



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TÍTULO

**Repotenciación de un sistema de control y monitoreo remoto para un
SKID de aire comprimido**

AUTOR

Cuji Sánchez, Freddy Fabián

TRABAJO DE TITULACIÓN

**Previo a la obtención del grado académico en
MAGÍSTER EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

TUTOR

Gómez Morales, Oscar Wladimir

Santa Elena, Ecuador

Año 2026



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

**Ing. Alicia Andrade Vera, Mgtr.
COORDINADORA DEL
PROGRAMA**

**Ing. Oscar Gómez Morales, Ph.D.
TUTOR**

**Ing. Junior Figueroa Olmedo, Mgtr.
DOCENTE
ESPECIALISTA**

**Ing. Luis Chuquimarca Jiménez, Ph.D.
DOCENTE
ESPECIALISTA**

**Abg. María Rivera González, Mgtr.
SECRETARIA GENERAL
UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por Cuji Sánchez Freddy Fabián, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Electrónica y Automatización.

TUTOR

Ing. Oscar Gómez Morales, Ph.D.

Santa Elena, 16 de enero de 2026



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Cuji Sánchez Freddy Fabián

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, “Repotenciación de un sistema de control y monitoreo remoto para un skid de aire comprimido previo a la obtención del título en Magíster en Electrónica y Automatización, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, 16 de enero de 2026

EL AUTOR

Freddy Fabián Cuji Sánchez



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado Repotenciación de un sistema de control y monitoreo remoto para un skid de aire comprimido, presentado por el estudiante, Freddy Fabián Cuji Sánchez fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 5%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

REPOTENCIACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO REMOTO PARA UN SKID DE AIRE COMPRIMIDO

5% Textos sospechosos

- 5% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
- 0% Idiomas no reconocidos
- 20% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)

Nombre del documento: REPOTENCIACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO REMOTO PARA UN SKID DE AIRE COMPRIMIDO.pdf
ID del documento: 93fe06bc334a3fe0045a776a9fdc1fc76eb7c22b
Tamaño del documento original: 2,41 MB

Depositante: Oscar Wladimir Gómez Morales
Fecha de depósito: 16/1/2026
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 16/1/2026

Número de palabras: 5426
Número de caracteres: 39.637

TUTOR

Ing. Oscar Gómez Morales, Ph.D.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

AUTORIZACIÓN

Yo, Cuji Sánchez Freddy Fabián

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi trabajo de examen complejo con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este trabajo de examen complejo dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Santa Elena, 16 de enero de 2026

EL AUTOR

Freddy Fabián Cuji Sánchez

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a las personas e instituciones que hicieron posible la culminación de este proyecto.

En primer lugar, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), por haberme brindado la oportunidad de formarme y por la calidad de su programa de posgrado en Electrónica y Automatización.

Mi sincero agradecimiento a mi tutor, el Ing. Oscar Wladimir Gómez Morales, por su invaluable guía, paciencia y conocimiento compartido, elementos cruciales para el éxito técnico de este trabajo de titulación.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a mis padres por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante durante todo el proceso de estudio.

Freddy Fabián, Cuji Sánchez

DEDICATORIA

Dedico este logro y esfuerzo a:

Mis padres, quienes con su amor y sacrificio han sido el pilar fundamental de mi vida y mi carrera profesional. Su apoyo y fe en mí me han impulsado a alcanzar esta meta.

A mi hermano y sobrinos, por ser fuente de inspiración y motivación constante

Freddy Fabián, Cuji Sánchez

ÍNDICE GENERAL

TÍTULO	I
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	IV
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO	V
AUTORIZACIÓN	VI
AGRADECIMIENTO	VII
DEDICATORIA	VIII
ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVI
1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVO	2
2.1 Objetivo General.....	2
2.2 Objetivos específicos	2
3 MARCO TEÓRICO	3
3.1. Automatización industrial	3
3.1.1. Concepto de automatización industrial	3
3.1.2. Importancia de la automatización en procesos industriales	3
3.1.3. Sistemas de control industrial.....	3
3.1.4. Automatización en centrales termoelectricas	4
3.2. Sistemas de aire comprimido industriales	4
3.2.1. Concepto y funcionamiento del aire comprimido.....	4
3.2.2. Componentes de un skid de aire comprimido	4

3.2.3.	Compresores de aire de dos etapas	5
3.2.4.	Sistemas neumáticos para arranque de generadores	5
3.2.5.	Variables de operación y seguridad del sistema	5
3.3.	Controladores lógicos programables (PLC)	6
3.3.1.	Definición y características de los PLC	6
3.3.2.	Evolución tecnológica de los PLC industriales	6
3.3.3.	PLC Siemens LOGO 230RC.....	6
3.3.4.	PLC Siemens S7-1200	7
3.3.5.	Entradas, salidas y procesamiento lógico.....	7
3.3.6.	Lenguaje Ladder (LD) bajo la norma IEC 61131-3.....	7
3.4.	Obsolescencia tecnológica y repotenciación industrial.....	8
3.4.1.	Obsolescencia tecnológica en sistemas industriales	8
3.4.2.	Riesgos operativos asociados a equipos obsoletos	8
3.4.3.	Repotenciación de sistemas automatizados.....	8
3.4.4.	Ingeniería inversa aplicada a sistemas de control.....	9
3.4.5.	Beneficios de la modernización industrial	9
3.5.	Comunicación industrial y monitoreo remoto	9
3.5.1.	Redes de comunicación industrial	10
3.5.2.	Protocolo OPC UA.....	10
3.5.3.	Ethernet industrial y PROFINET.....	10
3.5.4.	Integración PLC–SCADA.....	11
3.5.5.	Monitoreo remoto en sistemas industriales	11
3.6.	Sistemas SCADA e interfaces HMI.....	11
3.6.1.	Concepto de sistemas SCADA	11
3.6.2.	Funciones principales de una interfaz HMI.....	12
3.6.3.	Software Ignition para supervisión industrial.....	12
3.6.4.	Gestión de alarmas y visualización de variables	12

3.6.5.	Supervisión en tiempo real de procesos industriales	13
3.7.	Validación y pruebas de sistemas automatizados	13
3.7.1.	Pruebas FAT (Factory Acceptance Test)	13
3.7.2.	Simulación de señales digitales	13
3.7.3.	Validación de comunicación OPC UA	14
3.7.4.	Verificación funcional de la lógica de control.....	14
3.7.5.	Confiabilidad y seguridad operativa	14
3.8.	Fundamentación conceptual	15
3.8.1.	PLC	15
3.8.2.	SCADA	15
3.8.3.	HMI.....	15
3.8.4.	OPC UA	16
3.8.5.	Ingeniería inversa.....	16
3.8.6.	Repotenciación.....	16
3.8.7.	Skid de aire comprimido	16
3.8.8.	Automatización industrial	17
4	METODOLOGÍA.....	18
4.1.	Diseño del estudio y alcance.....	18
4.2.	Enfoque y método de investigación	18
4.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	19
4.4.	Tratamiento y validación de la información.....	19
5	DESARROLLO.....	21
5.1.	Descripción del sistema.....	21
5.2.	Levantamiento de información y análisis del sistema existente.....	22
5.3.	Dimensionamiento y selección del controlador.....	25
5.4.	Desarrollo del Programa de Control	26
5.5.	Diseño de Interfaz HMI.....	30
5.6.	Pruebas de comunicación y funcionalidad	38
6	RESULTADOS.....	45

6.2. Resultados.....	45
6.2. Discusión de resultados.....	45
7 CONCLUSIONES	48
8 RECOMENDACIONES	49
9 REFERENCIAS	51
10 ANEXOS.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales dispositivos del sistema.....	25
Tabla 2 Comparacion de Modelos de CPU's de PLC S&-1200	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Skid de aire comprimido TSA 901.....	22
Figura 2 Identificación de entradas digitales del controlador.....	23
Figura 3 Identificación de salidas digitales del controlador	24
Figura 4 Descripción del programa.....	27
Figura 5 Diagrama de flujo de la lógica de control.....	29
Figura 6 Interfaz de configuración del driver Siemens en el Gateway de Ignition	30
Figura 7 Configuración del Tag OPC para una entrada digital	31
Figura 8 Configuración del Tag OPC para una salida digital.....	32
Figura 9 Configuración del Tag OPC para un espacio de memoria	33
Figura 10 Estructura jerárquica de tags en el Tag Browser de Ignition Designer	34
Figura 11 Desarrollo de la interfaz gráfica en el entorno de Ignition Designer	35
Figura 12 Configuración de enlace de etiquetas (Tag Binding) para la animación de estados	36
Figura 13 Configuración de enlace de etiquetas (Tag Binding) para la animación de alarmas.....	37
Figura 14 Configuración de evento del objeto para reset de alarma.....	38
Figura 15 Simulación de señales de entrada mediante hardware de protección para pruebas FAT.....	39
Figura 16 Estado de conexión del dispositivo PLC_AIR en Ignition Gateway	40
Figura 17 Despliegue de la interfaz HMI en modo de ejecución (Runtime).....	42
Figura 18 Diagrama de conexionado para entradas digitales en PLC Siemens S7-1200	43
Figura 19 Diagrama de conexionado para salidas digitales en PLC Siemens S7-1200.....	44

RESUMEN

Este trabajo se centra en la repotenciación del sistema de control y monitoreo remoto de un skid de aire comprimido en una central de generación termoeléctrica, debido a la problemática de la obsolescencia tecnológica del PLC Siemens LOGO 230RC (6ED1052-1FB00-0BA6). El proyecto tuvo como finalidad garantizar la continuidad operativa mediante la implementación de un PLC moderno (como el S7-1200) con capacidades de comunicación industrial OPC UA e integración SCADA. En el proceso de desarrollo se aplicó ingeniería inversa para generar el programa de control en lenguaje escalera, se diseñó una interfaz HMI y se realizaron pruebas de validación con simuladores y lista de verificaciones previo a la implementación. Como resultado, se obtuvo un sistema modernizado con mayor confiabilidad, conectividad y capacidad de monitoreo remoto, concluyendo que la repotenciación es una solución efectiva para extender la vida útil de equipos industriales críticos y alinearlos con estándares actuales de automatización.

Palabras claves: repotenciación, OPC UA, control automático, ingeniería inversa, aire comprimido.

ABSTRACT

This work focuses on repowering the control and remote monitoring system of a compressed air skid in a thermoelectric power generation plant, driven by the technological obsolescence of the Siemens LOGO 230RC (6ED1052-1FB00-0BA6) PLC. The project aimed to ensure operational continuity through the implementation of a modern PLC (such as the S7-1200) with industrial OPC UA communication capabilities and SCADA integration. The development process involved applying reverse engineering to generate the control program in ladder logic, designing an HMI interface, and conducting validation tests using simulators and checklists prior to implementation. As a result, a modernized system was achieved, featuring enhanced reliability, connectivity, and remote monitoring capabilities. It is concluded that repowering is an effective solution for extending the service life of critical industrial equipment and aligning it with current automation standards.

Keywords: repowering, OPC UA, automatic control, reverse engineering compressed air.

1 INTRODUCCIÓN

En el sector industrial ecuatoriano, particularmente en plantas de generación termoeléctricas, la obsolescencia tecnológica de los sistemas de control pone en riesgo la continuidad operativa de sistemas y subsistemas. Este trabajo se orienta hacia la repotenciación del sistema de control y monitoreo remoto de un skid de aire comprimido, equipo crítico para el arranque de generadores termoeléctricos. Su objetivo es garantizar la operatividad del sistema mediante la sustitución de un PLC obsoleto Siemens LOGO 230RC (6ED1052-1FB00-0BA6), que refiere un ciclo de vida suspendido y sin soporte por el fabricante por una solución moderna (Siemens, 2022). El alcance abarca desde el análisis del sistema existente hasta la validación de un nuevo controlador con capacidades de comunicación industrial e integración SCADA.

Seung-Yong & Minyoun (2022) documenta un enfoque novedoso para integrar los controladores lógicos programables antiguos en los sistemas de automatización industrial modernos mediante un agente de arquitectura unificada OPC (OPC-UA). La tesis que se defiende es que la modernización mediante ingeniería inversa e implementación de tecnologías actuales (como OPC UA y HMI) es una solución efectiva y sustentable frente a la obsolescencia tecnológica, superando la mera sustitución de equipos. Para ello, se estudió el funcionamiento actual del skid de aire comprimido y se desarrolló un programa de control mediante ingeniería inversa, incorporando también una interfaz de monitoreo remoto y un proceso de validación del sistema de control mediante simulaciones.

Este trabajo demostró tener gran relevancia en el campo profesional y científico de la automatización al proponer una metodología aplicada para la modernización de activos industriales antiguos, un problema común en la industria regional. Su aporte radica en extensión de la vida útil de la infraestructura, mejorando su confiabilidad y disponibilidad, características alineadas con los estándares de la Industria 4.0, contribuyendo así a la eficiencia operativa y la seguridad energética.

La estructura del documento se desarrolla de la siguiente manera: tras esta introducción, se presenta el desarrollo, detallando la metodología, el análisis de resultados y las conclusiones derivadas de la validación.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo General

Repotenciar el sistema de control y monitoreo remoto de un SKID de aire comprimido, con el fin de garantizar la continuidad operativa del sistema ante la obsolescencia del controlador actual, mediante la implementación de un PLC moderno con capacidades de comunicación industrial e integración SCADA.

2.2 Objetivos específicos

- Seleccionar un autómata programable con la capacidad de gestionar las entradas y salidas requeridas por el sistema, que además soporte comunicación e intercambio de datos mediante el protocolo OPC UA.
- Desarrollar el programa de control en lenguaje de escalera mediante ingeniería inversa, cumpliendo con los requerimientos operativos del SKID de aire comprimido.
- Diseñar una interfaz humano-máquina (HMI) para permitir el monitoreo remoto del SKID de aire comprimido desde el cuarto de control.
- Realizar pruebas de validación del controlador y la interfaz HMI mediante simuladores, para asegurar el correcto funcionamiento del sistema antes de su implementación.

3 MARCO TEÓRICO

3.1. Automatización industrial

La automatización industrial se entiende como la disciplina encargada del uso de técnicas, tecnologías, sistemas de control y dispositivos programados para llevar a cabo procesos productivos con la menor intervención humana posible. Su utilización permite alcanzar un adecuado nivel de eficiencia operativa, aumentar la precisión de las tareas y garantizar la continuidad de los sistemas industriales, sobre todo en entornos donde la fiabilidad y la seguridad representan aspectos críticos para la ejecución de las operaciones (Machado-Moreno, 2010).

3.1.1. Concepto de automatización industrial

La automatización industrial se ha definido como la combinación de dispositivos electrónicos, eléctricos y mecánicos, así como de sistemas computacionales destinados a la ejecución automática de procesos industriales. A través de la utilización de sensores, actuadores, controladores lógicos programables y sistemas de supervisión, es posible monitorear variables de operación y ejecutar acciones de control en tiempo real, optimizando así el rendimiento de los sistemas de producción (Machado-Moreno, 2010).

3.1.2. Importancia de la automatización en procesos industriales

La automatización en los procesos industriales resulta fundamental debido a que incrementa la producción, disminuye los errores operacionales y mejora la calidad de los procesos. Asimismo, permite reducir los tiempos de respuesta, optimizar el uso de la energía e incrementar la seguridad de las operaciones industriales. En el caso de los sistemas críticos, como los utilizados en generación termoeléctrica, la automatización garantiza la estabilidad operativa y la continuidad del servicio ante situaciones de alta demanda (Machado-Moreno, 2010).

3.1.3. Sistemas de control industrial

Los sistemas de control industrial son conjuntos de elementos y estrategias diseñados para la supervisión, regulación y mantenimiento del correcto funcionamiento de los procesos industriales. Estos sistemas están conformados, entre otros elementos, por PLC, sensores, relés, actuadores y plataformas SCADA, que permiten ejecutar secuencias automáticas, gestionar alarmas y actuar sobre las variables de proceso de manera segura

y eficiente. Su adopción facilita la toma de decisiones y la supervisión en tiempo real de los equipos industriales (Machado-Moreno, 2010).

3.1.4. Automatización en centrales termoeléctricas

En las centrales termoeléctricas, la automatización desempeña un papel fundamental en la supervisión y control de los equipos relacionados con la generación de energía, tales como turbinas, sistemas de enfriamiento, combustibles y sistemas de aire comprimido. La integración de tecnologías automatizadas permite garantizar una operación continua, segura y eficiente de la central, disminuyendo los riesgos de fallo y optimizando la disponibilidad de los sistemas auxiliares necesarios para el arranque y funcionamiento de los generadores eléctricos (Machado-Moreno, 2010).

3.2. Sistemas de aire comprimido industriales

Los sistemas de aire comprimido industriales son conjuntos de elementos cuya función es generar, almacenar y distribuir aire a presión para llevar a cabo procesos que impliquen el uso de energía y máquinas de acción mecánica, neumática y automatizada. Son ampliamente utilizados en múltiples aplicaciones industriales debido a que constituyen una herramienta capaz de proporcionar energía limpia, segura y eficiente, permitiendo el accionamiento de herramientas, sistemas de válvulas y mecanismos críticos dentro de las operaciones productivas (Barthelemy-Candela, 2021).

3.2.1. Concepto y funcionamiento del aire comprimido

El aire comprimido es una forma de energía obtenida mediante la reducción del volumen del aire atmosférico a través de compresores mecánicos. El funcionamiento del aire comprimido consiste en la captación del aire del ambiente, su compresión, almacenamiento en recipientes presurizados y posterior utilización en aplicaciones industriales. Como resultado de este proceso, se dispone de energía neumática que permite accionar sistemas automáticos y equipos industriales con un alto nivel de rapidez y fiabilidad (Barthelemy-Candela, 2021).

3.2.2. Componentes de un skid de aire comprimido

El skid para aire comprimido está constituido por un conjunto modular de equipos dispuestos sobre una misma estructura con el propósito de facilitar su operación y

mantenimiento. Entre los elementos principales se incluyen compresores de aire, recipientes de almacenamiento, válvulas de control, sensores de presión, interruptores de nivel, sistemas de drenaje y cuadros de control automatizado. La integración de estos elementos garantiza un suministro continuo y estable de aire comprimido hacia los sistemas industriales (Barthelemy-Candela, 2021).

3.2.3. Compresores de aire de dos etapas

Los compresores de aire de 2 etapas constituyen un tipo de compresor diseñado para aumentar el rendimiento del proceso de compresión mediante la incorporación de dos ciclos sucesivos de compresión de aire. En la primera etapa, el aire es parcialmente comprimido y posteriormente enfriado antes de ser conducido a una segunda etapa, donde se alcanzan presiones más elevadas. Este funcionamiento permite obtener una mayor capacidad de trabajo, disminuir la temperatura operativa y mejorar el rendimiento energético del sistema (Barthelemy-Candela, 2021).

3.2.4. Sistemas neumáticos para arranque de generadores

Los sistemas neumáticos de arranque de generadores permiten utilizar aire comprimido como fuente de energía para el arranque de motores de combustión interna empleados en centrales termoeléctricas. Este tipo de sistema posibilita obtener las condiciones necesarias de par de arranque únicamente mediante aire comprimido, evitando depender exclusivamente de sistemas eléctricos y aumentando así la fiabilidad y seguridad operativa del equipo. La adecuada presión de aire constituye un elemento fundamental para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de generación (Barthelemy-Candela, 2021).

3.2.5. Variables de operación y seguridad del sistema

Las variables de operación y seguridad del sistema de aire comprimido incluyen parámetros como presión, temperatura, nivel de aceite, estado de válvulas y condiciones de sobrecarga de los compresores. El monitoreo de estas variables permite identificar condiciones anómalas y activar mecanismos de protección destinados a evitar daños en la maquinaria. La correcta supervisión de las condiciones de funcionamiento contribuye a garantizar la estabilidad operativa, aumentar la vida útil de los equipos y disminuir los riesgos asociados a fallas industriales (Barthelemy-Candela, 2021).

3.3. Controladores lógicos programables (PLC)

Los Controladores Lógicos Programables (PLC) son dispositivos electrónicos industriales que ejecutan programas de control con el objetivo de automatizar y supervisar procesos. Estos sistemas permiten gestionar señales de entrada y salida, procesar información en tiempo real, así como controlar y supervisar máquinas o sistemas industriales de forma confiable y segura. Su aplicación ha permitido reemplazar los sistemas de control basados en relés, proporcionando soluciones más flexibles y eficientes en los procesos de automatización (Alvear-Romero & Arellano-Sangacha, 2025).

3.3.1. Definición y características de los PLC

El PLC es un controlador industrial diseñado para la ejecución de operaciones lógicas, secuenciales y de supervisión en procesos automatizados. Entre las características más relevantes de los PLC se encuentran su robustez, facilidad de programación, capacidad de operación continua, resistencia a ambientes industriales e interoperabilidad con protocolos de comunicación. Además, permiten la integración de sensores, actuadores y sistemas SCADA para la supervisión centralizada de los procesos (Alvear-Romero & Arellano-Sangacha, 2025).

3.3.2. Evolución tecnológica de los PLC industriales

La evolución tecnológica de los PLC industriales ha dado lugar a equipos con mayores capacidades de procesamiento, comunicación y almacenamiento de datos. Los primeros PLC tenían como finalidad sustituir sistemas cableados basados en relés, mientras que las versiones actuales incorporan conectividad Ethernet, protocolos industriales, acceso remoto e integración con tecnologías asociadas a la Industria 4.0. Esto ha permitido desarrollar sistemas de monitoreo en tiempo real y automatización de procesos industriales complejos (Alvear-Romero & Arellano-Sangacha, 2025).

3.3.3. PLC Siemens LOGO 230RC

El PLC Siemens LOGO! 230RC es un controlador lógico compacto diseñado para automatizar aplicaciones básicas de automatización industrial y secuenciación de control. Este equipo incluye entradas y salidas digitales, temporizadores, contadores y funciones lógicas predefinidas por el fabricante, las cuales permiten desarrollar aplicaciones de baja

complejidad. Sin embargo, debido a sus limitaciones en procesamiento y comunicación, actualmente se considera un equipo con capacidades reducidas frente a los requerimientos de integración SCADA y monitoreo remoto presentes en aplicaciones industriales modernas (Alvear-Romero & Arellano-Sangacha, 2025).

3.3.4. PLC Siemens S7-1200

El PLC Siemens S7-1200 es un controlador modular diseñado para aplicaciones de automatización industrial de complejidad moderada. Posee capacidades de procesamiento, comunicación Ethernet/PROFINET y compatibilidad con protocolos industriales modernos como OPC UA. Además, permite la integración con sistemas HMI y plataformas SCADA, facilitando el monitoreo y control remoto de procesos industriales. La flexibilidad y escalabilidad de este equipo lo convierten en una solución adecuada para proyectos de modernización y repotenciación industrial (Alvear-Romero & Arellano-Sangacha, 2025).

3.3.5. Entradas, salidas y procesamiento lógico

Las entradas y salidas constituyen los elementos básicos de interacción entre el PLC y el proceso industrial. Las entradas permiten recibir señales provenientes de sensores, interruptores y dispositivos de campo, mientras que las salidas posibilitan el control de actuadores, motores, válvulas y alarmas. El procesamiento lógico del PLC se encarga de analizar las condiciones programadas y ejecutar acciones automáticas en función de la lógica de control, garantizando así una operación secuencial y segura del sistema (Alvear-Romero & Arellano-Sangacha, 2025).

3.3.6. Lenguaje Ladder (LD) bajo la norma IEC 61131-3

El lenguaje Ladder (LD) es uno de los lenguajes de programación más utilizados en PLC, debido a que su representación gráfica se basa en diagramas eléctricos de relés. La norma IEC 61131-3 establece estándares internacionales para la programación de controladores industriales, definiendo estructuras, sintaxis y buenas prácticas para el desarrollo de programas de automatización. El uso del lenguaje Ladder facilita la comprensión, el mantenimiento y el diagnóstico de los sistemas de control industrial por parte del personal técnico y de ingeniería (Alvear-Romero & Arellano-Sangacha, 2025).

3.4. Obsolescencia tecnológica y repotenciación industrial

La obsolescencia tecnológica y la repotenciación de sistemas industriales constituyen aspectos fundamentales en la gestión del mantenimiento de sistemas automatizados. En la actualidad, numerosos equipos industriales continúan operando con tecnologías obsoletas que limitan la conectividad, el soporte técnico y la fiabilidad operativa. En este contexto, la repotenciación surge como una alternativa para resolver esta problemática mediante la modernización de sistemas a través de tecnologías actuales, lo que permite incrementar la vida útil de los activos industriales y mejorar su eficiencia operativa (García, 2011).

3.4.1. Obsolescencia tecnológica en sistemas industriales

Se entiende por obsolescencia tecnológica de un sistema industrial la condición en la que un equipo o tecnología productiva deja de cumplir con los requerimientos operacionales actuales debido al avance tecnológico o a la falta de soporte por parte del fabricante. Este tipo de obsolescencia afecta principalmente a controladores, sistemas de comunicación y plataformas de supervisión que ya no reciben actualizaciones, carecen de repuestos o presentan incompatibilidad con tecnologías de última generación. Como consecuencia, las industrias enfrentan limitaciones para mantener la continuidad operativa y la fiabilidad de los procesos automatizados (García, 2011).

3.4.2. Riesgos operativos asociados a equipos obsoletos

El uso de equipos obsoletos en sistemas industriales implica un incremento en el riesgo de fallos imprevistos, interrupciones del proceso y dificultades de mantenimiento derivadas de la falta de disponibilidad de repuestos y soporte técnico. Estas condiciones pueden generar prolongados tiempos de parada y afectar negativamente el rendimiento industrial. En sistemas críticos, tales limitaciones pueden comprometer la seguridad operativa y la estabilidad de los procesos de generación de energía en centrales térmicas (García, 2011).

3.4.3. Repotenciación de sistemas automatizados

La repotenciación de un sistema de automatización se entiende como la actualización o sustitución de elementos tecnológicos antiguos por alternativas modernas que permitan mejorar la funcionalidad, fiabilidad e interoperabilidad del sistema. Este

procedimiento puede incluir la migración de controladores lógicos programables (PLC), la modernización de interfaces hombre-máquina (HMI), la incorporación de protocolos de comunicación industrial y la optimización de la lógica de control. La repotenciación constituye una alternativa eficiente frente a la renovación total de los sistemas, ya que permite reducir costos mediante el aprovechamiento de la infraestructura existente (García, 2011).

3.4.4. Ingeniería inversa aplicada a sistemas de control

La ingeniería inversa aplicada a los sistemas de control es un proceso que permite analizar, describir y reconstruir el funcionamiento de sistemas automatizados cuando la documentación técnica disponible es limitada o inexistente. Mediante esta metodología es posible identificar señales, secuencias de ejecución y lógicas de control a través del análisis del hardware, diagramas eléctricos y comportamiento operativo del sistema automatizado. Por ello, la ingeniería inversa resulta especialmente útil en proyectos de modernización industrial y migración tecnológica (García, 2011).

3.4.5. Beneficios de la modernización industrial

La modernización industrial proporciona beneficios relevantes relacionados con la mejora de la eficiencia operativa, la reducción de fallas y el incremento de la disponibilidad de los sistemas. Asimismo, permite implementar tecnologías de control remoto, comunicación industrial y análisis de datos en tiempo real que facilitan la supervisión y gestión de procesos automatizados. Además, la modernización tecnológica contribuye al fortalecimiento de la seguridad industrial y favorece la adaptación progresiva hacia entornos compatibles con la Industria 4.0 (García, 2011).

3.5. Comunicación industrial y monitoreo remoto

La comunicación industrial y el control remoto constituyen elementos relevantes dentro de los sistemas modernos de automatización, dado que facilitan el intercambio de información en tiempo real entre dispositivos de control, supervisión y operación. Las tecnologías de comunicación industrial y control remoto permiten gestionar el funcionamiento de los equipos industriales para la toma de decisiones, el control y la supervisión de procesos desde estaciones locales o remotas, incrementando así la

eficiencia y la fiabilidad de las operaciones industriales (Barriga-León & Villarreal-Esquivel, 2021).

3.5.1. *Redes de comunicación industrial*

Las redes de comunicación industrial son infraestructuras tecnológicas que permiten transferir información entre dispositivos de automatización como PLC, sensores, actuadores, sistemas HMI y plataformas SCADA. Las tecnologías de red actuales permiten coordinar y sincronizar procesos industriales mediante protocolos que garantizan velocidad, estabilidad, calidad y seguridad en la comunicación. Su utilización resulta fundamental para lograr la interoperabilidad entre equipos dentro de los sistemas automatizados (Barriga-León & Villarreal-Esquivel, 2021).

3.5.2. *Protocolo OPC UA*

El estándar de comunicación industrial OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) permite establecer una comunicación segura y confiable mediante el intercambio de datos entre sistemas y dispositivos de automatización. Esta norma facilita la integración de plataformas industriales al proporcionar una arquitectura interoperable que posibilita la comunicación entre PLC, servidores SCADA y software de monitoreo remoto. Además, este estándar incorpora mecanismos de seguridad, escalabilidad y acceso remoto compatibles con entornos asociados a la Industria 4.0 (Barriga-León & Villarreal-Esquivel, 2021).

3.5.3. *Ethernet industrial y PROFINET*

El Ethernet industrial es una tecnología de comunicación basada en Ethernet, adaptada a entornos industriales con elevados requerimientos de tiempo de respuesta, resistencia y eficiencia. En este contexto, PROFINET constituye uno de los protocolos más utilizados para establecer comunicación entre PLC, dispositivos de campo y sistemas SCADA de supervisión, debido a que permite la transmisión de datos en tiempo real, la integración de equipos y la optimización del rendimiento de los sistemas automatizados industriales (Barriga-León & Villarreal-Esquivel, 2021).

3.5.4. Integración PLC–SCADA

La integración PLC–SCADA permite conectar controladores industriales y plataformas de supervisión para facilitar la visualización, el control y el monitoreo en tiempo real de los procesos industriales. Gracias a esta integración, las variables procesadas por el PLC pueden representarse gráficamente mediante interfaces HMI, incorporarse en sistemas de alarmas y utilizarse en procesos de adquisición de datos. De este modo, la arquitectura PLC–SCADA posibilita la supervisión operativa y la gestión centralizada del sistema industrial desde un único punto de control (Barriga-León & Villarreal-Esquivel, 2021).

3.5.5. Monitoreo remoto en sistemas industriales

El monitoreo de procesos industriales a distancia permite supervisar y controlar procesos ubicados en lugares remotos mediante redes de comunicación y plataformas digitales. Esta tecnología facilita el acceso operativo a variables de funcionamiento, alarmas y estados operativos de los equipos industriales, favoreciendo la detección temprana de fallas y contribuyendo a la toma de decisiones por parte del personal responsable de la planta. Su aplicación incrementa la confiabilidad operativa y reduce los tiempos de respuesta ante eventos en los procesos industriales (Barriga-León & Villarreal-Esquivel, 2021).

3.6. Sistemas SCADA e interfaces HMI

Los sistemas SCADA y las interfaces HMI constituyen herramientas fundamentales de la automatización industrial moderna, ya que posibilitan la supervisión, el control y la visualización de procesos industriales en tiempo real. Estas plataformas permiten la interacción entre los operadores y los sistemas automatizados mediante entornos gráficos que reflejan el estado operativo de los equipos, contribuyendo a mejorar la eficiencia, la seguridad y la capacidad de respuesta frente a eventos o fallas en los procesos industriales (Giraldo & Mauricio, 2026).

3.6.1. Concepto de sistemas SCADA

Los sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) son plataformas de supervisión industrial diseñadas para la adquisición, procesamiento y visualización de información proveniente de dispositivos de campo y controladores

industriales. Estos sistemas permiten centralizar el monitoreo de procesos mediante interfaces gráficas, almacenamiento de datos históricos y gestión de alarmas. Su aplicación facilita la supervisión remota y la gestión operativa de instalaciones industriales complejas (Giraldo & Mauricio, 2026).

3.6.2. Funciones principales de una interfaz HMI

La interfaz HMI (Human Machine Interface) constituye el medio de interacción entre el operador y el sistema automatizado. Permite visualizar variables del proceso, estados operativos y alarmas mediante elementos gráficos dinámicos. Entre las principales funciones de una interfaz HMI se encuentran el monitoreo de equipos, el control manual de dispositivos, la representación visual de procesos industriales y la notificación de eventos críticos. Por tanto, el uso de interfaces HMI contribuye a mejorar la comprensión del estado del sistema y la toma de decisiones operativas (Giraldo & Mauricio, 2026).

3.6.3. Software Ignition para supervisión industrial

Ignition es una plataforma SCADA destinada a aplicaciones de supervisión, control y monitoreo industrial en tiempo real. Este software permite integrar PLC, bases de datos y protocolos industriales como OPC UA mediante una arquitectura flexible y escalable. Además, incorpora funciones para el diseño de interfaces HMI, gestión de alarmas, visualización de tendencias y control remoto de procesos industriales, favoreciendo la modernización de sistemas automatizados (Giraldo & Mauricio, 2026).

3.6.4. Gestión de alarmas y visualización de variables

La gestión de alarmas y visualización de variables constituye una de las funciones más importantes dentro de los sistemas SCADA y HMI, debido a que permite identificar condiciones anormales en los procesos industriales. Las alarmas notifican eventos críticos, tales como sobrecargas, fallas de presión o errores operativos, mientras que la visualización de variables posibilita la supervisión continua de parámetros de proceso en tiempo real. Estos elementos contribuyen a incrementar la seguridad operativa y la capacidad de respuesta ante eventos críticos (Giraldo & Mauricio, 2026).

3.6.5. Supervisión en tiempo real de procesos industriales

La supervisión en tiempo real de procesos industriales consiste en el monitoreo continuo de variables y estados operativos mediante sistemas digitales de adquisición y visualización de datos. Esto permite detectar de manera inmediata desviaciones operativas, garantizar un adecuado rendimiento de los equipos y reducir los tiempos de respuesta ante eventos críticos. La supervisión en tiempo real constituye un elemento esencial para asegurar la disponibilidad y continuidad de los sistemas industriales automatizados (Giraldo & Mauricio, 2026).

3.7. Validación y pruebas de sistemas automatizados

La validación y las pruebas de los sistemas automatizados constituyen una fase esencial en los procesos de modernización e implementación industrial, ya que garantizan la correcta verificación de la lógica de control, la comunicación entre las unidades de automatización y la respuesta del sistema frente a las condiciones operativas previstas para su funcionamiento. Las actividades de validación y prueba aseguran que los equipos automatizados operen de manera segura, confiable y conforme a los requerimientos técnicos establecidos en el diseño del proyecto (Tejada-Mendoza & Salazar-Revoredo, 2025).

3.7.1. Pruebas FAT (Factory Acceptance Test)

Las pruebas FAT (Factory Acceptance Test) constituyen un conjunto de verificaciones funcionales realizadas en un entorno controlado antes de la instalación definitiva del sistema de automatización. Estas pruebas permiten comprobar el funcionamiento del hardware, el software y la lógica de control mediante evaluaciones funcionales destinadas a identificar errores o inconsistencias antes de la puesta en marcha en campo. La aplicación de estas pruebas contribuye a reducir riesgos operativos y garantizar la calidad del sistema desarrollado (Tejada-Mendoza & Salazar-Revoredo, 2025).

3.7.2. Simulación de señales digitales

La simulación de señales digitales consiste en la reproducción de condiciones operativas mediante activaciones controladas de entradas y salidas del PLC, con el propósito de verificar la respuesta de la lógica de control programada. Este proceso

permite evaluar el comportamiento de alarmas, secuencias de control y estados operativos sin intervenir directamente sobre el sistema real. La simulación facilita la detección de fallos y mejora la seguridad durante las etapas de prueba y validación (Tejada-Mendoza & Salazar-Revoredo, 2025).

3.7.3. Validación de comunicación OPC UA

La validación de la comunicación OPC UA tiene como objetivo comprobar la correcta transferencia de datos entre el PLC, el servidor OPC UA y el sistema SCADA. Este proceso incluye la verificación de la conectividad, la actualización de variables en tiempo real y la estabilidad de la comunicación industrial. Una validación adecuada permite garantizar la integridad de la información y el correcto funcionamiento del monitoreo remoto de variables implementado en el sistema automatizado (Tejada-Mendoza & Salazar-Revoredo, 2025).

3.7.4. Verificación funcional de la lógica de control

La verificación funcional de la lógica de control consiste en comprobar que las secuencias programadas en el PLC cumplan adecuadamente con la filosofía de operación definida para el sistema. Esta validación incluye pruebas de arranque, parada, alarmas, protecciones y modos de funcionamiento manual y automático. Su aplicación garantiza que el comportamiento del sistema automatizado responda correctamente ante distintas condiciones operativas del proceso automatizado (Tejada-Mendoza & Salazar-Revoredo, 2025).

3.7.5. Confiabilidad y seguridad operativa

La confiabilidad y la seguridad en la operación de los sistemas automatizados industriales constituyen aspectos fundamentales, debido a que garantizan la continuidad de los procesos y la protección de los equipos. La implementación de pruebas funcionales, mecanismos de protección y sistemas de supervisión contribuye a minimizar la probabilidad de fallas, reducir tiempos de inactividad y aumentar la estabilidad operativa del sistema. Estos aspectos resultan esenciales para mantener condiciones adecuadas de seguridad y disponibilidad en entornos industriales críticos (Tejada-Mendoza & Salazar-Revoredo, 2025).

3.8. Fundamentación conceptual

La fundamentación conceptual agrupa los principales términos utilizados en el ámbito de la automatización industrial y la modernización de sistemas de control. Estos conceptos permiten comprender los elementos fundamentales que intervienen en la repotenciación del skid de aire comprimido, así como interpretar las tecnologías, metodologías y herramientas utilizadas durante la ejecución del proyecto (Cóndor-Chuqui, 2019).

3.8.1. PLC

El PLC (Programmable Logic Controller), o controlador lógico programable, es un dispositivo utilizado para la automatización de procesos industriales mediante la ejecución de instrucciones programadas. Este equipo puede recibir señales de entrada provenientes de sensores o interruptores, procesar la información conforme a una lógica previamente definida y emitir señales de salida que determinan el funcionamiento de dispositivos industriales como motores, válvulas y alarmas (Cóndor-Chuqui, 2019).

3.8.2. SCADA

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) es un sistema de supervisión y adquisición de datos que permite el monitoreo y control de procesos industriales en tiempo real. Estas plataformas posibilitan la visualización de variables operativas, la gestión de alarmas, el almacenamiento de datos históricos y la supervisión de equipos industriales mediante estaciones locales o remotas a través de interfaces gráficas (Cóndor-Chuqui, 2019).

3.8.3. HMI

La HMI (Human Machine Interface) es una herramienta gráfica que permite la interacción entre el operador y el sistema automatizado. Su función principal consiste en mostrar, mediante pantallas dinámicas, variables operativas, alarmas y condiciones de funcionamiento de los equipos, facilitando así la supervisión y control de procesos industriales (Cóndor-Chuqui, 2019).

3.8.4. OPC UA

OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) es un protocolo de comunicación industrial diseñado para el intercambio de datos entre dispositivos y sistemas automatizados dentro de un entorno seguro y estandarizado. Este protocolo permite integrar PLC, sistemas SCADA y plataformas de monitoreo mediante una arquitectura interoperable compatible con tecnologías modernas de automatización industrial (Cóndor-Chuqui, 2019).

3.8.5. Ingeniería inversa

La ingeniería inversa es una metodología técnica que permite analizar y comprender el funcionamiento de un sistema o conjunto de equipos existentes con el objetivo de replicar, documentar o modernizar su operación. En el contexto de la automatización industrial, esta metodología facilita la identificación de señales, secuencias lógicas y comportamientos funcionales de un sistema automatizado. Su aplicación permite implementar soluciones tecnológicas modernas sobre infraestructuras existentes (Cóndor-Chuqui, 2019).

3.8.6. Repotenciación

La repotenciación de sistemas industriales es el procedimiento mediante el cual se actualiza el funcionamiento de un sistema industrial a través de la reutilización, sustitución o modernización de componentes tecnológicos obsoletos por tecnologías actuales y compatibles. Su aplicación permite mejorar la fiabilidad, eficiencia y desempeño operativo de los sistemas existentes sin reemplazar completamente la infraestructura industrial (Cóndor-Chuqui, 2019).

3.8.7. Skid de aire comprimido

El skid de aire comprimido es un sistema modular diseñado para generar, almacenar y distribuir aire a presión en aplicaciones industriales. Este sistema incluye compresores, válvulas, recipientes de almacenamiento, sensores y sistemas de control automatizado montados sobre una estructura compacta que facilita su operación y mantenimiento dentro de los procesos industriales (Cóndor-Chuqui, 2019).

3.8.8. *Automatización industrial*

La automatización industrial consiste en la utilización de tecnologías de control, monitoreo y comunicación para operar procesos industriales con mínima intervención humana. Su aplicación permite optimizar la eficiencia operativa, mejorar la seguridad e incrementar la fiabilidad de los sistemas productivos mediante el uso de PLC, sensores, redes industriales y sistemas SCADA (Cóndor-Chuqui, 2019).

4 METODOLOGÍA

4.1. Diseño del estudio y alcance

El estudio se realizó bajo un diseño experimental, debido a que se evaluó el funcionamiento del sistema de control y monitoreo remoto implementado en el skid de aire comprimido mediante pruebas de funcionamiento, simulaciones y validaciones funcionales y de configuración. El diseño contempló la instalación de un nuevo controlador lógico programable Siemens S7-1200, la integración de comunicación industrial OPC UA y el diseño de una interfaz HMI para la supervisión remota, permitiendo comprobar el comportamiento operativo del sistema repotenciado frente a las condiciones de funcionamiento establecidas (Pereyra, 2022).

Así mismo, el estudio fue de carácter exploratorio, ya que permitió evidenciar las limitaciones técnicas del sistema original basado en el PLC Siemens LOGO! 230RC en aspectos relacionados con la obsolescencia tecnológica, la conectividad y el monitoreo remoto. Esta evaluación facilitó la selección de tecnologías modernas de automatización industrial adecuadas para la modernización del sistema (Pereyra, 2022).

De igual manera, el estudio fue descriptivo, debido a que permitió documentar el proceso de repotenciación del sistema, desde el levantamiento de información, el dimensionamiento del controlador, el desarrollo de la lógica de control, la integración del sistema SCADA y la validación funcional mediante pruebas FAT. Además, permitió describir las características técnicas del nuevo sistema automatizado y las mejoras obtenidas en términos de monitoreo y operación remota (Pereyra, 2022).

El alcance de la investigación fue explicativo, dado que permitió analizar el comportamiento del sistema automatizado antes y después de la repotenciación en aspectos relacionados con la confiabilidad operativa, la comunicación industrial y la supervisión remota del skid, demostrando cómo la incorporación de tecnologías modernas mejora la funcionalidad y la continuidad operativa del sistema de aire comprimido (Pereyra, 2022).

4.2. Enfoque y método de investigación

La indagación se llevó a cabo bajo un enfoque cuantitativo, debido a que la validación del sistema se realizó a partir de pruebas funcionales, simulaciones de señales digitales y verificación del comportamiento operativo conforme a la lógica de control implementada en el PLC Siemens S7-1200. Del mismo modo, se utilizaron listas de

verificación y pruebas FAT para comprobar que la filosofía de operación del sistema automatizado se ejecutara de manera satisfactoria (Pereyra, 2022). Para el desarrollo de la investigación, se emplearon las siguientes metodologías:

- **Método analítico:** permitió reconocer y comprender el funcionamiento de los componentes existentes del sistema de control y supervisión del skid de aire comprimido.
- **Método sintético:** permitió integrar tecnologías modernas, como el PLC S7-1200, OPC UA y el sistema SCADA Ignition, en una solución automatizada funcional.
- **Método inductivo:** se utilizó con la finalidad de identificar las dificultades y limitaciones asociadas al sistema obsoleto, debido a que el análisis de estas permitió justificar técnicamente la necesidad de la repotenciación del sistema.
- **Método deductivo:** permitió aplicar fundamentos teóricos de automatización industrial, PLC y comunicación industrial para desarrollar la solución de modernización del sistema.

4.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la recolección de información y validación del sistema automatizado se utilizaron las siguientes técnicas e instrumentos (Pereyra, 2022):

- **Observación directa:** utilizada durante el levantamiento de información y las pruebas funcionales del sistema para validar el comportamiento operativo de los equipos y señales del skid de aire comprimido.
- **Listas de verificación:** utilizadas durante las pruebas FAT para validar el comportamiento de la lógica de control, alarmas, modos de operación y comunicación industrial implementada.
- **Fichas técnicas:** utilizadas para validar las características de los componentes del sistema original y seleccionar el nuevo controlador Siemens S7-1200, de acuerdo con los requerimientos del proyecto.
- **Simulación de señales digitales:** utilizada mediante el software TIA Portal y pruebas físicas de entradas digitales para validar la programación del PLC y la respuesta del sistema automatizado antes de su implementación.

4.4. Tratamiento y validación de la información

La validación del sistema automatizado se realizó mediante pruebas funcionales y pruebas de aceptación en fábrica (FAT), verificando el funcionamiento de la lógica de

control, la activación de alarmas, la secuencia de operación automática y la comunicación OPC UA entre el PLC y la plataforma SCADA Ignition. Los resultados fueron contrastados con la filosofía de operación original del skid de aire comprimido, logrando comprobar la fiabilidad y el correcto funcionamiento del sistema repotenciado.

5 DESARROLLO

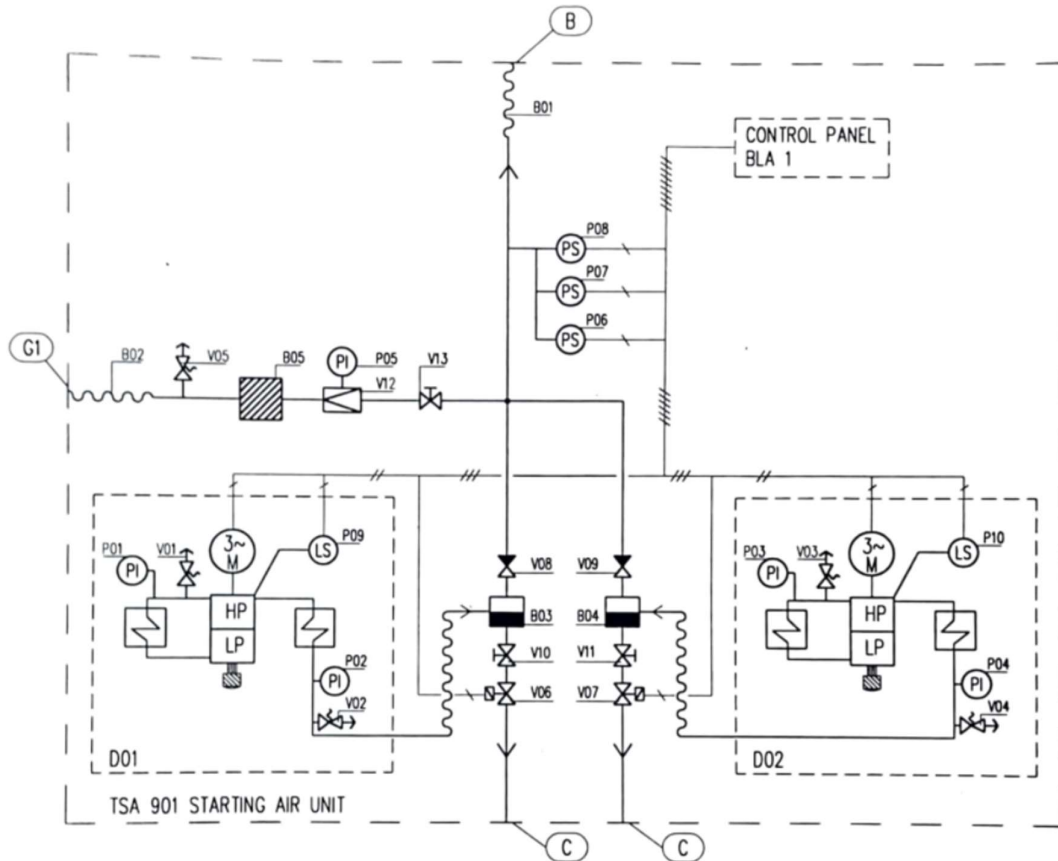
En este apartado se abordó el desarrollo del proyecto utilizando una metodología de ingeniería inversa aplicada, estructurada en las siguientes fases: Descripción del sistema, Levantamiento de información y análisis del sistema existente, donde se auditó la documentación y hardware obsoleto; Dimensionamiento y selección del controlador, basado en los requerimientos de entradas, salidas y protocolos de comunicación; Desarrollo del programa de control, reconstruyendo la lógica operativa mediante ingeniería inversa; Diseño de la interfaz HMI, implementando un sistema SCADA con el software Ignition y OPC UA para la adquisición de datos; y finalmente Pruebas de comunicación y funcionalidad, para validar la integridad del sistema antes de su puesta en marcha.

5.1. Descripción del sistema

El skid de aire comprimido utilizado en este proyecto es un sistema modular diseñado para suministrar aire a alta presión (30 bar) para el arranque de tipo neumático de motores a combustión utilizados en generadores termoeléctricos. En el diagrama P&ID de la Figura 1, se muestra el sistema compuesto fundamentalmente por dos compresores de aire de dos etapas modelo HL2/105 (identificados como D01 y D02), con una capacidad de 47 m³/h cada uno del fabricante SPERRE, configurados en paralelo para garantizar redundancia y continuidad del servicio.

La instrumentación asociada a los equipos incluye: interruptores de presión PS (P07, P08) para el control de arranque/parada y secuencia LEAD/FOLLOW; un interruptor de baja presión PS (P06) para alarma; interruptores de nivel de aceite LS (P09, P10) en cada compresor para protección; y válvulas de drenaje automático (V06, V07) asociadas a cada unidad. El aire comprimido es distribuido hacia la línea de servicio (G1) y almacenado en un recipiente a presión (B). Este arreglo permite la operación flexible en modo manual o automático, con una lógica de control ON/OFF que alterna el compresor principal para equilibrar el desgaste y asegurar la presión requerida en todo momento. La histéresis en los interruptores de presión evita el ciclado frecuente de los compresores, proporcionando estabilidad al sistema y prolongando la vida útil de los componentes mecánicos.

Figura 1
Skid de aire comprimido TSA 901



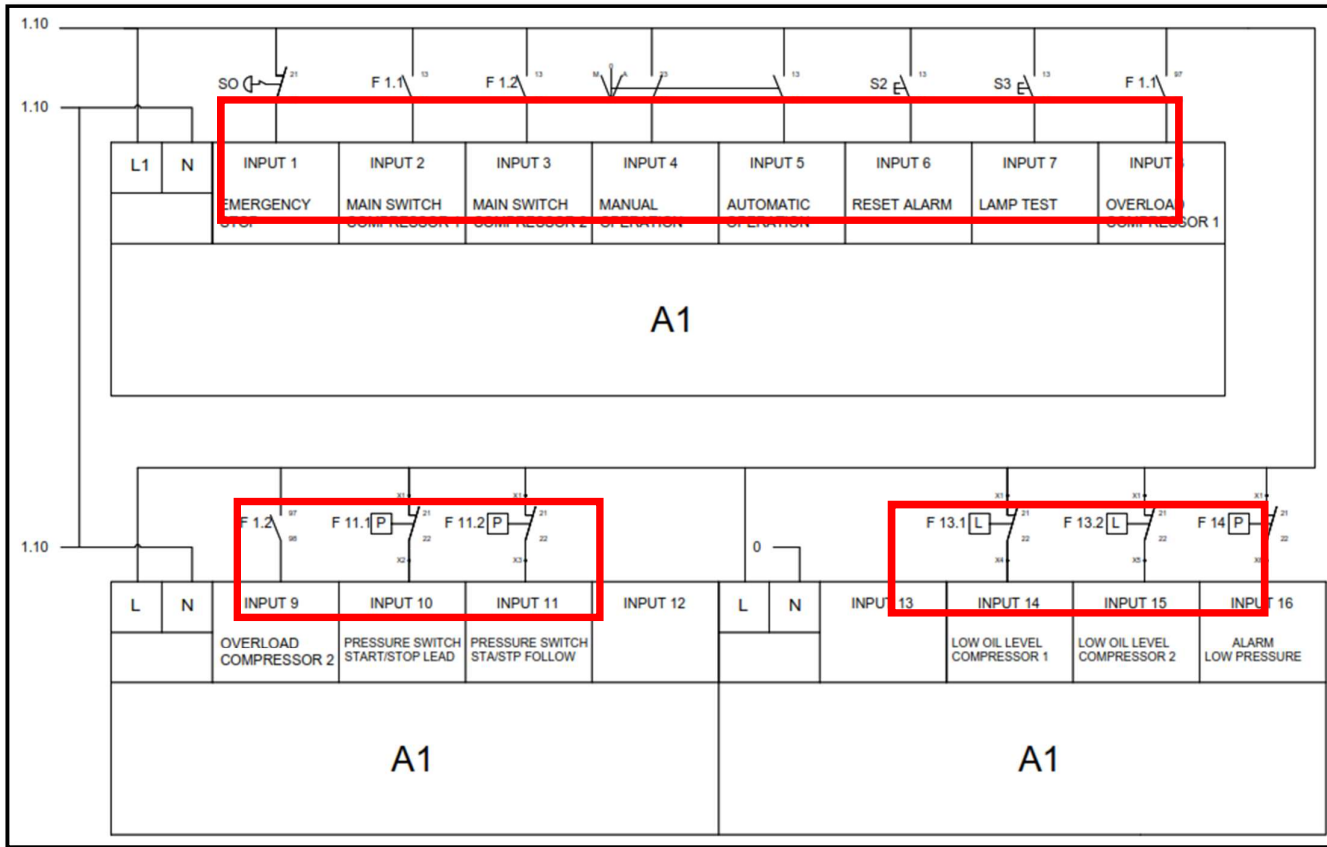
Nota. Tomado de TSA 901 STARTING AIR UNIT 2 x HL2/77, HL2/90, HL2/105 PI-DIAGRAM W/2 x EL.MOTOR (Plano N.º 180284-14), por Sperre, 1997.

5.2. Levantamiento de información y análisis del sistema existente

El proceso inició con el levantamiento de la información técnica del tablero de control BLA 901, centrándose principalmente en su PLC original LOGO 230 RC (6ED1052-1FB00-0BA6). El levantamiento incluyó un inventario detallado de los componentes internos del tablero y periféricos conectados hacia las entradas y salidas del PLC, identificados a partir de los diagramas de conexionado eléctrico (E20164001) de las Figuras 2 y 3. Este análisis permitió cuantificar con precisión los requisitos de hardware del sistema: 14 entradas digitales (DI) y 10 salidas digitales (DO), definiendo así la dimensión base para el nuevo controlador. Los principales componentes documentados fueron detallados en la Tabla 1.

Figura 2

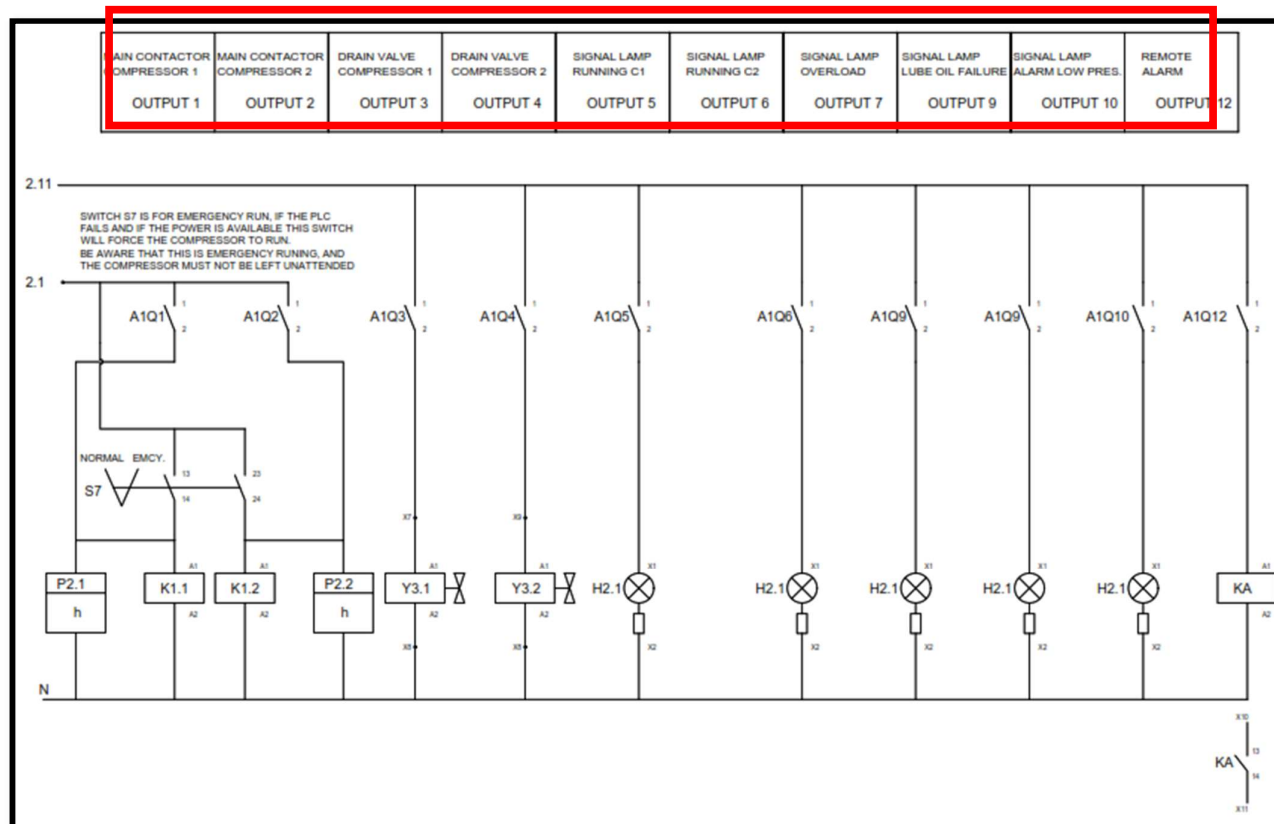
Identificación de entradas digitales del controlador



Nota. Tomado de *WIRING DIAGRAM CONTROL CIRCUIT* (Plano 2 de 4, Código E20164001), por Sperre, 2002.

Figura 3

Identificación de salidas digitales del controlador



Nota. Tomado de *WIRING DIAGRAM CONTROL CIRCUIT* (Plano 3 de 4, Código E20164001), por Sperre, 2002.

Tabla 1*Principales dispositivos del sistema*

Referencia	Descripcion	Leyenda / Set
Q1.1 Q1.2	Main swtich	40A
k1.1 k1.2	Main contactor	32A
A1	Progr. Logick Controller	Logo 230RC
S0	Push Button	STOP
S1	Switch	MAN 0 AUT
S2	Push Button Black	RESET
S3	Push Button Blue	LAMP TEST
H2.1 H2.2	Signal Lamp White	RUNNING
H3	Signal Lamp Red	OVERLOAD
H4	Signal Lamp Red	LUB OIL FAILURE
H5	Signal Lamp Red	LOW AIR PRESSURE
F11.1	Pressure Switch Start/Stop Lead	25 / 30 bar
F11.2	Pressure Switch Start/Stop Follow	24 / 30 bar
F13.1 F13.2	Level Switch	OIL LEVEL
F14	Pressure Switch, Low - Alarm	18 / 23 bar
Y3.1 Y3.2	Drain valve	115 VAC

Nota: Datos obtenidos mediante observación.

5.3. Dimensionamiento y selección del controlador

Con base en el dimensionamiento técnico derivado del levantamiento, se realizó una evaluación comparativa de los modelos de la serie Siemens S7-1200 para seleccionar la CPU óptima. De acuerdo con las especificaciones de la Tabla 2, el modelo CPU 1214C fue el elegido por cumplir con exactitud y eficiencia los requerimientos del proyecto de correspondencia de entradas y salidas digitales, coincidiendo perfectamente con los 14 DI y 10 DO identificados, sin necesidad de módulos de expansión adicionales para la lógica base, lo que optimiza el costo y la simplicidad del diseño. Incluye un puerto de comunicación Ethernet/PROFINET integrado, característica fundamental para comunicar el PLC por medio del protocolo OPC UA, cumpliendo así el objetivo de integración SCADA y monitoreo remoto mediante una interfaz HMI desarrollada en el software Ignition.

Tabla 2
Comparación de Modelos de CPU's de PLC S&-1200

Función		CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C	CPU 1215C	CPU 1217C
Dimensiones físicas (mm)		90 x 100 x 75	90 x 100 x 75	110 x 100 x 75	130 x 100 x 75	150 x 100 x 75
Memoria de usuario	Trabajo	30 kB	50 kB	75 kB	100 kB	125 kB
	Carga	1 MB	1 MB	4 MB	4 MB	4 MB
	Remanente	10 kB	10 kB	10 kB	10 kB	10 kB
E/S integradas locales	Digital	6 entradas/4 salidas	8 entradas/6 salidas	14 entradas/10 salidas	14 entradas/10 salidas	14 entradas/10 salidas
	Analógico	2 entradas	2 entradas	2 entradas	2 entradas/2 salidas	2 entradas/2 salidas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	Entradas (I)	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes
	Salidas (Q)	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes
Área de marcas (M)		4096 bytes	4096 bytes	8192 bytes	8192 bytes	8192 bytes
Ampliación con módulo de señales (SM)		Ninguna	2	8	8	8
Signal board (SB), Battery Board (BB) o Communication Board (CB)		1	1	1	1	1
Módulo de comunicación (CM) (ampliación en el lado izquierdo)		3	3	3	3	3
Contadores rápidos	Total	Se han configurado un máximo de 6 para usar cualquier entrada integrada o de SB.				
	1 MHz	--	--	--	--	De Ib.2 a Ib.5
	100/180 kHz	De Ia.0 a Ia.5	De Ia.0 a Ia.5	De Ia.0 a Ia.5	De Ia.0 a Ia.5	De Ia.0 a Ia.5
	30/120 kHz	--	De Ia.6 a Ia.7	De Ia.6 a Ib.5	De Ia.6 a Ib.5	De Ia.6 a Ib.1
Salidas de impulsos ²	Total	Se han configurado un máximo de 4 para usar cualquier salida integrada o de SB				
	1 MHz	--	--	--	--	De Qa.0 a Qa.3
	100 kHz	De Qa.0 a Qa.3	De Qa.0 a Qa.3	De Qa.0 a Qa.3	De Qa.0 a Qa.3	De Qa.4 a Qb.1
	20 kHz	--	De Qa.4 a Qa.5	De Qa.4 a Qb.1	De Qa.4 a Qb.1	--
Memory Card	SIMATIC Memory Card (opcional)					
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	20 días típ./12 días mín. a 40 °C (condensador de alto rendimiento sin mantenimiento)					
Puerto de comunicación Ethernet PROFINET		1	1	1	2	2

Nota: Adaptado de *SIMATIC S7-1200 Sistema de automatización Manual de sistema* (p. 24), por Siemens AG, 2014. (pp. 1-2, 24).

5.4. Desarrollo del Programa de Control

El desarrollo del programa para el nuevo PLC se fundamentó en una minuciosa ingeniería inversa guiada por la documentación funcional del fabricante original, específicamente la sección "Program description" del manual. Esta descripción operativa de la Figura 4, junto con los planos de conexionado (E20164001), fue el punto de partida para recrear y modernizar la lógica de control, garantizando que el nuevo sistema replicara fielmente la filosofía operativa del skid.

Figura 4

Descripción del programa

Program description:

The starter is designed with a MAN 0 AUT switch.

In MAN mode both compressors will run regardless of the start / stop pressure switch. It is not recommended to leave the compressor running unattended in MAN mode although the parameters temperature, lub. Oil and motor overload is surveyed.

In 0 mode the compressors are switched off, but the starter is still powered.

In AUT mode the compressors are controlled by the start / stop pressure switches. The program contains an automatic lead / follow sequence, the pressure switches will alter between the compressors each time the pressure switch F11.1 reaches stop level.

The starter is equipped with a common alarm signal output and 3 alarm signal lamps. The alarm signal is a voltage free contact programmed to be closed when the compressor condition is normal. This means that the alarm signal is open if the PLC is not running, or there is a fault condition detected.

Following parameters will give alarm:

Lubrication oil failure. If the Lub. Oil level / pressure falls under the setting of the Lub. Oil switch the compressor will stop and alarm will be given. The alarm will remain until the reset button is pressed. The signal lamp LUB. OIL FAILURE will go on and will remain engaged until the reset button is pressed. The corresponding running lamp will go flashing to indicate which compressor is involved.

El-motor overload. If the thermal overload relay releases, the compressor will stop and alarm will be given. The alarm will remain until the thermal relay is reset. The signal lamp OVERLOAD will go on and will remain engaged until the thermal relay is reset. The corresponding running lamp will go flashing to indicate which compressor is involved.

Emergency stop. If the emergency stop push button is activated, the compressors will stop and alarm will be given. The alarm will remain until the emergency stop push button is released and the reset button is pressed. The signal lamp OVERLOAD will go flashing and will remain flashing until the reset button is pressed.

Low air pressure. The pressure switch F14 will give alarm when the air pressure falls under the setting of the switch. The signal lamp LOW AIR PRESSURE will go on and alarm will be given. The alarm will remain until the pressure rises above the setting of the switch.

The program is designed to autostart after blackout if the compressor is set to AUT mode, timer B6 will delay the start.

The starter is designed with an emergency run switch. When this switch is operated the PLC is overridden, and the alarm functions are therefore not active.

This switch is intended for emergency run only and the compressor must not be left running unattended.

Nota. Tomado de *Program Description* (Documento E20164), por Sperre, 2002.

El desarrollo del programa de control para el PLC se llevó a cabo en el software TIA Portal V17, empleando el lenguaje de programación Ladder (LD) de acuerdo con el estándar IEC 61131-3. La lógica se diseñó de manera estructurada y comentada, organizándose en redes funcionales que ejecutan cada requerimiento descrito en la filosofía de operación original. El respaldo íntegro de la programación se encuentra disponible para consulta en el Anexo 1.

Se configuró la correspondencia entre las direcciones físicas del PLC S7-1200 y las señales de campo. Se implementaron los tres modos de operación: 0 (OFF), MAN (Manual) y AUT (Automático), con la lógica de habilitación correspondiente. Lógica de Control Manual Se programó el arranque/parada independiente de cada compresor, ignorando los estados de los interruptores de presión, pero manteniendo activas las protecciones de motor y lubricación. Lógica de Control Automático y Secuencia LEAD/FOLLOW (AUT), se desarrolló el algoritmo principal basado en los interruptores de presión F11.1 (Lead) y F11.2 (Follow), el programa inicia con el compresor designado

como LEAD al detectar la baja presión, cada vez que se alcanza la presión de parada en F11.1, se activa una rutina de alternancia que cambia el rol de LEAD al otro compresor para el siguiente ciclo, asegurando un desgaste equilibrado.

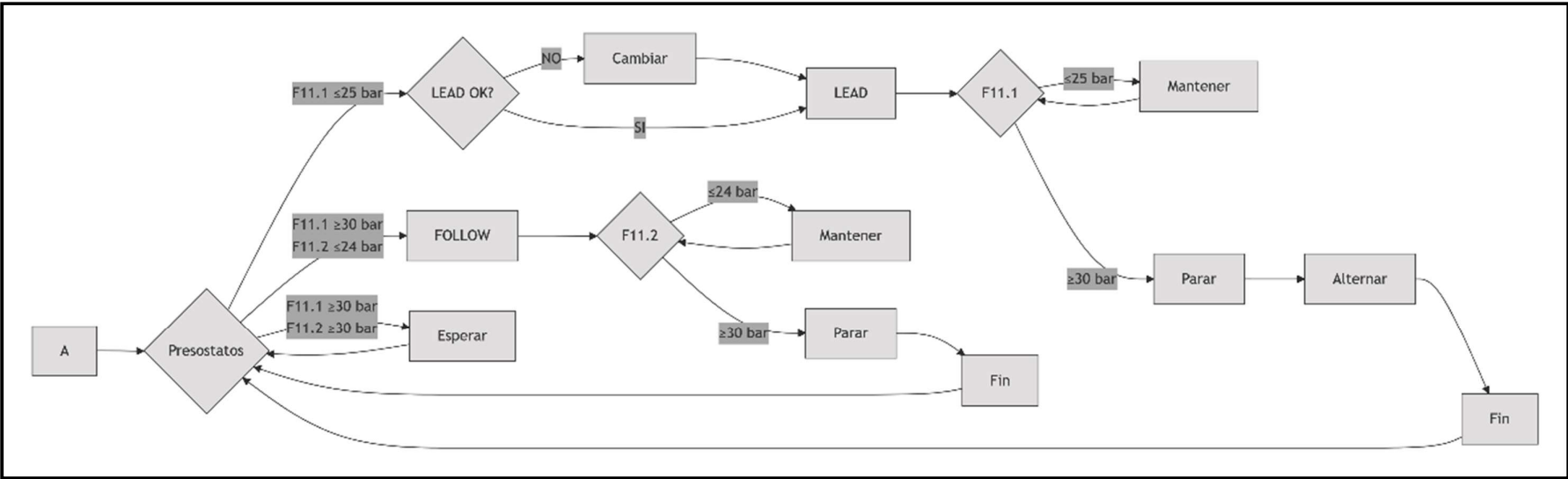
En la gestión integral de alarmas se programaron las cuatro condiciones de alarma especificadas: Fallo de Lubricación (F13.1 / F13.2), parada inmediata del compresor afectado, activación de la lámpara H5 y parpadeo de su lámpara de running (H2.1 o H2.2), requiere reset manual. Sobrecarga del Motor (F1.1 / F1.2), parada por relé térmico, parada inmediata del compresor afectado, activación de la lámpara H3 y parpadeo de su lámpara de running (H2.1 o H2.2). Requiere reset físico del relé y posterior reset de la alarma. Parada de Emergencia (S0), parada total de ambos compresores, la lámpara H3 parpadea hasta que se libera el pulsador y se presione el botón de reset. Baja Presión de Aire (F14), esta alarma no detiene la marcha de los compresores, activa la lámpara H6 mientras la presión esté por debajo del setpoint, y se desactiva automáticamente al recuperarse.

Se implementó el auto-reinicio tras apagón utilizando un temporizador que retrasa el arranque al restablecerse la energía en modo AUT. Control cíclico de las válvulas de drenaje (Y3.1, Y3.2) asociadas al estado de cada compresor, sistema de prueba de lámparas y rutina de reset general de alarmas.

En la Figura 5 se representó a través de un diagrama de flujo la lógica de funcionamiento del sistema en modo automático. El diagrama representa el flujo secuencial basado en la configuración real de los interruptores de presión: F11.1 abre su contacto a una presión ≤ 25 bar, el compresor LEAD se enciende y cierra su contacto a una presión ≥ 30 bar, el compresor LEAD se apaga; F11.2 abre su contacto a una presión ≤ 24 bar, el compresor FOLLOW se enciende y cierra su contacto a una presión ≥ 30 bar).

Figura 5

Diagrama de flujo de la lógica de control



Nota. El diagrama ilustra la secuencia de operación basada en los umbrales de presión de los interruptores F11.1 y F11.2. Elaboración propia.

5.5. Diseño de Interfaz HMI.

Para cumplir con el objetivo de monitoreo remoto, se diseñó e implementó una interfaz Hombre-Máquina (HMI) utilizando el software Ignition. Este desarrollo permitió supervisar y operar el skid de aire comprimido desde la sala de control de manera centralizada.

Para asegurar la integridad de la información entre el PLC y el SCADA, se configuró un dispositivo de comunicación en el Ignition Gateway utilizando el estándar industrial OPC UA. Siguiendo la ruta de configuración Config/OPC UA/Device Connections, se dio de alta el PLC del sistema de aire comprimido (PLC_AIR) con la dirección IP 192.168.0.1. Esta arquitectura, ilustrada en la Figura 6, proporciona un canal de datos robusto y preparado para protocolos de seguridad industrial modernos.

Figura 6

Interfaz de configuración del driver Siemens en el Gateway de Ignition

The screenshot shows the Ignition Gateway configuration interface. The breadcrumb navigation is 'Config > Opcua > Devices'. The main configuration area is titled 'General' and 'Connectivity'. Under 'General', the 'Name' field is set to 'PLC_AIR', the 'Description' field is empty, and the 'Enabled' checkbox is checked. Under 'Connectivity', the 'Hostname' field is set to '192.168.0.1', the 'Local Address' field is empty with a tooltip 'Address of network adapter to connect from.', and the 'Timeout' field is set to '2000'. A 'Save Changes' button is located at the bottom right of the configuration area.

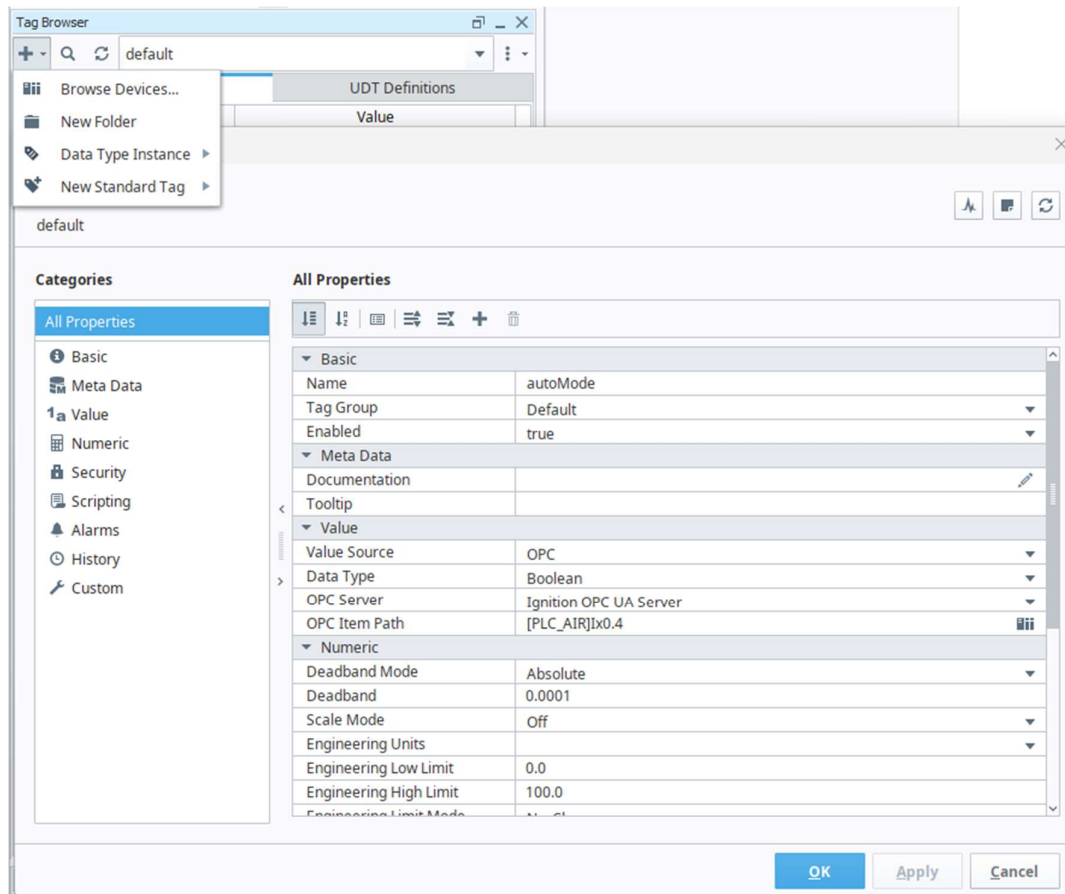
Nota. Captura de pantalla que muestra los parámetros de IP y nombre del dispositivo para la comunicación con el PLC. Elaboración propia.

Dentro del módulo Designer de Ignition, se integraron las variables configuradas en el programa del PLC de TIA Portal. El procedimiento consistió en acceder a la sección Tag Browser y crear nuevas etiquetas mediante la ruta New Standard Tag > OPC Tag. Para la lectura de señales digitales de entrada, como el contacto del selector de modo automático (I0.4), se configuró el tag autoMode. Se definieron parámetros esenciales como el tipo de dato Boolean y el servidor Ignition OPC UA Server. La vinculación física

se estableció en el campo OPC Item Path con la sintaxis [PLC_AIR]Ix0.4, como se observa en la Figura 7.

Figura 7

Configuración del Tag OPC para una entrada digital

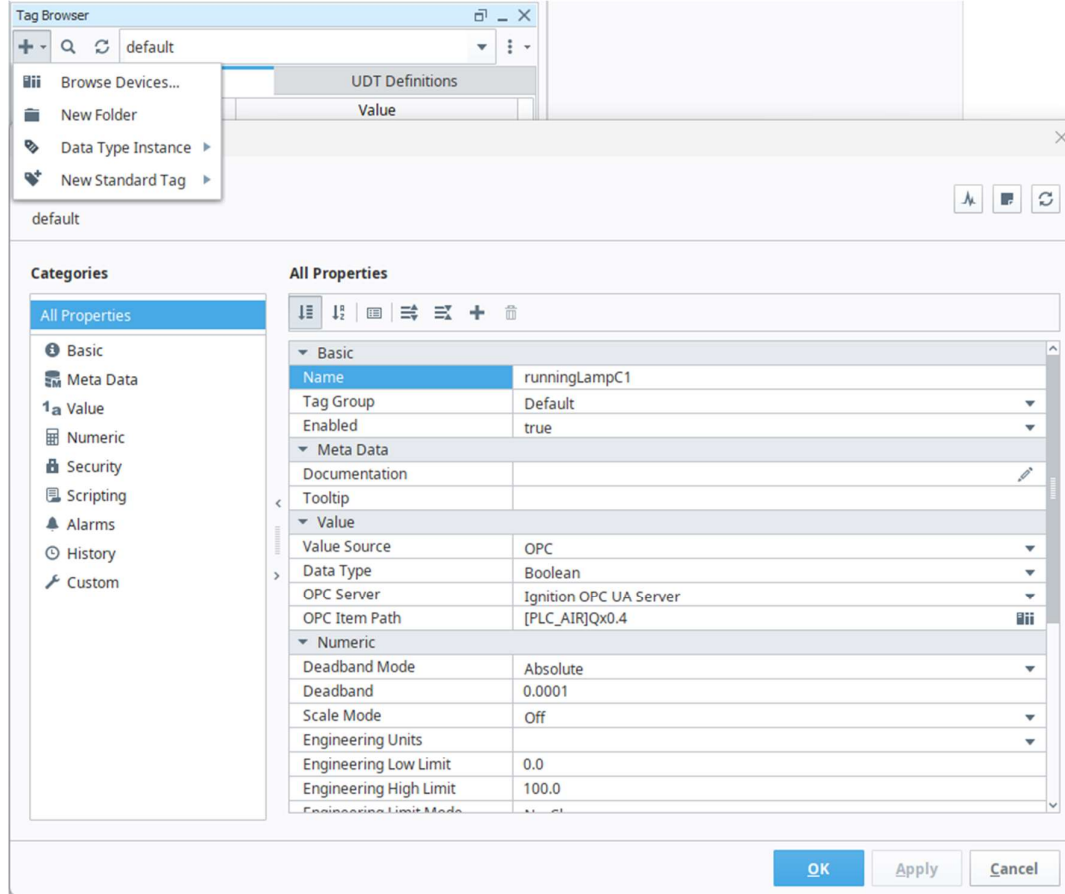


Nota. Captura de pantalla de la configuración de un tag de una entrada digital en Ignition Designer. Elaboración propia.

De manera similar, para las salidas digitales, se tomó como ejemplo la activación de la lámpara indicadora H2.1 (Q0.4). El tag, denominado `runningLampC1`, se vinculó a la dirección de memoria `[PLC_AIR]Qx0.4`. Esta configuración garantiza la retroalimentación visual del estado del equipo en el SCADA (ver Figura 8).

Figura 8

Configuración del Tag OPC para una salida digital



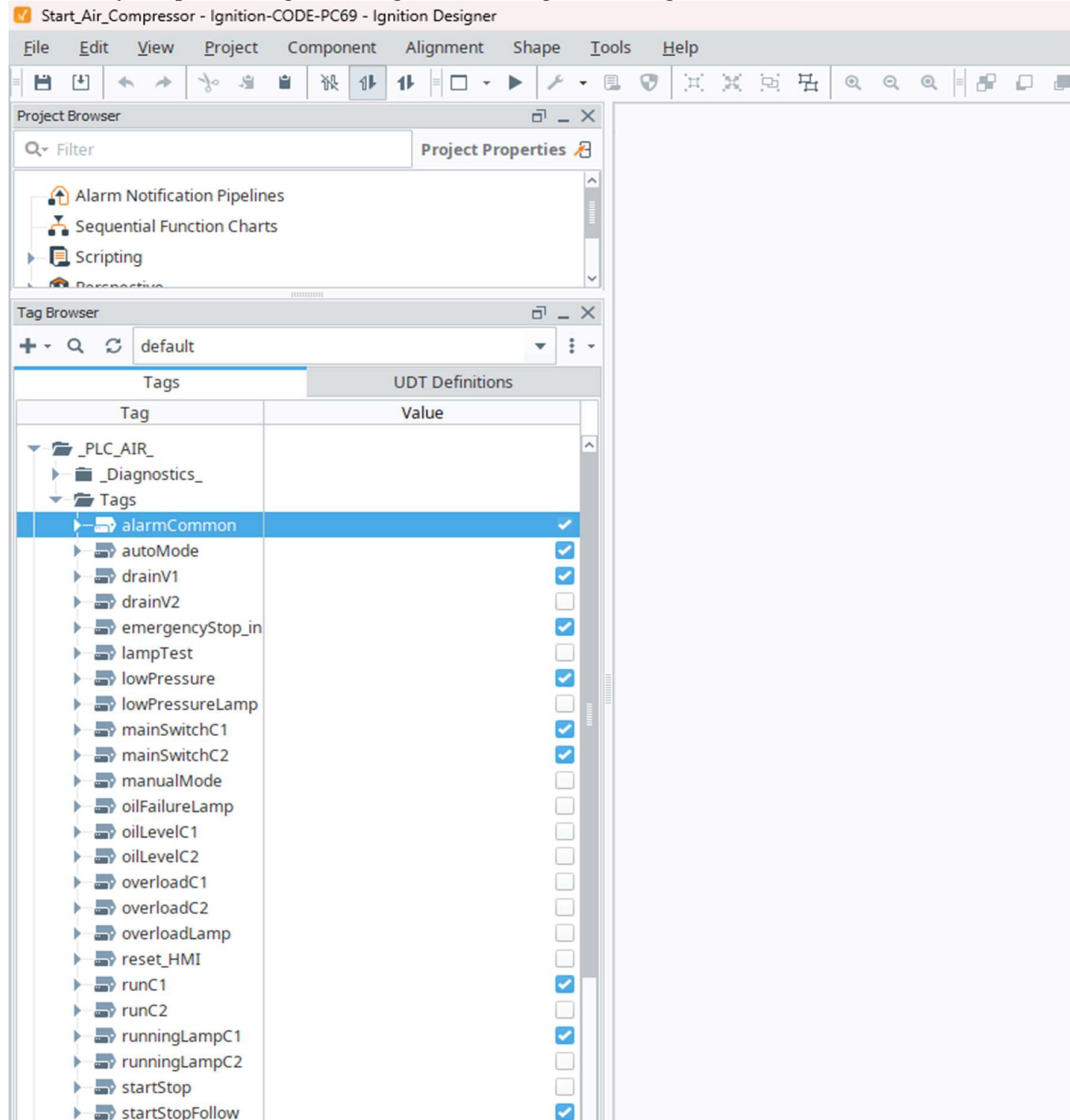
Nota. Captura de pantalla de la configuración de un tag de una salida digital en Ignition Designer.

Elaboración propia.

Adicionalmente, se mapearon variables asignadas a bloques de datos (DB) del PLC. Para la alarma de bajo nivel de aceite del compresor 1, asociada a la dirección %DB1.DBX3.6, se creó el tag oilLevelC1. En este caso, el OPC Item Path se configuró como [PLC_AIR]DB1,X3.6, permitiendo la supervisión de estados internos de la lógica de control, tal como se detalla en la Figura 9.

Figura 10

Estructura jerárquica de tags en el Tag Browser de Ignition Designer

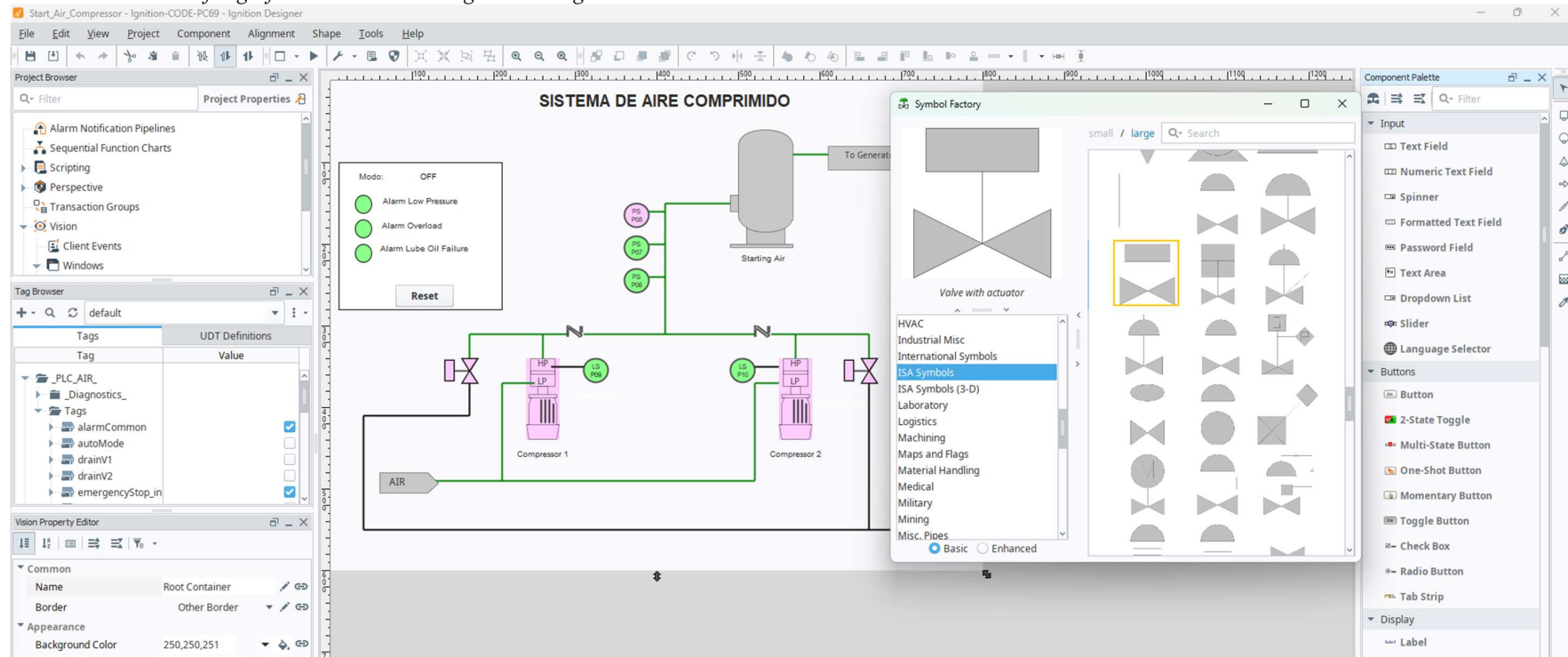


Nota. Captura de la vista de las variables organizadas en el árbol de tags de Ignition. Elaboración propia.

El desarrollo de la interfaz HMI se realizó en el entorno Vision de Ignition, donde se agregó una ventana nueva (TSA 901) para el despliegue del sistema. Mediante la librería de componentes, se representaron los dispositivos del skid de aire comprimido, vinculando sus propiedades visuales a las variables del PLC. Esto permite que los símbolos de compresores y válvulas cambien de color dinámicamente según su estado operativo, como se ilustra en la Figura 11

Figura 11

Desarrollo de la interfaz gráfica en el entorno de Ignition Designer

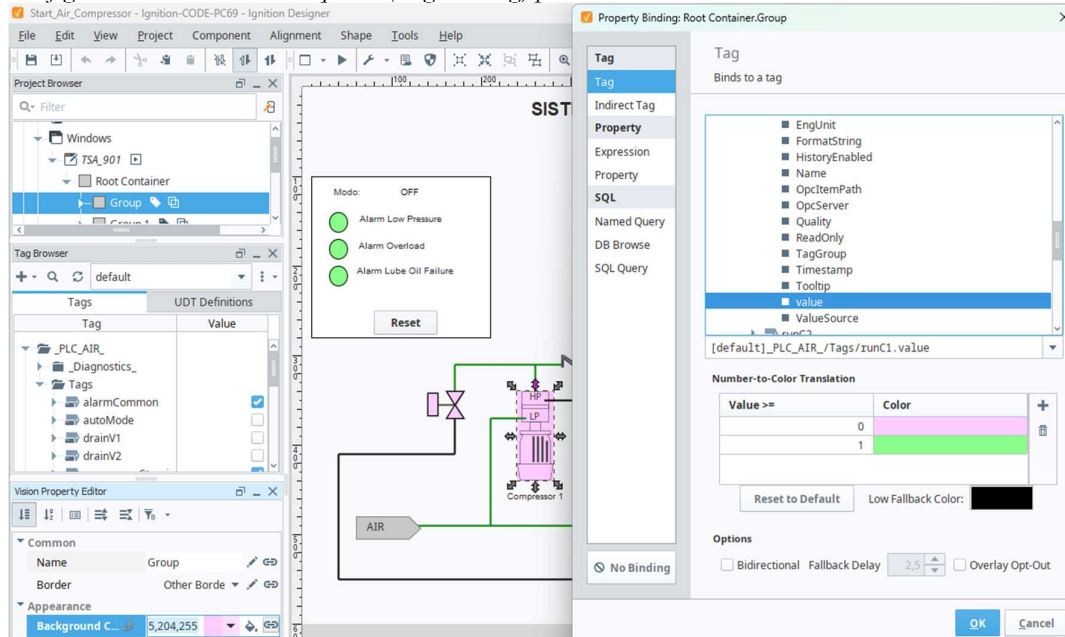


Nota. Vista del espacio de trabajo donde se integran componentes dinámicos de compresores y sensores. Elaboración propia.

Para representar dinámicamente el estado del equipo, se configuró un enlace de datos (Tag Binding) en la propiedad de color de fondo (Background Color) del objeto. Utilizando el Vision Property Editor, se vinculó el tag [default]_PLC_AIR_/Tags/runC1.value al componente, estableciendo una lógica de color mediante estados: el color rosa representa el valor 0 (apagado) y el verde el valor 1 (encendido). Este procedimiento de animación, que asegura la retroalimentación visual inmediata para el operador, se detalla en la Figura 12.

Figura 12

Configuración de enlace de etiquetas (Tag Binding) para la animación de estados

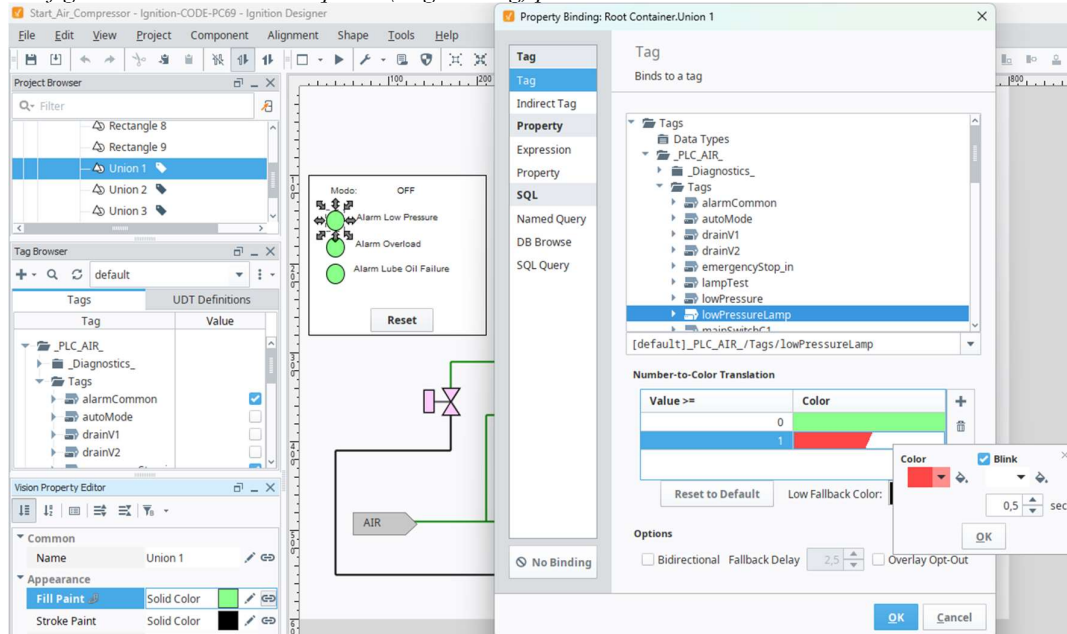


Nota. Captura de pantalla de la interfaz de Ignition Designer donde se aprecia la asignación de colores dinámicos al tag runC1 mediante el editor de propiedades. Elaboración propia.

Para asegurar una supervisión eficaz de alarmas, se implementó una animación de estado en el componente visual mediante la vinculación del tag ([default]_PLC_AIR_/Tags/lowPressureLamp.value). El proceso, realizado en el Vision Property Editor, consistió en asignar el color verde para el estado lógico 0 (estado normal) y el color rojo intermitente para el estado lógico 1 (estado alarmado), facilitando la identificación de alarmas. El procedimiento técnico y la configuración de las propiedades de apariencia se describen en la Figura 13.

Figura 13

Configuración de enlace de etiquetas (Tag Binding) para la animación de alarmas



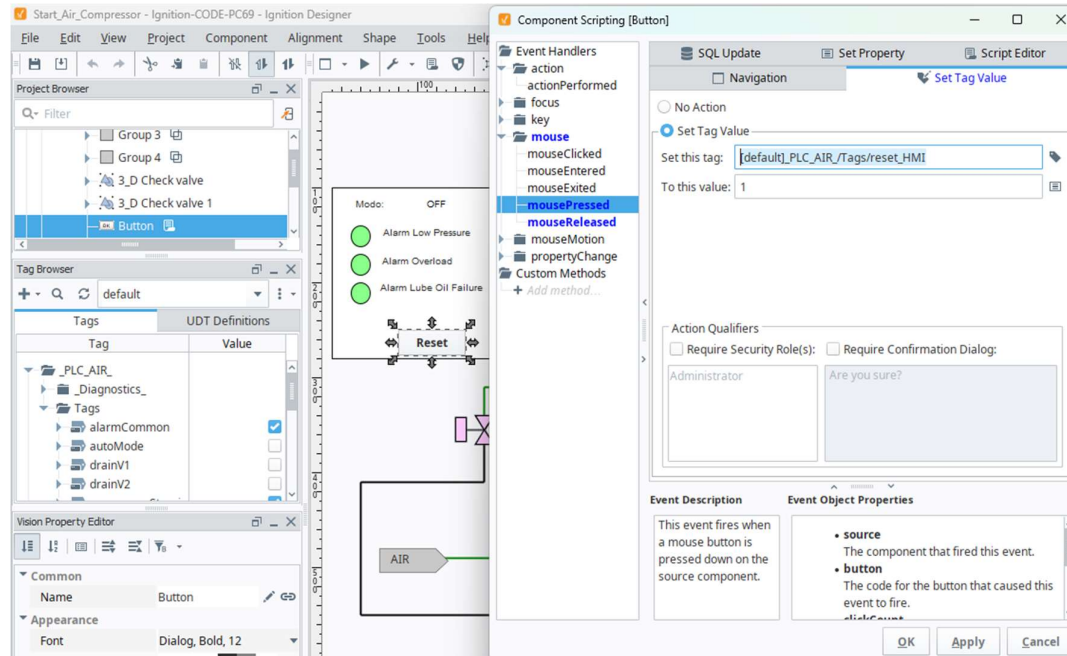
Nota. Captura de pantalla de la interfaz de Ignition Designer donde se aprecia la asignación de colores dinámicos al tag lowPressureLamp mediante el editor de propiedades. Elaboración propia.

Con el propósito de optimizar la interactividad y la seguridad en la gestión de eventos críticos, se integró en la interfaz HMI un componente de control dedicado al restablecimiento de alarmas. Este botón fue diseñado bajo la lógica de un pulsador momentáneo, garantizando que la señal de acuse de recibo no permanezca enclavada involuntariamente en la memoria del controlador. La implementación técnica se llevó a cabo mediante el editor de Component Scripting en Ignition, donde se programaron controladores de eventos específicos para interactuar con la base de datos de etiquetas. A través de la función Set Tag Value, se vinculó el tag [default]_PLC_AIR_/Tags/reset_HMI para que responda a la actividad del botón físico: se definió el envío de un valor lógico alto (1 o TRUE) al activarse el evento mousePressed, y un retorno inmediato a un valor lógico bajo (0 o FALSE) mediante el evento mouseReleased. Esta configuración, detallada en la Figura 14, asegura que la variable de reset en el PLC solo sea flanqueada mientras el operador mantiene la presión física sobre el objeto gráfico. Este método no solo emula con precisión el comportamiento

de un pulsador físico, sino que también previene errores de lógica en el programa del PLC al asegurar que el bit de reset sea liberado automáticamente tras la interacción, permitiendo una supervisión remota confiable y alineada con la filosofía de operación del skid de aire comprimido.

Figura 14

Configuración de evento del objeto para reset de alarma



Nota. Captura de pantalla de la interfaz de programación de eventos en Ignition Designer. Se ilustra la asignación de valores booleanos a los eventos del ratón para el control del tag de restablecimiento. Elaboración propia.

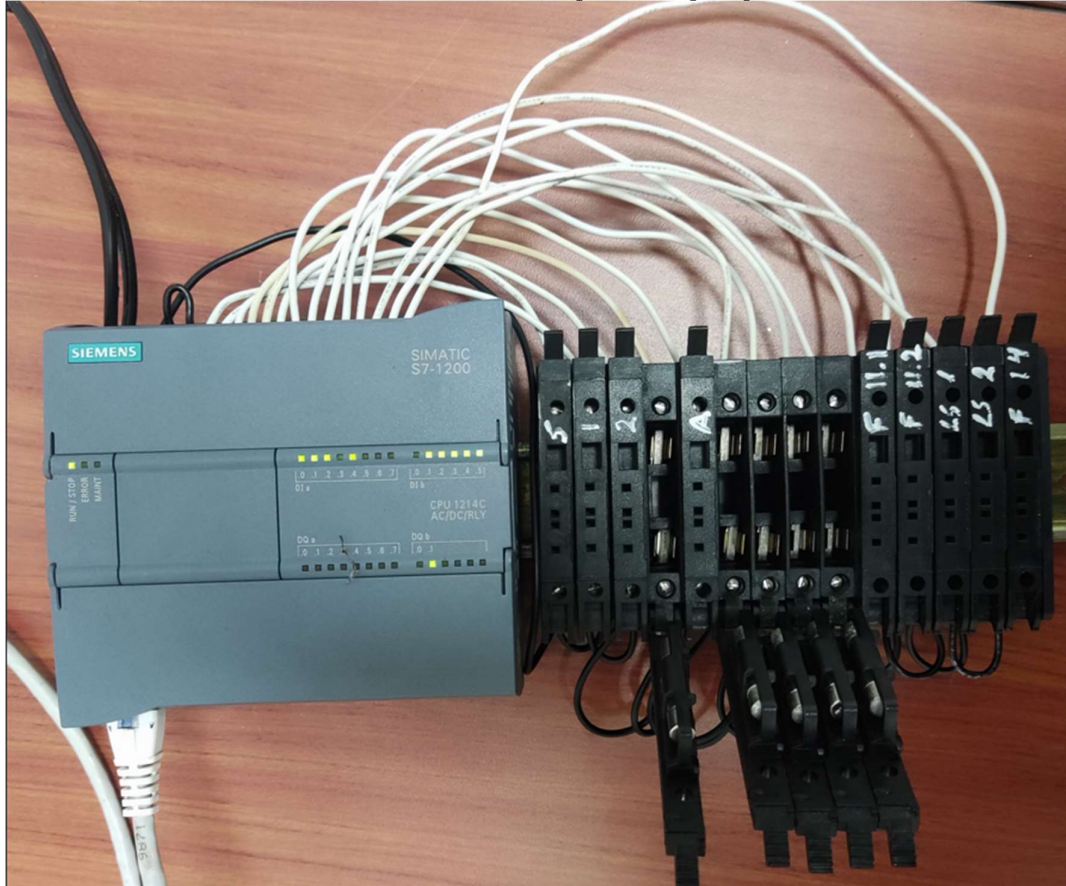
5.6. Pruebas de comunicación y funcionalidad

"Previo a la implementación en campo, se llevaron a cabo rigurosas pruebas de aceptación en fábrica (FAT, Factory Acceptance Tests) con el objetivo de garantizar la integridad del sistema y la confiabilidad de la lógica programada. Este proceso de validación inició con la compilación y transferencia programa al PLC utilizando la plataforma TIA Portal. Una vez cargado el programa, se procedió con la ejecución de un protocolo de pruebas estructurado metódicamente en una lista de verificación (Anexo 2). Durante esta etapa, se realizó la simulación de entradas digitales, siguiendo estrictamente los escenarios definidos en la filosofía de operación. Este procedimiento permitió constatar que las salidas físicas y las variables internas reaccionaran en tiempo real según

la lógica de control programada, validando así la seguridad operativa del sistema (ver Figura 15).

Figura 15

Simulación de señales de entrada mediante hardware de protección para pruebas FAT



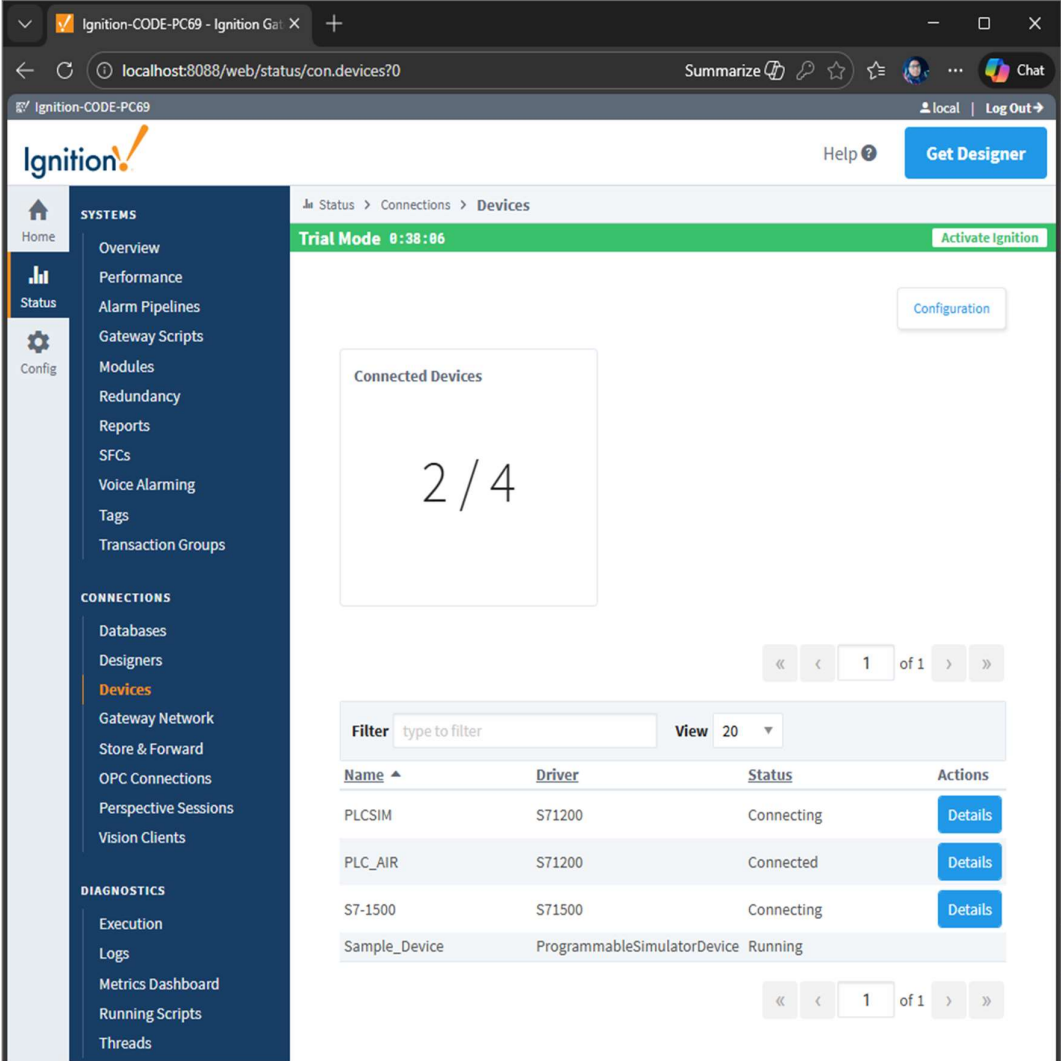
Nota. El registro fotográfico muestra el uso de portafusibles para el forzado manual de las entradas digitales del PLC S7-1200. Este procedimiento permitió validar físicamente la respuesta de la lógica de control frente a las condiciones descritas en la filosofía de operación. Elaboración propia.

Complementariamente, se verificó la robustez de la capa de comunicación industrial mediante la validación del enlace OPC UA entre el servidor SCADA y el controlador. Se ratificó la estabilidad de la red y el intercambio de datos en tiempo real al confirmar el estado 'Connected' del dispositivo dentro de la sección de diagnóstico Status/ Devices del Ignition Gateway. Esta inspección, detallada en la Figura 17, certificó que el

driver de comunicación mantenía una latencia adecuada y una disponibilidad de lectura/escritura óptima, asegurando la interoperabilidad entre el hardware Siemens y el entorno Ignition antes de su despliegue final.

Figura 16

Estado de conexión del dispositivo PLC_AIR en Ignition Gateway



Nota. Captura de pantalla de la sección de diagnóstico del servidor Ignition. El estado "Connected" ratifica la estabilidad del enlace OPC UA y la correcta configuración de los parámetros de red con el controlador Siemens S7-1200. Elaboración propia.

Con el fin de verificar la operatividad de la interfaz hombre-máquina (HMI), se procedió al despliegue del entorno de producción mediante el Vision Client Launcher. El acceso a la aplicación denominada Start_Air_Compressor se realizó tras la autenticación

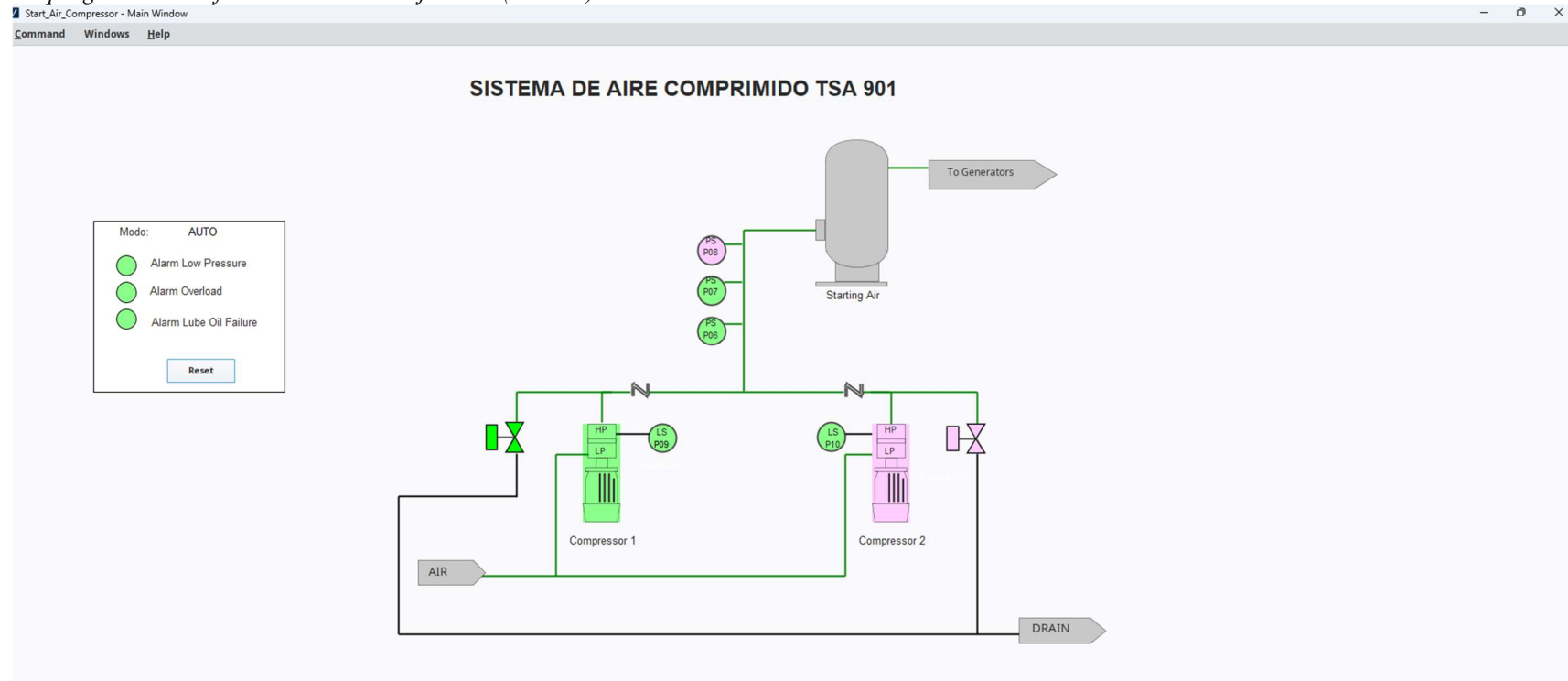
de las credenciales de operador asignadas (usuario: local; contraseña: Lobo2895@). Una vez establecida la sesión y el enlace de datos con el servidor, la plataforma permitió la supervisión en tiempo real de toda la instrumentación del sistema. Esta fase de visualización resultó determinante durante el desarrollo del protocolo de pruebas FAT. La interfaz facilitó la monitorización precisa del estado operativo de los compresores, electroválvulas y sensores, así como la confirmación de los modos de operación (Manual/Automático) seleccionados desde el PLC. Gracias a la alta fidelidad de la telemetría desplegada, fue posible constatar la respuesta dinámica del sistema frente a cada escenario simulado, asegurando que el comportamiento gráfico del SCADA guardara una correlación exacta con la lógica de control ejecutada en el hardware Siemens. Los resultados de esta integración y el despliegue final de la interfaz se documentan detalladamente en la Figura 17.

En concordancia con los procedimientos de migración de sistemas de control industrial, se procedió a la actualización de la documentación técnica esencial. De manera paralela al desarrollo del software, se desarrollaron nuevos diagramas de conexionado para las entradas (Figura 19) y salidas digitales (Figura 20). Estos planos fueron generados tomando como referencia la ingeniería original del fabricante, pero adaptados meticulosamente a la arquitectura del nuevo hardware.

La actualización consistió en el mapeo preciso del direccionamiento lógico (ej. de la nomenclatura antigua a la del S7-1200) y la especificación de la distribución física de los terminales del controlador Siemens S7-1200. Esta revisión de la ingeniería no solo asegura la trazabilidad de las señales, sino que también minimiza los riesgos de error durante la transición. El objetivo principal de estos diagramas es servir como guía técnica definitiva y certificada para los trabajos de montaje, instalación y cableado en campo, garantizando una puesta en marcha segura y eficiente del sistema modernizado.

Figura 17

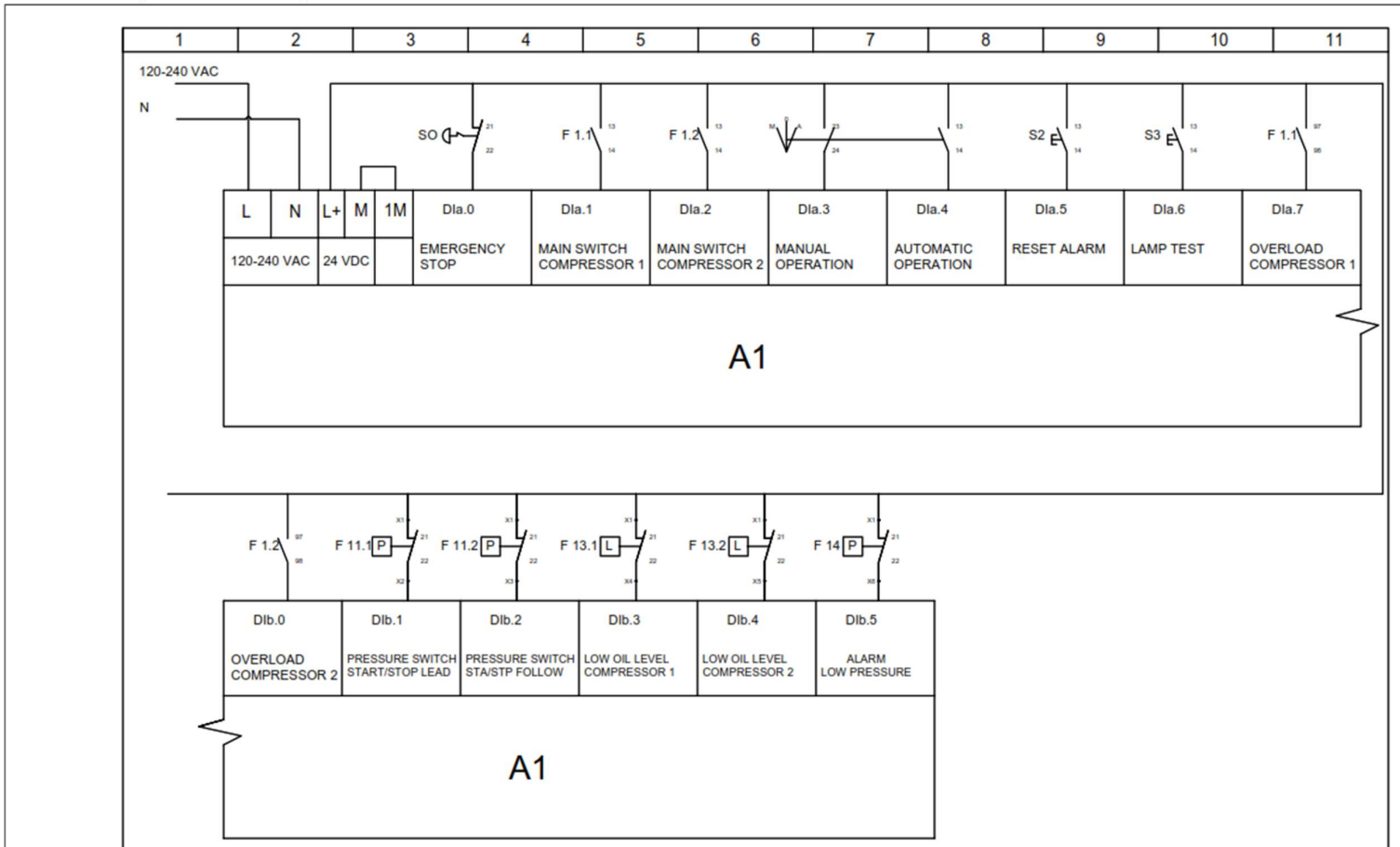
Despliegue de la interfaz HMI en modo de ejecución (Runtime)



Nota. Vista principal de la aplicación operativa donde se visualiza el flujo de proceso y el estado de los componentes del skid de aire comprimido durante la fase de validación. Elaboración propia.

Figura 18

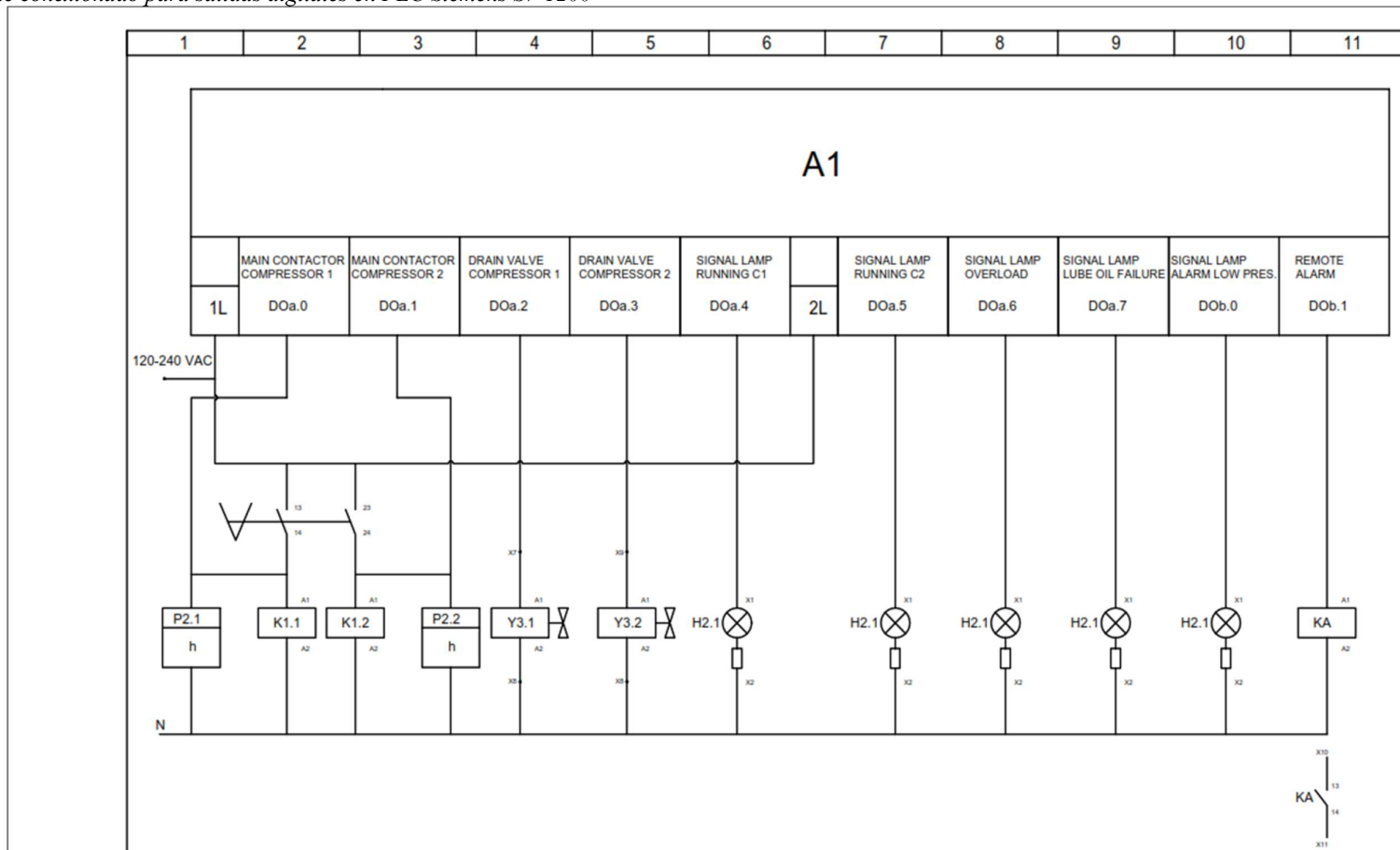
Diagrama de conexionado para entradas digitales en PLC Siemens S7-1200



Nota. El esquema detalla la migración de las señales de campo desde los planos originales hacia el nuevo direccionamiento del hardware S7-1200. Elaboración propia.

Figura 19

Diagrama de conexionado para salidas digitales en PLC Siemens S7-1200



Nota. Distribución de terminales para la activación de actuadores y elementos de señalización del sistema, adaptada a los terminales del nuevo controlador. Elaboración propia.

6 RESULTADOS

6.2. Resultados

A través del proceso de repotenciación, se logró modernizar el control del skid de aire comprimido mediante la implementación de un PLC Siemens S7-1200, seleccionado por su capacidad para gestionar las entradas y salidas requeridas por el sistema, así como por su compatibilidad con comunicación industrial y monitoreo remoto aplicados al control del sistema existente. El levantamiento técnico permitió identificar que el sistema original operaba con 14 entradas digitales y 10 salidas digitales, información que sirvió de base para dimensionar el nuevo controlador y garantizar la conservación de la lógica de operación del sistema original.

El programa de control fue desarrollado en lenguaje Ladder mediante ingeniería inversa y tomando como referencia la filosofía de funcionamiento del sistema original. Esta lógica permitió mantener las funciones principales del skid, tales como la operación manual y automática, el arranque y parada de compresores, la alternancia LEAD/FOLLOW y la activación de alarmas y protecciones asociadas a sobrecarga, bajo nivel de aceite y baja presión. Asimismo, se diseñó una interfaz HMI en la plataforma Ignition, integrada al PLC mediante comunicación OPC UA. Esta interfaz permitió visualizar en tiempo real los estados operativos del sistema, las señales de entrada y salida, las alarmas y los comandos principales de supervisión. De esta manera, se facilitó el monitoreo remoto del skid desde el cuarto de control, mejorando el tiempo de respuesta del operador frente a condiciones normales o anómalas de operación.

Finalmente, se realizaron pruebas de comunicación y funcionalidad que confirmaron que tanto el controlador y la lógica programada como la interfaz HMI respondieron adecuadamente ante la simulación de señales digitales. Las pruebas FAT validaron la correcta activación de salidas, la visualización de estados, la gestión de alarmas y la estabilidad de la comunicación entre el PLC y el sistema SCADA. Por tanto, la repotenciación permitió mejorar la confiabilidad, conectividad y supervisión del sistema de aire comprimido para su operación definitiva.

6.2. Discusión de resultados

¡Los resultados obtenidos en la presente investigación pusieron de manifiesto que la renovación del sistema de control y monitoreo remoto del skid de aire comprimido permitió superar las limitaciones derivadas de la obsolescencia del PLC Siemens LOGO!

230RC, mejorando notablemente las capacidades de supervisión, conectividad y fiabilidad operativa del sistema. La selección del PLC Siemens S7-1200 permitió dotar al sistema de funcionalidades modernas de comunicación industrial e integración SCADA que no estaban disponibles en el sistema original, garantizando la continuidad operativa del skid dentro de un entorno industrial crítico.

El levantamiento de información y la evaluación del sistema existente evidenciaron que el controlador original disponía de 14 entradas digitales y 10 salidas digitales, requerimientos que fueron satisfechos adecuadamente por el nuevo PLC seleccionado. Tal como se señaló anteriormente, este resultado demuestra que el procedimiento de dimensionamiento y selección del controlador fue adecuado para mantener la filosofía de operación original del sistema, incorporando adicionalmente capacidades de comunicación mediante Ethernet industrial y protocolo OPC UA. En este sentido, los resultados son congruentes con lo planteado por Seung-Yong y Minyoun (2022), quienes sostienen que la integración de tecnologías modernas de comunicación industrial constituye una alternativa eficiente para la reingeniería de sistemas automatizados obsoletos sin necesidad de sustituir completamente la infraestructura industrial existente.

Asimismo, mediante un proceso de ingeniería inversa fue posible reconstruir la lógica de funcionamiento del skid de aire comprimido, respetando las secuencias automáticas, protecciones y condiciones operativas del sistema original. La validación funcional permitió comprobar que las secuencias de arranque y parada, la alternancia LEAD/FOLLOW y la activación de alarmas operaban correctamente. Estos resultados evidencian que la ingeniería inversa constituye una metodología aplicable en proyectos de modernización industrial cuando existe escasa documentación técnica o los sistemas originales presentan limitaciones tecnológicas. Además, los hallazgos obtenidos son coherentes con lo planteado por Garcia (2011), quien considera que la repotenciación industrial contribuye a prolongar la vida útil de los sistemas automatizados mediante el aprovechamiento de la infraestructura existente y la incorporación de tecnologías actuales.

Por otra parte, la incorporación del sistema SCADA Ignition mediante comunicación OPC UA permitió implementar funciones de monitoreo remoto y visualización en tiempo real de variables operativas, estados y alarmas del sistema. La interfaz HMI desarrollada favoreció la supervisión del skid desde la sala de control, proporcionando mayores facilidades para la operación y centralización del proceso

automatizado. Esta situación demuestra la relevancia de las plataformas SCADA modernas en los sistemas industriales, debido a que, como señalan Barriga-León y Villarreal-Esquivel (2021), la integración PLC–SCADA favorece la supervisión y el control de procesos automatizados, además de contribuir al incremento de la seguridad operativa y la disponibilidad de información en tiempo real.

De igual manera, las pruebas FAT y las simulaciones de señales digitales permitieron verificar la estabilidad de la comunicación OPC UA y la correcta ejecución de la lógica de control antes de la instalación definitiva del sistema. La validación funcional demostró que el sistema respondía adecuadamente ante condiciones operativas, alarmas y activación de señales digitales, garantizando la integridad del proceso automatizado y reduciendo la probabilidad de errores operativos. Estos resultados evidencian que la aplicación de pruebas funcionales y simulaciones constituye una etapa indispensable en los proyectos de automatización industrial, debido a que permite validar la robustez y seguridad del sistema antes de su puesta en marcha.

En términos generales, la investigación permitió demostrar que la repotenciación del sistema de control y supervisión remota del skid de aire comprimido posibilitó la modernización de un sistema industrial mediante la incorporación de tecnologías actuales asociadas con la automatización industrial y la Industria 4.0. La solución implementada permitió mejorar la conectividad, la supervisión remota y la confiabilidad operativa del sistema, constituyéndose como una alternativa técnica y económicamente viable frente a la sustitución total de la infraestructura industrial existente.

7 CONCLUSIONES

Las conclusiones de este trabajo de titulación responden de manera directa al objetivo general de repotenciar el sistema de control y monitoreo remoto de un skid de aire comprimido, demostrando la viabilidad y efectividad de la metodología aplicada:

El proyecto cumplió satisfactoriamente con su objetivo principal al sustituir el PLC obsoleto Siemens LOGO 230RC por un controlador S7-1200 moderno. Esta acción superó la problemática de la obsolescencia tecnológica, garantizando la continuidad operativa del equipo crítico.

Se logró establecer un sistema de monitoreo remoto eficaz. La implementación del protocolo OPC UA permitió una integración SCADA robusta en la plataforma Ignition, habilitando la supervisión y operación centralizada desde la sala de control mediante la interfaz HMI desarrollada.

Mediante la aplicación de ingeniería inversa sobre la documentación funcional original, se reconstruyó la lógica de control en lenguaje Ladder. Las pruebas de aceptación en fábrica (FAT) certificaron que esta lógica es segura y se correlaciona exactamente con el comportamiento físico del sistema.

La actualización de los diagramas de conexión (Figura 19 y 20) y la documentación técnica asociada al hardware S7-1200 estandarizan el sistema. Esto asegura la trazabilidad de las señales y proporciona una guía técnica definitiva para futuros trabajos de instalación y mantenimiento, alineando el activo con los estándares de la Industria 4.0.

8 RECOMENDACIONES

Fundados en los resultados obtenidos de la repotenciación del sistema de control y monitoreo remoto para el skid de aire comprimido, se sugiere implementar un plan de mantenimiento preventivo y predictivo destinado tanto al hardware como al software del sistema automatizado. Este planteamiento deberá comprender revisiones periódicas del PLC Siemens S7-1200, para realizar la verificación de la comunicación OPC UA, la validación de sensores de presión y nivel, así como copias de seguridad programadas de la lógica implementada en TIA Portal y de la configuración del sistema SCADA Ignition, con el propósito de garantizar la continuidad operativa y minimizar las posibilidades de fallos inesperados.

Se sugiere ampliar la integración del sistema mediante la incorporación de variables analógicas y elementos inteligentes compatibles con protocolos modernos de aplicaciones industriales que permitan disponer de información más detallada sobre presión, temperatura, consumo energético y estados operativos de los compresores. Esto ayudará a facilitar la futura implementación de estrategias de mantenimiento predictivo apoyadas en el análisis de datos, además de contribuir a la mejora de la infraestructura hacia entornos compatibles con la Industria 4.0.

Se recomienda implementar medidas de ciberseguridad industrial en la red de comunicación entre el PLC, el servidor OPC UA y el sistema SCADA mediante mecanismos como el control de accesos, la autenticación de usuarios, la segmentación de red y el monitoreo del tráfico industrial, con el objetivo de proteger la integridad del sistema frente a accesos no autorizados o amenazas asociadas a la interconectividad remota.

Igualmente, se recomienda fortalecer la capacitación periódica del personal técnico-operativo responsable del sistema, especialmente en programación básica de PLC Siemens, administración del software Ignition y pruebas de diagnóstico de fallas. La formación continua contribuirá a reducir el tiempo de respuesta frente a incidentes, mejorar la operación del skid y asegurar una adecuada interpretación de alarmas y estados operativos en la interfaz HMI desarrollada.

Por último, se recomienda considerar futuras investigaciones orientadas a la automatización avanzada del sistema, incorporando herramientas de monitoreo en la nube, análisis de datos en tiempo real e inteligencia artificial aplicada al diagnóstico de fallas, con el propósito de incrementar la confiabilidad operativa, optimizar el consumo

energético y fortalecer la operatividad de sistemas industriales críticos dentro de centrales térmicas.

9 REFERENCIAS

- Alvear-Romero, C., & Arellano-Sangacha, L. (2025). Desarrollo de un controlador lógico programable con capacidades IoT mediante el uso de software libre [Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)].
<https://repositorio.utc.edu.ec/handle/123456789/14470>
- Barriga-León, P., & Villarreal-Esquivel, M. (2021). Diseño y simulación de una línea de producción empleando protocolos de comunicación industrial (IIoT) para el control y monitoreo de sistemas de automatización heterogéneos.
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/36562>
- Barthelemy-Candela, G. (2021). Desarrollo de un sistema sostenible de almacenamiento energético de aire comprimido [Phd, E.T.S.I de Minas y Energía].
<https://oa.upm.es/69218/>
- Cóndor-Chuqui, D. (2019). AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL MEDIANTE UN PLC, INTERFACE HMI Y CONTROL REMOTO DESDE DISPOSITIVOS MÓVILES [bachelorThesis, Quito]. <https://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/2089>
- García, O. (2011). Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial. Principios fundamentales. Ediciones de la U.
- Giraldo, S., & Mauricio, A. (2026). Análisis de sistemas SCADA para el control y monitoreo de subestaciones eléctricas de media tensión.
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/79188>
- Machado-Moreno, J. (2010). Automatización de los procesos productivos en la planta II división partes y piezas para la Empresa Indurama S. A.
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2627>
- Pereyra, L. (2022). Metodología de la investigación.
https://www.google.com.ec/books/edition/Metodolog%C3%ADa_de_la_investigaci%C3%B3n/6e-KEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0
- Seung-Yong, L., & Minyoung, S. (2022). RPC-Based OPC-UA Agent for Legacy PLCs. IEEE International Conference on Emerging Technologi.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/9921581>
- Siemens. (2014). SIMATIC S7-1200 Sistema de automatización, Manual de sistema (A5E02486683-AG). Siemens AG.

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/622/91696622/att_42774/v1/s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf

Siemens. (2022). 6ED1052-1FB00-0BA6. España.

<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ED1052-1FB00-0BA6>

Sperre. (1997). TSA 901 STARTING AIR UNIT 2 x HL2/77, HL2/90, HL2/105 PI-DIAGRAM W/2 x EL.MOTOR [Plano técnico]. Ellingsoy, Noruega.

Sperre. (2002a). Program Description [Documento técnico]. Ellingsoy, Noruega.

Sperre. (2002b). WIRING DIAGRAM CONTROL CIRCUIT [Plano técnico]. Ellingsoy, Noruega.

Tejada-Mendoza, L., & Salazar-Revoredo, E. (2025). Modelo de automatización de pruebas de APIs utilizando herramientas de inteligencia artificial para optimización de procesos de desarrollo en fábricas de software. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/687926>

10 ANEXOS

Anexo 1: Programa del PLC

start_air_compressor

Table of contents

PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	3 - 1
Program blocks	
Main [OB1]	4 - 1
DB1 [DB1]	5 - 1
System blocks	
Program resources	
T1_Drain1 [DB3]	6 - 1
T2_Drain2 [DB4]	7 - 1
T3_AutoRestart [DB5]	8 - 1
T_LS1 [DB6]	9 - 1
T_LS2 [DB7]	10 - 1
TFH [DB2]	11 - 1
TFL [DB8]	12 - 1
Technology objects	13 - 1
PLC tags	
Default tag table [61]	
PLC tags	14 - 1
User constants	15 - 1
PLC data types	
System data types	16 - 1
Watch and force tables	
Force table	17 - 1
PLC alarm text lists	18 - 1
Local modules	
PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	19 - 1

PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]

PLC_1

Project information

Name	PLC_1	Author	PC
Comment		Slot	1
Rack	0		

Catalog information

Short designation	CPU 1214C AC/DC/Rly	Description	Work memory 75 KB; 120/240VAC power supply with DI14 x 24VDC SINK/SOURCE, DQ10 x relay and AI2 on board; 6 high-speed counters and 4 pulse outputs on board; signal board expands on-board I/O; up to 3 communication modules for serial communication; up to 8 signal modules for I/O expansion; PROFINET interface for programming, HMI and PLC to PLC communication
Article number	6ES7 214-1BG31-0XB0	Firmware version	V3.0
	False		

Connection resources

PG communication:	1	OP communication:	1
S7 basic communication:	0	S7 communication:	0
Maximum number of S7 connection resources:	32		

Overview of addresses

Inputs	True	Outputs	True
Address gaps	False	Slot	True

Totally Integrated Automation Portal										
Type	Addr. from	Addr. to	Module	PIP	Device name	Device number	Size	Master / IO system	Rack	Slot
I	0	1	DI 14/DQ 10_1	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	2 Bytes	-	0	1 1
O	0	1	DI 14/DQ 10_1	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	2 Bytes	-	0	1 1
I	64	67	AI 2_1	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	4 Bytes	-	0	1 2
I	1000	1003	HSC_1	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	4 Bytes	-	0	1 16
I	1004	1007	HSC_2	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	4 Bytes	-	0	1 17
I	1008	1011	HSC_3	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	4 Bytes	-	0	1 18
I	1012	1015	HSC_4	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	4 Bytes	-	0	1 19
I	1016	1019	HSC_5	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	4 Bytes	-	0	1 20
I	1020	1023	HSC_6	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	4 Bytes	-	0	1 21
O	1000	1001	Pulse_1	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	2 Bytes	-	0	1 32
O	1002	1003	Pulse_2	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	2 Bytes	-	0	1 33
O	1004	1005	Pulse_3	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	2 Bytes	-	0	1 34
O	1006	1007	Pulse_4	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	2 Bytes	-	0	1 35

PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Program blocks

Main [OB1]

Main Properties

General

Name	Main	Number	1	Type	OB
Language	LAD	Numbering	Automatic		

Information

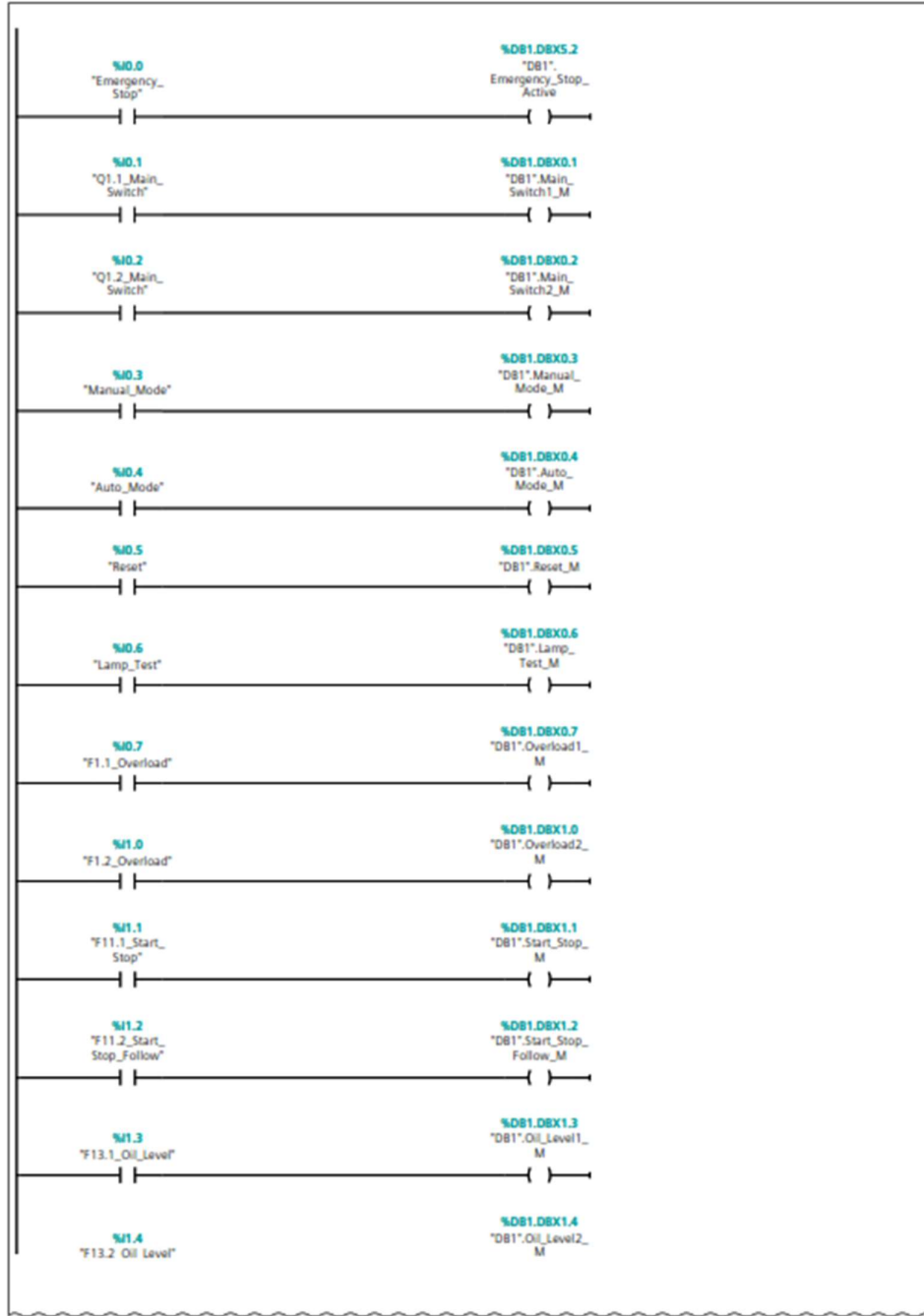
Title	"Main Program Sweep (Cycle)"	Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
Temp		
Constant		

Network 1: Mapeo de entradas

--	--	--

Network 1: Mapeo de entradas (1.1 / 2.1)

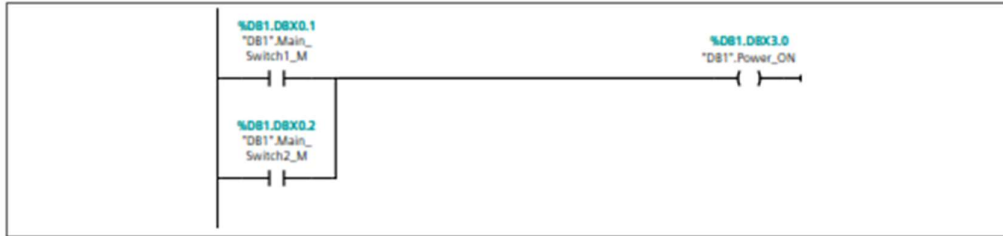


Network 1: Mapeo de entradas (2.1 / 2.1)

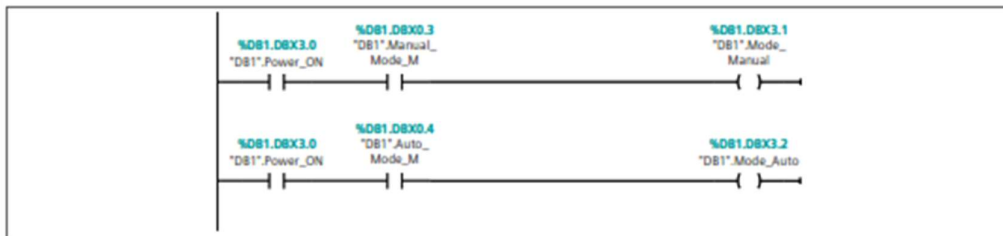
1.1 (Page4 - 2)



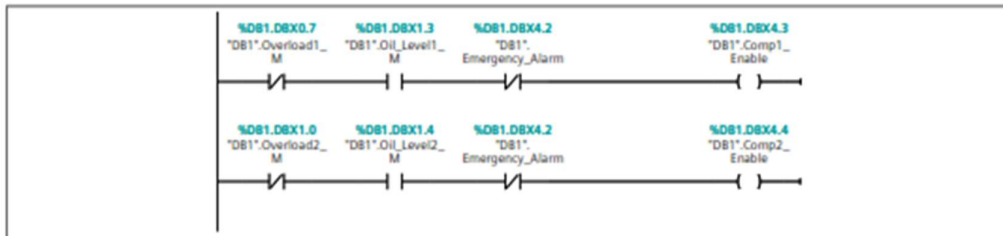
Network 2: Habilitación general de poder



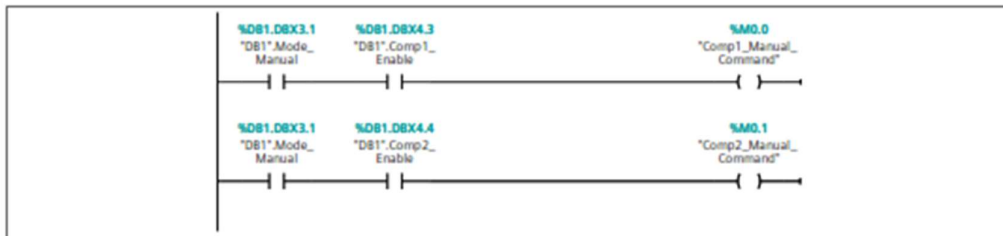
Network 3: MODOS DE OPERACIÓN



Network 4: LÓGICA DE HABILITACIÓN COMPRESORES

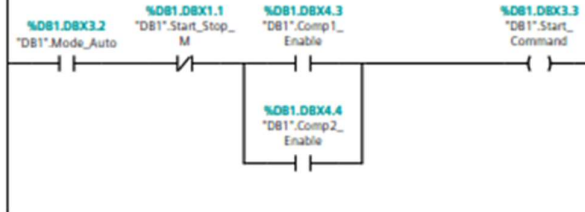


Network 5: CONTROL MANUAL

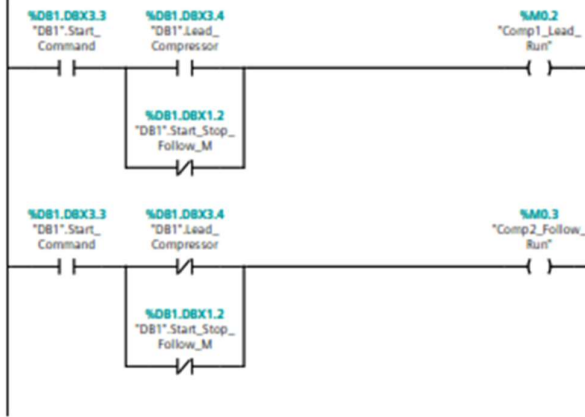


Network 6: CONTROL AUTOMÁTICO - LÓGICA DE ARRANQUE

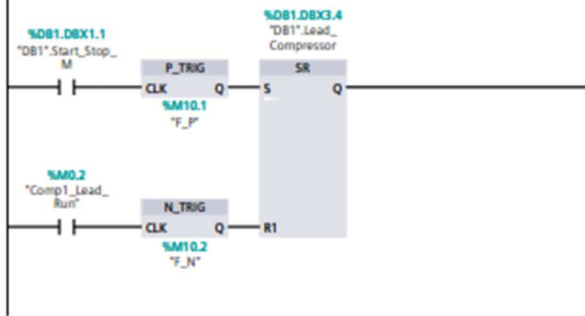




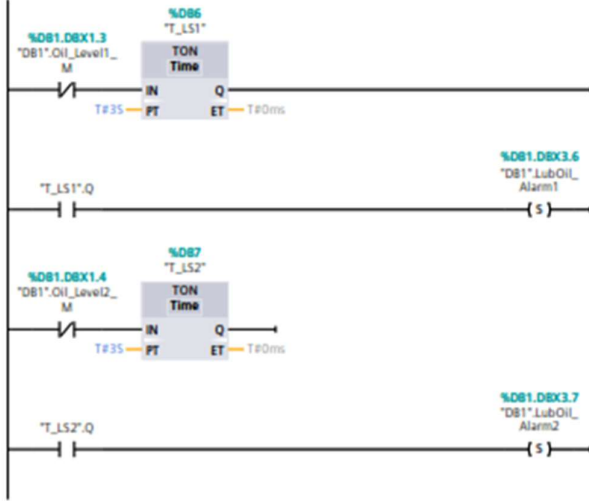
Network 7: SECUENCIA LEAD/FOLLOW



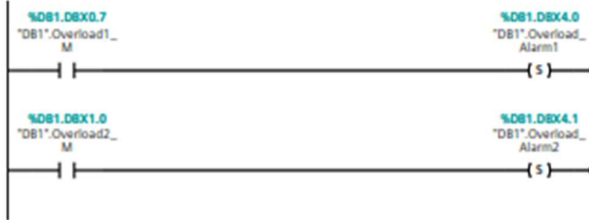
Network 8: ALTERNANCIA LEAD/FOLLOW



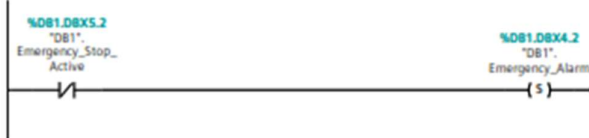
Network 9: ALARMAS - FALLO ACEITE



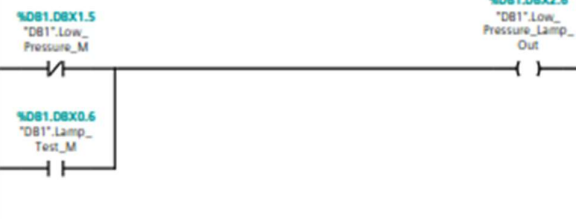
Network 10: ALARMAS - SOBRECARGA



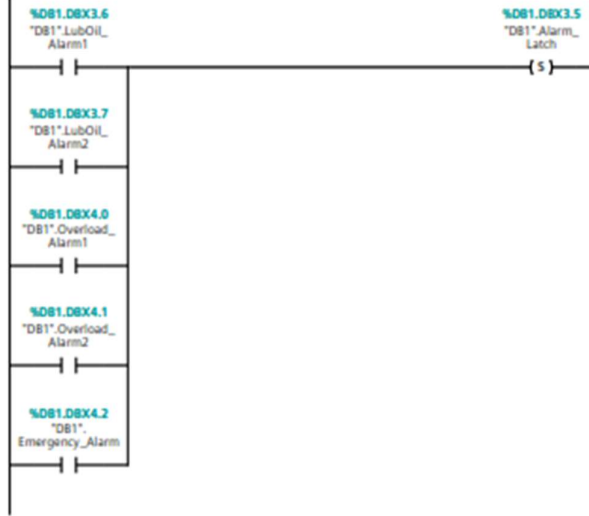
Network 11: PARADA DE EMERGENCIA



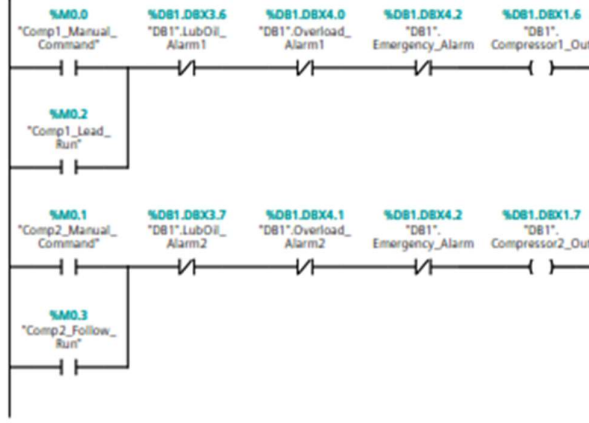
Network 12: BAJA PRESIÓN

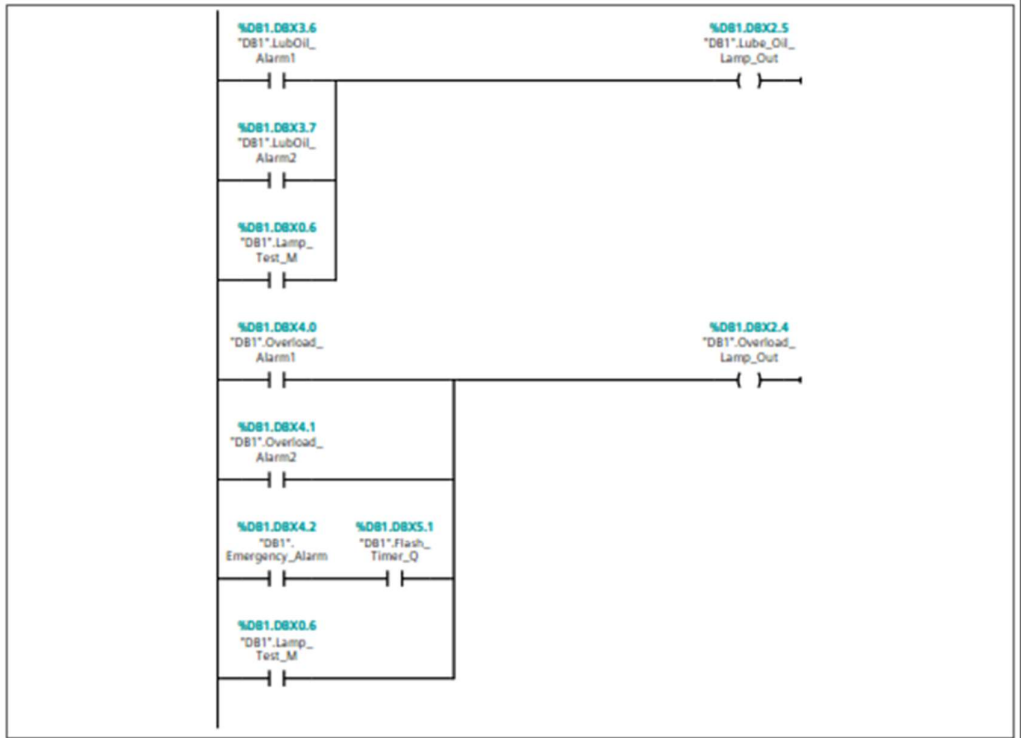


Network 13: LATCH DE ALARMA GENERAL

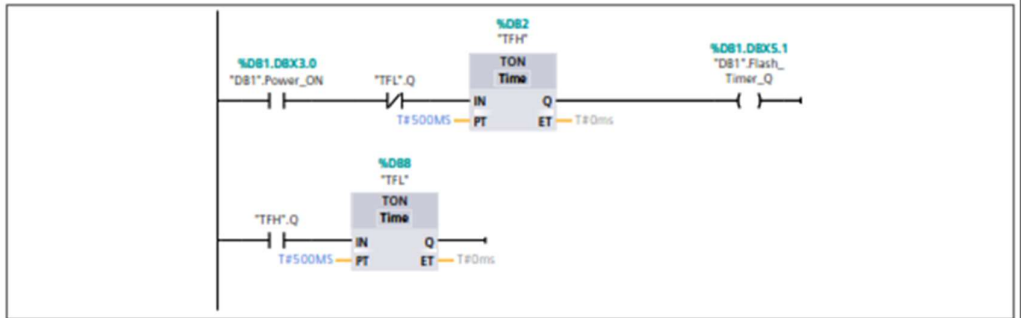


Network 14: COMANDOS FINALES COMPRESORES



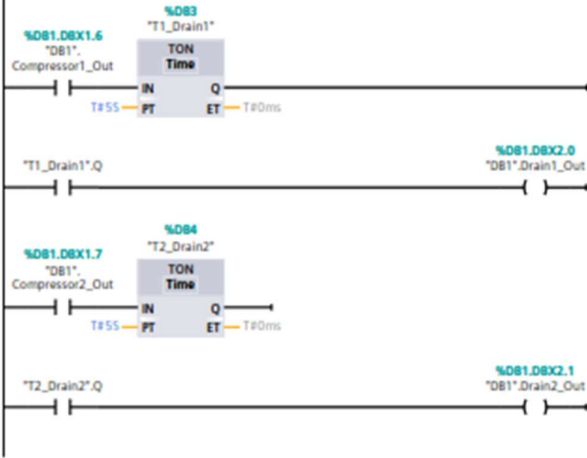


Network 17: TIMER FLASH

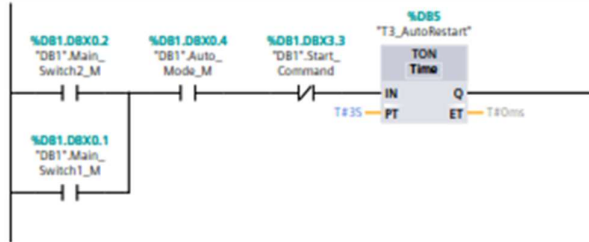


Network 18: VÁLVULAS DE DRENAJE





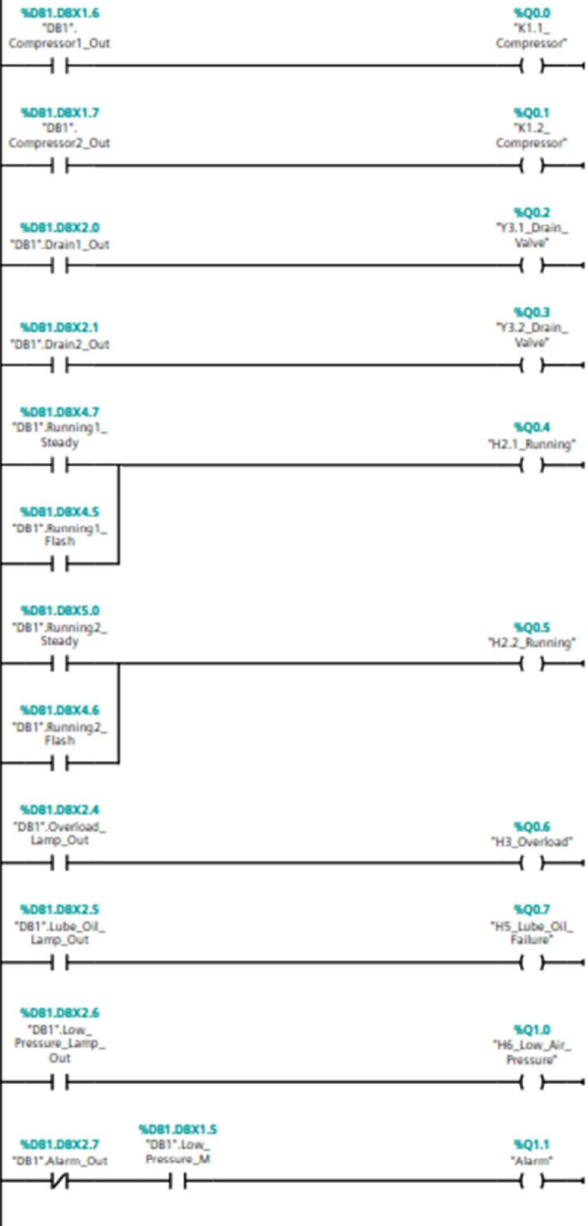
Network 19: AUTO-RESTART



Network 20: SEÑAL DE ALARMA



Network 21: MAPEO DE SALIDAS A FÍSICAS



Network 22: RESET DE ALARMAS

%DB1.DBX0.5
"DB1".Reset_M

%M0.4
"Reset_HMI"

%DB1.DBX3.6
"DB1".LubOil_
Alarm1

(R)

%DB1.DBX3.7
"DB1".LubOil_
Alarm2

(R)

%DB1.DBX4.0
"DB1".Overload_
Alarm1

(R)

%DB1.DBX4.1
"DB1".Overload_
Alarm2

(R)

%DB1.DBX4.2
"DB1".
Emergency_Alarm

(R)

%DB1.DBX3.5
"DB1".Alarm_
Latch

(R)

PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Program blocks

DB1 [DB1]

DB1 Properties

General

Name	DB1	Number	1	Type	DB
Language	DB	Numbering	Automatic		

Information

Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Start value	Retain
▼ Static			
Emergency_Stop_M	Bool	false	False
Main_Switch1_M	Bool	false	False
Main_Switch2_M	Bool	false	False
Manual_Mode_M	Bool	false	False
Auto_Mode_M	Bool	false	False
Reset_M	Bool	false	False
Lamp_Test_M	Bool	false	False
Overload1_M	Bool	false	False
Overload2_M	Bool	false	False
Start_Stop_M	Bool	false	False
Start_Stop_Follow_M	Bool	false	False
Oil_Level1_M	Bool	false	False
Oil_Level2_M	Bool	false	False
Low_Pressure_M	Bool	false	False
Compressor1_Out	Bool	false	False
Compressor2_Out	Bool	false	False
Drain1_Out	Bool	false	False
Drain2_Out	Bool	false	False
Running1_Out	Bool	false	False
Running2_Out	Bool	false	False
Overload_Lamp_Out	Bool	false	False
Lube_Oil_Lamp_Out	Bool	false	False
Low_Pressure_Lamp_Out	Bool	false	False
Alarm_Out	Bool	false	False
Power_ON	Bool	false	False
Mode_Manual	Bool	false	False
Mode_Auto	Bool	false	False
Start_Command	Bool	false	False
Lead_Compressor	Bool	false	False
Alarm_Latch	Bool	false	False
LubOil_Alarm1	Bool	false	False
LubOil_Alarm2	Bool	false	False
Overload_Alarm1	Bool	false	False
Overload_Alarm2	Bool	false	False
Emergency_Alarm	Bool	false	False
Comp1_Enable	Bool	false	False
Comp2_Enable	Bool	false	False
Running1_Flash	Bool	false	False

Totally Integrated Automation Portal			
Name	Data type	Start value	Retain
Running2_Flash	Bool	false	False
Running1_Steady	Bool	false	False
Running2_Steady	Bool	false	False
Flash_Timer_Q	Bool	false	False
Emergency_Stop_Active	Bool	false	False
T1_Drain2	Int	0	False
T2_Drain3	Int	0	False
T3_AutoRestart_1	Int	0	False
Flash_Timer_1	Int	0	False
T2_Drain2	Int	0	False
T3_AutoRestart	Int	0	False
Flash_Timer	Int	0	False

PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Program blocks / System blocks / Program resources

T1_Drain1 [DB3]

T1_Drain1 Properties

General

Name	T1_Drain1	Number	3	Type	DB
Language	DB	Numbering	Automatic		

Information

Title		Author	Simatic	Comment	
Family	IEC	Version	1.0	User-defined ID	IEC_TMR

Name	Data type	Start value	Retain
▼ Static			
PT	Time	T#0ms	False
ET	Time	T#0ms	False
IN	Bool	false	False
Q	Bool	false	False

PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Program blocks / System blocks / Program resources

T2_Drain2 [DB4]

T2_Drain2 Properties

General

Name	T2_Drain2	Number	4	Type	DB
Language	DB	Numbering	Automatic		

Information

Title		Author	Simatic	Comment	
Family	IEC	Version	1.0	User-defined ID	IEC_TMR

Name	Data type	Start value	Retain
▼ Static			
PT	Time	T#0ms	False
ET	Time	T#0ms	False
IN	Bool	false	False
Q	Bool	false	False

PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Program blocks / System blocks / Program resources

T3_AutoRestart [DB5]

T3_AutoRestart Properties

General

Name	T3_AutoRestart	Number	5	Type	DB
Language	DB	Numbering	Automatic		

Information

Title		Author	Simatic	Comment	
Family	IEC	Version	1.0	User-defined ID	IEC_TMR

Name	Data type	Start value	Retain
▼ Static			
PT	Time	T#0ms	False
ET	Time	T#0ms	False
IN	Bool	false	False
Q	Bool	false	False

PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Program blocks / System blocks / Program resources

T_LS1 [DB6]

T_LS1 Properties

General

Name	T_LS1	Number	6	Type	DB
Language	DB	Numbering	Automatic		

Information

Title		Author	Simatic	Comment	
Family	IEC	Version	1.0	User-defined ID	IEC_TMR

Name	Data type	Start value	Retain
▼ Static			
PT	Time	T#0ms	False
ET	Time	T#0ms	False
IN	Bool	false	False
Q	Bool	false	False

PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Program blocks / System blocks / Program resources

T_LS2 [DB7]

T_LS2 Properties

General

Name	T_LS2	Number	7	Type	DB
Language	DB	Numbering	Automatic		

Information

Title		Author	Simatic	Comment	
Family	IEC	Version	1.0	User-defined ID	IEC_TMR

Name	Data type	Start value	Retain
▼ Static			
PT	Time	T#0ms	False
ET	Time	T#0ms	False
IN	Bool	false	False
Q	Bool	false	False

PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Program blocks / System blocks / Program resources

TFH [DB2]

TFH Properties

General

Name	TFH	Number	2	Type	DB
Language	DB	Numbering	Automatic		

Information

Title		Author	Simatic	Comment	
Family	IEC	Version	1.0	User-defined ID	IEC_TMR

Name	Data type	Start value	Retain
▼ Static			
PT	Time	T#0ms	False
ET	Time	T#0ms	False
IN	Bool	false	False
Q	Bool	false	False

PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Program blocks / System blocks / Program resources

TFL [DB8]

TFL Properties

General

Name	TFL	Number	8	Type	DB
Language	DB	Numbering	Automatic		

Information

Title		Author	Simatic	Comment	
Family	IEC	Version	1.0	User-defined ID	IEC_TMR









Name	Data type	Start value	Retain
▼ Static			
PT	Time	T#0ms	False
ET	Time	T#0ms	False
IN	Bool	false	False
Q	Bool	false	False

PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / PLC tags / Default tag table [61]

PLC tags

PLC tags				
	Name	Data type	Address	Retain
	Emergency_Stop	Bool	%I0.0	False
	Q1.1_Main_Switch	Bool	%I0.1	False
	Q1.2_Main_Switch	Bool	%I0.2	False
	Manual_Mode	Bool	%I0.3	False
	Auto_Mode	Bool	%I0.4	False
	Reset	Bool	%I0.5	False
	Lamp_Test	Bool	%I0.6	False
	F1.1_Overload	Bool	%I0.7	False
	F1.2_Overload	Bool	%I1.0	False
	F11.1_Start_Stop	Bool	%I1.1	False
	F11.2_Start_Stop_Follow	Bool	%I1.2	False
	F13.1_Oil_Level	Bool	%I1.3	False
	F13.2_Oil_Level	Bool	%I1.4	False
	F14_Low_Pressure	Bool	%I1.5	False
	K1.1_Compressor	Bool	%Q0.0	False
	K1.2_Compressor	Bool	%Q0.1	False
	Y3.1_Drain_Valve	Bool	%Q0.2	False
	Y3.2_Drain_Valve	Bool	%Q0.3	False
	H2.1_Running	Bool	%Q0.4	False
	H2.2_Running	Bool	%Q0.5	False
	H3_Overload	Bool	%Q0.6	False
	H5_Lube_Oil_Failure	Bool	%Q0.7	False
	H6_Low_Air_Pressure	Bool	%Q1.0	False
	Alarm	Bool	%Q1.1	False
	Comp1_Manual_Command	Bool	%M0.0	False
	Comp2_Manual_Command	Bool	%M0.1	False
	Comp1_Lead_Run	Bool	%M0.2	False
	Comp2_Follow_Run	Bool	%M0.3	False
	Reset_HMI	Bool	%M0.4	False
	Clock_Byte	Byte	%MB3	False
	Clock_10Hz	Bool	%M3.0	False
	Clock_5Hz	Bool	%M3.1	False
	Clock_2.5Hz	Bool	%M3.2	False
	Clock_2Hz	Bool	%M3.3	False
	Clock_1.25Hz	Bool	%M3.4	False
	Clock_1Hz	Bool	%M3.5	False
	Clock_0.625Hz	Bool	%M3.6	False

Totally Integrated
Automation Portal

	Name	Data type	Address	Retain
	Clock_0.5Hz	Bool	%M3.7	False
	System_Byte	Byte	%MB2	False
	FirstScan	Bool	%M2.0	False
	DiagStatusUpdate	Bool	%M2.1	False
	AlwaysTRUE	Bool	%M2.2	False
	AlwaysFALSE	Bool	%M2.3	False
	F_P	Bool	%M10.1	False
	F_N	Bool	%M10.2	False


PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Local modules

PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]

PLC_1			
Project information			
Name	PLC_1	Author	PC
Comment		Slot	1
Rack	0		
Catalog information			
Short designation	CPU 1214C AC/DC/Rly	Description	Work memory 75 KB; 120/240VAC power supply with DI14 x 24VDC SINK/SOURCE, DQ10 x relay and AI2 on board; 6 high-speed counters and 4 pulse outputs on board; signal board expands on-board I/O; up to 3 communication modules for serial communication; up to 8 signal modules for I/O expansion; PROFINET interface for programming, HMI and PLC to PLC communication
Article number	6ES7 214-1BG31-0XB0	Firmware version	V3.0
	False		
Connection resources			
PG communication:	1	OP communication:	1
S7 basic communication:	0	S7 communication:	0
Maximum number of S7 connection resources:	32		
Overview of addresses			
Inputs	True	Outputs	True
Address gaps	False	Slot	True

Totally Integrated Automation Portal										
Type	Addr. from	Addr. to	Module	PIP	Device name	Device number	Size	Master / IO system	Rack	Slot
I	0	1	DI 14/DQ 10_1	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	2 Bytes	-	0	1 1
O	0	1	DI 14/DQ 10_1	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	2 Bytes	-	0	1 1
I	64	67	AI 2_1	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	4 Bytes	-	0	1 2
I	1000	1003	HSC_1	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	4 Bytes	-	0	1 16
I	1004	1007	HSC_2	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	4 Bytes	-	0	1 17
I	1008	1011	HSC_3	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	4 Bytes	-	0	1 18
I	1012	1015	HSC_4	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	4 Bytes	-	0	1 19
I	1016	1019	HSC_5	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	4 Bytes	-	0	1 20
I	1020	1023	HSC_6	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	4 Bytes	-	0	1 21
O	1000	1001	Pulse_1	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	2 Bytes	-	0	1 32
O	1002	1003	Pulse_2	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	2 Bytes	-	0	1 33
O	1004	1005	Pulse_3	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	2 Bytes	-	0	1 34
O	1006	1007	Pulse_4	-	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	-	2 Bytes	-	0	1 35

Anexo 2: Lista de verificaciones

		LISTA DE VERIFICACIÓN DE PRUEBAS FAT		ANEXO 2
2/1/2026 Rev. 0		Skid de aire comprimido		Hoja Nº 1 de 1
UPSE-LDV-FAT-IAC-01				
Registrar cada uno de los puntos que se muestran en la tabla que a continuación.				
Pruebas generales del sistema				
ID Prueba	Descripción de la verificación	Condición esperada	Resultado	Verificado por
PG-001	Revisión de la versión de firmware del PLC y software TIA Portal (V17).	Conforme a especificaciones.	OK	O. G.
PG-002	Descarga y compilación del programa de control al hardware.	Compilación exitosa, PLC en modo RUN.	OK	O. G.
Pruebas de Entradas/Salidas Digitales (E/S)				
ID Prueba	Descripción de la verificación	Condición esperada	Resultado	Verificado por
ES-001	Forzado manual de todas las entradas digitales (I0.0 a I1.5) en TIA Portal.	LEDs del PLC responden al forzado.	OK	O. G.
ES-002	Verificación de la activación de salidas digitales (Q0.0 a Q1.1) en TIA Portal.	Salidas se activan según lógica programada.	OK	O. G.
ES-003	Verificación de alarmas por E/S (Baja presión, Sobrecarga, Aceite).	Banderas de alarma (DB1) se activan correctamente.	OK	O. G.
Pruebas de Lógica de Control y Secuencia				
ID Prueba	Descripción de la verificación	Condición esperada	Resultado	Verificado por
PL-001	Prueba de secuencia de arranque/parada LEAD/FOLLOW (Modo Automático).	Alternancia correcta de compresores (F11.1/F11.2).	OK	O. G.
PL-002	Prueba de lógica de protecciones y enclavamientos	Compresores no arrancan con alarmas activas.	OK	O. G.
PL-003	Prueba de función de Reset de Alarma.	Reset_HMI borra banderas solo si la condición desaparece.	OK	O. G.
PL-004	Prueba de Auto-reinicio tras fallo de energía.	Retardo de arranque configurado (temporizador).	OK	O. G.
Pruebas de Comunicación OPC UA / SCADA Ignition				
ID Prueba	Descripción de la verificación	Condición esperada	Resultado	Verificado por
PC-001	Confirmación del estado del Device en Ignition Gateway.	AEstado: "Connected" (Conectado).	OK	O. G.
PL-002	Verificación de lectura de Tags desde el Tag Browser de Ignition.	Valores de E/S y DB1 se actualizan en tiempo real.	OK	O. G.
PL-003	Prueba de escritura de Tags (Control HMI, ej. Reset).	Escritura desde HMI afecta variable en PLC (bidireccionalidad).	OK	O. G.
PL-004	Prueba de visualización HMI en tiempo de ejecución (Runtime).	Animaciones de color y estado son correctas	OK	O. G.
CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN				
<input checked="" type="checkbox"/> Aceptado		<input type="checkbox"/> No aceptado		
Sistema listo para instalación y puesta en servicio		<input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No		
Observaciones Generales:				
.....				
.....				
.....				

Anexo 3: Descripción del programa

Comment

Program description:

The starter is designed with a MAN 0 AUT switch.

In MAN mode both compressors will run regardless of the start / stop pressure switch. It is not recommended to leave the compressor running unattended in MAN mode although the parameters temperature, lub. Oil and motor overload is surveyed.

In 0 mode the compressors are switched off, but the starter is still powered.

In AUT mode the compressors are controlled by the start / stop pressure switches. The program contains an automatic lead / follow sequence, the pressure switches will alter between the compressors each time the pressure switch F11.1 reaches stop level.

The starter is equipped with a common alarm signal output and 3 alarm signal lamps. The alarm signal is a voltage free contact programmed to be closed when the compressor condition is normal. This means that the alarm signal is open if the PLC is not running, or there is a fault condition detected.

Following parameters will give alarm:

Lubrication oil failure. If the Lub. Oil level / pressure falls under the setting of the Lub. Oil switch the compressor will stop and alarm will be given. The alarm will remain until the reset button is pressed. The signal lamp LUB. OIL FAILURE will go on and will remain engaged until the reset button is pressed. The corresponding running lamp will go flashing to indicate which compressor is involved.

El-motor overload. If the thermal overload relay releases, the compressor will stop and alarm will be given. The alarm will remain until the thermal relay is reset. The signal lamp OVERLOAD will go on and will remain engaged until the thermal relay is reset. The corresponding running lamp will go flashing to indicate which compressor is involved.

Emergency stop. If the emergency stop push button is activated, the compressors will stop and alarm will be given. The alarm will remain until the emergency stop push button is released and the reset button is pressed. The signal lamp OVERLOAD will go flashing and will remain flashing until the reset button is pressed.

Low air pressure. The pressure switch F14 will give alarm when the air pressure falls under the setting of the switch. The signal lamp LOW AIR PRESSURE will go on and alarm will be given. The alarm will remain until the pressure rises above the setting of the switch.

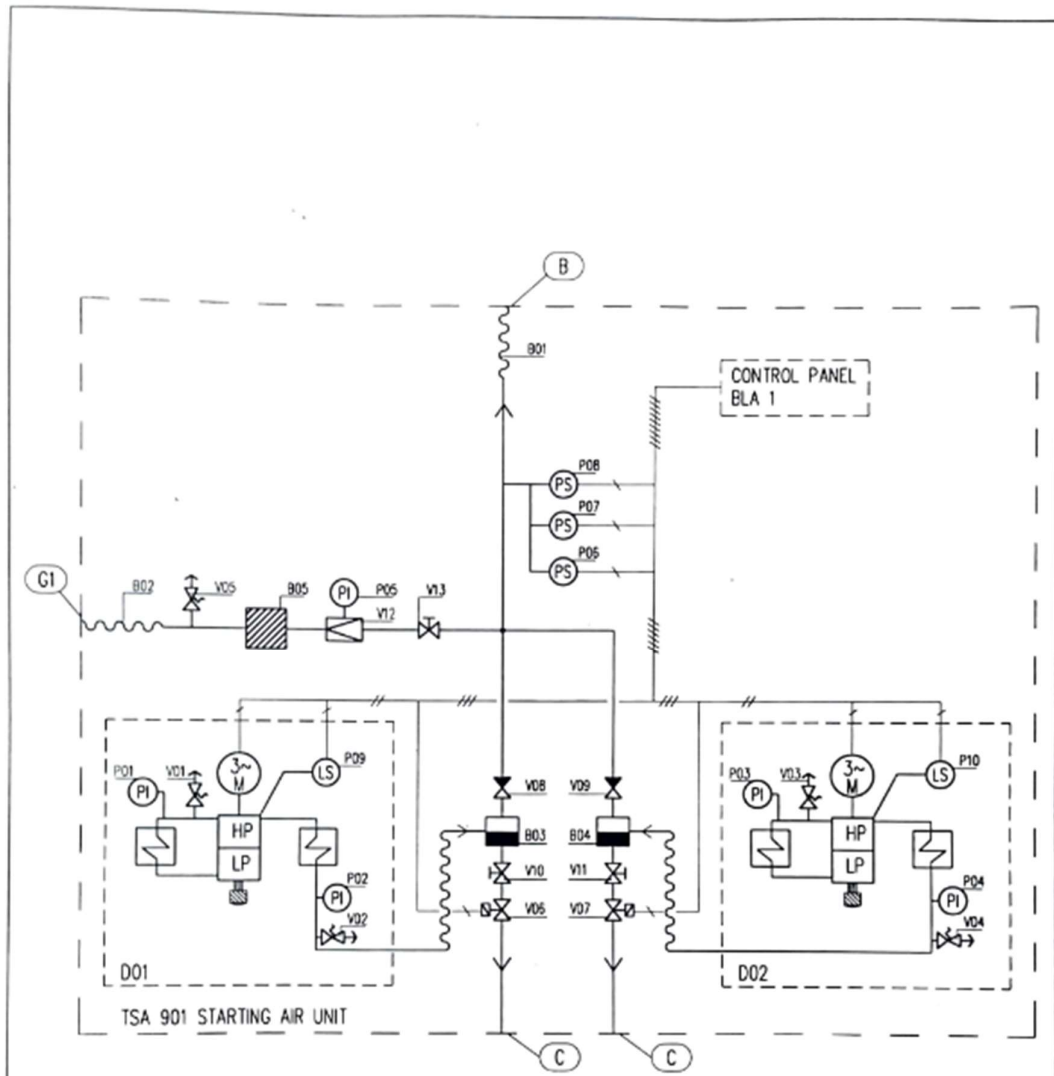
The program is designed to autostart after blackout if the compressor is set to AUT mode, timer B6 will delay the start.

The starter is designed with an emergency run switch. When this switch is operated the PLC is overridden, and the alarm functions are therefore not active.

This switch is intended for emergency run only and the compressor must not be left running unattended.

Creator	Torgar	Project		Customer	
Checked		Installation		Diagram No.	
Created/Changed	1/31/02 1:33 PM/12/21/04 12:52 PM	File	E20164.lsc	Page	

Anexo 4: Diagrama P&ID

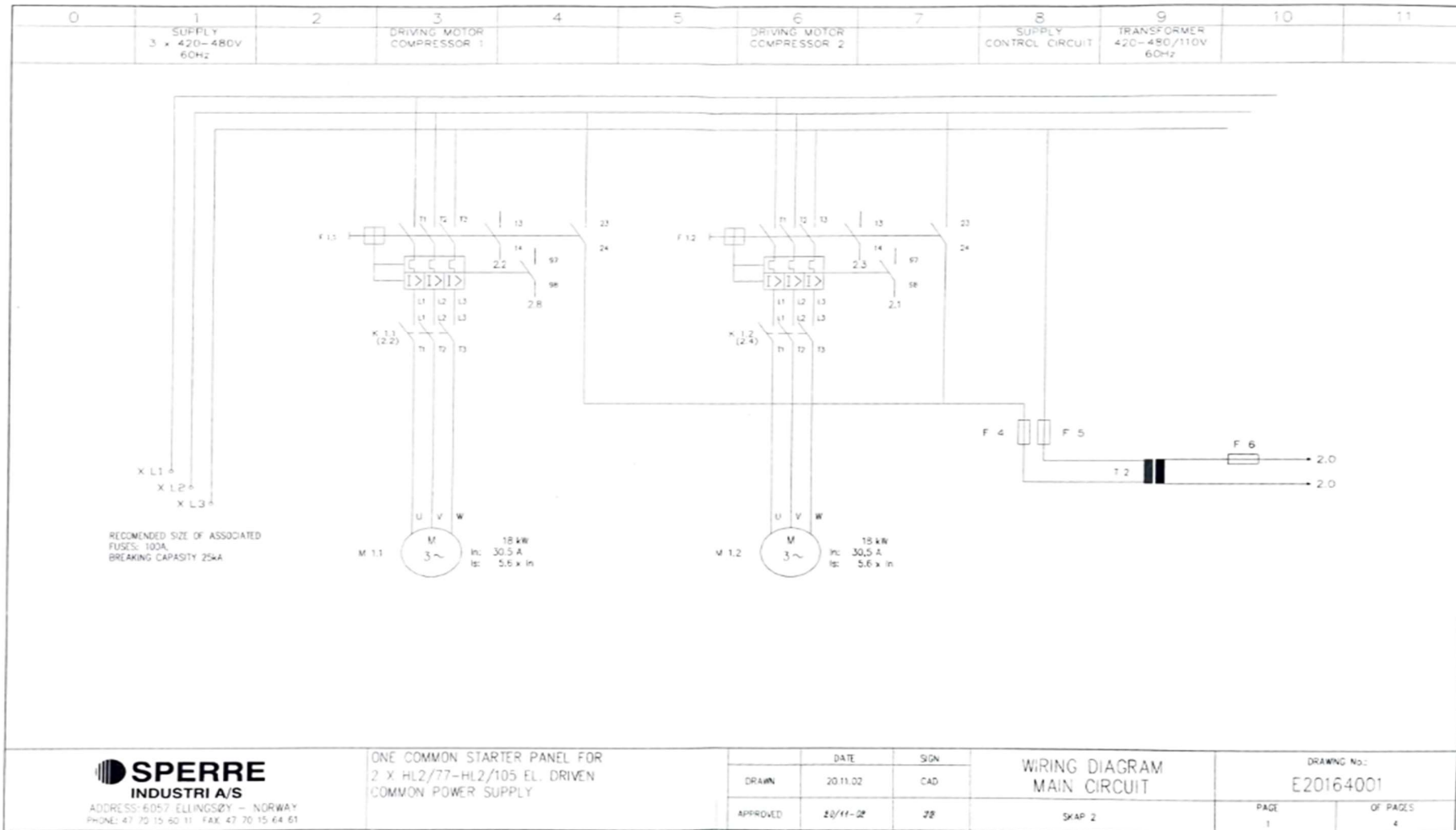


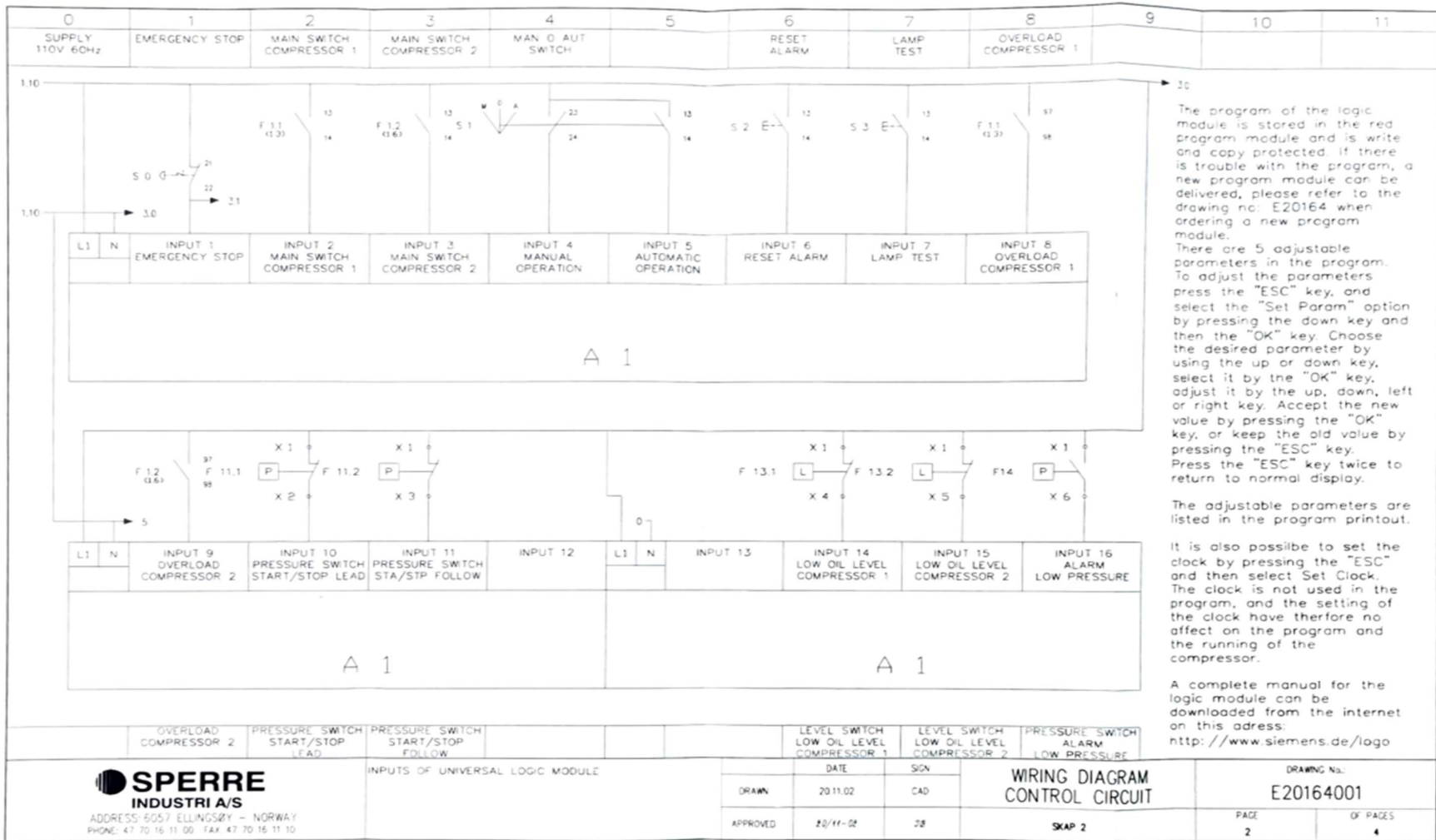
	CONNECTION	DIM.
B	STARTING AIR TO BOTTLE	ø22
G1	SERVICE AIR OUTLET	ø22
C	DRAIN OUTLET (x2)	ø22

○ LOCAL DEVICE OR GAUGE

		© Wärtsilä NSD Finland Oy Power Plants		TSA 901 STARTING AIR UNIT 2 x HL2/77, HL2/90, HL2/105 PI-DIAGRAM W/2 x EL.MOTOR	
Product		—		UNITS	mm/kg
MADE	02.04.97	SF	ASLY.DRG	—	
CHKD			SCALE	—	Page No. 1/1
APPD					DRG. No. 180284-14
					Proj. no.
					Rev.

Anexo 5: Diagramas de conexionado originales





The program of the logic module is stored in the red program module and is write and copy protected. If there is trouble with the program, a new program module can be delivered, please refer to the drawing no: E20164 when ordering a new program module.

There are 5 adjustable parameters in the program. To adjust the parameters press the "ESC" key, and select the "Set Param" option by pressing the down key and then the "OK" key. Choose the desired parameter by using the up or down key, select it by the "OK" key, adjust it by the up, down, left or right key. Accept the new value by pressing the "OK" key, or keep the old value by pressing the "ESC" key. Press the "ESC" key twice to return to normal display.

The adjustable parameters are listed in the program printout.

It is also possible to set the clock by pressing the "ESC" and then select Set Clock. The clock is not used in the program, and the setting of the clock have therefore no affect on the program and the running of the compressor.

A complete manual for the logic module can be downloaded from the internet on this address:
<http://www.siemens.de/logo>

SPERRE
INDUSTRI A/S
 ADDRESS: 6057 ELLINGSØY - NORWAY
 PHONE: 47 70 16 11 00 - FAX: 47 70 16 11 10

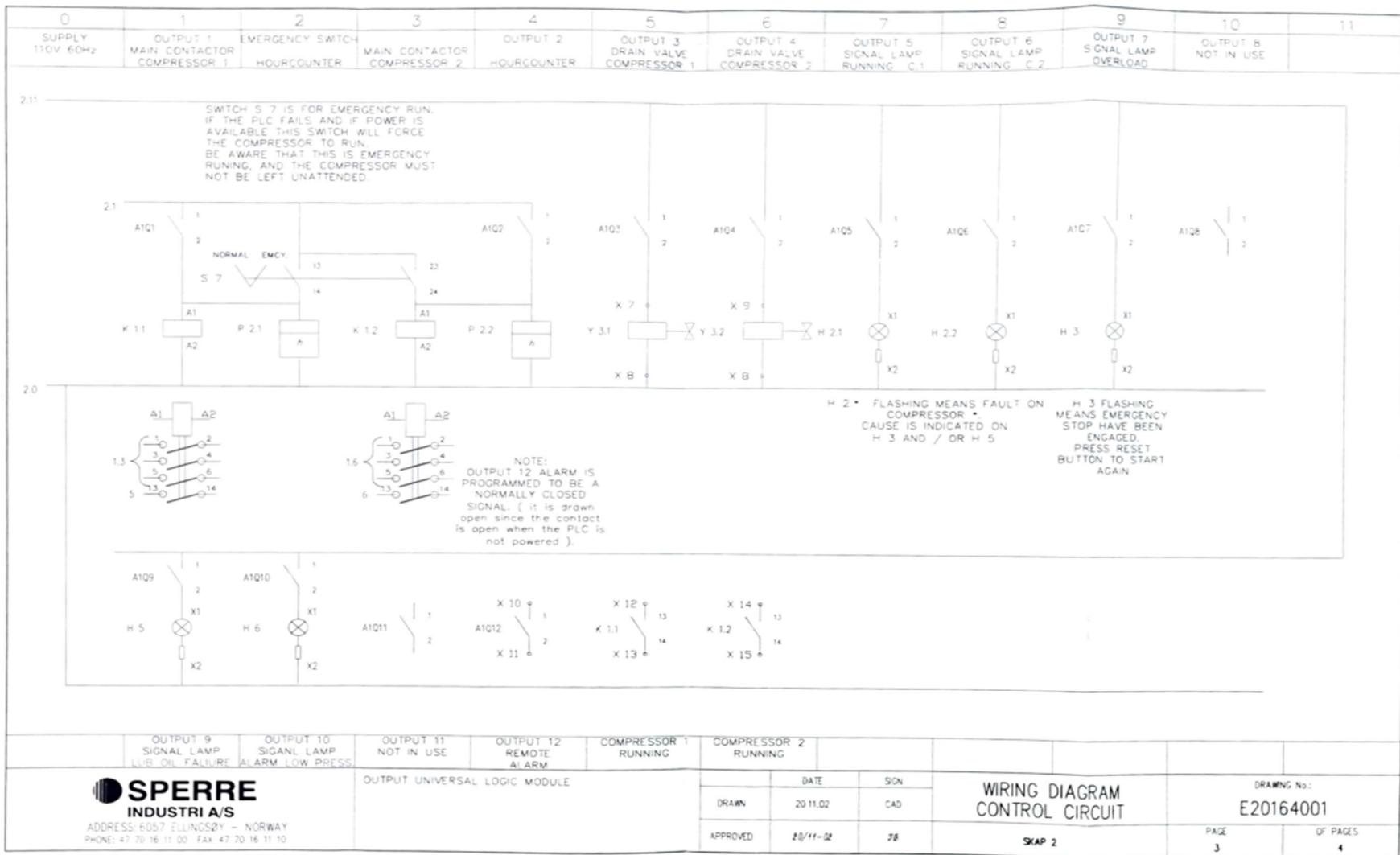
INPUTS OF UNIVERSAL LOGIC MODULE

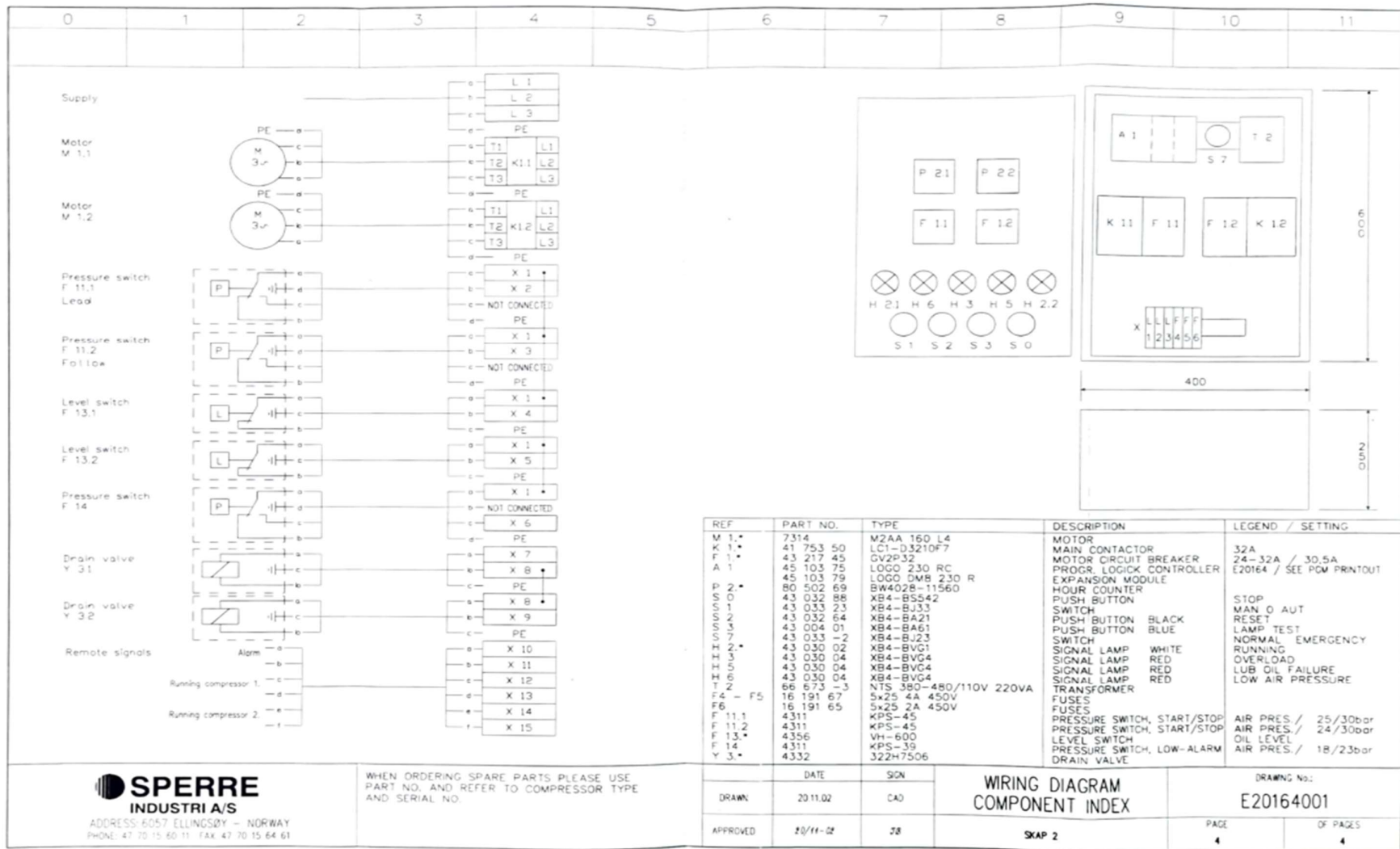
	DATE	SIGN
DRAWN	20.11.02	CAD
APPROVED	20/11-02	JØ

**WIRING DIAGRAM
 CONTROL CIRCUIT**

SKAP 2

DRAWING No.:	
E20164001	
PAGE	OF PAGES
2	4





REF	PART NO.	TYPE	DESCRIPTION	LEGEND / SETTING
M 1.1	7314	M2AA 160 L4	MOTOR	
K 1.1	41 753 50	LC1-D3210F7	MAIN CONTACTOR	32A
F 1.1	43 217 45	GVP232	MOTOR CIRCUIT BREAKER	24-32A / 30.5A
A 1	45 103 75	LOGO 230 RC	PROGR. LOGIC CONTROLLER	E20164 / SEE PGM PRINTOUT
	45 103 79	LOGO DMB 230 R	EXPANSION MODULE	
P 2.1	80 502 69	BW4028-11560	HOUR COUNTER	
S 0	43 032 88	XB4-BSS42	PUSH BUTTON	STOP
S 1	43 033 23	XB4-BJ33	SWITCH	MAN O AUT
S 2	43 032 64	XB4-BA21	PUSH BUTTON	BLACK
S 3	43 004 01	XB4-BA61	PUSH BUTTON	BLUE
S 7	43 033 -2	XB4-BJ23	SWITCH	LAMP TEST
H 2.1	43 030 02	XB4-BV01	SIGNAL LAMP	WHITE
H 3	43 030 04	XB4-BV04	SIGNAL LAMP	RED
H 5	43 030 04	XB4-BV04	SIGNAL LAMP	RED
H 6	43 030 04	XB4-BV04	SIGNAL LAMP	RED
T 2	66 673 -3	NTS 380-480/110V 220VA	TRANSFORMER	
F 4 - F 5	16 191 67	5x25 4A 450V	FUSES	
F 6	16 191 65	5x25 2A 450V	FUSES	
F 11.1	4311	KPS-45	PRESSURE SWITCH, START/STOP	AIR PRES./ 25/30bar
F 11.2	4311	KPS-45	PRESSURE SWITCH, START/STOP	AIR PRES./ 24/30bar
F 13.1	4356	VH-600	LEVEL SWITCH	OIL LEVEL
F 14	4311	KPS-39	PRESSURE SWITCH, LOW-ALARM	AIR PRES./ 18/23bar
Y 3.1	4332	322H7506	DRAIN VALVE	

SPERRE
INDUSTRI A/S
ADDRESS: 6057 ELLINGSØY - NORWAY
PHONE: 47 70 15 60 11 FAX: 47 70 15 64 61

WHEN ORDERING SPARE PARTS PLEASE USE PART NO. AND REFER TO COMPRESSOR TYPE AND SERIAL NO.

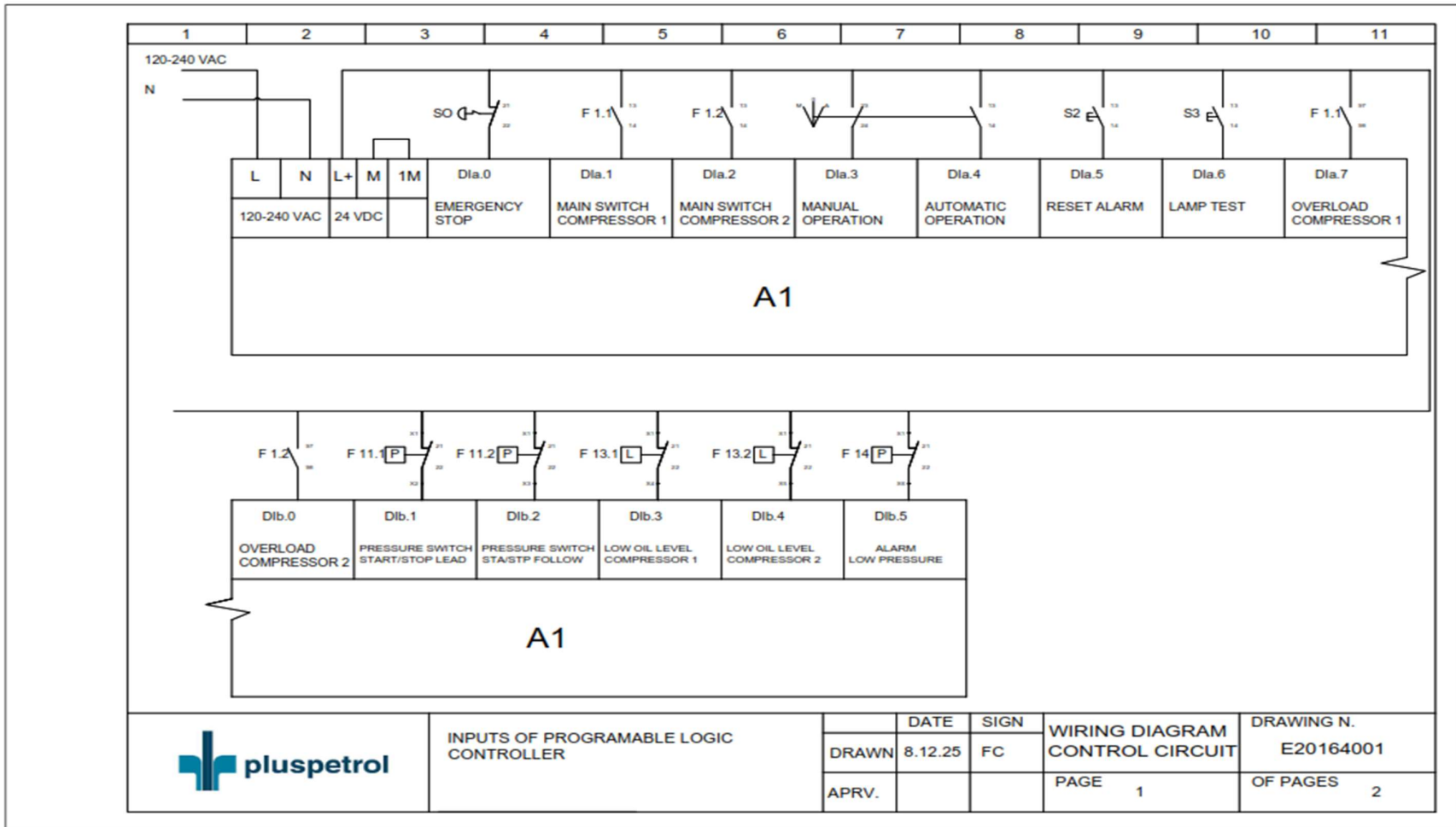
	DATE	IGN
DRAWN	20/11.02	CAO
APPROVED	20/11-02	JR

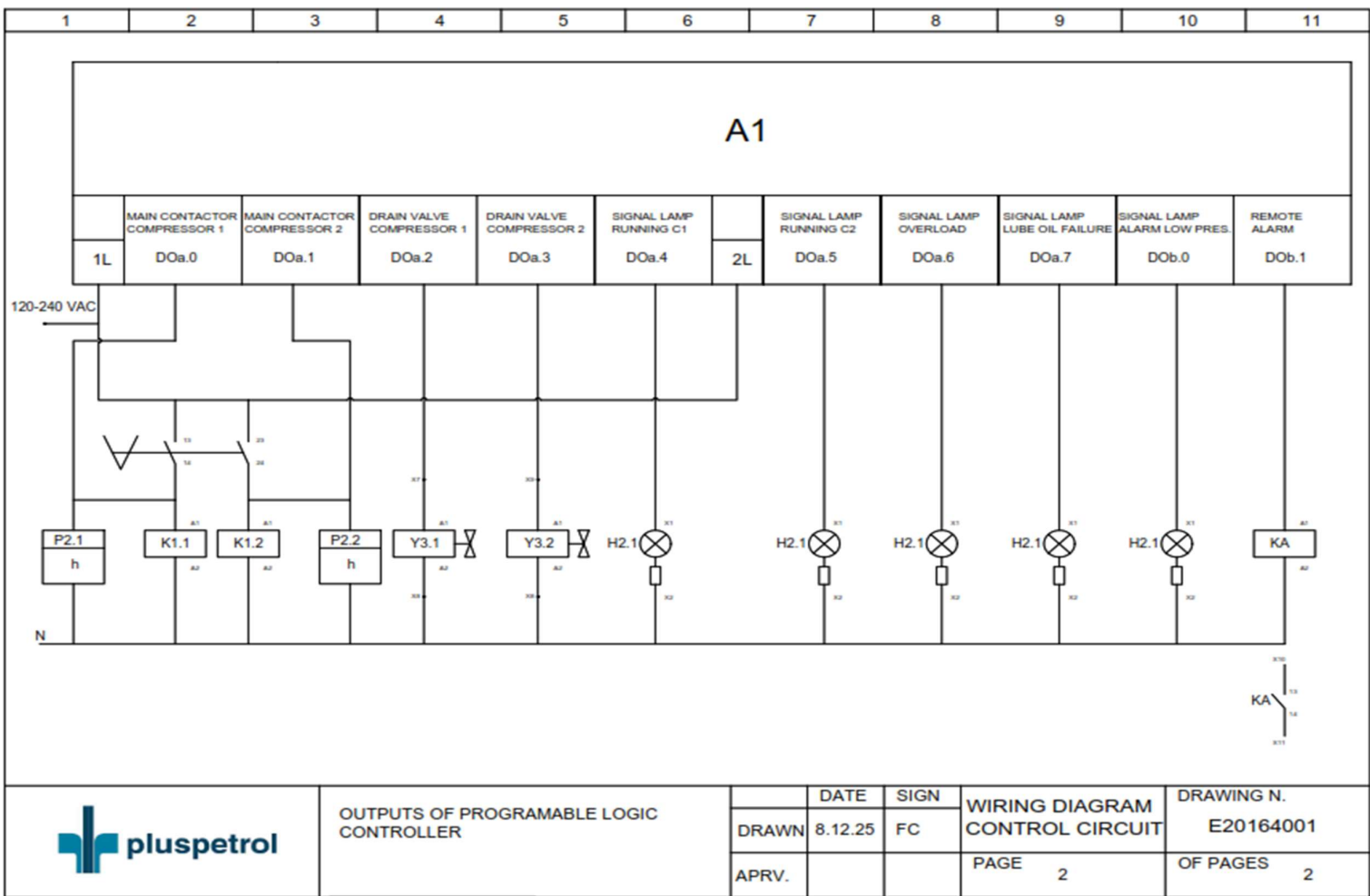
**WIRING DIAGRAM
COMPONENT INDEX**

SKAP 2

DRAWING No.:	
E20164001	
PAGE	OF PAGES
4	4

Anexo 6: Diagramas de conexionado.





OUTPUTS OF PROGRAMABLE LOGIC CONTROLLER

	DATE	SIGN	WIRING DIAGRAM CONTROL CIRCUIT	DRAWING N. E20164001
DRAWN	8.12.25	FC	PAGE 2	OF PAGES 2
APRV.				