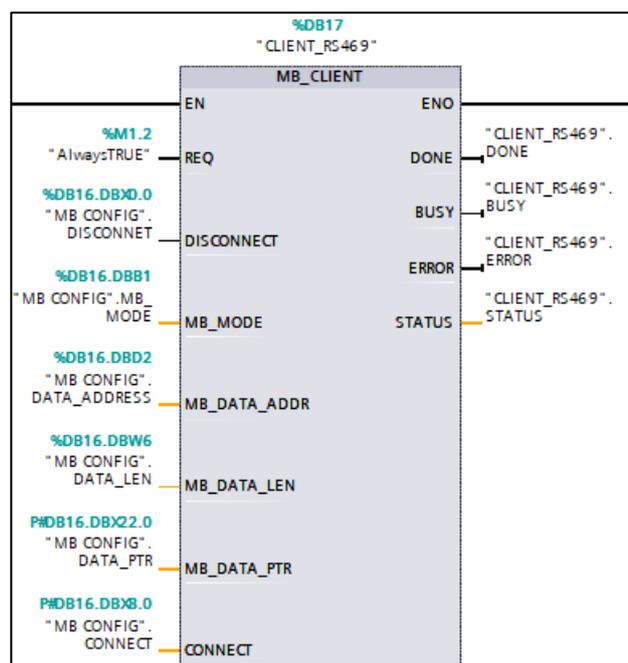
Fuente: fabricante

MB_CLIENT

Este es un FB desarrollado por el fabricante que se encarga de la comunicación con otros dispositivos en modo cliente MODBUS TCP/IP y a través de PROFINET. Su criterio de funcionamiento se basa en enviar consultas Modbus y recibir respuestas de los dispositivos servidor Modbus.

En la siguiente figura se muestra un bloque FB de tipo MB_CLIENT en TIA PORTAL V17.

Figura 67. *FB de tipo MB_CLIENT en TIA PORTAL V17 para comunicación con otro PLC*



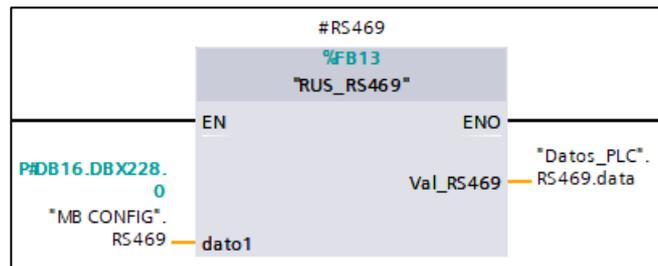
Fuente: fabricante

RUS_RS469

Este es un FB que se encarga de extraer la información del relé RS469. El acceso a dicho bloque está limitado por la empresa contratista, sin embargo, se infiere que dicho bloque accede a la dirección y extrae el dato del DB correspondiente. Lo cual ordena y facilita el acceso a cada uno de los parámetros brindados por el relé. Cabe resaltar que esta comunicación es posible gracias al uso del FB tipo MB_CLIENT.

En la siguiente figura se muestra un bloque FB de tipo RUS_RS469 en TIA PORTAL V17.

Figura 68. *FB de tipo RUS_RS469 en TIA PORTAL V17 para el relé RS469*



Fuente: elaboración contratista

Anexo 21. Comunicación con servidor principal Ignition

A continuación, se detallan aspectos básicos de conexión en el Gateway de Ignition para cada dispositivo.

3145_SCRUBBER

Para esta conexión se utiliza el driver tipo Siemens S7-1500 porque el PLC es un S7-1500, haciendo una configuración que se muestra en la siguiente figura.

Figura 69. Configuración de driver Siemens S7-1500 en Gateway Ignition

General	
Name	3145_SCRUBBER
Description	PLC Main
Enabled	<input checked="" type="checkbox"/> (default: true)

Connectivity	
Hostname	[Redacted]
Local Address	Address of network adapter to connect from. (default:)
Timeout	2000 (default: 2,000)

4110_MAINPLC

Para esta conexión se utiliza el driver tipo Allen Bradley Logix porque el PLC es un ControlLogix 5570, haciendo una configuración que se muestra en la siguiente figura.

Figura 70. Configuración de driver Allen Bradley Logix en Gateway Ignition

General	
Name	4110_MAINPLC
Description	CMOP Area #1 Main PLC
Enabled	<input checked="" type="checkbox"/> (default: true)
Connectivity	
Hostname	[Redacted] <small>Hostname or IP address of the controller or ethernet module.</small>
Port	44818 <small>Port to connect to on the remote device. (default: 44818)</small>
Local Address	[Redacted] <small>Address of network adapter to connect from. (default:)</small>
Timeout	2000 <small>Max amount of time to wait, in milliseconds, for responses from the processor. (default: 2.000)</small>
Max Concurrent Requests	2 <small>Controls both the max number of concurrent unconnected requests and the max number of concurrent connected requests (and therefore CIP connections) allowed. (default: 2)</small>
Slot Number	0 <small>The slot number in which the processor resides. If not in a rack, usually 0. (default: 0)</small>
Connection Path	[Redacted] <small>Optionally, the connection path to the processor. If specified, the slot number setting is ignored, so be sure to terminate the path with backplane and slot number. (default:)</small>

4125_THK160_Micro850

Para esta conexión se utiliza el driver tipo Modbus TCP porque el PLC es un Micro 850, haciendo una configuración que se muestra en la siguiente figura.

Figura 71. Configuración de driver Modbus TCP en Gateway Ignition

General	
Name	4125_THK160_Micro850
Description	CMOP Area#1 Thickener Micro 850
Enabled	<input checked="" type="checkbox"/> (default: true)
Connectivity	
Hostname	[Redacted] <small>Hostname/IP address of the Modbus device.</small>
Port	502 <small>Port to connect to. (default: 502)</small>
Local Address	[Redacted] <small>Address of network adapter to connect from. (default:)</small>
Communication Timeout	2000 <small>Maximum amount of time to wait for a response. (default: 2.000)</small>

4131_PLC209

Para esta conexión se utiliza el driver tipo Allen Bradley Logix porque el PLC es un ControlLogix 5580, haciendo una configuración que se muestra en la siguiente figura.

Figura 72. Configuración de driver Allen Bradley Logix en Gateway Ignition

General	
Name	4131PLC209
Description	CMOP Area#2 Supervisory PLC in the E
Enabled	<input checked="" type="checkbox"/> (default: true)
Connectivity	
Hostname	[REDACTED] Hostname or IP address of the controller or ethernet module.
Port	44818 Port to connect to on the remote device. (default: 44.818)
Local Address	[REDACTED] Address of network adapter to connect from. (default:)
Timeout	2000 Max amount of time to wait, in milliseconds, for responses from the processor. (default: 2.000)
Max Concurrent Requests	2 Controls both the max number of concurrent unconnected requests and the max number of concurrent connected requests (and therefore CIP connections) allowed. (default: 2)
Slot Number	0 The slot number in which the processor resides. If not in a rack, usually 0. (default: 0)
Connection Path	[REDACTED] Optionally, the connection path to the processor. If specified, the slot number setting is ignored, so be sure to terminate the path with backplane and slot number. (default:)

4132_FIL125

Para esta conexión se utiliza el driver tipo Allen Bradley Logix porque el PLC es un ControlLogix 5570, haciendo una configuración que se muestra en la siguiente figura.

Figura 73. Configuración de driver Allen Bradley Logix en Gateway Ignition

General	
Name	4132_FIL125
Description	CMOP Area#3 Filter Press 125
Enabled	<input checked="" type="checkbox"/> (default: true)
Connectivity	
Hostname	[Redacted] Hostname or IP address of the controller or ethernet module.
Port	44818 Port to connect to on the remote device. (default: 44.818)
Local Address	[Redacted] Address of network adapter to connect from. (default:)
Timeout	2000 Max amount of time to wait, in milliseconds, for responses from the processor. (default: 2,000)
Max Concurrent Requests	2 Controls both the max number of concurrent unconnected requests and the max number of concurrent connected requests (and therefore CIP connections) allowed. (default: 2)
Slot Number	0 The slot number in which the processor resides. If not in a rack, usually 0. (default: 0)
Connection Path	[Redacted] Optionally, the connection path to the processor. If specified, the slot number setting is ignored, so be sure to terminate the path with backplane and slot number. (default:)

4132_FIL130

Para esta conexión se utiliza el driver tipo Allen Bradley Logix porque el PLC es un ControlLogix 5570, haciendo una configuración que se muestra en la siguiente figura.

Figura 74. Configuración de driver Allen Bradley Logix en Gateway Ignition

General	
Name	4132_FIL130
Description	CMOP Area#3 Filter Press 130
Enabled	<input checked="" type="checkbox"/> (default: true)
Connectivity	
Hostname	[REDACTED] Hostname or IP address of the controller or ethernet module.
Port	44818 Port to connect to on the remote device. (default: 44.818)
Local Address	[REDACTED] Address of network adapter to connect from. (default:)
Timeout	2000 Max amount of time to wait, in milliseconds, for responses from the processor. (default: 2.000)
Max Concurrent Requests	2 Controls both the max number of concurrent unconnected requests and the max number of concurrent connected requests (and therefore CIP connections) allowed. (default: 2)
Slot Number	0 The slot number in which the processor resides. If not in a rack, usually 0. (default: 0)
Connection Path	[REDACTED] Optionally, the connection path to the processor. If specified, the slot number setting is ignored, so be sure to terminate the path with backplane and slot number. (default:)

4132_MAINPLC

Para esta conexión se utiliza el driver tipo Allen Bradley Logix porque el PLC es un ControlLogix 5580, haciendo una configuración que se muestra en la siguiente figura.

Figura 75. *Configuración de driver Allen Bradley Logix en Gateway Ignition*

General	
Name	4132_MAINPLC
Description	CMOP Area#3 MAINPLC_TCP01
Enabled	<input checked="" type="checkbox"/> (default: true)
Connectivity	
Hostname	[REDACTED] Hostname or IP address of the controller or ethernet module.
Port	44818 Port to connect to on the remote device. (default: 44.818)
Local Address	[REDACTED] Address of network adapter to connect from. (default:)
Timeout	2000 Max amount of time to wait, in milliseconds, for responses from the processor. (default: 2.000)
Max Concurrent Requests	2 Controls both the max number of concurrent unconnected requests and the max number of concurrent connected requests (and therefore CIP connections) allowed. (default: 2)
Slot Number	0 The slot number in which the processor resides. If not in a rack, usually 0. (default: 0)
Connection Path	[REDACTED] Optionally, the connection path to the processor. If specified, the slot number setting is ignored, so be sure to terminate the path with backplane and slot number. (default:)

4132_THK105_Micro850

Para esta conexión se utiliza el driver tipo Modbus TCP porque el PLC es un Micro 850, haciendo una configuración que se muestra en la siguiente figura.

Figura 76. Configuración de driver Modbus TCP en Gateway Ignition

General	
Name	4132_THK105_Micro850
Description	CMOP Area#3 Thickener Micro 850
Enabled	<input checked="" type="checkbox"/> (default: true)
Connectivity	
Hostname	[REDACTED] Hostname/IP address of the Modbus device.
Port	502 Port to connect to. (default: 502)
Local Address	[REDACTED] Address of network adapter to connect from. (default:)
Communication Timeout	2000 Maximum amount of time to wait for a response. (default: 2.000)

Anexo 22. Análisis de variables relevantes

Aumento de temperatura en Trunnion

Se tiene registro de un evento que ocasionó la parada del Scrubber el 07/12/2023 a las 13:00 horas aproximadamente. En la siguiente figura se muestra el comportamiento no natural de la temperatura del Trunnion lado descarga del Scrubber (color verde), donde se observa su peligroso y rápido incremento, además, se observa que la corriente del motor principal del Scrubber (color rojo, morado y blanco) tiene una variación atípica en su comportamiento, mientras que la confirmación del funcionamiento del motor principal del Scrubber (color amarillo) se mantiene con un comportamiento natural de arrancado. Pocos instantes luego de este incremento rápido de temperatura en el Trunnion lado descarga (color verde), se observa un incremento en el consumo de corriente de la fase A, B y C del motor principal del Scrubber indicando un mayor esfuerzo del motor para lograr un movimiento de este.

Este análisis deduce una parada de producción en el área uno, específicamente en el Scrubber, por sobrecalentamiento en el Trunnion de lado descarga del Scrubber, teniendo como motivo específico el contacto atípico entre superficies metálicas del Trunnion lado descarga.

Figura 77. Tendencias de evento de parada de Scrubber del 07/12/2023



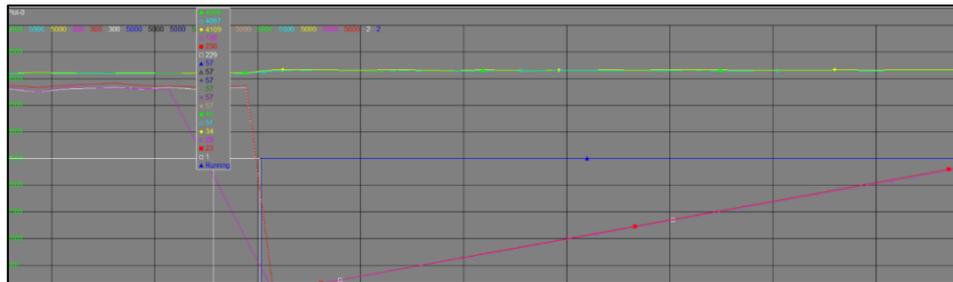
Caída de corriente en fase A en motor principal

Se tiene registro de un evento que ocasionó la parada del Scrubber el 05/01/2024 a las 20:00 horas aproximadamente. En la siguiente figura se muestra el comportamiento no natural de la corriente de fase A que captura el medidor RS469 del motor principal del Scrubber (color morado), donde se observa su caída, mientras que las fases B (color rojo) y C (color blanco) se mantienen con un

comportamiento natural. Pocos minutos después, se observa la caída de la confirmación del motor del Scrubber (color blanco).

Este análisis deduce una parada de producción en el área uno, específicamente en el Scrubber, por falla de generación de energía eléctrica que alimenta al motor principal del Scrubber.

Figura 78. Tendencias de evento de parada de Scrubber del 05/01/2024

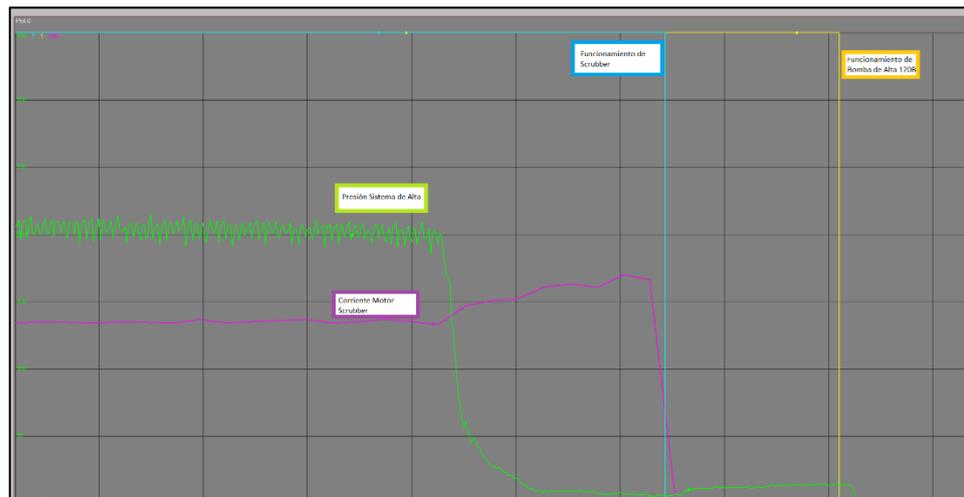


Caída de presión del sistema de alta de lubricación

Se tiene registro de un evento que ocasionó la parada del Scrubber el 31/01/2024 a las 17:00 horas aproximadamente. En la siguiente figura se muestra el comportamiento no natural de la presión del Sistema de Lubricación Alta de los Trunnion del Scrubber (color verde), donde se observa su abrupta caída, mientras que la confirmación del funcionamiento del motor principal del Scrubber (color celeste) y confirmación del funcionamiento de la bomba del Sistema de Lubricación Alta 120B (color amarillo) se mantienen con un comportamiento natural de arrancado. Pocos instantes luego de esta caída abrupta de presión alta (color verde), se observa un incremento en el consumo de corriente de la fase A del motor principal del Scrubber (color morado), indicando un mayor esfuerzo del motor para lograr un movimiento de este.

Este análisis deduce una parada de producción en el área uno, específicamente en el Scrubber, por falla del Sistema de Lubricación Alta del Scrubber, teniendo como motivo específico la rotura de una manguera.

Figura 79. *Tendencias de evento de parada de Scrubber del 31/01/2024*



Anexo 23. Base de datos

La conexión con una base de datos tipo MSSQL Server mediante Ignition fue el final de muchas pruebas para comunicar un PLC con una base de datos. Previo a esto, se debe ingresar al servidor dedicado y crear una base de datos con tablas correspondientes, donde se especifiquen columnas y detalles necesarios para el almacenamiento de la información. Así, mediante el Gateway de Ignition se crea una conexión nueva con el JDBC tipo Microsoft SQLServer y las credenciales de la base de datos.

Figura 80. Configuración de conexión con base de datos en el Gateway de Ignition

Main Properties	
Name	SQL_Server <small>Warning: Changing the name of a database connection is risky. Any projects that refer to this connection by name (instead of referring to their project default) will start causing errors trying to connect to a connection that no longer exists. Please verify that no projects refer to this connection by name, and update the ones that do.</small>
Description	
JDBC Driver	Microsoft SQLServer <small>The JDBC driver dictates the type of database that this connection can connect to. It cannot be changed once created.</small>
Connect URL	<code>jdbc:sqlserver://[host]:[port];</code> <small>The Connect URL is JDBC-driver specific. It usually contains the address of the machine that the database is running on. The format of the SQL Server connect URL is: <code>jdbc:sqlserver://host\instanceName[:port]</code> With the three parameters (in bold) host: The host name or IP address of the database server. instanceName: (optional) the instance to connect to on the host. If not specified, a connection to the default instance is made. port: (optional) the port to connect to. The default is 1433. If you are using the default, you can omit the port and the preceding '': For SQL Server, you specify the <i>database name</i> to connect to using the <code>databaseName</code> property in the <i>Extra Connection Properties</i>.</small>
Username	
Change Password?	<input type="checkbox"/> Check this box to change the existing password.
Extra Connection Properties	
databaseName	<code>databaseName=YOUR_DATABASE</code> <small>Use <code>databaseName=YOUR_DATABASE</code> to specify the database to connect to.</small>
Enabled	<input checked="" type="checkbox"/> Disabling a connection will prevent communication to the target database. <small>(default: true)</small>
Failover Datasource	- none - <small>Another datasource that will be used to handle queries if this datasource fails.</small>
Failover Mode	STANDARD <small>STANDARD Standard failover mode means that this datasource will fail over when a connection cannot be retrieved, but when connectivity is restored, connections will again come from this datasource. STICKY Sticky failover mode means that once this datasource fails over, connections will continue coming from the failover datasource until the failover datasource itself fails or the Gateway is restarted. <small>(default: STANDARD)</small></small>
Slow Query Log Threshold	60000 <small>Queries that take longer than this amount of time, in milliseconds, will be logged. This helps to find queries that are not performing well. <small>(default: 60,000)</small></small>
Validation Timeout	10000 <small>The time in milliseconds between database validation checks. <small>(default: 10,000)</small></small>

Finalmente, se corrobora el estado de dicha conexión mediante la interfaz del Gateway de Ignition, que se muestra en la siguiente figura.

Figura 81. Estado de conexión de base de datos en Gateway de Ignition

Name	Description	JDBC Driver	Translator	Status	
SQL_Server		Microsoft SQLServer	MSSQL	Valid	delete edit
Sample_SQLite_Database		SQLite	SQLITE	Valid	delete edit

→ [Create new Database Connection...](#)

Note! For details about a connection's status, see the [Database Connection Status](#) page.

Luego de haber vinculado una base de datos externa “SQL_Server” con el servidor principal de Ignition, es posible escribir y leer los datos bidireccionalmente. En el entorno de Designer y gracias al módulo SQL Bridge de Ignition, se crean grupos de transacciones SQL para la administración de tags a almacenar en la base de datos externa.

Antes de proceder con la configuración en el entorno de Designer, cabe destacar que se tienen que generar tablas en el Gestor de Base de Datos que contengan columnas de las variables de interés, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 82. Creación de tablas en Microsoft SQL Server Management Studio.

Column Name	Data Type	Allow Nulls
Fecha	datetime	<input checked="" type="checkbox"/>
TIT_10004	real	<input checked="" type="checkbox"/>
TIT_10005	real	<input checked="" type="checkbox"/>
TIT_10006	real	<input checked="" type="checkbox"/>
TIT_10007	real	<input checked="" type="checkbox"/>
TIT_10008	real	<input checked="" type="checkbox"/>
TIT_10009	real	<input checked="" type="checkbox"/>
Current_A	real	<input checked="" type="checkbox"/>
Current_B	real	<input checked="" type="checkbox"/>
Current_C	real	<input checked="" type="checkbox"/>
PIT_00301	real	<input checked="" type="checkbox"/>
PIT_00302	real	<input checked="" type="checkbox"/>
PIT_00303	real	<input checked="" type="checkbox"/>
PIT_00304	real	<input checked="" type="checkbox"/>
PT00305	real	<input checked="" type="checkbox"/>
PT00306	real	<input checked="" type="checkbox"/>
FT00301	real	<input checked="" type="checkbox"/>
FT00302	real	<input checked="" type="checkbox"/>
FT00303	real	<input checked="" type="checkbox"/>

Luego se genera un grupo de transacción para cada tabla correspondiente a “Scrubber”, “Ball Mill” y “Espesador” donde en cada uno de ellos se vinculan los tags de interés, como muestra la siguiente figura.

