

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

CONTROL DE SISTEMA DE PURGA DE ACEITE EN COMPRESORES DE GAS

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniero de Ejecución en CONTROL E
INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Alumno: Andrés Fierro Oyarzún

Profesor Guía:

Mag. Guelis Montenegro Zamora

2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: CONTROL DE SISTEMA DE PURGA DE ACEITE EN COMPRESORES DE GAS

Nombre del candidato(a): Andrés Fierro Oyarzún

Carrera / Grado: Ingeniero de Ejecución en Control e Instrumentación Industrial

Campus: Viña del mar Departamento: Electrotecnia e Informática

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Guelis Montenegro Zamora, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

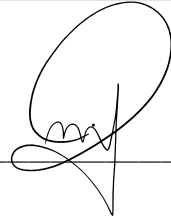
☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 29 - 10 - 2025 Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 28-10-2025 Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

RESUMEN

KEYWORDS: Automatización, Control, PLC, Gas, Eficiencia, Compresores, Instrumentación

Este trabajo propone la automatización del sistema de purga de aceite en los compresores de gas de la “Central Termoeléctrica Colmito”, con el fin de optimizar su operación y mejorar la seguridad del proceso. Actualmente, la purga se realiza de manera manual, lo que resulta ineficiente tanto en términos operativos como de seguridad. La propuesta consiste en diseñar y desarrollar una solución de automatización del proceso, detallando cada etapa de éste.

El proyecto comenzará con la identificación de los requerimientos técnicos necesarios, seguida de una evaluación de las opciones de mejora. Finalmente, se desarrollará toda la ingeniería del proyecto, abarcando tanto los aspectos técnicos como los económicos, con el fin de definir un plan de implementación concreto para la mejora propuesta.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES.....	2
1 ANTECEDENTES GENERALES	3
1.1 EMPRESA INKIA ENERGY - CENTRAL TERMoeLECTRICA COLMITO	3
1.1.1 Ubicación Geográfica.....	4
1.1.2 Misión y Visión.....	5
1.1.3 Valores de la empresa	5
1.2 PROBLEMÁTICA POR RESOLVER	5
1.2.1 Principales Limitaciones del proceso actual	6
1.2.2 Impacto operacional.....	7
1.3 DIAGRAMA DE ISHIKAWA	8
1.4 REQUERIMIENTOS.....	9
1.4.1 Otras consideraciones	11
1.5 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	12
1.5.1 Alternativa 1: Mantener el sistema como se encuentra actualmente	12
1.5.2 Alternativa 2: PLC con válvulas solenoide tipo ON/OFF y control de nivel mediante flotadores.....	13
1.5.3 Alternativa 3: Automatización mediante PLC, válvulas de control proporcional, actuadores eléctricos y sensores de nivel.....	14
1.6 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	14
1.6.1 Alternativa seleccionada	16
1.7 OBJETIVOS DEL PROYECTO	18
1.7.1 Objetivo General.....	18
1.7.2 Objetivos Específicos	18

CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.....	19
2 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN	20
2.1 ANALISIS DEL SISTEMA ACTUAL.....	20
2.1.1 Importancia del proceso de purga de aceite.....	20
2.1.2 Paso a paso actual del proceso de purga de aceite.....	21
2.1.3 Diagrama P&ID del sistema actual	23
2.2 DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	24
2.2.1 Selección del PLC	25
2.2.2 Selección de módulos de expansión.....	26
2.2.3 Interfaz HMI.....	27
2.2.4 Conjunto: válvula – actuador – posicionador.....	28
2.2.5 Sensor de nivel.....	33
2.2.6 Motobomba.....	34
2.2.7 Tabla resumen de componentes seleccionados	35
2.3 ARQUITECTURA FUNCIONAL DEL SISTEMA	37
2.3.1 Objetivos del diseño	37
2.3.2 Integración de componentes y señales.....	37
2.4 DIAGRAMA DE FLUJO.....	38
2.5 LÓGICA DE CONTROL	40
2.5.1 Estructura general del programa.....	40
2.5.2 Señales y equipos del sistema	42
2.6 PROGRAMACIÓN Y DISEÑO DE INTERFAZ HMI.....	44
2.6.1 Control de válvulas de purga modo automático	44
2.6.2 Control de válvulas de purga modo manual	46
2.6.3 Control de nivel de estanque	47
2.6.4 Diseño de pantallas	50
2.7 INTEGRACIÓN DEL SISTEMA COMPLETO	54
2.7.1 Interconexión de componentes y señalética del sistema	55
2.7.2 Comunicación de datos y protocolos	55

2.8	DIAGRAMA PIPING AND INSTRUMENTATION DIAGRAMA (P&ID)	56
CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN ECONOMICA DEL PROYECTO		57
3	EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO	58
3.1	COSTOS DE INGENIERÍA Y MANO DE OBRA.....	60
3.2	COSTOS DE EQUIPOS Y COMPONENTES	61
3.3	COSTOS DE INSTALACIÓN Y CANALIZADO	63
3.4	ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE EJECUCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
3.4.1	Carta Gantt	59
3.5	COSTOS TOTALES DEL PROYECTO	64
3.6	JUSTIFICACION ECONÓMICA DEL PROYECTO	65
3.6.1	Impacto económico y regulatorio ante fallas.....	65
CONCLUSIONES.....		68
BIBLIOGRAFÍA		70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Logo de la empresa “Inkia Energy”	3
Figura 1-2. Ubicación Geográfica de la empresa	4
Figura 1-3. Disposición del sistema de válvulas de purga	6
Figura 1-4. Imagen del sistema de válvulas de purga en terreno	7
Figura 1-5. Señalética de advertencia para sistemas de alto riesgo	8
Figura 1-6 Diagrama de ISHIKAWA.....	9
Figura 1-7. Compresor vista externa	11
Figura 1-8. Disposición de válvulas	13
Figura 2-1. Accionamiento de válvula de purga en terreno.....	21
Figura 2-2. Purga en terreno de tanque de choque.....	22
Figura 2-3. Diagrama P&ID del sistema actual.....	23
Figura 2-4. PLC Siemens S7-1500	25
Figura 2-5. Módulos de expansión para PLC Siemens S7-1500	27
Figura 2-6. Pantalla HMI.....	28
Figura 2-7. Válvula de bola Festo	29
Figura 2-8. Actuador Festo DFPD	30
Figura 2-9. Posicionador Festo CMSX.....	31
Figura 2-10. Conjunto completo válvula	32
Figura 2-11. Sensor de nivel ultrasónico Siemens LU150	34
Figura 2-12. Bomba de drenaje de aceite seleccionada	35
Figura 2-13. Diagrama de Flujo	39
Figura 2-14. Disposición de módulos en PLC S7-1500	41
Figura 2-15. Bloques de secuencia de apertura de válvulas	45
Figura 2-16. Bloques es escalamiento en normalización de apertura de válvula.....	46
Figura 2-17. Lógica (permisivo) de ajuste manual	47
Figura 2-18. Bloques y escalamiento de sensor de nivel	48

Figura 2-19. Lógica de operación bomba de drenaje.....	49
Figura 2-20. Pantalla HMI inicial.....	50
Figura 2-21. Pantalla de monitoreo de accionamiento de válvulas.....	51
Figura 2-22. Pantalla HMI de monitoreo de nivel	52
Figura 2-23. Pantalla HMI de control de usuarios.....	53
Figura 2-24. Pantalla de ajuste de porcentajes de apertura deseados y tiempos.....	54
Figura 2-25. Diagrama P&ID del diseño de mejora	56
Figura 3-1. Carta Gantt	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Consideraciones de aceptación.....	10
Tabla 1-2 Ponderación de criterios	15
Tabla 1-3 Evaluación de alternativas.....	16
Tabla 2-1. Selección de módulos de expansión	26
Tabla 2-2. Direccionamiento de Variables.	33
Tabla 2-3. Tabla resumen de selección de componentes	36
Tabla 2-4. Principales señales de entradas y salidas.....	43
Tabla 3-1. Estimación de duración por tarea	59
Tabla 3-2 Costos estimados de ingeniería y mano de obra	61
Tabla 3-3 Costos de equipos y componentes	62
Tabla 3 -4 Cotos de instalación y canalizado.....	63
Tabla 3-5 Costos totales del proyecto.....	64

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLAS:

CEN	: Coordinador Eléctrico Nacional
DP	: Profibus
E/S	: Entrada/Salida
HMI	: Interfaz Hombre-Máquina.
IFOR	: Indisponibilidad Forzada
IP	: Índice de Protección
P&ID	: Piping and Instrumentation Diagram
PLC	: Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable)
PN	: Profinet
SEC	: Superintendencia de Electricidad y Combustibles
SIC	: Sistema Interconectado Central
TAG	: Identificador único de un instrumento o componente
TIA	: Totally Integrated Automation

B. SIMBOLOGÍA:

%	: Por ciento.
"	: Pulgadas
°	: Grados
°C	: Grados Celsius
AC	: Corriente Alterna
cm	: Centímetros

DC : Corriente Continua

kW : Kilowatt

m : metro

mm : Milímetros

mA : Miliamperio

s : Segundos.

V : Volts.

INTRODUCCIÓN

El sector energético enfrenta desafíos constantes en la optimización de procesos y en la mejora de la eficiencia operativa, especialmente en centrales como la “Central Termoeléctrica Colmito”, ubicada en la comuna de con con, donde los equipos deben operar de manera continua y segura para garantizar un suministro energético estable y confiable. La Central Termoeléctrica Colmito desempeña un papel clave en la generación de energía en la Región de Valparaíso, al ser una de las plantas que apoya al Sistema Interconectado Central (SIC). Su función es entrar en operación cuando se realizan movimientos de carga en el SIC, durante mantenimientos en subestaciones de la zona, o cuando el precio de la barra a la cual está conectada alcanza el costo marginal de la central, todo en coordinación con el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN). Si bien en sus inicios la central operaba como una central de respaldo energético, ésta ha experimentado un aumento progresivo en la cantidad de energía eléctrica generada año tras año.

Como parte de sus operaciones cuenta con 2 compresores de gas de la marca Galileo, los cuales elevan la presión de la línea de suministro, estos requieren un adecuado sistema de purga de aceite para mantener su funcionamiento óptimo.

El proceso actual de purga de aceite en los compresores se realiza manualmente, este proceso depende exclusivamente del personal de operaciones y está sujeto al error humano o a no cumplir con los tiempos de purga estipulados por el fabricante, debido a contingencias que pueden ocurrir en el proceso de generación. Esta situación si no es gestionada adecuadamente puede llevar a la sobresaturación de los filtros, afectando el correcto funcionamiento de los compresores y comprometiendo la continuidad operacional.

El presente trabajo se propone como una solución para automatizar el sistema de purga de aceite de los compresores, con el fin de optimizar el proceso, mejorar la seguridad y reducir la dependencia de la intervención manual. Para ello se evaluarán diferentes alternativas y tecnologías que permitan automatizar el proceso y dar mayor confiabilidad operacional.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1 ANTECEDENTES GENERALES

Este capítulo presenta la problemática a resolver, distintas alternativas de solución a la problemática planteada, el lugar donde se llevará a cabo la propuesta y se definen los objetivos a cumplir.

1.1 EMPRESA INKIA ENERGY - CENTRAL TERMOÉLECTRICA COLMITO

Inkia Energy fue fundada en 2018 a partir de la integración de dos importantes empresas del sector energético con presencia en Sudamérica, Centroamérica y el Caribe. La compañía participa en las áreas de generación, transmisión y distribución de energía en varios países de la región. En Chile, su participación se concentra exclusivamente en la generación de energía eléctrica, operando tres centrales termoeléctricas ubicadas en Copiapó, Concón y Cabrero. En la figura 1-1 se puede apreciar el logo oficial de la compañía.



Fuente: Página Oficial Inkia Energy

Figura 1-1. Logo de la empresa “Inkia Energy”

1.1.1 Ubicación Geográfica

Central Termoeléctrica Colmito está ubicada en la comuna de Concón, en la Región de Valparaíso, específicamente en la Avenida El Parque Lote 3A, dentro del Parque Industrial como se puede apreciar en la figura 1-2. La planta se encuentra emplazada en un terreno de 2,2 hectáreas, lo que facilita el desarrollo de sus operaciones, teniendo la posibilidad de ampliar sus operaciones. Su ubicación estratégica, a solo 700 metros de la Subestación Torquemada, operada por Chilquinta, permite contar con una línea de transmisión eléctrica de corta extensión, lo que facilita su mantenimiento y optimiza la eficiencia operativa.



Fuente: Google Maps, captura de pantalla realizada por el autor.

Figura 1-2. Ubicación Geográfica de la empresa

1.1.2 Misión y Visión

La misión de la empresa está enfocada en proveer energía segura y confiable. Lo anterior se logra con energía generada principalmente en base a gas natural, garantizando la calidad y el suministro de la demanda eléctrica.

La visión de Central Colmito es ser reconocidos por generar valor a través de la excelencia operativa y la creación de nuevas soluciones energéticas en armonía con nuestro entorno.

1.1.3 Valores de la empresa

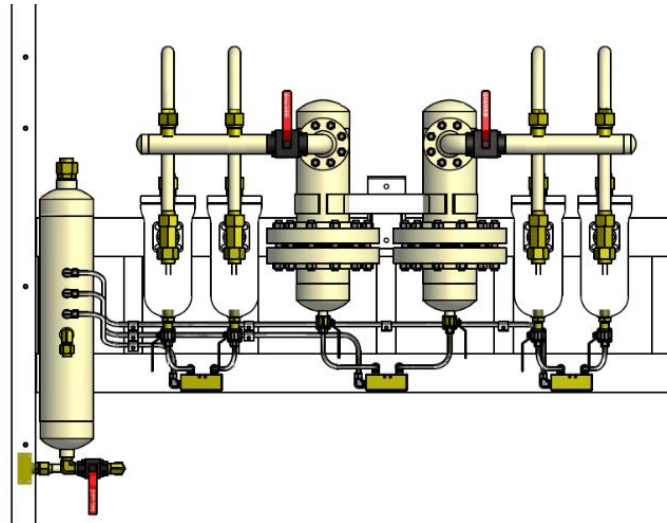
Generar valor a través del crecimiento, innovación y la eficiencia. Actuando con transparencia, honestidad y respeto. Siempre estando en busca de nuevas ideas alineadas a nuestro propósito. Nos cuestionamos y no nos conformamos con el estatus quo.

1.2 **PROBLEMÁTICA POR RESOLVER**

En la Central Termoeléctrica Colmito, el proceso de purga de aceite de los filtros de los compresores de gas se lleva a cabo de forma manual, con una frecuencia de una vez por hora, mientras la turbina está en operación. Este método presenta importantes limitaciones que afectan la eficiencia, la seguridad y la continuidad operativa del sistema. Actualmente, para ejecutar esta tarea, el operador en turno debe ingresar al encapsulado del compresor y abrir manualmente las válvulas de purga de aceite, una por una, hasta completar el vaciado de los siete filtros. Posteriormente, debe repetir el mismo procedimiento en el segundo compresor, en la figura 1-3 se puede apreciar la distribución de las válvulas de purga del sistema.

Este proceso resulta poco eficiente y presenta diversas limitaciones que afectan tanto a la operación de la central como al personal encargado de su ejecución. La rigurosidad del procedimiento, sumada al potencial impacto negativo en el proceso de generación eléctrica,

evidencian la necesidad de implementar una solución definitiva que permita optimizar su ejecución, mejorar la seguridad operativa y asegurar la continuidad del servicio.



Fuente: Imagen extraída del manual del fabricante

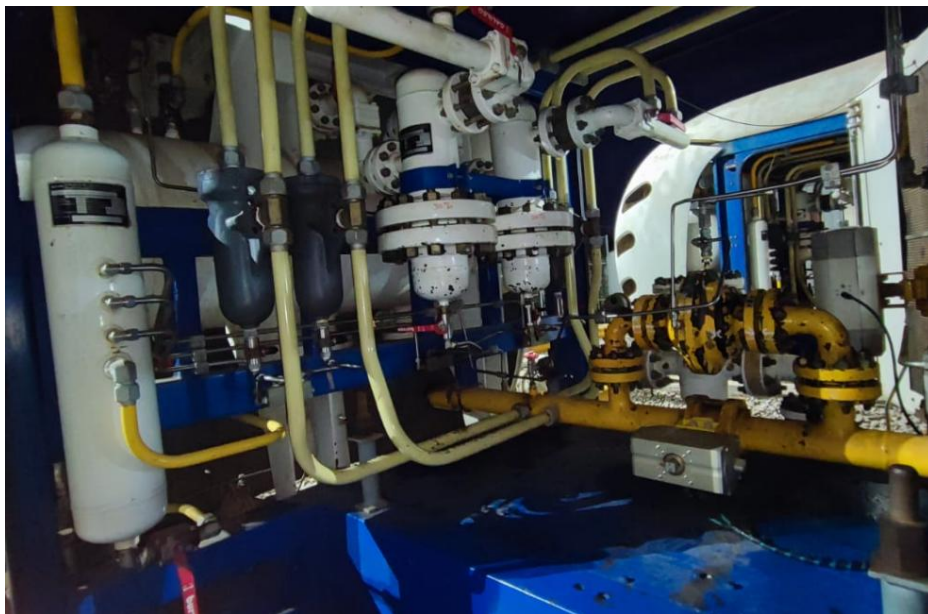
Figura 1-3. Disposición del sistema de válvulas de purga

1.2.1 Principales Limitaciones del proceso actual

1. **Dependencia de factor humano:** La necesidad de intervención manual por parte del personal de operaciones incrementa el riesgo de errores operativos y reduce la fiabilidad del proceso.
2. **Cumplimiento inconsistente de los tiempos de purga:** Durante contingencias en la generación, la purga puede no realizarse en los intervalos recomendados por el fabricante, lo que provoca sobresaturación de los filtros de aceite.
3. **Impacto en la eficiencia y la seguridad:** La sobresaturación de los filtros puede llevar a una reducción en la eficiencia operativa de los compresores, exponiendo al sistema a fallas críticas que comprometen su funcionamiento y la seguridad del proceso.

4. **Falta de monitoreo y registro del proceso:** La ausencia de un sistema que registre y supervise el estado de las purgas dificulta el análisis de datos históricos y la identificación de patrones o fallos recurrentes.

En la figura 1-4 se puede apreciar el grupo de válvulas de purga desde una perspectiva real mediante una fotografía realizada en terreno.



Fuente: Fotografía realizada en terreno

Figura 1-4. Imagen del sistema de válvulas de purga en terreno

1.2.2 Impacto operacional

El proceso manual de purga de los compresores de gas genera un impacto en la operación de la Central Termoeléctrica Colmito. La ejecución manual de este proceso y la dependencia del factor humano reduce la eficiencia de los recursos humanos de la central. Además, la falta de

regularidad en este proceso provoca una sobresaturación de los filtros de aceite, reduciendo la eficiencia del compresor y afectando la confiabilidad.

Desde el punto de vista de la seguridad, los operadores deben acceder a un área del compresor en la cual hay altas presiones y temperaturas presentes en las líneas de gas, exponiéndose a condiciones peligrosas, es debido a esto que el área cuenta con señalética de advertencia como la que se puede apreciar en la figura 1-5.

A nivel económico, una falla no detectada o una interrupción no planificada del compresor puede traducirse en una detención parcial o total de la turbina, generando pérdidas económicas considerables.



Fuente: Norma ISO 7010

Figura 1-5. Señalética de advertencia para sistemas de alto riesgo

1.3 DIAGRAMA DE ISHIKAWA

El siguiente diagrama de Ishikawa, el cual se puede apreciar en la figura 1-6, permite analizar de forma estructurada las posibles causas que contribuyen a la ineficiencia y a los riesgos operativos del proceso manual de purga de aceite, agrupándolas en las categorías clásicas de las 6M.



Fuente: Fuente: Elaboración propia en LUCIDCHART basada en las necesidades del proyecto.

Figura 1-6 Diagrama de ISHIKAWA

1.4 REQUERIMIENTOS

Antes de iniciar el desarrollo del proyecto, resulta fundamental definir y documentar los requerimientos clave, abarcando aspectos técnicos, de seguridad, accesibilidad, operatividad y mantenimiento. Esta etapa garantiza que la solución propuesta cumpla con los estándares necesarios para optimizar el sistema, asegurar su confiabilidad y facilitar su operación a largo plazo.

Además, los requerimientos definidos permitirán orientar la selección de componentes, establecer criterios de aceptación y validar el correcto funcionamiento del sistema propuesto. Su cumplimiento será clave para asegurar una integración alineada con las necesidades operativas de la planta (ver Tabla 1-1).

Tabla 1-1 Consideraciones de aceptación

ITEMS	REQUERIMIENTOS	CONSIDERACIONES DE ACEPTACIÓN
1	Control de nivel	- Monitoreo y control del nivel de aceite purgado. - Nivel debe mantenerse por debajo del 80% de la capacidad del contenedor de almacenamiento.
2	Monitoreo en tiempo real	- La HMI debe reflejar de forma instantánea el estado de nivel y apertura de válvulas.
3	Cuadro de alarmas	- Generación de alertas visibles en caso de sobrellenado o fallas en válvulas. - Registro de alarmas accesible desde la HMI.
4	Mantenimiento Programado	- El sistema debe registrar el número de operaciones de válvulas y el tiempo acumulado de operación de la bomba.
5	Interfaz de Usuario	- La interfaz debe permitir operar el sistema en modo automático y manual de forma intuitiva. - Control accesible únicamente para operadores capacitados
6	Control de acceso a pantalla	- El acceso a funciones críticas debe estar restringido a usuarios autorizados mediante contraseñas.
7	Componentes aptos para el área de trabajo	- Los componentes deben operar correctamente hasta 50 °C, según especificaciones del fabricante. - Ser resistentes a la humedad y a la presencia de polvo o vapores, y contar con grado de protección IP adecuado según especificaciones del fabricante.
8	Control de posición de las válvulas	- El sistema debe permitir monitorear y controlar el recorrido completo de las válvulas de purga.

Fuente: Elaboración Propia en Word basada en las necesidades del proyecto

1.4.1 Otras consideraciones

- **Controlador:** El controlador debe tener la capacidad de gestionar al menos 16 entradas digitales, 16 salidas digitales, 16 entradas analógicas y 16 salidas analógicas, permitiendo futuras expansiones del sistema.
- **Mantenimiento:** El diseño debe incorporar válvulas de bypass que permitan la ejecución manual del proceso de purga en caso de falla del sistema automatizado.
- **Válvulas:** Las válvulas seleccionadas deben contar con sellos que soporten altas temperaturas (mínimo 150 °C), y cumplir con estándares como ISO 5211 para garantizar su compatibilidad con actuadores.

En la Figura 1-7 se muestra una vista externa del compresor instalado en la central, lo cual permite identificar su configuración general.



Fuente: Extraída del catálogo del fabricante

Figura 1-7. Compresor vista externa

1.5 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

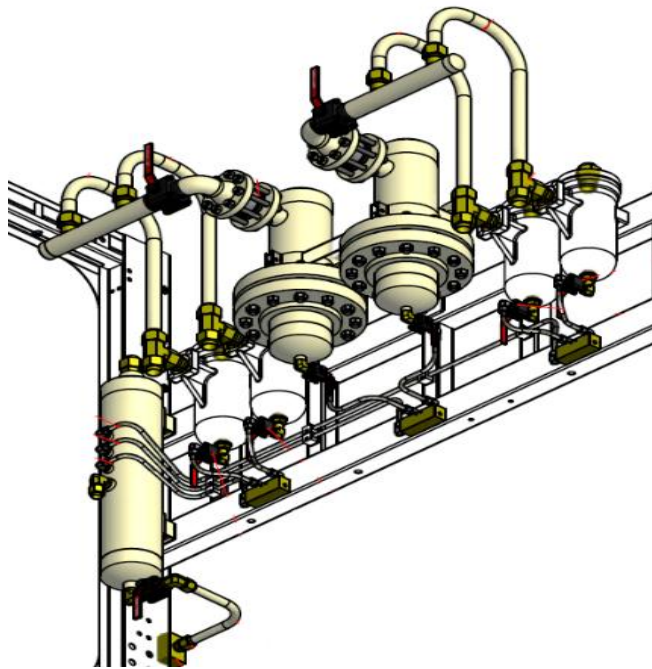
A continuación, se plantearán 3 posibles soluciones a la problemática planteada, se tendrá en consideración la tabla de requerimientos y se optará por la opción más viable y que cumpla con todos los requisitos.

1.5.1 Alternativa 1: Mantener el sistema como se encuentra actualmente

La primera alternativa consiste en continuar con el sistema manual de purga de los filtros de los compresores, el cual es el método actualmente utilizado en la compañía. Como se mencionó anteriormente, este proceso se basa en la intervención directa del operador para ejecutar la purga con la frecuencia establecida.

Inicialmente, el operador es capacitado e instruido en cuanto al procedimiento de purga y los intervalos recomendados para su ejecución. Una vez en operación, el proceso se realiza manualmente cada una hora y exclusivamente cuando el compresor se encuentra en servicio. Sin embargo, esta actividad puede coincidir con otras tareas operativas programadas, lo que en ocasiones impide su ejecución en los tiempos establecidos.

La Figura 1-8 ilustra de manera clara la disposición de las válvulas en el sistema actual, permitiendo visualizar cómo se lleva a cabo manualmente la purga y cómo están organizados los elementos que intervienen en el proceso.



Fuente: Catálogo técnico del fabricante Galileo

Figura 1-8. Disposición de válvulas

1.5.2 Alternativa 2: PLC con válvulas solenoide tipo ON/OFF y control de nivel mediante flotadores

Esta alternativa propone la automatización del sistema de purga mediante un Controlador Lógico Programable (PLC), el cual se encarga de gestionar la apertura y cierre de válvulas solenoides de tipo ON/OFF. Estas válvulas serían activadas de forma programada a intervalos predefinidos, permitiendo realizar el proceso de purga sin intervención manual.

El sistema se complementa con sensores tipo flotador para la detección del nivel de aceite, los cuales envían señales al PLC para activar el drenaje del contenedor cuando se alcanza un nivel determinado. De esta manera, se logra una operación cíclica y programable del proceso de purga, basada en señales discretas de apertura y cierre, y en el monitoreo básico del nivel de aceite acumulado.

1.5.3 Alternativa 3: Automatización mediante PLC, válvulas de control proporcional, actuadores eléctricos y sensores de nivel

Esta alternativa contempla la implementación de un sistema automatizado basado en un PLC que controla actuadores eléctricos acoplados a válvulas de bola con capacidad de apertura proporcional. El sistema permite regular con precisión el grado de apertura de cada válvula, lo que posibilita un control más ajustado del caudal de aceite durante el proceso de purga.

La medición del nivel de aceite se realiza mediante sensores analógicos, cuyos datos son procesados por el PLC para determinar el momento adecuado de activación del sistema. Además, se incorpora una interfaz HMI que permite al operador monitorear variables críticas, visualizar alarmas y realizar ajustes de forma local.

Esta alternativa también considera la incorporación de funcionalidades adicionales, como el almacenamiento de eventos asociados al proceso de purga. Esta capacidad permite registrar acciones del sistema, facilitar el análisis posterior y entregar al operador herramientas para el seguimiento y monitoreo del comportamiento del equipo. Con ello, se fortalece la trazabilidad operativa y se dispone de información útil para la detección anticipada de posibles desviaciones o fallas.

1.6 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

La selección de la solución más adecuada para la automatización del sistema de purga de aceite requiere una evaluación detallada de las alternativas disponibles. Este análisis tiene como objetivo identificar la opción que mejor cumpla con los requerimientos técnicos, operativos y de seguridad establecidos, asegurando al mismo tiempo la viabilidad económica y la sostenibilidad a largo plazo.

A partir de las alternativas de solución mencionados anteriormente, se elabora una tabla de evaluación para de esta manera seleccionar la alternativa que cumpla de manera más amplia

con la tabla de requerimientos. La evaluación se realizará asignando un puntaje de 1 a 5 la cual se detalla a continuación en la tabla 1.2.

Tabla 1-2 Ponderación de criterios

Muy deficiente	Deficiente	Regular	Bueno	Excelente
1	2	3	4	5

Fuente: Elaboración propia en WORD basada en las necesidades del proyecto.

Para un análisis objetivo se calculará el promedio de cada alternativa, donde la solución que obtenga el mejor puntaje será la selección seleccionada para ejecutar el diseño de solución

Los criterios para utilizar son los siguientes: Interfaz de usuario (HMI), registro y trazabilidad, seguridad operativa, flexibilidad operativa, monitoreo en tiempo real, compatibilidad, escalabilidad y cumplimiento con normativa ISO 5211.

En la Tabla 1-3 se observan cada criterio junto a las alternativas de solución, cada uno con su puntuación, la cual fue otorgada en base a su capacidad de cumplimiento.

Tabla 1-3 Evaluación de alternativas

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Control de nivel	1	3	4
Interfaz de usuario (HMI)	1	3	5
Registro y trazabilidad	1	3	5
Seguridad operativa	2	2	5
Flexibilidad operativa	1	3	4
Monitoreo en tiempo real	1	3	4
Compatibilidad y escalabilidad	1	2	5
Cumplimiento con normativa ISO 5211	5	5	5
Costos de implementación	5	4	3
Promedio	2	3.1	4.44

Fuente: Elaboración propia en WORD basada en las necesidades del proyecto.

1.6.1 Alternativa seleccionada

A continuación, se presenta el análisis de los resultados obtenidos en la tabla de evaluación de alternativas. Este análisis permitirá identificar las fortalezas y debilidades de cada opción, y seleccionar la alternativa que mejor se ajuste a los requerimientos técnicos, operativos y de confiabilidad definidos para la mejora del sistema de purga.

Alternativa 1: Esta opción no implica costos asociados a inversión, ya que se mantiene el sistema manual existente. Sin embargo, conserva la dependencia del personal en terreno para la

ejecución del vaciado de los filtros, lo que restringe la posibilidad de estandarización del proceso y no se alinea con los objetivos de mejora continua, establecidos por la empresa.

Alternativa 2: Esta alternativa propone una automatización básica del proceso, reduciendo significativamente la intervención del operador y mejorando la eficiencia respecto al sistema actual. No obstante, presenta limitaciones en el control del flujo, ya que las válvulas ON/OFF no permiten regulación proporcional. Esto puede generar variaciones bruscas en la presión del gas, afectando potencialmente la estabilidad de los compresores.

Alternativa 3: Es la alternativa más completa y técnicamente robusta. Si bien requiere una mayor inversión inicial, ofrece un control preciso del caudal, monitoreo en tiempo real, registro de eventos, y operación tanto automática como manual. Según lo reflejado en la tabla 1-3, esta opción es la que presenta el mayor grado de cumplimiento frente a los criterios evaluados, por lo que se considera la alternativa más adecuada para implementar en el presente proyecto.

Ventajas más relevantes:

- Permitir al operador interactuar con la pantalla HMI, ya sea para el monitoreo o ajuste de parámetros, ofrece una gran flexibilidad y capacidad de adaptación del sistema.
- Mediante el ajuste de variables como tiempos de operación o porcentaje de apertura, se pueden establecer configuraciones predefinidas para mayor comodidad del personal de operaciones
- Contar con un registro de alarmas, podrá prever al personal de la información antes de que ocurra una falla introspectiva
- Evaluando historial de falla de equipos con este sistema, esta alternativa representa una mejora significativa
- Dar la capacidad de monitoreo, no solo a personal de terreno, sino que también extenderlo a personal de sala de control, aumentara la confiabilidad y el tiempo en el cual se monitorea la operación del compresor
- Se lograría reducir la tasa de desconexiones forzadas por falla en el suministro de gas

- Permitiría liberar parcialmente a personal de operaciones de ejecutar esta tarea de manera manual y repetitiva
- Facilitaría realizar mantención al sistema de válvulas de purga, sin interferir en la operación
- Seguiría con los lineamientos de la empresa referentes a mejora continua y automatización de los procesos

1.7 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Para el correcto desarrollo del proyecto, se definirán objetivos generales y específicos.

1.7.1 Objetivo General

Diseñar un sistema automatizado para optimizar el proceso de purga de aceite en un compresor de gas.

1.7.2 Objetivos Específicos

- a. Garantizar el funcionamiento continuo y seguro del sistema de compresión de gas.
- b. Seleccionar la instrumentación que garantice el control preciso del fluido de aceite
- c. Realizar el diagrama P&ID del proceso con el sistema automatizado
- d. Diseñar la lógica de control del proceso mediante un diagrama de flujo
- e. Diseñar una interfaz HMI de monitoreo del proceso
- f. Realizar estudio de costos del proyecto

CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

2 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

En este capítulo se detalla el diseño y desarrollo de la automatización del sistema de purga de los compresores de gas. Se analizan las limitaciones y procedimiento del sistema actual, se describen las especificaciones técnicas de los componentes seleccionados para la alternativa de solución propuesta y se presenta la arquitectura del sistema propuesto, incluyendo la lógica de control implementada y los resultados obtenidos tras las pruebas realizadas en simulación.

2.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL

Para el desarrollo de una solución técnica adecuada, resulta fundamental comprender en detalle el funcionamiento actual del sistema de purga de aceite en los compresores de gas. Este apartado describe el proceso tal como se ejecuta en la Central Termoeléctrica Colmito, considerando las tareas realizadas por el personal de operaciones, la secuencia de acciones requeridas y las principales limitaciones identificadas.

2.1.1 Importancia del proceso de purga de aceite

La purga de aceite es una actividad crítica para asegurar el correcto funcionamiento de los compresores, ya que los filtros (separadores de hidratos) poseen una capacidad limitada para retener partículas de aceite. Si esta operación no se realiza dentro de los tiempos establecidos, existe el riesgo de que el gas comprimido enviado a la turbina contenga trazas de aceite, lo que podría afectar la combustión, provocar desgaste prematuro en los componentes de la turbina y, eventualmente, comprometer la confiabilidad operativa de la planta.

Además, una purga deficiente podría permitir que el aceite acumulado en los filtros retorne hacia la unidad de compresión, generando daños en sellos, empaques y otros elementos críticos del compresor, lo que puede derivar en fallas mecánicas o incluso en una detención intempestiva del equipo.

2.1.2 Paso a paso actual del proceso de purga de aceite

Los compresores de la Central Termoeléctrica Colmito entran en servicio cuando el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN) solicita que entre en servicio la unidad. En respuesta, el personal de operaciones activa los compresores mediante un pulsador local en el equipo. Una vez en funcionamiento, el fabricante recomienda realizar la purga de los filtros cada una a dos horas para mantener el rendimiento óptimo del sistema. Este proceso implica que un operador acceda al área de los compresores y manipule manualmente las válvulas correspondientes a cada filtro (Figura 2-1), permitiendo así la liberación del aceite acumulado. Esta dependencia de intervención manual incrementa la carga operativa del personal y eleva el riesgo de errores humanos, lo que puede comprometer la continuidad del sistema.



Fuente: Fotografía propia, captura realizada en terreno

Figura 2-1. Accionamiento de válvula de purga en terreno

Una vez liberado el aceite de los 6 filtros, el aceite pasa al tanque de choque, encargado de coleccionar el aceite purgado. Una vez que se ha realizado la purga de todos los filtros, se abre la válvula de drenaje del tanque de choque (Figura2-2), y de esta manera el aceite purgado, pasa a un contenedor de 200 litros, una vez que este contenedor está al 80 % de su capacidad total, personal de operaciones debe vaciar este contenedor, con la ayuda de bombas manuales.



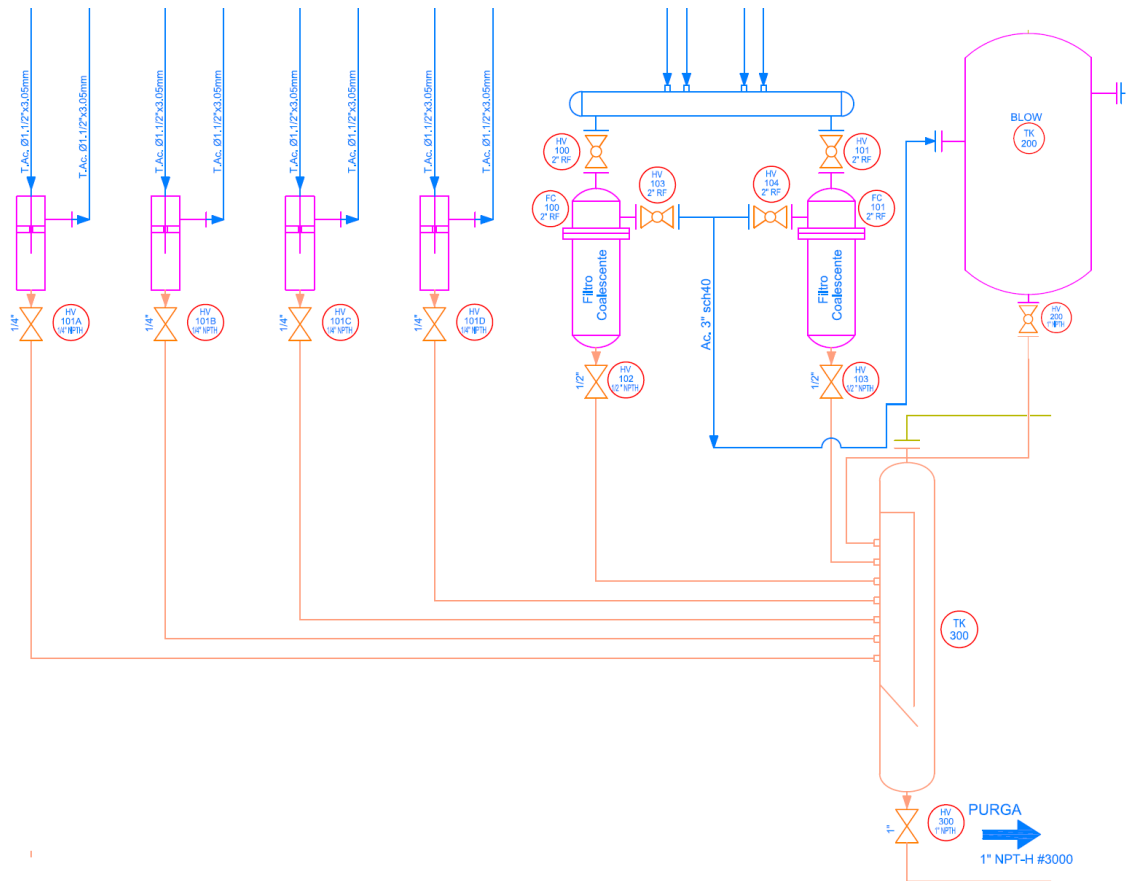
Fuente: Fotografía propia, captura realizada en terreno

Figura 2-2. Purga en terreno de tanque de choque

2.1.3 Diagrama P&ID del sistema actual

La Figura 2-3 presenta el Diagrama P&ID correspondiente al sistema de purga de aceite de los compresores de gas en la Central. Este diagrama ha sido extraído del manual técnico del fabricante e ilustra la disposición actual de los filtros, válvulas, líneas de drenaje y el tanque de choque conectado a la línea principal de gas.

El objetivo de este diagrama es ofrecer una representación visual del sistema que permita identificar los puntos críticos del proceso y analizar las limitaciones del diseño actual.



Fuente: Manual técnico del fabricante (Galileo Technologies)

Figura 2-3. Diagrama P&ID del sistema actual

Como se observa en el diagrama P&ID, los cuatro filtros separadores de hidratos y los dos filtros coalescentes drenan el aceite hacia el tanque de choque (TK300). Cada filtro está equipado con su respectiva válvula manual, las cuales originalmente eran de $\frac{1}{4}$ " y fueron reemplazadas por válvulas de $\frac{1}{2}$ " para mejorar el manejo del flujo.

Estos componentes conforman el sistema actual de purga, que, si bien cumple con la función de drenaje, se basa totalmente en la intervención manual. Esta disposición, aunque funcional, no permite una operación flexible ni monitoreo en tiempo real, lo que limita su integración con sistemas modernos de automatización.

2.2 DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

A partir del análisis del sistema manual actual y de la evaluación de alternativas desarrollada en el Capítulo 1, se definió como solución óptima la implementación de un sistema automatizado de purga de aceite. Esta alternativa incorpora un controlador lógico programable (PLC), actuadores eléctricos con control proporcional, válvulas motorizadas y sensores de nivel, permitiendo reemplazar la operación manual por un proceso automático, más eficiente y confiable.

En este apartado se describe el diseño e implementación de la solución seleccionada, considerando la arquitectura del sistema, la selección de componentes, el desarrollo de la lógica de control, la interfaz de usuario (HMI) y los mecanismos de monitoreo y seguridad asociados.

Se detallan los criterios técnicos utilizados para la selección del PLC, módulos de expansión, actuadores, válvulas, sensores y la motobomba encargada del drenaje del aceite purgado. Cada componente fue evaluado en función de su funcionalidad, durabilidad y capacidad de integración al sistema de control propuesto, con el objetivo de garantizar eficiencia operativa, confiabilidad y facilidad de mantenimiento.

2.2.1 Selección del PLC

PLC Siemens S7-1500 CPU 1516-3 PN/DP V2.6

Para el control del sistema automatizado de purga de aceite se seleccionó un PLC Siemens S7-1500, debido a su capacidad para gestionar señales digitales y analógicas, su compatibilidad con módulos de expansión, y su integración nativa con el entorno de programación TIA Portal.

Este equipo permite controlar múltiples entradas y salidas, tanto discretas como proporcionales, lo que resulta fundamental para operar válvulas motorizadas, sensores de nivel y la interfaz HMI.



Fuente: Siemens, imagen extraída del manual técnico del PLC S7-1500.

Figura 2-4. PLC Siemens S7-1500

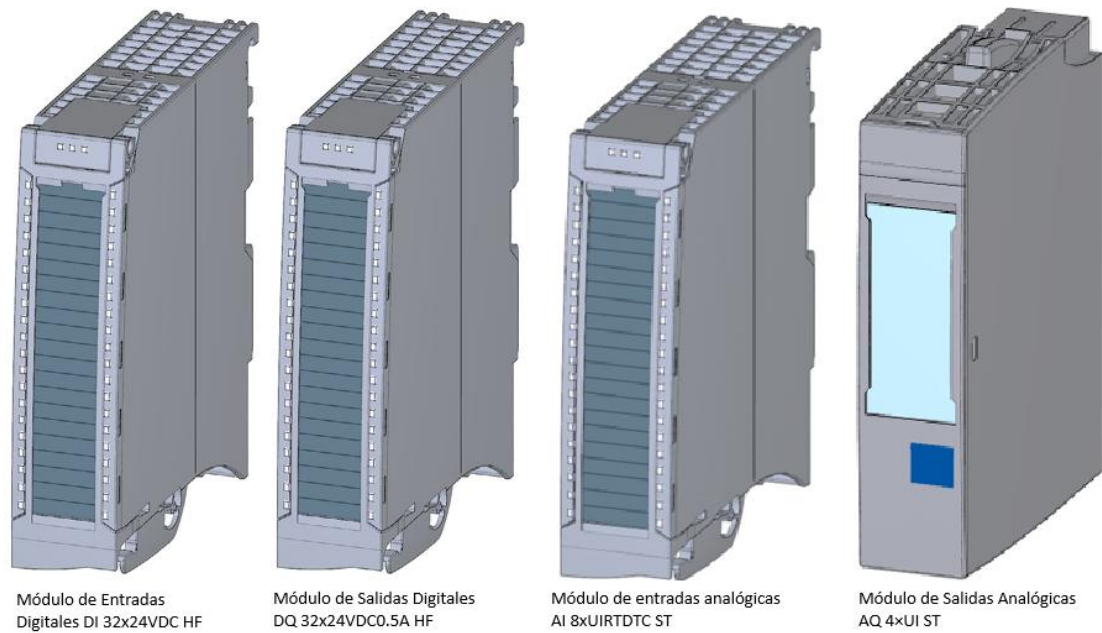
2.2.2 Selección de módulos de expansión

Para dar cumplimiento a los requerimientos funcionales del sistema automatizado, se seleccionaron cuatro módulos de expansión compatibles con el PLC Siemens S7-1500 (Figura2-5). Estos módulos, descritos en la Tabla 2-1, permiten gestionar un conjunto de señales digitales y analógicas, tanto de entrada como de salida, necesarias para el control de válvulas, lectura de sensores y supervisión general del sistema. La selección se basó en la cantidad de señales involucradas, el tipo de dispositivos conectados y la facilidad de integración con el entorno TIA Portal.

Tabla 2-1. Selección de módulos de expansión

Modulo	Tipos de señal	Cantidad de canales	Función principal
DI 32X24VDC HF	Entradas digitales	32	Lectura de señales digitales desde switch de posición, estados de relés y alarmas
DQ 32X24VDC/0.5A HF	Salidas digitales	32	Activación de dispositivos como indicadores
AI 8xU/I/RTD/TC ST	Entradas analógicas	8	Lectura de señales de sensores de nivel y feedback de posición
AQ 4xU/I ST	Salidas analógicas	4	Envío de señal de control proporcional (4 a 20 mA) hacia posicionadores

Fuente: Elaboración propia con base en datos del manual técnico Siemens S7-1500.



Fuente: Siemens. Catálogo técnico de módulos de expansión S7-1500

Figura 2-5. Módulos de expansión para PLC Siemens S7-1500

2.2.3 Interfaz HMI

Para facilitar la interacción entre el operador y el sistema automatizado de purga, se seleccionó la pantalla Siemens KTP700 Basic PN (Figura 2-6). Este dispositivo permite visualizar, monitorear y controlar los procesos en tiempo real, generando un entorno de manipulación amigable para el operador y reduciendo la necesidad de intervención directa sobre los equipos.

La KTP700 cuenta con una pantalla táctil de 7 pulgadas, resolución de 800x480 píxeles, y capacidad para crear múltiples vistas de proceso dentro de un entorno gráfico amigable. Su compatibilidad con el entorno de programación TIA Portal permite una integración completa con el PLC Siemens S7-1500, simplificando la configuración de alarmas, variables, restricciones de acceso y visualización de tendencias.



Fuente: Siemens. Manual técnico de la pantalla HMI KTP700 Basic PN

Figura 2-6. Pantalla HMI

2.2.4 Conjunto: válvula – actuador – posicionador

El control preciso del flujo de aceite purgado en el sistema automatizado es fundamental para garantizar la estabilidad operativa de los compresores de gas. Para lograrlo, se seleccionó un conjunto compuesto por una válvula de bola, un actuador neumático y un posicionador. Estos componentes trabajan en conjunto para regular el porcentaje de apertura de las válvulas de forma precisa y confiable, asegurando el cumplimiento de los requisitos técnicos y operativos del diseño.

La selección de estos elementos se basó en criterios de compatibilidad, durabilidad y eficiencia, con énfasis en su capacidad para integrarse como un conjunto, es por esto por lo que se seleccionaron los siguientes:

a. Válvula de bola

La válvula seleccionada para el sistema es una válvula de bola de la marca Festo, modelo VZBE (Figura 2-7). Este tipo de válvula fue elegido por su capacidad para manejar fluidos con alta viscosidad, como el aceite, y su resistencia a la corrosión, gracias a su construcción en acero inoxidable.

Especificaciones técnicas:

- Tipo: Válvula de bola, 2 vías
- Modelo específico (1/2"): VZBE-1/2-T-63-T-2-F0304-V15V15
- Modelo específico (1"): VZBE-1-T-63-T-2-F0405-V15V15
- Tamaño de conexión 1/2" NPT (Para filtros)
- Tamaño de conexión 1" NPT (Para tanque de choque)
- Material: Acero inoxidable con juntas de PTFE
- Temperatura del medio -20°C a 200°C
- Cumplimiento con normativa ISO 5211 (estándar de montaje)



Fuente: Festo. Catálogo técnico de válvulas de bola serie VZBE

Figura 2-7. Válvula de bola Festo

b. Actuador Neumático

Se seleccionó el actuador neumático modelo Festo DFPD (Figura 2-8), diseñado específicamente para automatizar válvulas de bola y garantizar un par de giro constante en un rango de 90°. Este actuador ofrece una operación precisa y confiable, ideal para aplicaciones donde la seguridad y la estabilidad son críticas.

El actuador DFPD garantiza un control suave y preciso del porcentaje de apertura de la válvula, adaptándose a las señales enviadas por el PLC, lo hace ideal para las condiciones del sistema. Además, su integración con el posicionador seleccionado maximiza la eficiencia del control.

Características específicas del actuador DFPD:

- Tipo: neumático, par de giro constante
- Conexión estándar: ISO 5211 (compatibilidad con la válvula seleccionada)
- Material: Eje de acero inoxidable
- Capacidad de operar con altas temperaturas



Fuente: Festo. Catálogo técnico del actuador neumático DFPD

Figura 2-8. Actuador Festo DFPD

c. Posicionador

El posicionador seleccionado es el modelo Festo CMSX (Figura 2-9), diseñado para optimizar la regulación de la posición de válvulas accionadas neumáticamente. Este dispositivo permite recibir señales analógicas estándar de 4-20 mA y proporcionar retroalimentación tanto analógica como digital.

El posicionador CMSX garantiza un control preciso y dinámico de la válvula, ajustando su posición según las necesidades operativas del sistema. Su capacidad de proporcionar retroalimentación en tiempo real facilita el monitoreo y asegura una respuesta rápida ante cualquier desajuste, contribuyendo a la confiabilidad global del sistema.

Características específicas del posicionador CMSX:

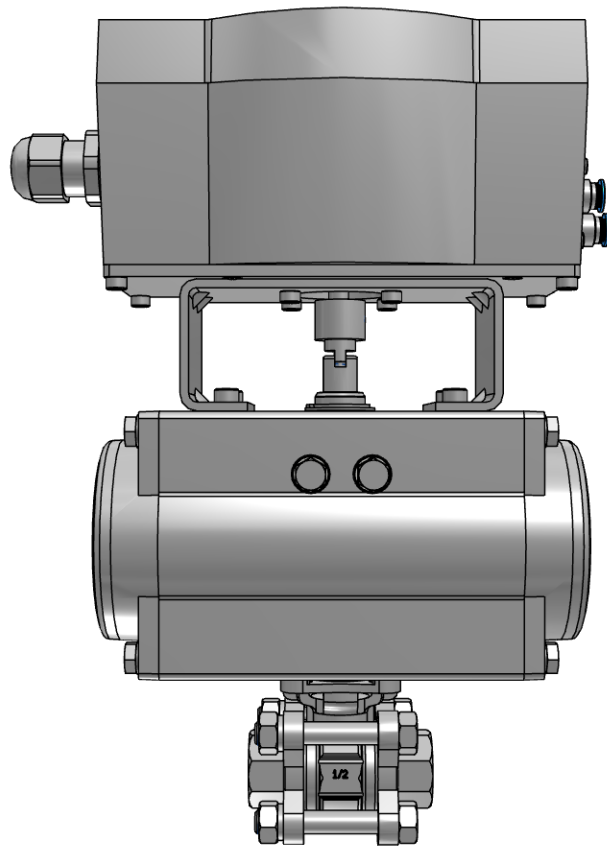
- Señal de entrada: 4 – 20 mA
- Salida de retroalimentación: 4-20 mA y tres salidas digitales.
- Grado de protección IP 65
- Compatibilidad: Total integración con el actuador DFPD y la válvula VZBE



Fuente: Manual del Fabricante

Figura 2-9. Posicionador Festo CMSX

Este conjunto de control final (Figura 2-10), permite realizar un ajuste progresivo y preciso del flujo de aceite durante la purga, evitando aperturas bruscas que podrían generar variaciones de presión no deseadas en el sistema. La combinación de válvula de bola, actuador neumático y posicionador electrónico asegura una operación confiable, eficiente y alineada con los requerimientos del proceso, mejorando la estabilidad del sistema y reduciendo el desgaste mecánico de los componentes.



Fuente: Festo, imagen obtenida desde <https://www.festo.com>

Figura 2-10. Conjunto completo válvula

2.2.5 Sensor de nivel

El sistema de purga automatizado requiere monitorear de forma continua el nivel de aceite acumulado en el estanque de recepción, con el fin de activar el sistema de drenaje en el momento adecuado y evitar sobrellenados. Para esta tarea se seleccionó el sensor ultrasónico Siemens SITRANS LU150, diseñado para medir niveles de líquidos de manera precisa y sin contacto directo con el fluido. Las características específicas del sensor SITRANS LU150, se presentan en la tabla 2-2.

Tabla 2-2. Direccionamiento de Variables.

Tipo	Sensor ultrasónico.
Rango de medición	0 a 5 metros.
Precisión	$\pm 0.15\%$ del rango máximo.
Resolución	2 mm.
Temperatura operativa	-40 °C a 60 °C.
Índice de protección	IP68.
Señal de salida	4-20 mA.
Aplicación	Para líquidos como agua y aceite entre otros

Fuente: Manual del Fabricante

El SITRANS LU150 presenta un índice de protección IP68, y está construido para operar en ambientes exigentes con humedad, polvo o temperaturas elevadas, como los que se presentan en la planta. Al tratarse de un sensor sin contacto, minimiza el desgaste, facilita el mantenimiento y asegura una medición estable incluso en presencia de vapores.



Fuente: Siemens. Manual técnico del sensor de nivel ultrasónico SITRANS LU150

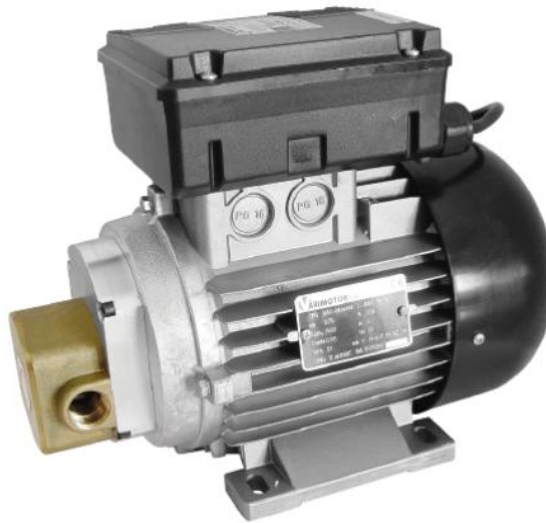
Figura 2-11. Sensor de nivel ultrasónico Siemens LU150

2.2.6 Motobomba

En el sistema automatizado de purga, el drenaje del aceite acumulado requiere ser asistido mediante una motobomba. Esta motobomba tiene la función de asegurar un vaciado eficiente y continuo del estanque de recolección, evitando rebalses y garantizando la operación fluida del sistema.

Se seleccionó el modelo GESPASA EA-88 (Figura 2-12), una bomba de engranajes de uso industrial, diseñada para el manejo de aceites y fluidos viscosos. Este equipo cuenta con alimentación eléctrica monofásica de 220 [V] AC, una capacidad de caudal de hasta 30 litros por minuto, y está construido con cuerpo de latón y eje de acero, lo que le otorga resistencia mecánica y térmica adecuada para operar con aceite a temperatura.

Esta solución asegura que el aceite purgado no se acumule en el estanque, evitando rebalses y asegurando la continuidad del sistema, sin necesidad de intervención manual por parte del operador.



Fuente: GESPASA, imagen obtenida desde <https://www.gespasa.es>,

Figura 2-12. Bomba de drenaje de aceite seleccionada

2.2.7 Tabla resumen de componentes seleccionados

Este apartado presenta una tabla resumen (Tabla 2-3) que agrupa los componentes seleccionados en este diseño, esta tabla detalla las características principales de cada componente, su justificación para ser parte del proyecto, y el número de unidades requerida para el diseño de esta solución.

Cabe destacar que las cantidades indicadas corresponden a una propuesta de diseño basada en los requerimientos definidos durante esta etapa del proyecto, por lo que pueden estar sujetas a ajustes en función de futuras ampliaciones, validaciones técnicas o condiciones específicas de instalación en terreno.

Tabla 2-3. Tabla resumen de selección de componentes

Componente	Modelo	Fabricante	Unidades
PLC	S7-1500 CPU 1516-3 PN/DP	Siemens	1
Interfaz HMI	KTP700 Basic PN	Siemens	2
Módulo de entradas digitales	DI 32X24VDC HF	Siemens	1
Módulo de salidas digitales	DQ 32X24VDC/0.5A HF	Siemens	1
Módulo de entradas análogas	AI 8xU/I/RTD/TC ST	Siemens	2
Módulo de salidas análogas	AQ 4xU/I ST	Siemens	4
Actuador	DFPD	Festo	14
Posicionador	CMCX	Festo	14
Válvulas de bola	VZBE	Festo	14
Sensor de nivel ultrasónico	SITRANS LU150	Siemens	2
Motobomba	GESPASA EA-88	GESPASA	2

Fuente: Elaboración propia en WORD basada en las necesidades del proyecto.

La correcta selección de los componentes presentados en esta sección permite establecer una base sólida para la implementación del sistema automatizado de purga. Cada equipo ha sido considerado bajo criterios de compatibilidad, robustez, eficiencia y facilidad de integración con el PLC Siemens S7-1500 y el entorno TIA Portal.

En el siguiente apartado se abordará la arquitectura del sistema, integrando todos los elementos descritos para representar su funcionamiento global y su lógica de control.

2.3 ARQUITECTURA FUNCIONAL DEL SISTEMA

Esta sección describe la arquitectura general del sistema automatizado de purga de aceite, integrando los componentes seleccionados en una solución funcional. El diseño responde a los objetivos de eficiencia, confiabilidad y autonomía operacional definidos en este proyecto, y considera una estructura centralizada controlada mediante un PLC Siemens S7-1500.

2.3.1 Objetivos del diseño

El diseño del sistema busca garantizar un funcionamiento eficiente, seguro y confiable, reduciendo al mínimo la intervención directa del operador y mitigando los riesgos asociados a errores humanos. Se prioriza la automatización de tareas críticas, como la purga de aceite, el monitoreo de niveles y la activación del drenaje.

Además, el diseño se plantea de manera escalable, permitiendo su adaptación ante futuras necesidades de expansión o modificación del proceso. La utilización de estándares industriales (como comunicación por Profinet, señales 4–20 mA, y montaje mecánico ISO 5211) garantiza compatibilidad con equipos existentes y una alta disponibilidad operativa.

2.3.2 Integración de componentes y señales

El sistema automatizado opera combinando monitoreo, control y registro continuo de variables. El sensor ultrasónico instalado en el estanque permite conocer el nivel de aceite acumulado, y entrega esta información al PLC mediante una señal analógica de 4–20 mA. Con base en esta señal, el controlador evalúa el estado del sistema y ejecuta la lógica de control programada.

A través del posicionador neumático (CMSX), el PLC regula la apertura proporcional de las válvulas de bola conectadas a los filtros, permitiendo un drenaje controlado del aceite.

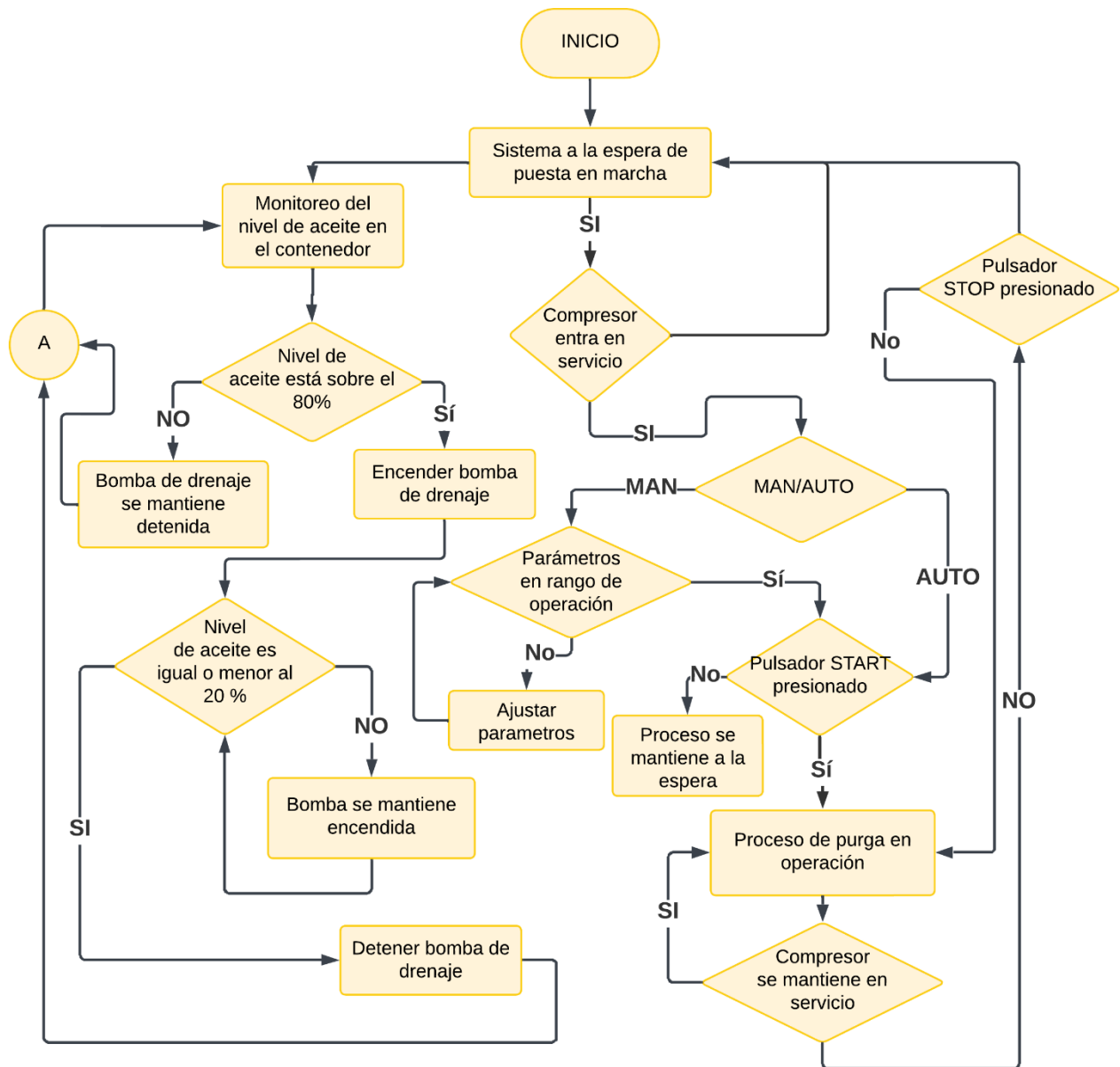
Cuando se alcanza el umbral de nivel en el contenedor de aceite, el sistema activa la motobomba GESPASA EA-88 para vaciar el estanque hacia el punto de disposición.

El operador puede monitorear el estado del sistema y modificar parámetros operativos mediante la pantalla HMI Siemens KTP700 Basic PN, la cual permite visualizar el nivel, controlar válvulas en modo manual o automático, revisar alarmas y registrar eventos.

2.4 DIAGRAMA DE FLUJO

Con el fin de representar de manera clara la secuencia operativa del sistema automatizado de purga, se elabora un diagrama de flujo (Figura 2-13) que describe los pasos lógicos que sigue el proceso desde su inicio hasta la finalización del ciclo de drenaje. Este diagrama permite visualizar de forma estructurada las condiciones, decisiones y acciones que componen el funcionamiento del sistema, facilitando así la comprensión de la lógica de control programada en el PLC.

El flujo descrito contempla tanto el monitoreo del nivel de aceite, el control de apertura proporcional de válvulas, la activación de la motobomba y el manejo de alarmas. Este enfoque permite establecer una base clara para la programación del sistema y su posterior análisis funcional.



Fuente: Elaboración propia en LUCIDCHART basada en las necesidades del proyecto

Figura 2-13. Diagrama de Flujo

2.5 LÓGICA DE CONTROL

En esta sección se describe el desarrollo de la programación realizada en el entorno TIA Portal para automatizar el sistema de purga de aceite. TIA Portal, como plataforma integral de Siemens, facilita la configuración, programación y monitoreo del PLC, HMI y otros componentes del sistema.

Este apartado abarca la lógica de control implementada, los parámetros definidos para el funcionamiento de las válvulas y actuadores, la gestión de alarmas y la interacción con la interfaz HMI. El objetivo es asegurar un diseño eficiente y robusto que satisfaga los requisitos operativos y técnicos del proyecto.

2.5.1 Estructura general del programa

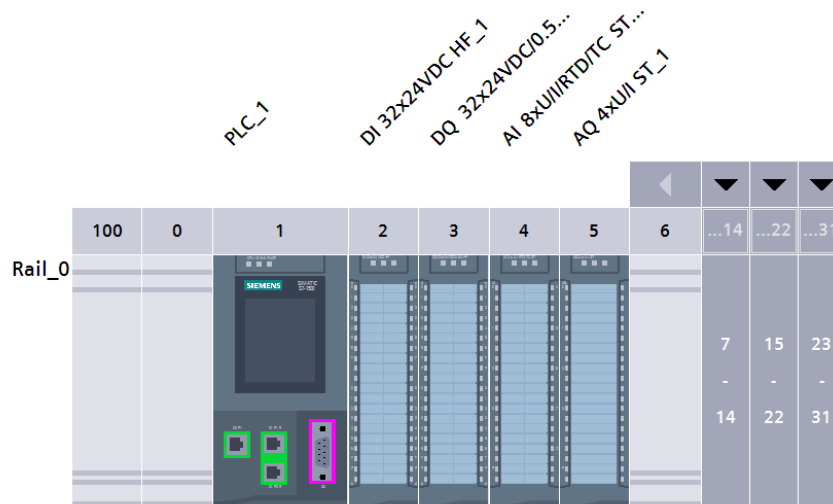
El programa desarrollado tiene como propósito automatizar el sistema de purga de aceite en los compresores de gas, garantizando una operación segura y eficiente. Para ello, se implementó una lógica de control secuencial que permite:

- Monitorear el nivel de aceite en los contenedores mediante sensores analógicos.
- Activar automáticamente la bomba de drenaje cuando el nivel supera el 80 %.
- Detener la bomba al alcanzar un nivel igual o inferior al 20 %.
- Gestionar la apertura proporcional de válvulas de purga a través de señales analógicas (4–20 mA)
- Supervisar alarmas y estados del sistema en tiempo real mediante la interfaz HMI.

La implementación de esta lógica se realizó en el entorno TIA Portal V18, utilizando bloques de programación en lenguaje Ladder (LAD) y Function Block Diagram (FBD).

En ellos se configuraron temporizadores, comparadores analógicos y bloques de control para el manejo de las señales de proceso.

De esta manera, el programa permite un control autónomo del sistema, manteniendo la operación continua del compresor y evitando intervenciones manuales innecesarias.



Fuente: Elaboración propia mediante captura de pantalla desde TIA Portal, según desarrollo del proyecto.

Figura 2-14. Disposición de módulos en PLC S7-1500

Para dar cumplimiento a los objetivos del diseño de la solución, la programación se estructura considerando lo siguiente:

1. Horómetro que permita almacenar datos del tiempo de operación de las motobombas
2. Contadores que permitan almacenar el dato del número de operaciones de cada válvula
3. Representaciones gráficas que indiquen el porcentaje de apertura de cada válvula
4. Indicadores de tiempo para cada nuevo ciclo de purga
5. Posibilidad de seleccionar el modo de selección entre automático y manual
6. Administración de usuarios para limitar acceso solo a personal calificado
7. Cuadro de alarmas en caso de algún fallo

2.5.2 Señales y equipos del sistema

En este apartado se detalla el listado de señales utilizadas en el sistema de automatización para la purga de aceite en los compresores de gas. Tal como se aprecia en tabla 2-4 se incluyen las señales de entrada y salida del PLC, junto con su respectivo identificador (TAG), tipo de señal, dirección asignada y descripción funcional.

Estas señales permiten al sistema operar de manera automática o manual según la condición operativa, habilitando o deshabilitando componentes como la bomba de drenaje o las válvulas proporcionales. Las entradas analógicas entregan retroalimentación continua del estado del sistema, como el nivel del contenedor o la posición de cada válvula, mientras que las salidas digitales permiten accionar alarmas en caso de fallas o condiciones anómalas. Esta configuración asegura una supervisión precisa y una operación segura del proceso de purga.

Tabla 2-4. Principales señales de entradas y salidas

TAG	Tipo de Señal	Dirección	Descripción
Mode_Man	Memoria Digital	%M0.0	Selección de modo Manual
Mode_Auto	Memoria Digital	%M0.3	Selección de modo Automático
VLV_01_POS	Salida Análoga	%QW284	Set Point de posición válvula 01
VLV_01_POS	Salida Análoga	%QW286	Set Point de posición válvula 02
VLV_01_POS	Salida Análoga	%QW288	Set Point de posición válvula 03
VLV_01_POS	Salida Análoga	%QW290	Set Point de posición válvula 04
VLV_01_POS	Salida Análoga	%QW292	Set Point de posición válvula 05
VLV_01_POS	Salida Análoga	%QW294	Set Point de posición válvula 06
VLV_01_POS	Salida Análoga	%QW296	Set Point de posición válvula 07
FEED_01_POS	Entrada Analógica	%IW102	Feedback de posición válvula 1
FEED_02_POS	Entrada Analógica	%IW104	Feedback de posición válvula 2
FEED_03_POS	Entrada Analógica	%IW106	Feedback de posición válvula 3
FEED_04_POS	Entrada Analógica	%IW108	Feedback de posición válvula 4
FEED_05_POS	Entrada Analógica	%IW110	Feedback de posición válvula 5
FEED_06_POS	Entrada Analógica	%IW112	Feedback de posición válvula 6
FEED_07_POS	Entrada Analógica	%IW114	Feedback de posición válvula 7
LT_01	Entrada Analógica	%IW100	Nivel del contenedor de Aceite
PUM_01	Salida Digital	%Q0.6	Salida a relé de bomba de drenaje
Alarm_pump	Salida Digital	%Q1.0	Salida a relé activada por horómetro
Alarm_LT_01	Salida Digital	%Q1.1	Salida a relé de sobrellenado
Alarm_VLV	Salida Digital	%Q1.2	Salida a relé de falla de apertura

Fuente: Elaboración propia en WORD basada en las necesidades del proyecto.

2.6 PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA Y DISEÑO DE INTERFAZ HMI

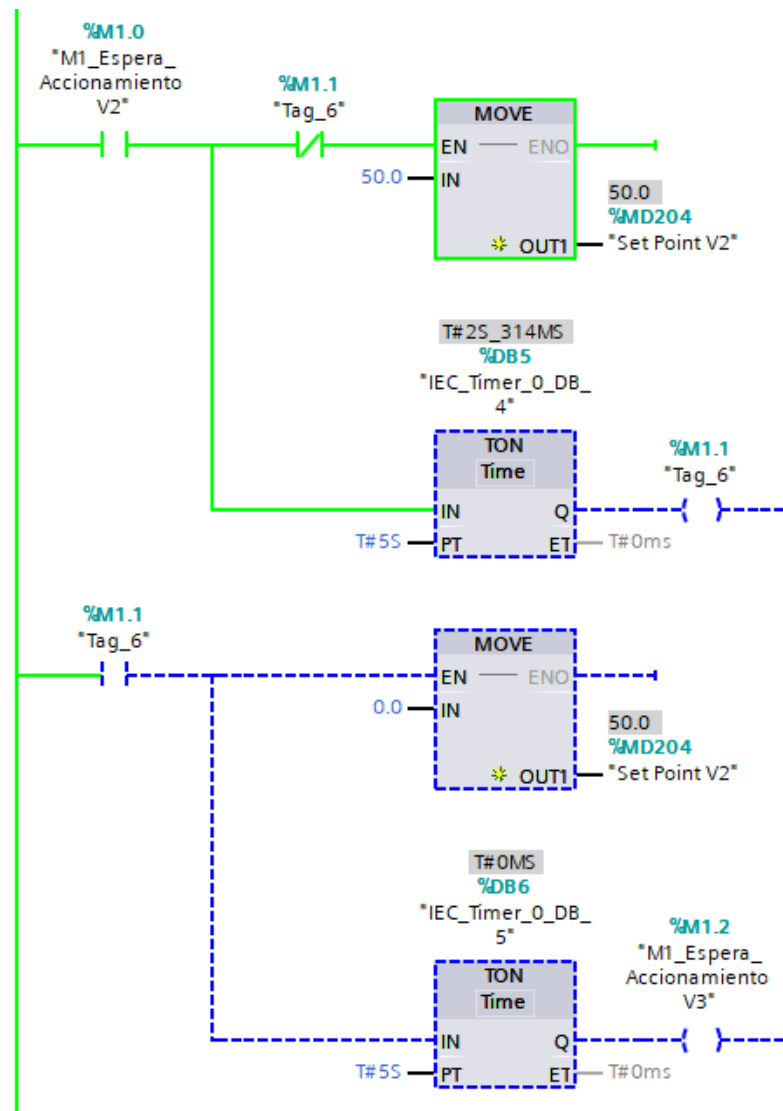
En este apartado se describe el desarrollo y diseño de la interfaz HMI utilizada para el control y monitoreo del sistema automatizado. La programación de la HMI se centra en proporcionar una interfaz intuitiva para el personal de operaciones, generando un fácil acceso al monitoreo de variables y alarmas.

Además, se detalla la lógica implementada para la visualización en tiempo real de los datos del sistema, así como la estructura de programación utilizada para gestionar las señales de entrada y salida del controlador. Esto garantiza que el diseño cumpla con los objetivos de eficiencia, seguridad y confiabilidad propuestos en el proyecto.

2.6.1 Control de válvulas de purga - modo automático

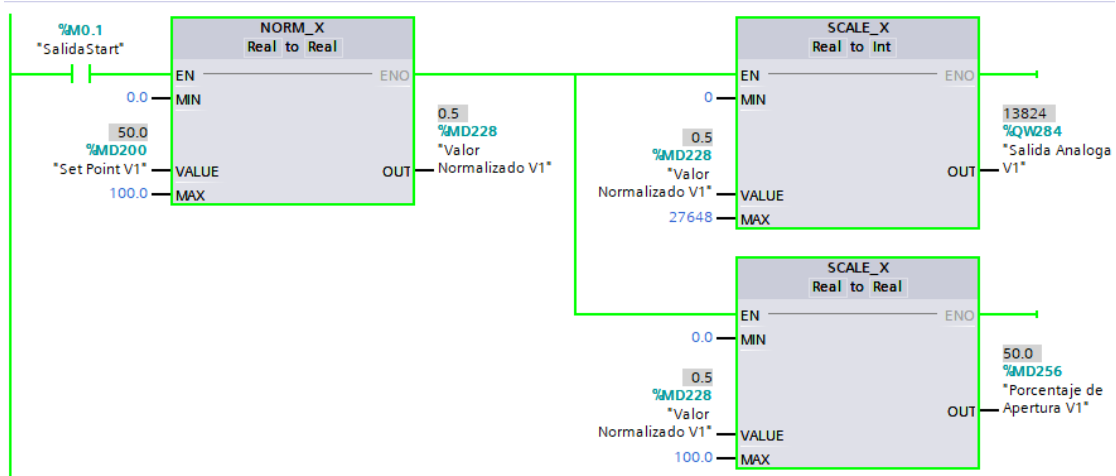
En este modo, el sistema ejecuta de forma autónoma el proceso de apertura de válvulas según las recomendaciones del fabricante. Cada válvula se abre secuencialmente con una apertura fija del 50%, manteniéndose abierta durante 5 segundos, seguida de una pausa de 5 segundos antes de accionar la siguiente. Esto evita la apertura simultánea de válvulas, lo cual podría provocar variaciones de presión indeseadas en el sistema.

Se utiliza la instrucción MOVE para transferir el valor de apertura al canal de salida analógica del PLC. La señal pasa luego por bloques de normalización y escalado, permitiendo un control preciso y proporcional de la válvula. La Figura 2-15 y 2-16 presentan un fragmento de la lógica de control empleada para la apertura y cierre de una de las válvulas, facilitando la comprensión del funcionamiento secuencial descrito.



Fuente: Elaboración propia mediante captura de pantalla en el entorno TIA Portal, según diseño del proyecto.

Figura 2-15. Bloques de secuencia de apertura de válvulas



Fuente: Elaboración propia mediante captura de pantalla en el entorno TIA Portal, según diseño del proyecto.

Figura 2-16. Bloques es escalamiento en normalización de apertura de válvula

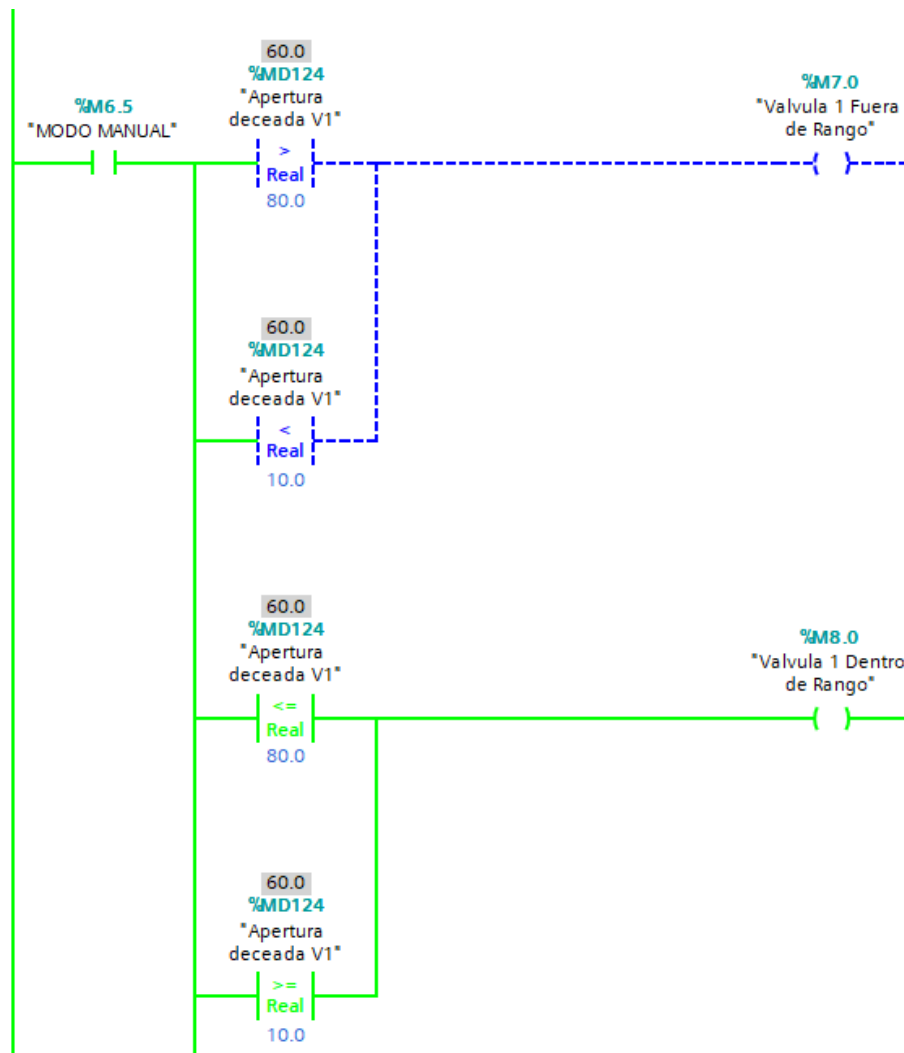
2.6.2 Control de válvulas de purga modo manual

Este modo otorga al operador un mayor control sobre el proceso. Permite:

- Ajustar el porcentaje de apertura de cada válvula (rango: 10% a 80%),
- Definir el tiempo de apertura, y
- Establecer el intervalo de repetición del ciclo.

Se implementaron comparadores que restringen los valores ingresados, evitando rangos peligrosos. Esta flexibilidad responde a la observación operativa de que no todos los filtros se saturan de forma homogénea.

El ciclo manual mantiene la lógica de seguridad del modo automático, respetando el retraso entre la apertura de válvulas para evitar interferencias hidráulicas. En la Figura 2-17 se muestra el esquema de control implementado para gestionar estas condiciones en el ciclo manual.



Fuente: Elaboración propia mediante captura de pantalla en el entorno TIA Portal, según diseño del proyecto.

Figura 2-17. Lógica (permisivo) de ajuste manual

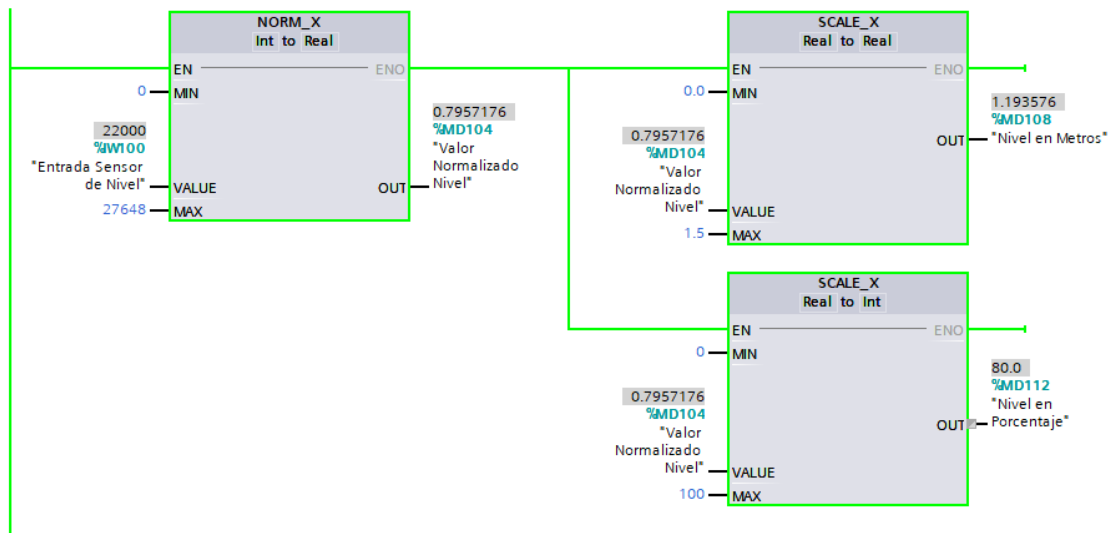
2.6.3 Control de nivel de estanque

El control del nivel de aceite en el estanque se realiza mediante un sensor ultrasónico y un lazo de control con la bomba de drenaje.

La señal analógica recibida es escalada y normalizada, y se utiliza para activar la bomba en función de los siguientes niveles:

- Nivel alto (80%): se activa el drenaje para evitar sobrellenado.
- Nivel bajo (20%): se detiene la bomba para evitar descebe o ingreso de aire.

También se incorporó la funcionalidad de drenaje manual, accesible solo para usuarios autorizados. La Figura 2-18 muestra el diagrama de normalización y escalamiento del lazo de control utilizado para la gestión del nivel de aceite en el estanque.



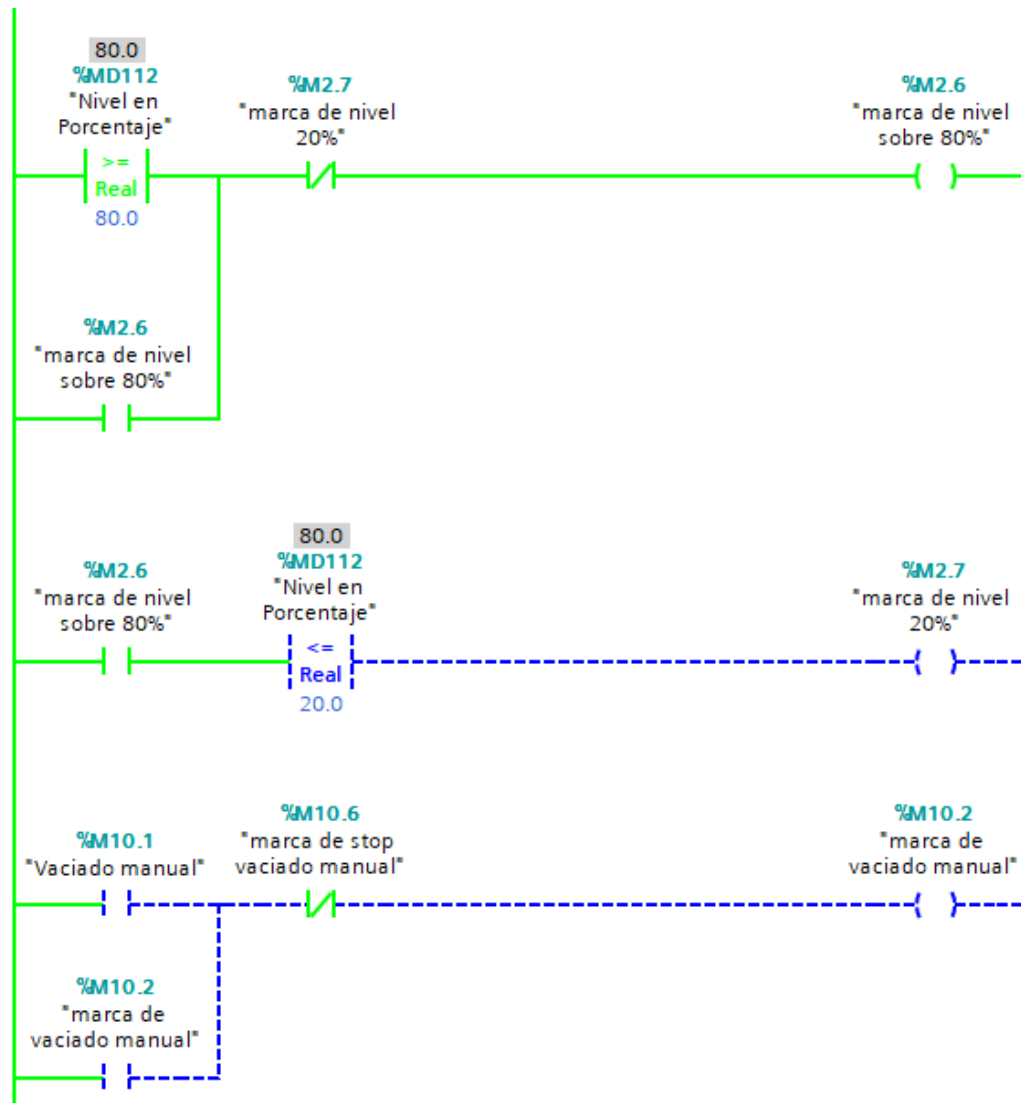
Fuente: Elaboración propia mediante captura de pantalla en el entorno TIA Portal, según diseño del proyecto.

Figura 2-18. Bloques y escalamiento de sensor de nivel

Horómetro de bomba:

Se diseñó un bloque funcional asociado al funcionamiento de la bomba, el cual registra el tiempo total de operación (horas acumuladas). Este horómetro incluye retención de datos para evitar pérdida de información ante cortes de energía, permitiendo un mantenimiento más eficiente. La Figura 2-19 muestra la programación desarrollada para mantener el nivel de aceite purgado dentro de los rangos establecidos, asegurando que la bomba opere conforme a los umbrales definidos de nivel alto y bajo (80% y 20%).

A continuación, se presenta la lógica de control implementada para la bomba de drenaje, la cual opera de manera independiente al horómetro descrito anteriormente.



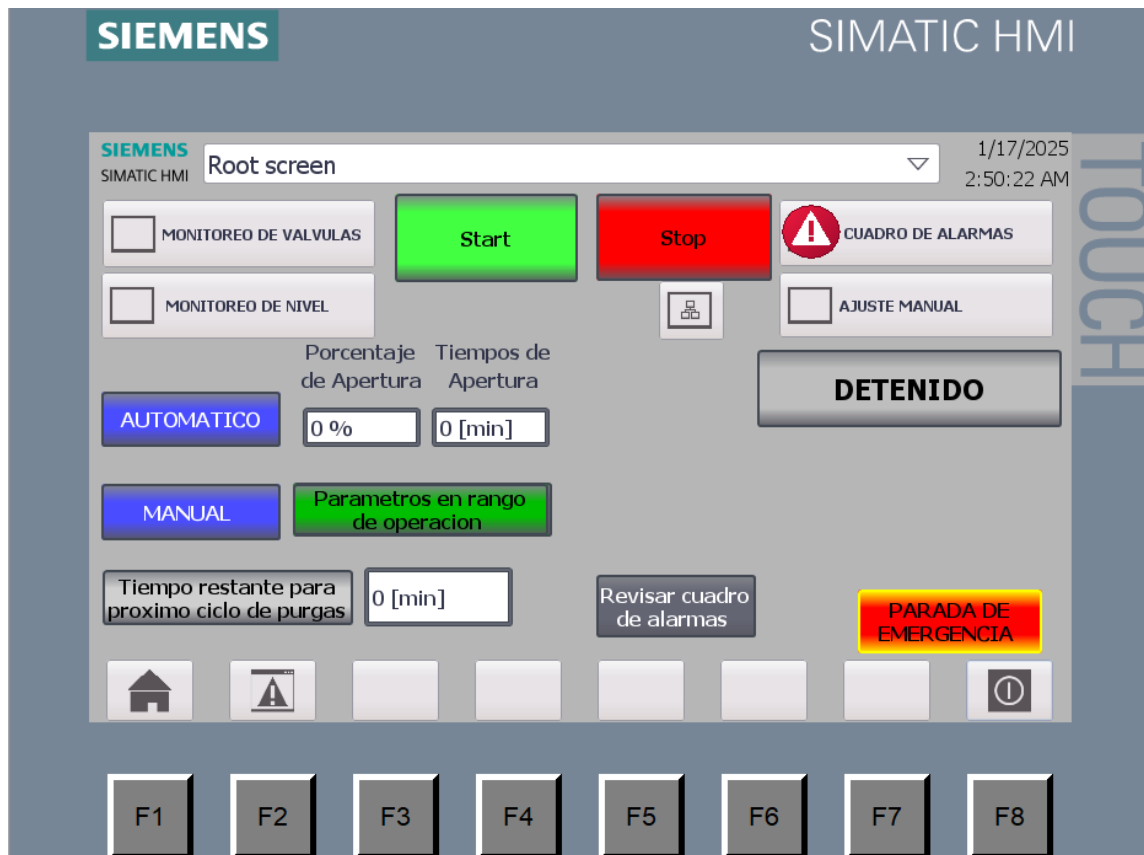
Fuente: Elaboración propia mediante captura de pantalla en el entorno TIA Portal, según diseño del proyecto.

Figura 2-19. Lógica de operación bomba de drenaje

2.6.4 Diseño de pantallas

1. Pantalla Inicial:

Esta pantalla sirve como punto de partida para navegar entre los diferentes procesos. Como se muestra en la figura 2-20, desde esta pantalla principal se puede acceder al monitoreo de válvulas, monitoreo de niveles, cuadro de alarmas y ajuste manual de las válvulas.



Fuente: Elaboración propia en TIA Portal. Pantalla HMI diseñada según requerimientos del proyecto.

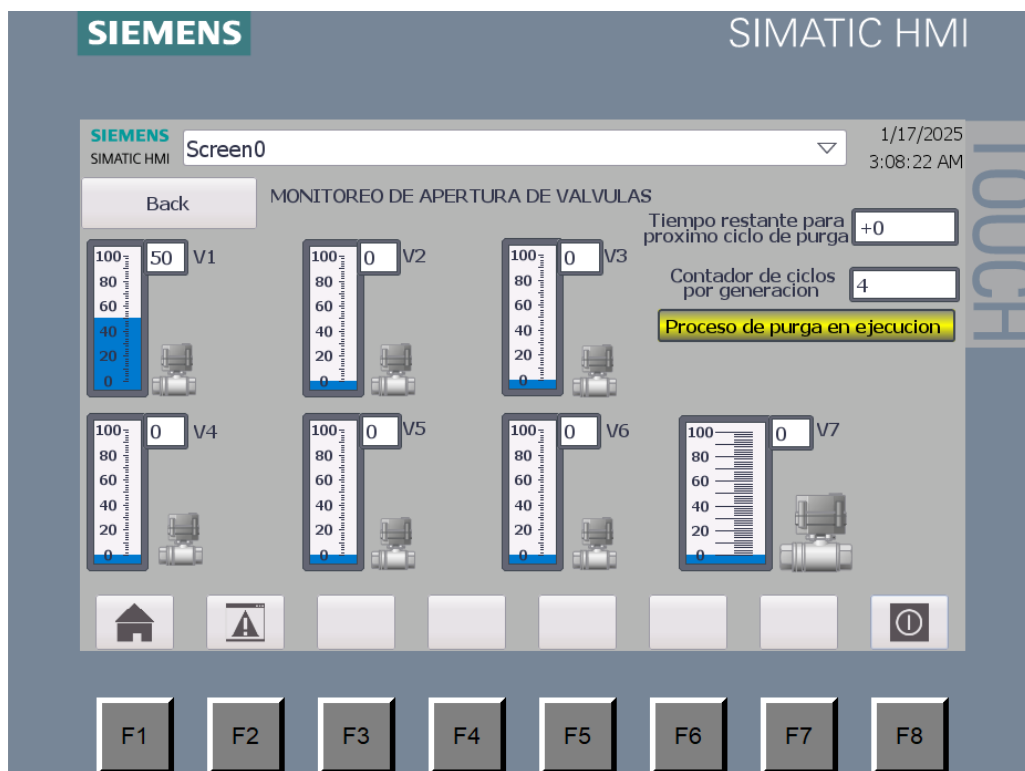
Figura 2-20. Pantalla HMI inicial

Como se puede apreciar en la figura 2-20, esta pantalla principal, además de la navegación por las diferentes pantallas, permite dar arranque y detención al proceso, así como también

seleccionar el modo de operación deseado, sumado a esto cuenta con indicadores los cuales reflejan si el sistema está en operación y el tiempo restante para el próximo proceso de purga.

2. Monitoreo de Válvulas:

- Representación gráfica y numérica de la apertura de cada válvula
- Indicadores de ciclo completados de purga y tiempo restante para el próximo ciclo



Fuente: Elaboración propia en TIA Portal. Pantalla HMI diseñada según requerimientos del proyecto.

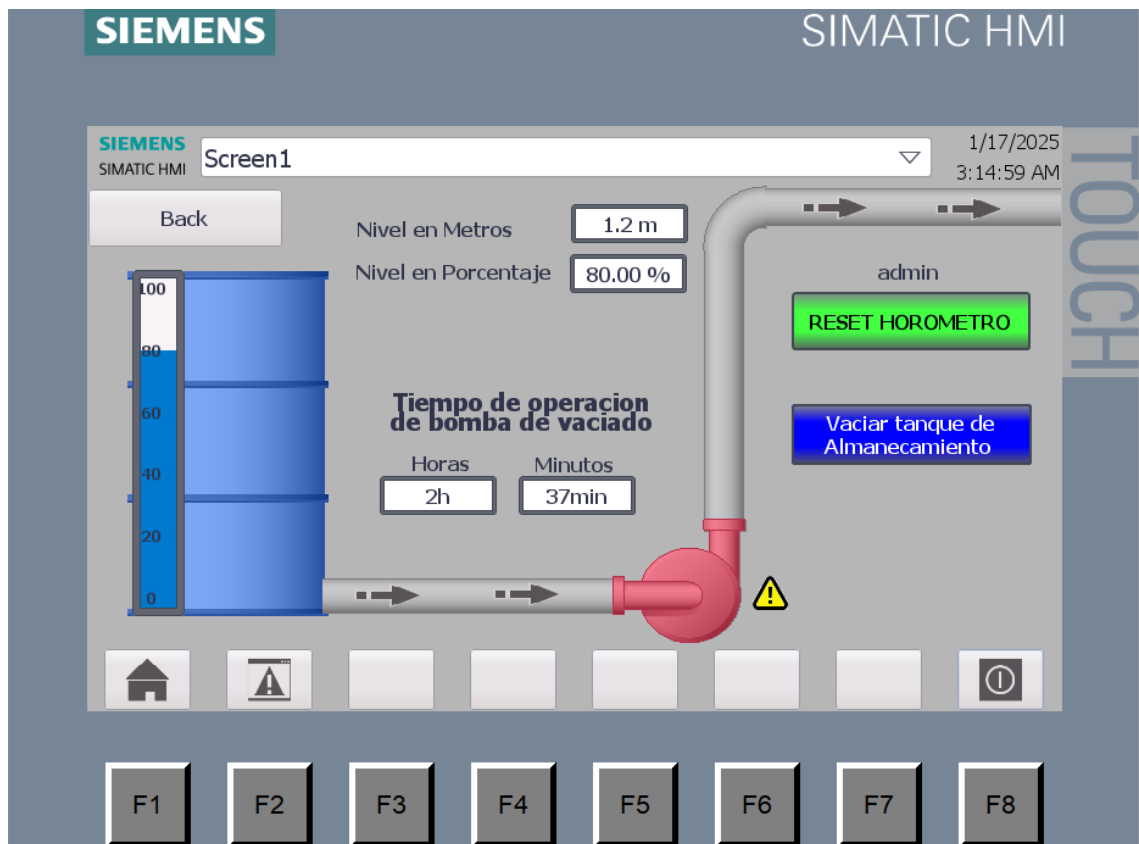
Figura 2-21. Pantalla de monitoreo de accionamiento de válvulas

La Figura 2-21 muestra la visualización implementada en la pantalla HMI para este propósito.

3. Monitoreo de nivel:

- Visualización en tiempo real del nivel de aceite en el estanque
- Estado de operación de la bomba
- Tiempo acumulado de funcionamiento
- Acceso a Reinicio de horómetro y opción de drenaje manual para usuarios autorizados

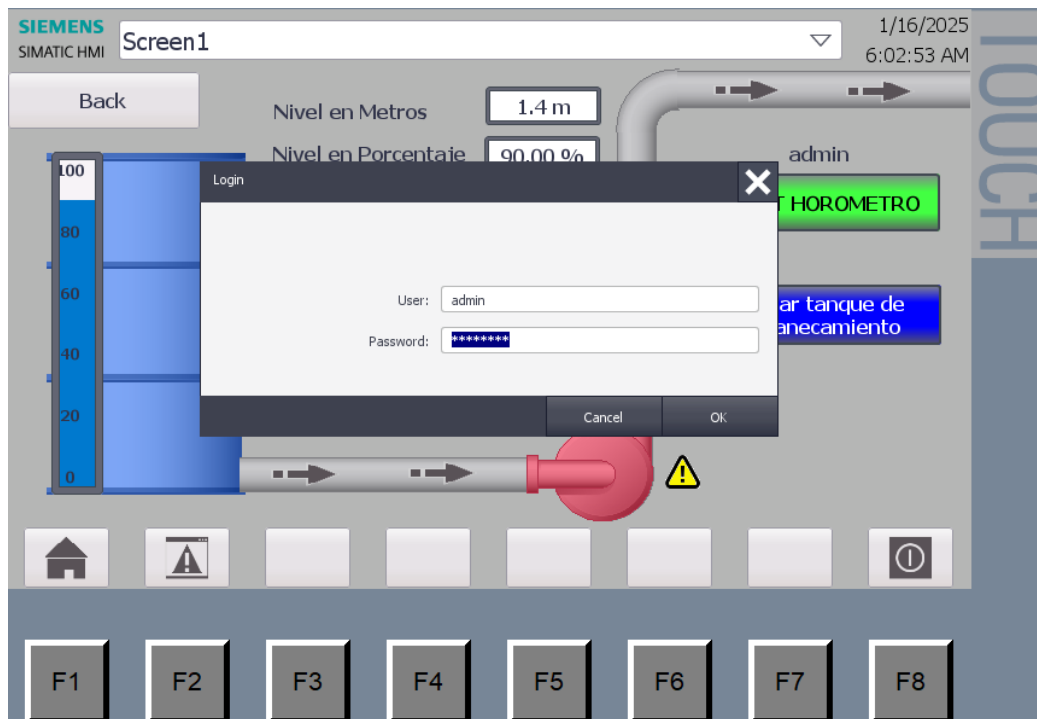
La Figura 2-22 presenta la interfaz diseñada para el monitoreo y control del sistema de nivel.



Fuente: Elaboración propia en TIA Portal. Pantalla HMI diseñada según requerimientos del proyecto.

Figura 2-22. Pantalla HMI de monitoreo de nivel

Como se mencionó anteriormente, para ejecutar acciones como la del vaciado en modo manual o el reinicio del horómetro, se han creado usuarios y contraseñas de administración, para garantizar que únicamente personal realmente involucrado pueda realizar estas acciones. En la Figura 2-23 se muestra la interfaz de acceso diseñada para restringir estas acciones a usuarios con los permisos correspondientes.



Elaboración propia en TIA Portal. Pantalla HMI diseñada según requerimientos del proyecto.

Figura 2-23. Pantalla HMI de control de usuarios

4. Ajuste Manual:

- Permite configurar manualmente: Porcentaje de partura de válvula, tiempos de apertura de cada válvula e intervalos entre ciclos
- Incluye advertencias si los valores ingresados están fuera del rango permitido

La Figura 2-24 ilustra la interfaz correspondiente al módulo de ajuste manual.

Back

PORCENTAJES DE APERTURA DECEADOS
AJUSTAR VALORES ENTRE 10% y 80%

Habilitar ajuste manual

Requiere modificar parametros

	% DE APERTURA DECEADO	TIEMPO EN POSICION ABIERTA		% DE APERTURA DECEADO	TIEMPO EN POSICION ABIERTA
V1	10 %	10 [s]	V6	50 %	10 [s]
V2	5 %	10 [s]	V7	21 %	12 [s]
V3	15 %	10 [s]			
V4	90 %	12 [s]			
V5	50 %	12 [s]			

CADA CUANTOS MINUTOS REPETIR CICLO DE PURGA: +0

Tiempo restante para proximo ciclo de purgas: 0 [min]

F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8

Fuente: Elaboración propia en TIA Portal. Pantalla HMI diseñada según requerimientos del proyecto.

Figura 2-24. Pantalla de ajuste de porcentajes de apertura deseados y tiempos

2.7 INTEGRACIÓN DEL SISTEMA COMPLETO

La etapa final del diseño consiste en la integración de todos los elementos desarrollados previamente, conformando un sistema de purga de aceite completamente automatizado, seguro y funcional. Esta integración considera tanto la conexión física entre los equipos como la configuración lógica en el entorno TIA Portal, permitiendo el funcionamiento coordinado de válvulas, sensores, motobomba, interfaz HMI y el controlador lógico programable (PLC).

El resultado es una solución que reemplaza el proceso manual, otorga trazabilidad, permite supervisión en tiempo real y reduce el riesgo operativo.

2.7.1 Interconexión de componentes y señalética del sistema

La arquitectura del sistema fue diseñada de forma centralizada, con el PLC Siemens S7-1500 como núcleo de control. A éste se conectan:

Entradas digitales: para señales de estados de válvulas, alarmas y pulsadores.

Entradas analógicas: para lectura del sensor de nivel y feedback de posición de válvulas.

Salidas analógicas: para controlar los posicionadores de válvulas mediante señales 4–20 mA.

Salidas digitales: para activar la bomba de drenaje, alarmas visuales y lógicas de seguridad.

Todos los dispositivos están direccionados mediante etiquetas (TAGs) configuradas en el PLC, asegurando trazabilidad y facilidad de mantenimiento.

2.7.2 Comunicación de datos y protocolos

La comunicación entre los dispositivos del sistema se realiza utilizando el protocolo Profinet, una red industrial basada en Ethernet, desarrollada por Siemens y ampliamente utilizada en entornos de automatización. Este protocolo permite una transferencia de datos rápida, confiable y sincronizada entre el PLC Siemens S7-1500 y la pantalla HMI KTP700 Basic PN.

Profinet fue seleccionado por su alta compatibilidad con los equipos utilizados y por permitir una fácil configuración en el entorno de programación TIA Portal. Gracias a esta arquitectura, el operador puede visualizar en tiempo real el estado del sistema, modificar parámetros de operación, recibir alarmas y ejecutar comandos directamente desde la HMI instalada en terreno.

2.8 PIPING AND INSTRUMENTATION DIAGRAM (P&ID)

CAPÍTULO 3: EVALUAICÓN DE COSTOS DEL PROYECTO

3 EVALUACIÓN DE COSTOS DEL PROYECTO

Este capítulo presenta una estimación económica de la solución propuesta para el sistema de purga de aceite en los compresores de gas de la Central Termoeléctrica Colmito. Se analizan los costos asociados a la ingeniería, adquisición de componentes, instalación y puesta en marcha del sistema, considerando tanto recursos humanos como materiales.

El objetivo principal de esta evaluación es determinar la viabilidad económica del proyecto, identificando los recursos requeridos, estimando su costo y justificando la inversión desde una perspectiva operativa, de seguridad y continuidad del proceso.

3.1 PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

A continuación, se presenta una planificación estimada de las actividades necesarias para la implementación del sistema automatizado de purga de aceite en los compresores de gas. Esta planificación estima una duración total de tres semanas hábiles, considerando la ejecución secuencial de las actividades en terreno, pruebas funcionales, ajustes y traspaso operativo.

En la Tabla 3-4 se presenta el desglose detallado de las tareas, junto con su duración estimada en horas, sobre la base de jornadas laborales de 8 horas diarias. Las actividades fueron definidas a partir del flujo operativo propuesto, los recursos técnicos involucrados y experiencias previas en la ejecución de proyectos similares.

Cabe destacar que esta estimación contempla únicamente el tiempo requerido para la ejecución directa de las tareas técnicas, sin considerar posibles contingencias, demoras logísticas o interrupciones operativas que pudieran surgir en terreno. Por lo tanto, se sugiere mantener una planificación flexible, que permita adaptarse a eventuales imprevistos sin comprometer los plazos generales del proyecto.

Tabla 3-1. Estimación de duración por tarea

Actividad / Tarea	Duración estimada (horas)
Evaluación técnica y preparación de documentación	8
Instalación de bandejas porta cables	16
Tendido de cables y conexión de señales	16
Instalación de válvulas de control y posicionadores	10
Montaje del sensor de nivel y motobomba	8
Conexión eléctrico y neumático completo	16
Configuración de módulos I/O y pruebas de señales	8
Programación y carga de lógica al PLC	16
Configuración y diseño de pantallas en HMI	16
Puesta en marcha y validación funcional	8
Correcciones y ajustes finales	8
Capacitación al operador	4
Elaboración de documentación técnica final	6
Total	140

Fuente: Elaboración propia.

3.1.1 Carta Gantt

En la figura 3-1 se presenta la carta Gantt asociada al desarrollo del proyecto, en la que se distribuyen las tareas estimadas a lo largo de tres semanas hábiles. Esta representación visual permite identificar la secuencia lógica, los posibles puntos críticos y la coordinación necesaria entre especialidades.

ACTIVIDAD	SEMANA 1					SEMANA 2					SEMANA 3				
	LU	MA	MI	JU	VI	LU	MA	MI	JU	VI	LU	MA	MI	JU	VI
EVALUACIÓN TÉCNICA Y DOCUMENTACIÓN	■														
PROGRAMACIÓN DEL PLC		■	■												
CONFIGURACIÓN Y DISEÑO PANTALLA HMI		■													
INSTALACIÓN DE BANDEJAS Y PORTA CABLES				■											
TENDIDO DE CABLES Y CONEXIÓN DE SEÑALES				■	■										
INSTALACIÓN DE VÁLVULAS Y POSICIONADORES						■									
MONTAJE DE SENSOR DE NIVEL Y MOTOBOMBA							■								
CONEXIONADO ELÉCTRICO Y NEUMÁTICO								■							
CONFIGURACION DE MÓDULOS Y PRUEBAS									■						
PUESTA EN MARCHA Y VALIDACIÓN FUNCIONAL									■						
CORRECCIONES Y AJUSTES										■					
CAPACITACIÓN AL OPERADOR											■				
ELABORACIÓN DE DOCUMENTACIÓN FINAL											■	■			

Fuente: Elaboración propia en Excel basada en las necesidades del proyecto.

Figura 3-1. Carta Gantt

3.2 COSTOS DE INGENIERÍA Y MANO DE OBRA

La implementación requiere una fase inicial de ingeniería y planificación técnica, seguida por actividades específicas de montaje, programación y validación, que demandan distintas especialidades profesionales. En la tabla 3-1 se detallan los costos asociados al recurso humano necesario para la ejecución del proyecto, considerando valores de referencia del mercado industrial y jornadas estándar de trabajo.

A continuación, en Tabla 3-1 se muestra al personal requerido y el costo hora hombre en pesos chilenos y pasadas a UF (valor UF del día 01 de mayo del 2025, es de \$39.081). Se asumió una tarifa promedio basada en cotizaciones referenciales y estándares vigentes en proyectos de similar envergadura. La duración de cada tarea fue estimada a partir de experiencias previas en instalación de sistemas similares y considerando la ejecución secuencial en un escenario sin interrupciones.

Tabla 3-2 Costos estimados de ingeniería y mano de obra

Personal	Hora/Hombre		Valor hora	UF
Ingeniero en Control e Instrumentación Industrial	140		12.000	0.31
Técnico en instrumentación	120		8.000	0.204
Técnico en instrumentación	120		8.000	0.204
Técnico electricista	120		8.000	0.204
Ayudante instrumentista	120		6.000	0.31
Total (CLP)		5.280.000		
Total (UF)		135.1		

Fuente: elaboración propia en Word con base en referencias salariales del sector

3.3 COSTOS DE EQUIPOS Y COMPONENTES

El diseño del sistema requiere la incorporación de equipos especializados que aseguren el funcionamiento autónomo, seguro y eficiente del proceso. La selección de componentes se realizó considerando la compatibilidad con la arquitectura de control existente, la disponibilidad en el mercado nacional, la confiabilidad técnica, y la facilidad de integración con sistemas PLC y HMI de la línea Siemens.

En la Tabla 3-2 se presenta el desglose de los principales equipos y componentes requeridos para la implementación del sistema propuesto. Esta información se basa en los elementos previamente identificados en la Tabla 2-3. La selección y cuantificación de los equipos se realizó considerando su aplicación en ambos compresores involucrados en el proyecto, asegurando una solución integral y replicable para ambas unidades.

Tabla 3-3 Costos de equipos y componentes

Ítem	Cantidad	Valor Unitario (CLP)	Costo total (CLP)	UF
PLC Siemens S7-1500	1	2.300.000	2.300.000	58.85
Modulo entradas digitales	1	410.000	410.000	10.49
Modulo salidas digitales	1	440.000	440.000	11.26
Modulo entradas analógicas	2	1.245.000	2.490.000	63.71
Modulo salidas analógicas	4	1.050.000	4.200.000	107.47
Pantalla HMI KTP700 Basic PN	2	700.000	1.400.000	35.82
Actuador de control proporcional	14	210.000	2.940.000	75.23
Posicionadores neumáticos	14	520.000	7.280.000	189.28
Válvula de bola	14	62.000	868.000	22.21
Sensor ultrasónico de nivel	2	1.200.000	2.400.000	6.14
Motobomba eléctrica de drenaje	2	900.000	1.800.000	46.06
Fuente de alimentación 24 VDC	1	170.000	170.000	4.34
Total (CLP)	26.698.000 CLP			
Total (UF)	683.15 UF			

Fuente: Elaboración propia con base en valores promedio de cotizaciones a proveedores industriales (noviembre 2024).

Este análisis de costos proporciona una visión clara de la inversión necesaria para la implementación del sistema automatizado en ambos compresores. La estimación considera valores promedio del mercado al momento de la elaboración de la tesis y contempla únicamente los elementos esenciales para la correcta operación del sistema propuesto. Esta base permitirá, en etapas posteriores del proyecto, realizar una evaluación económica más detallada, incorporar ajustes presupuestarios en función de cotizaciones reales y establecer comparaciones con los costos asociados a un eventual escenario sin automatización.

3.4 COSTOS DE INSTALACIÓN Y CANALIZADO

La instalación física del sistema automatizado considera trabajos de infraestructura eléctrica, canalizado de cables, instalación de accesorios y materiales complementarios que permiten la integración efectiva de los componentes con el sistema de control. Esta etapa abarca tanto el suministro como la implementación de elementos de montaje y conexión.

En la Tabla 3-3 se detallan los principales insumos y materiales involucrados en la instalación, junto con sus cantidades estimadas y costos referenciales.

Tabla 3 -4 Cotos de instalación y canalizado

Material / Elemento	Cantidad estimada	Valor unitario (CLP)	Costo total (CLP)	UF
Bandeja porta cables tipo rejilla 50x50 mm	30 m	10.000	300.000	7.68
Cable de señal 2x0,75 mm ² apantallado	150 m	2.500	375.000	9.59
Tubo neumático 8 mm (azul/negro) PUN	100 m	3.400	340.000	8.70
Racores y conectores neumáticos tipo	14	4.500	63.000	1.61
Riel DIN y accesorios de montaje	5 m	5.000	25.000	0.64
Amarras plásticas y terminales eléctricos	1 lote	60.000	60.000	1.54
Caja de paso IP65 para distribución de señales	2 uni	80.000	160.000	4.1
Etiquetas de marcaje, señalética técnica	1 lote	20.000	20.000	0.51
Riel Unistrut Zincado 3m	6m	22.000	44.000	1.13
Total			1.387.000	35.5

Fuente: elaboración propia en Word con base en referencias salariales del sector

Estos materiales permiten la correcta disposición de cables de señal y potencia, así como el canalizado de líneas neumáticas desde la fuente de aire hasta los actuadores. La cantidad estimada considera márgenes de instalación y posibles pérdidas por corte.

3.5 COSTOS TOTALES DEL PROYECTO

A continuación, se presenta en la tabla 3-5 la consolidación de los costos estimados para la implementación del sistema automatizado de purga de aceite. Esta síntesis considera los costos de ingeniería y mano de obra, los equipos y componentes principales, así como los materiales de instalación y canalizado. Se incluyen también costos indirectos asociados a imprevistos y gestión del proyecto.

Tabla 3-5 Costos totales del proyecto

Concepto	Monto estimado (CLP)	UF
Ingeniería y mano de obra	5.280.000	135.1
Equipos y componentes principales	26.698.000	683.15
Materiales de instalación	1.387.000	35.49
Subtotal	33.365.000	853.74
Costos imprevistos (10 %)	3.336.500	85.37
Total	36.701.500	939.11

Fuente: Elaboración propia en Word

Se consideró un margen del 10 % por imprevistos, alineado a buenas prácticas de estimación en proyectos industriales, contemplando posibles ajustes en plazos, costos logísticos, cambios menores de diseño o disponibilidad de componentes.

3.6 JUSTIFICACION ECONÓMICA DEL PROYECTO

La automatización del sistema de purga de aceite en los compresores de gas de la Central Termoeléctrica Colmito busca responder a una necesidad crítica: reducir el riesgo de fallas operativas que puedan derivar en desconexiones forzadas, limitaciones de carga o fallas de disponibilidad, eventos que no solo comprometen la continuidad del proceso de generación, sino que también pueden implicar importantes sanciones económicas, regulatorias y contractuales.

3.6.1 Impacto económico y regulatorio ante fallas

De acuerdo con el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN) y la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), las centrales termoeléctricas deben declarar su disponibilidad y cumplir con los despachos asignados. Si una unidad no puede operar conforme al plan por causas técnicas no justificadas, se puede originar una denuncia formal, informe de falla o incluso una multa directa.

Además, cualquier salida forzada aumenta el IFOR (Índice de Indisponibilidad Forzada) de la unidad, lo que reduce la potencia firme reconocida por el sistema, disminuyendo los ingresos por capacidad en el mercado eléctrico. Por tanto, una falla asociada al sistema de purga no solo implica un riesgo técnico, sino también una pérdida económica sostenida en el tiempo.

Adicionalmente, en caso de contratos de suministro adjudicados en licitaciones, un incumplimiento por indisponibilidad obliga a la central a cubrir su obligación con compras en el

mercado spot, generalmente a precios más elevados, lo que afecta directamente los márgenes de operación.

En consecuencia, aunque los beneficios monetarios no pueden ser cuantificados directamente sin acceso a registros financieros detallados, la mitigación del riesgo regulatorio y operativo justifica plenamente la inversión en términos estratégicos y técnicos. Se trata de una solución alineada con los principios de confiabilidad, eficiencia y digitalización del sector eléctrico nacional.

3.7 BENEFICIOS ADICIONALES DEL SISTEMA

Además de los beneficios económicos directos analizados en los apartados anteriores, la implementación del sistema automatizado de purga de aceite en los compresores de gas genera reducciones de costos sostenidas asociadas a una mayor eficiencia operativa y a la optimización de las tareas de mantenimiento.

Si bien estos efectos no siempre son cuantificables de manera inmediata, contribuyen significativamente a mejorar la rentabilidad del sistema y la continuidad operativa de la planta.

En primer lugar, la automatización del proceso elimina la necesidad de ejecutar maniobras manuales periódicas, reduciendo el tiempo de dedicación del personal y, en consecuencia, los costos de operación vinculados a la mano de obra.

El control secuencial de válvulas y de la bomba de drenaje asegura una ejecución precisa del ciclo de purga, evitando repeticiones innecesarias y disminuyendo el consumo energético asociado al proceso.

Asimismo, la ejecución controlada y uniforme de cada ciclo minimiza el desgaste mecánico de válvulas y componentes neumáticos, extendiendo su vida útil y reduciendo los costos de mantenimiento correctivo y de reemplazo de piezas.

La detección temprana de condiciones anómalas a través del sistema de monitoreo también permite anticipar fallas y optimizar la planificación del mantenimiento preventivo.

Finalmente, al integrar todas las funciones bajo un sistema supervisado mediante HMI, se mejora la eficiencia global del proceso, se reducen los tiempos de parada y se fortalece la trazabilidad de las operaciones, facilitando la gestión técnica y económica del sistema.

En conjunto, estos beneficios se traducen en una disminución significativa de los costos operativos totales, consolidando la viabilidad económica y sustentabilidad del sistema automatizado de purga de aceite implementado en los compresores de gas.

CONCLUSIONES

El trabajo de título tuvo como objetivo principal el diseño de un sistema automatizado de purga de aceite para compresores de gas en la Central Termoeléctrica Colmito, con el fin de mejorar la eficiencia operativa, reducir los riesgos asociados al proceso manual y alinear el funcionamiento del sistema con las exigencias técnicas y normativas del sector eléctrico chileno.

Durante el desarrollo del proyecto se abordaron todas las etapas necesarias para alcanzar este objetivo: análisis del problema, selección de componentes, diseño del sistema de control, programación del PLC, desarrollo de la interfaz HMI y evaluación económica del sistema propuesto. El diseño de esta solución permitió ejemplificar que mediante soluciones de automatización puedes realizar mejoras significativas a los procesos, como es el caso de esta labor que dependía completamente de la intervención humana, y fue posible diseñar un sistema confiable, programable y seguro.

Entre los beneficios más relevantes se destacan:

- Reducción del riesgo operativo, al minimizar los errores humanos asociados al orden, frecuencia y ejecución de la purga.
- Mejora en la trazabilidad y control, gracias a la interfaz HMI y los registros integrados en el sistema.
- Optimización de la operación de los compresores, al mantener las condiciones óptimas de trabajo del sistema de aceite.
- Disminución del riesgo de sanciones regulatorias, al evitar desconexiones forzadas y mejorar la disponibilidad técnica.
- Viabilidad económica, justificada por la protección de los ingresos por capacidad y el resguardo ante eventuales multas o pérdidas contractuales.

El diseño del sistema automatizado demuestra ser una inversión estratégica para la central, al contribuir directamente a su confiabilidad y continuidad operativa. Asimismo, la

arquitectura modular y escalable del diseño permite futuras expansiones o integraciones, como la incorporación de sistemas de monitoreo remoto o diagnóstico predictivo.

En definitiva, el trabajo de título pone en evidencia cómo la automatización aplicada a procesos auxiliares en plantas de generación puede impactar positivamente en el desempeño técnico y económico de la operación, sentando una base sólida para futuras mejoras tecnológicas en la industria energética nacional.

BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional de Energía, Norma Técnica de Transferencias de Potencia entre Empresas Generadoras [En línea]. < <https://www.cne.cl/normativas/electrica/normas-tecnicas/> > [Consulta: 10 de febrero, 2025]

Comisión Nacional de Energía, Norma Técnica de Coordinación y Operación [En línea]. < <https://www.cne.cl/normativas/electrica/normas-tecnicas/> > [Consulta: 16 de febrero, 2025]

GESPASA. Manual de instrucciones de la bomba eléctrica EA-88 (0,74 kW, 230 VCA) [En línea]. < <https://www.manualslib.com/manual/3724307/Gespasa-Ea-88.html#manual> > [Consulta: 12 de noviembre del 2024]

SIEMENS, Manual de sistema "STEP 7 y WinnCC Engineering V18 [En línea], < <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109815056/simatic-step-7-basic-professional-v18-y-simatic-wincc-v18?dti=0&lc=es-CL> > [Consulta: 15 de noviembre del 2024]