

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Mecatrónica



**Diseño de un sistema de monitoreo y control para el área de Facilities en la
planta de acondicionamiento de gas natural de Tratayén**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura**

Luis Pablo Sibaja Pérez

2015088284

Cartago, junio de 2024



CC BY-NC 4.0

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International

Diseño de un sistema de control y monitoreo para el área Facilities en la planta de acondicionamiento de gas natural de Tratayén © 2024 by Luis Pablo Sibaja Pérez is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, junio de 2024

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Luis Pablo Sibaja Pérez', written in a cursive style.

Luis Pablo Sibaja Pérez

Céd: 116770688

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
PROGRAMA DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA
PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN
ACTA DE APROBACIÓN

El profesor asesor del presente trabajo final de graduación, indica que el documento presentado por el estudiante cumple con las normas establecidas por el programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica para ser defendido ante el jurado evaluador, como requisito final para aprobar el curso Proyecto Final de Graduación y optar así por el título de Ingeniero(a) en Mecatrónica, con el grado académico de Licenciatura.

Estudiante: Luis Pablo Sibaja Pérez

Proyecto: Diseño de un sistema de monitoreo y control para el área de Facilities en la planta de acondicionamiento de gas natural de Tratayén.



Dr. - Ing. Yeiner Arias Esquivel

Asesor

Cartago, 14 de junio del 2024

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
PROGRAMA DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA
PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN
ACTA DE APROBACIÓN

Proyecto final de graduación defendido ante el presente jurado evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero(a) en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, según lo establecido por el programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Estudiante: Luis Pablo Sibaja Pérez

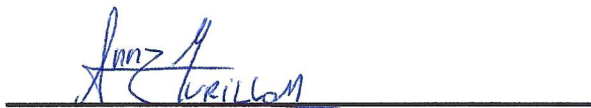
Proyecto: Diseño de un sistema de monitoreo y control para el área de Facilities en la planta de acondicionamiento de gas natural de Tratayén.

Miembros del jurado evaluador



Dra - Ing. Gabriela Ortiz León

Jurado



Ing. Ana María Murillo Morgan

Jurado

Los miembros de este jurado dan fe de que el presente proyecto final de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por el programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica.

Cartago, 14 de junio del 2024

Resumen

El objetivo del informe es mostrar el diseño, implementación y validación de un sistema de control distribuido para el área llamada "Facilities" en la planta de tratamiento de gas natural de Tratabayen, Argentina. Para esto se hace uso de la metodología presentada en el libro "Diseño y Desarrollo de Productos" de Karl Ulrich y Steven Eppinger.

El proyecto nace de la necesidad controlar y monitorear los procesos del área, esto para habilitar la puesta en marcha del nuevo módulo de tratamiento de gas natural perteneciente a la expansión de la planta iniciada en 2018 por TGS.

La propuesta de solución abarca desde un análisis riguroso de la documentación y planos de proceso hasta el diseño, implementación y verificación de estrategias y módulos de control. Para esto se utiliza el entorno automatización de Emerson, llamado DeltaV y sus respectivos programas.

Adicionalmente se realizaron pantallas de operador HMI que permiten la visualización y control de estos módulos, utilizando el ambiente de operación de la aplicación DeltaV Operate, propiedad de Emerson

Adicionalmente presenta una sección de análisis económico integral que no trata únicamente aspectos económicos sino también diferentes factores en los que influye el proyecto.

Palabras clave: CHARM, CIOC, controlador, DeltaV, DST Control Studio, HMI, módulo de control.

Abstract

The objective of the report is to demonstrate the design, implementation, and validation of a distributed control system for the area called "Facilities" in the natural gas treatment plant of Tratayen, Argentina. To achieve this, the methodology presented in the book "Product Design and Development" by Karl Ulrich and Steven Eppinger is employed.

The project arises from the need to control and monitor the processes in the area, in order to enable the commissioning of the new natural gas treatment module belonging to the plant expansion initiated in 2018 by TGS.

The proposed solution encompasses a rigorous analysis of the documentation and process plans, followed by the design, implementation, and verification of control strategies and modules. Emerson's automation environment, called DeltaV, and its respective programs are utilized for this purpose.

Additionally, operator HMI screens were developed to visualize and control these modules, using the operational environment of the DeltaV Operate application, owned by Emerson.

Furthermore, it includes a comprehensive economic analysis section that addresses not only economic aspects but also different factors influencing the project.

Keywords: CHARM, CIOC, controller, DeltaV, DST Control Studio, HMI, control module.

Listado de contenidos

Lista de figuras	iv
Lista de tablas	vi
Lista de abreviaciones.....	vii
Capítulo 1: Introducción	1
Antecedentes	1
Justificación	2
Síntesis del problema.....	3
Objetivos	3
Objetivo General.....	3
Objetivos específicos	3
Estructura.....	4
Capítulo 2: Marco teórico	5
Generalidades.....	5
Gas natural	5
Control y Automatización industrial.....	6
Diagramas y representaciones	6
Señales de control	7
Sistema de control distribuido.....	7
Controladores PID	9
Consideraciones del hardware del sistema de control	10
Fuentes de alimentación.....	10
Pantalla HMI	10
Controladores	11
Tarjetas de E/S	12
CHARMS	13
Tarjeta CHARM de E/S (CIOC)	13
Consideraciones del software sistema de control	14
Estructura de configuración	14

Módulos de control	15
Protocolos de comunicación	17
Capítulo 3: Metodología	18
Identificación de necesidades	19
Recepción de documentación.....	19
Establecimiento de especificaciones.....	20
Listado de módulos de control	20
Generación de conceptos	20
Diseño de módulos y estrategias de control	20
Selección de conceptos	21
Implementación	21
Evaluación y validación de la solución	22
Creación de pantallas HMI.....	22
Pruebas de simulación y verificación	23
Capítulo 4: Propuesta de diseño	27
Recopilación de información	27
Listado de módulos de control	29
Diseño de módulos y estrategias de control	31
Clase CAI:.....	32
Clase CDI:	34
Clase CAO:.....	35
Clase VLV	37
Clase MTR.....	39
Clase CLC	49
Implementación	62
Capítulo 5: Resultados y análisis	68
Validación y verificación	68
Análisis económico	74
Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones.....	78
Conclusiones	78

Recomendaciones	79
Referencias bibliográficas	80
Anexos y apéndices	84
Apéndice A. Listados de señales y módulos de control.	84
Apéndice B. Diagramas de módulos diseñados y descripción de su funcionamiento.....	91
B.1 Módulo de clase CAI	91
B.2 Módulo de clase CDI	92
B.3 Módulo de clase CAO.....	93
B.4 Módulo de clase VLV.....	94
B.5 Módulo de clase MTR TIP 1	95
B.6 Módulo de clase MTR TIP 3	96
B.7 Módulo de clase MTR ENERFLEX.....	97
B.8 Módulo de clase CSD.....	98
B.9 Módulo de clase CSR.....	99
B.10 Módulo de clase CSM	100
Apéndice C. Pantallas HMI.	102
Apéndice D. Tablas de evaluación para especificaciones y verificación del DCS.	110
Apéndice E. Códigos de Matlab para la implementación del controlador PID.	121
Anexo 1. Planos P&ID en los que se basan las pantallas HMI.	123

Lista de figuras

Figura 1: Esquema DCS.....	8
Figura 2: Diagrama de base de control de DeltaV.....	15
Figura 3: Diagrama de bloques general del proyecto.....	18
Figura 4: Diagrama de bloques de clase CAI.....	33
Figura 5: Diagrama esquemático de bloque funcional de entrada analógica.....	33
Figura 6: Diagrama de bloques de clase CDI.....	34
Figura 7: Diagrama esquemático de bloque funcional de entrada digital.....	35
Figura 8: Diagrama de bloques de clase CAO.....	36
Figura 9: Diagrama esquemático de bloque funcional de salida analógica.....	36
Figura 10: Diagrama de bloques de clase VLV.....	38
Figura 11: Código de transición de clase VLV.....	38
Figura 12: Diagrama esquemático de bloque funcional de salida digital.....	39
Figura 13: Diagrama de señales de MTR Típico 1.....	40
Figura 14: Diagrama de bloques de MTR Típico 1.....	42
Figura 15: Mascara de estados de MTR Típico 1.....	43
Figura 16: Diagrama interno de bloque funcional típico 1.....	44
Figura 17: Diagrama de señales de MTR Típico 3.....	44
Figura 18: Diagrama de bloques de MTR Típico 3.....	45
Figura 19: Máscara de estados de MTR Típico 3.....	46
Figura 20: Diagrama interno de bloque funcional típico 3.....	47
Figura 21: Diagrama de bloques funcionales MTR ENERFLEX.....	48
Figura 22: Máscara de estados MTR ENERFLEX.....	48
Figura 23: Diagrama de bloques CSD.....	50
Figura 24: Gráfico de modelado de tanque de nivel sin efecto de control.....	52
Figura 25: Gráfico una onda sigmoidal.....	54
Figura 26: Gráfico de modelado de tanque de nivel con perturbación de escalón.....	54
Figura 27: Parámetros de la función de transeferencia de primer orden.....	55
Figura 28: Respuesta del proceso control PID.....	57
Figura 29: Respuesta del proceso con control PI.....	57
Figura 30: Diagrama de bloques de algoritmo de CSR, con bloque splitter.....	58
Figura 31: Diagrama de bloques de completo de CSR.....	59

Figura 32: Diagrama de bloques de algoritmo Esclavo-Maestro CSM.	60
Figura 33: Diagrama de bloques completo Esclavo-Maestro CSM.	62
Figura 34: Creación del controlador PK1500 FA-DCS-CTRL-01.....	63
Figura 35: Creación Tarjetas de CHARM 1000-4-CIOC-1/2.	63
Figura 36: Creación y configuración del primer CHARM y DST.	64
Figura 37: Creación y configuración del último CHARM y DST.....	65
Figura 38: Creación de 7 celdas de proceso.	66
Figura 39: Creación de módulos.	66
Figura B.1. Módulo de clase CAI.....	91
Figura B.2. Módulo de clase CDI.....	92
Figura B.3 Módulo de clase CAO	93
Figura B.4 Módulo de clase VLV.....	94
Figura B.5. Módulo de clase MTR TIP1	95
Figura B.6 Módulo de clase MTR TIP 3	96
Figura B.7 Módulo de clase MTR ENERFLEX	97
Figura B.8 Módulo de clase CSD	98
Figura B.9 Módulo de clase CSR	99
Figura B.10 Módulo de clase CSM.....	100
Figura C.1. Pantalla HMI de la planta estabilizadora.....	102
Figura C.2. Pantalla HMI del filtro coalescedor.	103
Figura C.3. Pantalla HMI del sistema de drenajes abiertos.....	104
Figura C.4. Pantalla HMI de sistema de lubricación forzada.....	105
Figura C.5 Pantalla HMI del Slug Catcher.....	106
Figura C.6. Pantalla HMI del sistema de HotOil (Paquetizado).	107
Figura C.7. Pantalla HMI del sistema de HotOil.	108
Figura C.8. Pantalla HMI Sistema de compresión de gas.	109
Figura E.1. Código para el modelado teórico del tanque	121
Figura E.2. Código para la implementación del control PID.	122

Lista de tablas

Tabla 1. Especificaciones del DCS.	31
Tabla 2. Inversión directa del proyecto.....	75
Tabla A.1. Listado señales de control.	84
Tabla A.2. Listado módulos de control.	88
Tabla C.1. Listado pantallas HMI	102
Tabla D.1. Evaluación de especificaciones	110
Tabla D.2. Evaluación de implementación de software.....	111
Tabla D.3. Evaluación de configuración de entradas y salidas	112
Tabla D.4. Evaluación para gráfico de “Planta estabilizadora”	116
Tabla D.5. Evaluación para gráfico de “Filtro Coalescente”	117
Tabla D.6. Evaluación para gráfico de “Sistema de drenajes abiertos”	117
Tabla D.7. Evaluación para gráfico de “Sistema de lubricación forzada”	118
Tabla D.8. Evaluación para gráfico de “Slug Catcher”	118
Tabla D.9. Evaluación para gráfico de “Hot Oil (paquetizado)”	119
Tabla D.10. Evaluación para gráfico de “Hot Oil”	119
Tabla D.11. Evaluación para gráfico de “Sistema de compresión de gas”	120

Lista de abreviaciones

Abreviatura	Significado
TGS	Transportadora de Gas del Sur S. A
HMI	Interfaz Humano – Máquina
P&ID	Diagrama de tuberías e instrumentación
Tarjetas E/S	Tarjetas de Entradas y Salidas
PLC	Controlador Lógico Programable
DCS	Sistema de control Distribuido
CHARM	Módulo de Caracterización
CIOC	Tarjeta de Entradas y Salidas CHARM
TCP	Protocolo de control de transmisión
IP	Protocolo de Internet
RTU	Unidad Terminal Remota
HART	Transductor Remoto Direccional para Pistas
DST	Etiqueta de señal de dispositivo
DO	Salida Digital
DI	Entrada Digital
AO	Salida Analógica
AI	Entrada Analógica
SP	Setpoint (valor deseado)
PV	Process value (valor de operación)
CCM	Centro de Control de Motores

Capítulo 1: Introducción

Antecedentes

El proyecto se llevó a cabo en colaboración con Emerson Electric para abordar una necesidad de la empresa Transportadora del Gas del Sur S.A (TGS). Emerson, una empresa líder a nivel global en tecnologías de ingeniería y servicios, se especializó en soluciones innovadoras para la automatización industrial, control de procesos, gestión de energía y climatización, mejorando la eficiencia operativa y la sostenibilidad en diferentes industrias [1].

TGS, como líder en el transporte y comercialización de gas natural en Argentina, desempeña un papel importante en el suministro energético del país. Desde 2018, TGS opera plantas de tratamiento y acondicionamiento de gas natural en la región de Vaca Muerta, Argentina una formación geológica conocida por sus vastas reservas de hidrocarburos no convencionales. Dicha formación abarca las provincias de Mendoza, Río Negro, La Pampa y mayoritariamente Neuquén [2].

En 2022, TGS inició una ampliación en su planta de acondicionamiento de gas natural de Tratayén. En dicha ampliación tiene como finalidad poner en marcha dos nuevos módulos de tratamiento de gas natural con tecnología canadiense de la empresa Propak. Con esto se estima duplicar la producción diaria del gas natural acondicionado y listo para su transporte en la zona de Vaca Muerta [3].

Emerson, como empresa líder en automatización, es el encargado del diseño, implementación, instalación y mantenimiento de los sistemas de control de la planta.

El presente proyecto se enfocó en el área de control "Facilities". Esta área contiene equipos que forman parte de unidades de proceso de acondicionamiento, así como unidades auxiliares necesarias para suplir de servicios a las unidades de proceso mencionadas.

Esta área controla y monitorea equipos y máquinas para las unidades de estabilización, filtros coalescentes, sistemas de compresión de gas, sistemas de lubricación, sistemas de Hot Oil, sistemas de alivio y sistemas drenajes de esta nueva expansión de la planta.

Justificación

La importancia del gas natural como recurso energético para las personas es cada vez más claro, con la urbanización de zonas rurales y apertura de fábricas e industrias la demanda energética aumenta. La ampliación proyectada en la planta de Tratayen tiene como objetivo aumentar la capacidad de acondicionamiento de gas de 15 millones de metros cúbicos diarios, actualmente en funcionamiento, a 28MMm³/d. [4].

A nivel socioeconómico, el incremento en la producción impulsa a Argentina hacia la autosuficiencia energética, reduciendo las importaciones y generando oportunidades de empleo en el sector. Además, el acceso confiable a gas natural de calidad promueve y respalda el desarrollo de diversas industrias que utilizan este producto.

La implementación de este sistema de control permitirá la puesta en marcha de ambos módulos de acondicionamiento, aumentando la capacidad de la planta en aproximadamente, 13MMm³ por día.

La ausencia de un sistema de control integral para el área de Facilites limita la puesta en marcha de los nuevos módulos de tratamiento de gas. Suplir esta necesidad requiere un estudio detallado de procesos, equipos e instrumentación, así como el diseño e implementación de un sistema y módulos de control que sean compatibles con estas máquinas.

Síntesis del problema

El proyecto nació de la necesidad de monitorear y controlar los equipos agregados en esta nueva expansión de la planta. Con este sistema de control se integran pantallas HMI (Interfaz Humano-Máquina) en donde los operadores podrán visualizar en tiempo real, el estado de los equipos de las unidades de estabilización filtros, compresión, drenajes, sistemas de alivio, entrada y salida a planta.

En síntesis, existe la necesidad de operar y monitorear las máquinas y equipos de las unidades del área de Facilities. Para ello, se desarrolla un sistema de control integral junto con pantallas HMI, que permite a los operadores visualizar y controlar en tiempo real el estado de los equipos y el proceso.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un sistema de control distribuido para el monitoreo y control de los equipos del área Facilities en la planta de Tratayén.

Objetivos específicos

1. Analizar los diagramas P&ID (Diagramas de tuberías e instrumentación), filosofía de operación y fichas técnicas de los equipos para obtener las señales de control necesarias para el área Facilities.
2. Diseñar módulos y estrategias para el monitoreo y control de los equipos del área Facilities.
3. Desarrollar pantallas HMI (Interfaz Humano-Máquina) para la visualización del funcionamiento de los módulos de control.
4. Validar el funcionamiento del sistema de control implementado mediante pruebas de simulación y verificación

Estructura

En esta sección se muestran las etapas en las que se desarrolló el proyecto. El capítulo 2 es una recopilación de información y conceptos que componen el marco teórico, sección en la que se aprecian conocimientos relevantes para el diseño e implementación de la solución propuesta.

El capítulo 3 explica la metodología y el enfoque de solución para la problemática expuesta. Se establecen las etapas que fueron seguidas y un paso a paso del proyecto y la propuesta de validación.

En el capítulo 4 se presenta el seguimiento de la metodología propuesta. Este capítulo muestra el análisis realizado basado en las necesidades del proyecto y las soluciones planteadas para abordar estas necesidades. Además, se detallan los pasos llevados a cabo en la implementación del diseño propuesto, asegurando que todas las especificaciones y requerimientos técnicos sean cumplidos.

En el capítulo 5 se realiza la verificación y validación del diseño implementado. Se evalúan aspectos tanto de funcionalidad como de implementación. Se evalúan los resultados del proyecto en base a sus objetivos.

En el capítulo 6 se presentan las principales conclusiones derivadas del proyecto, así como las recomendaciones para acciones futuras. Las conclusiones resumen los resultados obtenidos y su relevancia para el proyecto, mientras que las recomendaciones ofrecen orientación para posibles mejoras o desarrollos adicionales.

El aporte principal de ingeniería de este proyecto radica en el análisis, planificación, diseño y desarrollo de un sistema de control integral para el área de Facilities. Este sistema asegura la supervisión y el control efectivo de los equipos y procesos involucrados en el acondicionamiento de gas natural, contribuyendo a la mejora de la eficiencia operativa y la seguridad en el entorno industrial.

Capítulo 2: Marco teórico

Generalidades

Gas natural

El gas natural es una mezcla de gases livianos, compuesta mayoritariamente por metano y etano, y en menor proporción por propano, butano, pentanos e hidrocarburos más pesados. Es un combustible fósil incoloro, inodoro y no tóxico [5]. Este gas se origina debido a la descomposición anaeróbica (sin oxígeno) de los restos de animales y plantas que quedaron atrapados en la tierra durante millones de años. Algunos de sus usos, tanto a nivel productivo como en el uso diario, incluyen la generación de energía residencial e industrial, el transporte y la materia prima para industrias petroquímicas.

El gas natural, tal como se extrae de la tierra, no es apto para la utilización directa por los consumidores, debido a que trae consigo otros componentes que pueden afectar la calidad [6]. Es por esto por lo que debe someterse a un proceso de acondicionamiento para eliminar las impurezas y llevarlo a una calidad apta para su transporte y utilización.

A manera general, el tratamiento del gas natural consiste en que, una vez extraído el gas crudo desde el pozo en la tierra, este se transporta a las unidades de tratamiento. La primera etapa implica la separación del gas natural de los hidrocarburos más pesados y el agua presente en la mezcla. Luego se lleva a una eliminación de impurezas gaseosas que pueden afectar el rendimiento y la calidad del gas, este proceso también se conoce como endulzamiento del gas, ya que el propósito es eliminar compuestos ácidos como lo son el sulfuro de hidrógeno y el dióxido de carbono [7].

Una vez se tiene el gas natural sin impurezas se lleva a una etapa de ajuste de propiedades, donde se acondiciona el gas a una temperatura y presión adecuadas para su transporte en el gasoducto. Asimismo, en esta etapa se da el

proceso de odorización del gas, esto se realiza con la finalidad de poder identificar posibles fugas a partir del olor de este.

Control y Automatización industrial

El control y la automatización industrial se refieren a la utilización de tecnologías que permitan monitorizar y controlar los procesos industriales de manera remota y automática, con la menor intervención directa del ser humano [8]. El control industrial se enfoca en el monitoreo y ajuste continuo de las variables de un proceso para mantenerlas dentro de los parámetros específicos que garanticen la calidad del producto final. Mientras que la automatización se refiere al uso de sistemas de control o elementos computarizados para controlar maquinaria y/o procesos industriales sustituyendo total o parcialmente a operadores humanos [9]. Ambas tecnologías se implementan con el objetivo de mejorar la eficiencia, seguridad y calidad de los procesos. La combinación de estas tecnologías facilita la integración de sistemas más robustos, la recopilación de datos en tiempo real y la toma de decisiones basada en información actualizada.

Diagramas y representaciones

Los diagramas de flujo de proceso (DFP) son representaciones de las principales etapas de un proceso y del flujo de materiales y energía a través de este. Se caracterizan por contener la representación de las interacciones que poseen los instrumentos y equipos con las líneas en un proceso, careciendo de información sobre la instrumentación utilizada, así como de tamaños nominales, capacidades o sistemas de protección especiales para equipos o accesorios [10]. Por otra parte, los P&ID son otra representación de los procesos productivos donde se aprecian los equipos, instrumentos y tuberías del proceso. Se caracterizan por ser mucho más complejos que los DFP, ya que en ellos se detallan todas las características mecánicas de dispositivos, equipos, tuberías y válvulas del proceso [10]. Es con este tipo de diagramas con los que se trabaja cuando se requiere realizar una construcción de planta y/o realizar cambios de equipos, expansiones u

optimizaciones de un sistema. Despliegan un alto nivel de detalle con información completa de cada instrumento representado.

En el presente proyecto se utilizan diagramas DFP y P&ID para la comprensión del proceso y visualización de los dispositivos que están involucrados, que puedan ser controlados de manera remota y permitan generar señales de control para el sistema.

Señales de control

Las señales de control transmiten información sobre el estado o la operación de un sistema o dispositivo, utilizadas para monitorear dispositivos y activar actuadores para regular y controlar el funcionamiento de equipos y procesos. Existen dos tipos de señales: analógicas y digitales. Las señales analógicas transmiten información del proceso a través de diferentes niveles de corriente. Típicamente, esta señal se encuentra en el rango de 4-20 mA, considerado estándar en la industria [11]. Se emplea un sensor para medir una variable física del proceso y un transmisor para acondicionar la señal al rango deseado de 4-20 mA. Por ejemplo, en actuadores como motores y válvulas solenoides, las señales de 4-20 mA regulan la velocidad de giro y el porcentaje de apertura respectivamente. En cambio, las señales digitales se transmiten como pulsos eléctricos para representar estados discretos, como encendido/apagado, abierto/cerrado, verdadero/falso. Estas señales pueden determinarse a partir de sensores configurados para transmitir una señal cuando la variable medida alcanza cierto valor específico, sin necesidad de acondicionamiento mediante un transmisor.

Sistema de control distribuido

Un sistema de control se define como un conjunto de dispositivos y componentes interconectados que regulan y gestionan el comportamiento de un sistema o proceso [12]. Un DCS, o Sistema de Control Distribuido (por sus siglas en inglés), es un sistema automatizado utilizado en plantas industriales y de procesos para controlar y supervisar múltiples dispositivos y procesos de forma centralizada

y distribuida. Funciona como una plataforma integrada que conecta controladores distribuidos en diferentes partes de la planta con una estación central de control. Un DCS está diseñado principalmente para el control centralizado de procesos industriales complejos, continuos y altamente automatizados [13].

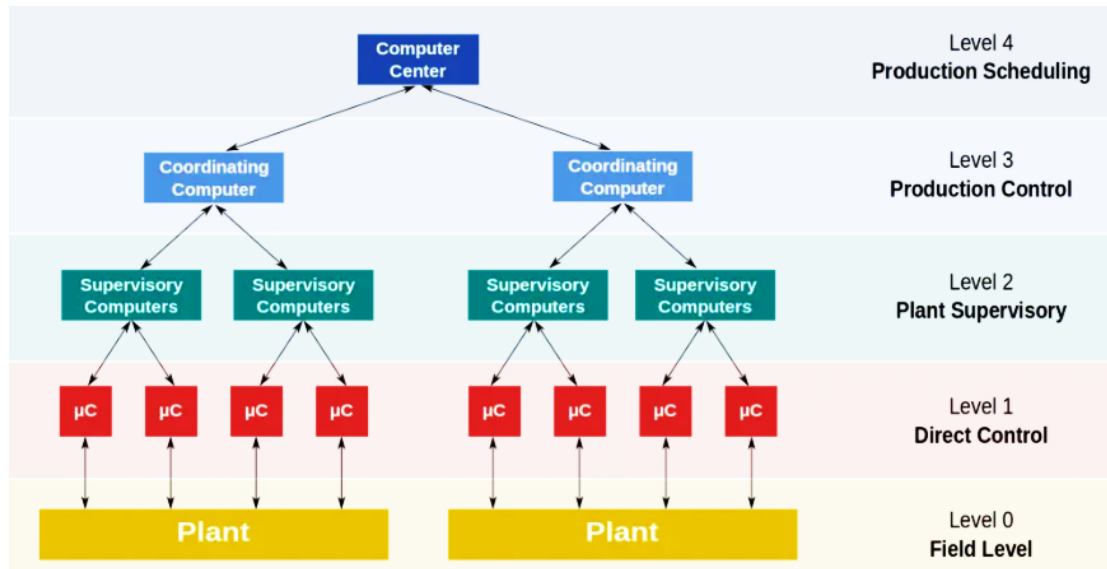


Figura 1: Esquema DCS. Fuente: [14]

La Figura 1 muestra la estructura que tiene a nivel de hardware un DCS, donde el nivel 0, el nivel más bajo son los equipos en campo, tales como sensores y actuadores. El nivel 1 corresponde a lo que son tarjetas de entradas y salidas y los controladores en donde se procesa la lógica de control. El nivel 2 son todos aquellos equipos utilizados para monitoreo, tales como las estaciones de operador con las pantallas HMI de los procesos. El nivel 3 son estaciones con acceso a configuración de lógica y administración de procesos y finalmente el nivel 4 corresponde al centro de computación en donde se administra y se tiene acceso a toda la red del DCS.

El DCS recopila datos en tiempo real de sensores y dispositivos de campo, los procesa y toma decisiones para optimizar el rendimiento de la planta, mantener la seguridad y garantizar la eficiencia operativa. Este sistema es fundamental en industrias como la petroquímica, la manufactura, la energía y otras donde se requiere un control preciso y continuo de los procesos.

Controladores PID

Un controlador PID es un dispositivo electrónico utilizado en sistemas de control automático para regular la salida de un proceso en función de la diferencia entre una referencia deseada y la salida real del proceso. La sigla "PID" hace referencia a las tres acciones de control que realiza este dispositivo: Proporcional (P), Integral (I) y Derivativa (D). La acción proporcional actúa en función del error actual, la integral en función de la acumulación de errores pasados y la derivativa en función de la rapidez de cambio del error.

La sintonización de un controlador PID consiste en ajustar los valores de sus parámetros (constante proporcional, constante integral y constante derivativa) para lograr un comportamiento óptimo del sistema de control. Este proceso busca alcanzar un equilibrio entre la respuesta rápida del sistema, la estabilidad y la minimización del error. [15]

El método de asignación de polos es una técnica que busca establecer los valores de los parámetros del controlador PID ajustando los polos del sistema de control. Esto se logra manipulando los polos del sistema cerrado para alcanzar un rendimiento deseado. Este método puede ser más complejo de implementar en comparación con otros enfoques, pero ofrece la ventaja de permitir una mayor flexibilidad en la configuración del sistema.

El método de Ziegler y Nichols es un enfoque clásico para la sintonización de controladores PID. Su principal ventaja es su aplicabilidad en sistemas donde no se dispone de un modelo matemático del proceso (planta). El método propone una técnica empírica basada en la respuesta del sistema a una perturbación, lo que permite determinar los valores óptimos de los parámetros PID. [15]

El método de Cohen-Coon es otro enfoque clásico para la sintonización de controladores PID. Este método se basa en la respuesta del sistema a una entrada escalón y utiliza una serie de reglas heurísticas para calcular los parámetros PID.

Aunque es fácil de implementar, tiende a producir resultados menos precisos que otros métodos más avanzados.

Consideraciones del hardware del sistema de control

El sistema de control se compone de elementos de hardware tales como fuentes de alimentación, controladores, tarjetas de E/S, bloques terminales y portadores.

Fuentes de alimentación

Las fuentes de alimentación se utilizan para suministrar energía a la electrónica del sistema de control y a los dispositivos de campo. Hay dos tipos principales: las fuentes de alimentación "Bulk" y las fuentes de alimentación del sistema. Las fuentes "Bulk" convierten la corriente alterna en corriente continua de alto voltaje, adecuada para alimentar el DCS y los PLC, siendo ideales para sistemas de alto consumo energético. Por otro lado, las fuentes del sistema proporcionan la alimentación necesaria para los componentes internos del sistema de control, como procesadores y tarjetas de E/S, convirtiendo la corriente alterna en corriente continua de baja tensión, adecuada para circuitos electrónicos de baja potencia.

Pantalla HMI

Una pantalla HMI es un dispositivo que permite la interacción entre un operador humano y un sistema automatizado o controlado por computadora. Esta interfaz proporciona una forma intuitiva y visual para monitorear y controlar equipos industriales, procesos de fabricación, sistemas de control de edificios, entre otros. Las pantallas HMI suelen mostrar gráficamente información sobre el estado y el

rendimiento de los equipos y procesos, como datos de temperatura, presión, velocidad, niveles de producción, entre otros. Además, permiten a los operadores enviar comandos y ajustes al sistema, como iniciar o detener procesos, cambiar parámetros de funcionamiento o resolver alarmas [16]. Estas pantallas pueden variar en tamaño y complejidad, desde simples interfaces con botones y luces indicadoras hasta pantallas táctiles a color con gráficos detallados y capacidades de control avanzadas. Su objetivo principal es facilitar la supervisión y el control de sistemas automatizados, mejorando la eficiencia operativa y la seguridad en entornos industriales y comerciales.

Controladores

Un Controlador Lógico Programable (PLC) constituye un dispositivo electrónico crucial en entornos de automatización industrial, desplegándose como el cerebro del sistema para regular y supervisar procesos y maquinaria. Funciona mediante la ejecución de secuencias de operaciones definidas por un programa previamente establecido. Al recibir información de sensores o dispositivos de campo, el PLC procesa estos datos según la lógica programada y emite salidas para controlar actuadores y dispositivos de salida [17].

Emerson cuenta con sus propios modelos de controladores, los de la serie M ofrecen versatilidad, adaptándose a una amplia gama de aplicaciones industriales. Integrados con el sistema DeltaV, estos controladores permiten implementar estrategias de control tanto en lazo abierto como en lazo cerrado, garantizando un rendimiento óptimo en diversas condiciones de operación.

Por otro lado, los controladores de la Serie S están especializados en aplicaciones de seguridad instrumentada, cumpliendo con rigurosos estándares como el IEC 61511. Diseñados para prevenir accidentes y proteger activos en entornos peligrosos, estos controladores ofrecen funciones críticas de seguridad para garantizar la integridad del sistema.

En cuanto a los controladores PK de Emerson, se destacan por su especialización en aplicaciones de control de proceso en entornos críticos. Este controlador ofrece una flexibilidad notable, permitiendo adaptarse a requisitos de entradas y salidas (E/S) bajos, lo que lo convierte en una opción rentable para proyectos de menor escala. Es ideal para plantas modulares, permitiendo la integración de módulos independientes en una instalación completa. Cuenta con cuatro veces la potencia de un controlador MX y más de 700 MB de RAM disponible para el usuario, el controlador PK puede manejar más funciones con menos unidades, reduciendo así el número de nodos y el espacio ocupado en el gabinete. Además, ofrece tiempos de ejecución del módulo de 25 ms, lo que permite aplicaciones de control de procesos rápidos, como el control de compresores y de sobretensión. Su conectividad avanzada incluye un servidor OPC UA integrado y soporta comunicaciones industriales Ethernet, facilitando la integración con sistemas modernos y la implementación de soluciones de Industria 4.0. Es compatible con una amplia gama de tarjetas IO de las series M y S, marshalling electrónico, CHARM distribuidos e incluso soluciones inalámbricas, ofreciendo versatilidad en la configuración del sistema. Su modularidad y escalabilidad facilitan la adaptación a futuros cambios y expansiones del proyecto, proporcionando una solución que permite integrar nuevos equipos.

Tarjetas de E/S

Una tarjeta de Entrada/Salida, en un sistema de control es un dispositivo electrónico que se utiliza para conectar los sensores y actuadores del proceso industrial al sistema de control. Su función principal es facilitar la comunicación entre el sistema de control y el mundo exterior, permitiendo que el sistema reciba información del proceso a través de sensores y envíe señales de control a los actuadores para regular el funcionamiento del proceso. Las tarjetas de E/S convierten las señales analógicas o digitales provenientes de los sensores en datos que el sistema de control puede entender, y viceversa, convierten las señales de control generadas por el sistema en señales que los actuadores pueden interpretar y ejecutar.

CHARMS

Los CHARMS, son un tipo de dispositivo utilizado en los DCS desarrollados por Emerson. Estos dispositivos modulares se introdujeron como parte de la serie DeltaV de Emerson en la década de 1990. La idea detrás de los CHARMS era simplificar la instalación, el mantenimiento y la expansión de sistemas de control al reducir el cableado y la necesidad de espacio en el tablero de control.

La historia de los CHARMS se remonta a la necesidad de mejorar la eficiencia y la flexibilidad en los sistemas de control industrial. Antes de su introducción, los sistemas de control utilizaban módulos de E/S convencionales que requerían una gran cantidad de cableado y espacio en el panel de control. Además, la adición o modificación de puntos de E/S implicaba un trabajo considerable y tiempo de inactividad del sistema. Con la introducción de los CHARMS, Emerson revolucionó la forma en que se implementaban los sistemas de control. Estos dispositivos compactos combinan múltiples puntos de E/S en un solo módulo, lo que reduce drásticamente el cableado necesario y simplifica la instalación [18]. Además, los CHARMS son intercambiables en caliente, lo que significa que pueden agregarse, reemplazarse o retirarse sin interrumpir la operación del sistema. Para el proyecto se utilizarán los marshalling electrónicos con CHARMS en lugar de tarjetas de E/S tradicionales.

Tarjeta CHARM de E/S (CIOC)

Un CIOC, por sus siglas en inglés CHARM Input and Output Card, es una tarjeta que procesa señales de E/S hacia y desde el controlador. Cada uno soporta hasta 96 CHARMS. El número máximo de CHARMS son organizados en ocho bancos de doce CHARMS. Cada banco de doce CHARMS está montado en una placa base para CHARMS, estas bases son unos portadores montados verticalmente que tienen un banco para 12 CHARMS, bloques de terminales para CHARM, así como un bloque de terminales de dirección y enchufe de direcciones.

[19]. Las placas base se conectan entre sí en un orden secuencial para formar un bus de comunicaciones y alimentación para los CHARMs.

Consideraciones del software sistema de control

El proyecto se realizó bajo el entorno del sistema DeltaV de la empresa Emerson utilizado para el diseño e implementación de sistemas de monitoreo y control de procesos industriales. Este entorno se conforma por un conjunto de aplicaciones que permiten el manejo de bases de datos, la configuración y creación de módulos de control, la creación de pantallas de operación y la visualización en operación y/o simulaciones del sistema. Se trabaja principalmente con 3 aplicaciones: DeltaV Explorer para el manejo de bases de datos, Control Studio para el diseño, configuración y simulación de módulos de control y DeltaV Operate para la configuración y visualización de las pantallas operativas.

Estructura de configuración

La estructura del DCS utiliza un enfoque de arriba hacia abajo. El sistema DeltaV se divide en niveles para que los usuarios puedan elegir el nivel de detalle en el que van a trabajar. La Figura 2 muestra la división de niveles de un DCS dentro del entorno DeltaV. Se cuenta con una planta la cual se puede dividir en diferentes áreas de control. Estas áreas hacen referencias a zonas o procesos reales de la planta enfocadas a una operación específica. A su vez estas áreas son las que albergan los módulos de control. Los módulos se programan con diagramas de bloques funcionales o secuencias que son puesta en marcha con la configuración de sus parámetros.

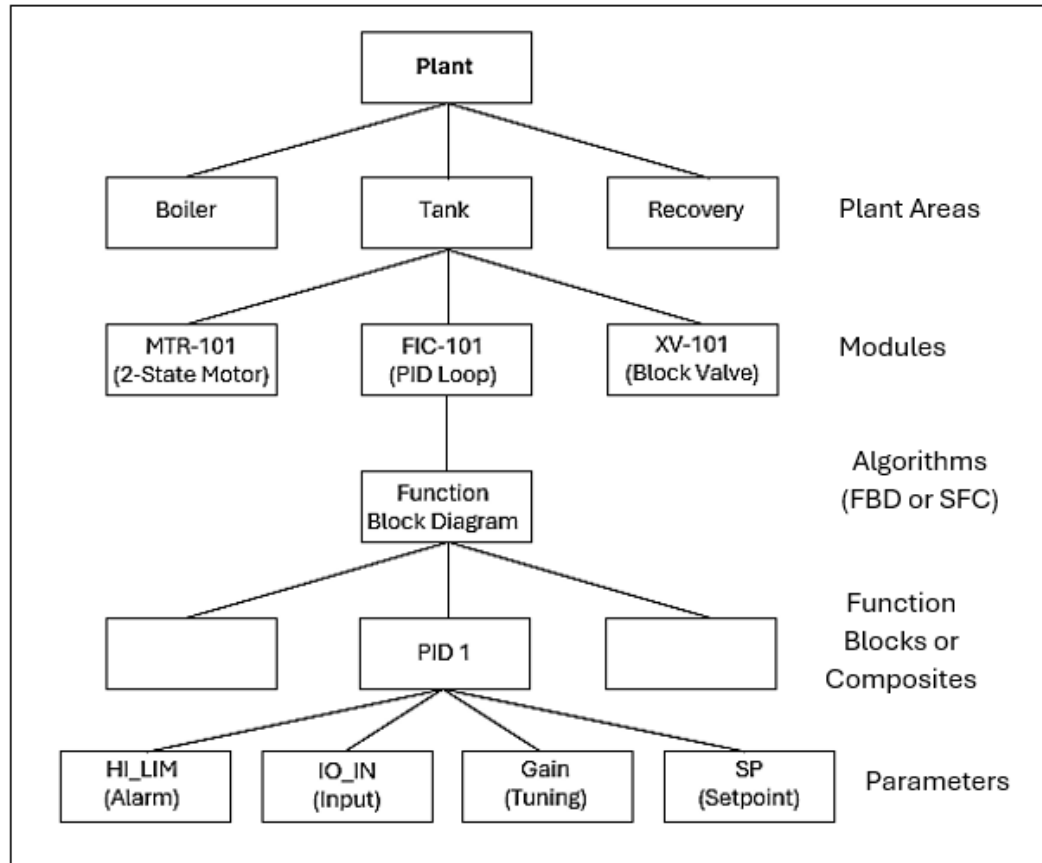


Figura 2: Diagrama de base de control de DeltaV. Fuente: [20].

Inicialmente se realizan las configuraciones necesarias en el alto nivel de la planta general, así como características del sistema. Luego se subdivide en áreas lógicas las cuales pueden clasificarse ya sea por ubicación física en la planta o por tipo de proceso. En estas áreas se asignan los módulos de control que son creados en el tercer nivel, estos cuentan con algoritmos o bloques de función que procesan las señales con las que trabajan estos módulos. Así mismo, desde las pantallas HMI, los operadores son capaces de monitorizar y en algunos casos ajustar parámetros de proceso y de equipos que están en funcionamiento.

Módulos de control

Un módulo de control es un componente electrónico o conjunto de componentes que se utiliza para supervisar, regular o gestionar el funcionamiento de un proceso o sistema. Estos módulos pueden variar en tamaño, complejidad y

funcionalidad según las necesidades específicas de la aplicación. En un DCS, los módulos de control son responsables de recibir datos de entrada de sensores, procesar esa información según la lógica programada y enviar señales de salida a dispositivos de actuación como válvulas, motores u otros equipos. Los módulos de control pueden realizar una amplia gama de funciones, que incluyen desde operaciones simples como encender o apagar un dispositivo hasta tareas más complejas como regular la velocidad, la temperatura o la presión de un proceso.

Asimismo, en el entorno de DeltaV, los módulos de control cuentan con algunas características y opciones de configuración importantes como el modo bloqueo. El bloqueo de modo es un método para bloquear el modo de un módulo de control cuando es propiedad de una entidad de nivel superior como el módulo o fase de equipo. Cuando no es de su propiedad, le permite al operador cambiar su modo.

Otra característica de los módulos de control en DeltaV es la utilización de enclavamientos, permisivos y puntos de ajuste forzados.

1. Enclavamientos: Cuando un dispositivo es forzado a su posición de seguridad debido a un bloqueo, permanecerá en esa posición cuando la condición de bloqueo haya desaparecido. Cuando sea necesario, una tendrá la posibilidad de omitir el bloqueo. Entonces está disponible una indicación que muestra que el enclavamiento está anulado [21].
2. Permisivos: Un permisivo es una condición dentro de una secuencia lógica que debe cumplirse antes de que se permita que la secuencia pase a la siguiente fase.
3. Puntos de ajuste forzados: Un punto de ajuste forzado es una función que se usa cuando se requiere el control remoto de un lazo o salida en un valor específico desde una condición de punto disparado.

Protocolos de comunicación

1. Modbus TCP/IP: Es una variante del protocolo Modbus que utiliza TCP/IP como capa de transporte. Permite la comunicación entre dispositivos a través de una red Ethernet TCP/IP, lo que proporciona una mayor velocidad y capacidad de comunicación que las variantes seriales de Modbus [22]. Es ampliamente utilizado en sistemas de control industrial para la supervisión y el control de dispositivos remotos.

2. Modbus RTU RS-485: Es una versión del protocolo Modbus que utiliza el estándar RS-485 como medio de comunicación. Se caracteriza por su alta velocidad de transmisión de datos y su capacidad para conectar múltiples dispositivos en un bus de comunicación serial. Es comúnmente utilizado en aplicaciones industriales donde se requiere una comunicación confiable y robusta entre dispositivos distribuidos [23].

3. Modbus RS-232: Es otra variante del protocolo Modbus que utiliza el estándar RS-232 como medio de comunicación. A diferencia de RS-485, RS-232 es un estándar para la comunicación punto a punto y se utiliza principalmente para conectar un dispositivo maestro a uno o varios dispositivos esclavos en distancias cortas. Es menos común en aplicaciones industriales modernas debido a sus limitaciones de distancia y velocidad de transmisión [24].

4. HART (Highway Addressable Remote Transducer): Es un protocolo de comunicación digital bidireccional utilizado en la industria de procesos para la comunicación con dispositivos de campo inteligentes, como transmisores de presión, caudalímetros y válvulas de control. HART combina una señal analógica de 4-20 mA con una señal digital superpuesta para proporcionar información adicional de diagnóstico y configuración de dispositivos de campo, lo que permite una supervisión y control más avanzados en sistemas de automatización industrial [25].

Capítulo 3: Metodología

El presente proyecto toma como base la metodología de diseño y desarrollo de productos de Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger para abarcar la problemática planteada; en la cual exponen 5 etapas principales, las cuales se enumeran de la siguiente manera:

1. Identificación de necesidades
2. Establecimiento de especificaciones
3. Generación de conceptos
4. Selección de conceptos
5. Evaluación y validación de la solución.

Dichas etapas funcionaron como una guía para establecer los pasos a seguir del proyecto y ajustar las etapas en las que se desarrolló el mismo.

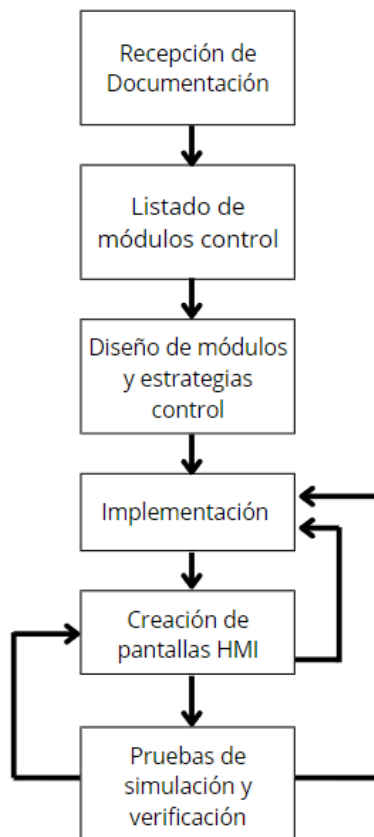


Figura 3: Diagrama de bloques general del proyecto. Fuente: [Propia]

La Figura 3 muestra las etapas en las que se dividió el desarrollo de la solución al problema, así como el flujo de trabajo para la realización de dichas etapas

A continuación, se presenta una explicación detallada de las etapas que conformaron el proceso de solución para el presente proyecto haciendo referencia a la metodología de diseño y desarrollo de productos ya mencionada.

Identificación de necesidades

Recepción de documentación

La etapa inicial del proyecto consistió en la recopilación de información y documentación provista por el cliente, lo cual permitió iniciar un análisis detallado de las necesidades del sistema. Esta documentación incluyó la filosofía de operación, diagramas de bloques del proceso de acondicionamiento, diagramas P&ID de las diferentes unidades auxiliares, unidades de proceso e interconexiones de planta, así como hojas de datos y especificaciones de máquinas y equipos de los diferentes contratistas involucrados en el proyecto de expansión de la planta de Tratayén.

A partir de la documentación recopilada, se llevó a cabo un análisis detallado de cada uno de los P&ID junto con la filosofía de operación para identificar las señales de control requeridas por el DCS. Se extrajeron las etiquetas de instrumentos y se creó un listado de las señales de control necesarias para el proyecto, el cual incluye información detallada de cada una, como el tipo de señal, el diagrama P&ID al que pertenecen y una descripción de su funcionamiento.

Esta extracción de información permitió identificar las necesidades del DCS para poder controlar y monitorear el área de Facilites.

Establecimiento de especificaciones

Listado de módulos de control

Con base en el listado de señales generado en la primera etapa, se llevó a cabo un segundo análisis más detallado para verificar las especificaciones de los módulos de control necesarios para cada una de ellas. Esto permitió confirmar el tipo de funcionamiento asociado a cada señal y definir detalles operativos, rangos de operación, unidades de ingeniería y valores límite para cada módulo. Se elaboró un listado de los módulos de control que facilitó la identificación de todas estas características.

Utilizando esta información, se construyó el “Listado de módulos de control” (ver

Tabla A.2), el cual muestra los requerimientos de los módulos de control a implementar. A partir de este listado, se realizó la clasificación de los tipos de módulos necesarios, lo que permitió iniciar la etapa de diseño.

Generación de conceptos

Diseño de módulos y estrategias de control

Como tercera etapa de la metodología, se procedió con el diseño de los módulos y las estrategias de control que cumplieran con lo descrito en la filosofía de operación. A partir de las especificaciones y la clasificación realizada en la etapa anterior, se agruparon los módulos por clases, identificando patrones y similitudes entre ellos. Esta agrupación facilitó el diseño de una clase estándar para cada tipo de control, que sirvió como base para la implementación y configuración de los módulos individuales, garantizando consistencia en el proceso de desarrollo.

Para cada clase de control diseñada, se creó un diagrama que mostraba los bloques funcionales describiendo la estructura e interacción con los componentes del sistema de control. Este diagrama proporcionó una visualización clara y concisa de cómo se configuraban y operaban los módulos de control dentro del DCS.

Además, sirvió como guía para la configuración de parámetros específicos de cada módulo, escalas, alarmas y unidades, asegurando una implementación coherente y precisa en el entorno de control.

Selección de conceptos

Implementación

En la etapa de implementación, se llevaron a cabo los pasos necesarios para materializar los conceptos seleccionados durante el proceso de diseño. La implementación del área Facilities se realizó dentro del sistema DeltaV de Emerson, una herramienta para el manejo y configuración de bases de datos y sistemas de control.

En primer lugar, se creó el controlador dentro del entorno de DeltaV, al que se asociaron los CIOCs necesarios para manejar la cantidad de CHARMs requeridos. Estos CHARMs funcionaron como una interconexión entre los CHARMs y el controlador. Luego, dentro de cada CIOC, se crearon los CHARMs asociados a cada señal de campo. Cada CHARM fue creado manualmente, configurando el tipo de señal que controlaba, el tipo de tarjeta y una descripción, basándose en el listado de señales obtenido anteriormente.

Posteriormente, se creó el área de control llamada "Facilities", donde se crearon celdas de proceso alineadas con las etapas de proceso identificadas en los diagramas P&ID. Dentro de cada celda de proceso, se crearon los módulos correspondientes siguiendo la estructura establecida en la etapa de diseño. Esta estrategia facilitó la integración y el control de los diferentes elementos del sistema, asegurando una gestión efectiva de cada proceso.

La implementación se centró en tomar cada uno de los módulos definidos en la etapa de especificaciones y configurarlos según las necesidades y requisitos específicos de cada aplicación. Esto implicó replicar el módulo base de la clase de control previamente definida y configurar sus valores y parámetros particulares,

como rangos de operación, límites de alarma y unidades de ingeniería, así como asociarlos a las señales de campo definidas en la etapa inicial.

Cada módulo se configuró de manera individual, utilizando la plantilla diseñada en la fase anterior como guía. Esta plantilla proporcionó una estructura predefinida que agilizó y estandarizó el proceso de configuración. Además, el diagrama de bloques funcionales generado anteriormente sirvió como referencia visual para comprender la interacción y la configuración de los diferentes parámetros del módulo.

Evaluación y validación de la solución

Creación de pantallas HMI

Para poder visualizar el funcionamiento e integración del control de los módulos implementados, fue necesario crear pantallas HMI que fueran análogas al proceso, haciendo referencia a los diagramas P&ID. Estas pantallas funcionan como una interfaz para el operador, permitiéndole visualizar los parámetros de proceso y tener control sobre los equipos en campo.

Utilizando el listado de señales, se obtuvo una clasificación de los módulos creados y a qué diagrama P&ID pertenecían, lo que permitió identificar qué procesos debían ser representados. Se creó entonces un listado de pantallas HMI que se crearon dentro del entorno de DeltaV. Estas pantallas incluyen una representación de equipos estáticos como tanques, filtros y tuberías, así como equipos dinámicos que estaban bajo algún tipo de control, como indicadores de presión, flujo y temperatura, además de bombas y válvulas, junto con animaciones de alarmas.

Es importante destacar que estos elementos dinámicos deben ser seleccionables para el operador y permitir abrir una pequeña pantalla emergente denominada "faceplate", donde se pueden ver con más detalle los parámetros y descripciones del módulo seleccionado. Además, a través de estos faceplates, se

accede a los comandos del operador, como arranque/parada del equipo, cambio de modo de lazo de control, reconocimiento de alarmas, así como el acceso a detalles que proporcionan optimización y diagnóstico para los módulos de control.

Para cada una de estas pantallas, se presenta el diagrama o sección del diagrama P&ID que representa, así como la indicación de los módulos creados.

Pruebas de simulación y verificación

Finalmente, como etapa de validación, fue necesario verificar la correcta configuración del DCS desde el etiquetado de las señales hasta el control y funcionamiento de los módulos representados en pantalla. Para esta validación, se llevó a cabo un proceso de 3 etapas.

- **Primera etapa: Implementación de software.**

En la primera etapa se realizó una verificación de la configuración de software del área Facilities. Se realizó en cinco pasos.

1. Verificar, acorde a diagramas P&ID, el nombre de los módulos de control, además deben tener el sufijo “-FA” que hace referencia al área Facilities.
2. Verificar, acorde al listado de señales generado, la descripción de funcionamiento de cada módulo de control.
3. Verificar, acorde a diagramas P&ID y filosofía de operación, la escala y unidades de ingeniería adecuadas para cada módulo de control.
4. Verificar, acorde a la filosofía de operación y diagramas P&ID, la configuración de las alarmas y sus valores de disparo para los módulos que esto aplique.

5. Verificar, acorde a la filosofía de operación y listado de módulos la clase asociada a cada módulo implementado.

- **Segunda etapa: Verificación de configuración de entradas y salidas.**

La segunda etapa se enfocó en verificar la configuración de los CHARMS, el controlador y los CIOC dentro del entorno de DeltaV. Fue necesario verificar 8 aspectos importantes.

1. Verificar, acorde a especificación de software, el nombre para los CIOC
2. Verificar, acorde a listado de señales generado, la asignación de cada CHARM al canal respectivo.
3. Verificar, en el entorno de DeltaV que cada CHARM está habilitado.
4. Verificar, acorde al listado de señales generado, la clase de cada CHARM.
5. Verificar, acorde al listado de señales generado, que el tipo de hardware de cada CHARM coincida con el configurado en el entorno de DeltaV.
6. Verificar, acorde al listado de señales generado, el tipo de funcionalidad de cada CHARM.
7. Verificar, acorde al listado de señales generado, la etiqueta de dispositivo para cada CHARM.
8. Verificar, acorde al listado de señales generado, la asignación de cada CHARM al controlador de Facilities.

- **Tercera etapa: Verificación funcional de gráficos.**

La tercera etapa se debe validar tanto la representación de los diagramas P&ID en las pantallas HMI como la funcionalidad de los módulos y accesos a comandos del operador.

Para esta validación se hizo una revisión en seis pasos para cada pantalla HMI creada.

1. Verificar, acorde a diagramas P&ID, la visualización todos los estáticos del proceso y sus conexiones según aplique para cada diagrama.
2. Verificar, acorde a diagramas P&ID, la correcta navegación entre pantallas de proceso.
3. Verificar, acorde a diagrama P&ID y listado de módulos, la visualización de todos los dinamos correspondientes a los módulos de control. Esto incluye el despliegue de los “faceplates” a partir de la selección de los módulos de control.
4. Verificar, acorde a listado de señales y P&ID, el despliegue de los datos correctos en el faceplate para de cada módulo de control. Esto incluye, unidades de ingeniería, nombre del módulo, nombre en pantalla y descripción del módulo.
5. Verificar, acorde a la filosofía de operación, el control y la respuesta de cada módulo a partir de una simulación a su entrada. En este paso, se debe abrir el entorno de Delta V / Control Studio. En el cual se simula un valor de proceso a la entrada del módulo y se verifica tanto en este ambiente de simulación como en la pantalla HMI la respuesta y la animación respectivamente. Según la clase de módulo que se esté probando se simulan diferentes valores de proceso que permitan visualizar y confirmar el correcto funcionamiento de la lógica de control del módulo.

6. Verificar, acorde a diagramas P&ID y filosofía de operación, la visualización de activación de alarmas tanto en los módulos como en el banner de alarmas principal de las pantallas. Esto incluye listado de alarmas, comando de reconocimiento de alarma y filtrado de alarmas. En este paso, nuevamente, se simula un valor de proceso que esté fuera del rango de operación permitido y se verifica la visualización y efectos de las alarmas y su prioridad.

Capítulo 4: Propuesta de diseño

Recopilación de información

Como etapa inicial del diseño, se hizo el análisis correspondiente a la documentación emitida por el cliente. En este caso se tiene un recopilado que incluye los documentos listados a continuación:

1. I-GIO-631-104267-MD-P-001 / Filosofía de operación, control y seguridad.
2. I-GIO-631-104267-PL-P-001 / Diagrama de Bloques.
3. I-GIO-631-104267-PL-P-002 / P&ID Simbología.
4. I-GIO-631-104267-PL-P-003 / Slug Catcher –TIE INS Ampliación 22-23.
5. I-GIO-631-104267-PL-P-004 / Interconexión planta estabilizadora.
6. I-GIO-631-104267-PL-P-005 / Interconexión compresión gas residual.
7. I-GIO-631-104267-PL-P-006 / Filtro Coalescedor.
8. I-GIO-631-104267-PL-P-007 / Almacenaje gasolina estabilizada.
9. I-GIO-631-104267-PL-P-008 / Distribución sistema de venteo y drenaje.
10. I-GIO-631-104267-PL-P-009 / Interconexión con sistema de aire de instrumentos de planta LTS.
11. I-GIO-631-104267-PL-P-010 / Distribución sistema de aire de instrumentos y de planta.
12. I-GIO-631-104267-PL-P-011 / Sistema de gas combustible.
13. I-GIO-631-104267-PL-P-012 / Sistema de aceite térmico.
14. I-GIO-631-104267-PL-P-013 / Sistema de drenajes abiertos.
15. I-GIO-631-104267-PL-P-014 / Interconexión sistema de venteo y drenaje.
16. I-GIO-631-104267-PL-P-015 / Interconexión gases de enriquecimiento.
17. I-GIO-631-104267-PL-P-016 / Interconexión colectores.
18. I-GIO-631-104267-PL-P-017 / Ampliación EMED TGS
19. I-GIO-631-104267-PL-P-018 / Sistema automático de lubricación forzada.
20. I-GIO-631-104267-PL-P-019 / Interconexión colector de venteos.
21. I-GIO-631-104267-PL-P-020 / Interconexión filtros coalescedores.
22. I-GIO-631-104267-PL-P-021 / Interconexión conexión de gas residual 3.

23. I-GIO-631-104267-PL-P-022 / Interconexión sistema carga / descarga de aceite.
24. I-GIO-631-104267-PL-P-023 / Interconexión sistema de alivio – KOD y FLARE.
25. I-GIO-631-104267-PL-P-024 / Interconexión sistema de aceite térmico.
26. I-GIO-631-104267-PL-P-200 / Plano de cañerías e instrumentos 101-F-006.
27. I-GIO-631-104267-LG-I-401 / Lista de señales e instrumentos. (AGIRA)
28. I-GIO-631-104267-PL-P-401 / Electrocompresores de gas. Primer y segundo SKID. (AGIRA)
29. I-GIO-631-104267-DC-O-001 / Junction Box Layout and Wiring Diagram – DCS Analog, DCS, Digital, SIS Analog, SIS Digital. (ENERFLEX)
30. I-GIO-631-104267-DC-O-002 / Electrical Wiring Diagram and Panel Layout – Hot Oil System. (ENERFLEX)
31. I-GIO-631-104267-DF-P-001 / Process Flow Diagram. (ENERFLEX)
32. I-GIO-631-104267-DF-P-002 / Project Description Drawing. (ENERFLEX)
33. I-GIO-631-104267-PL-P-001E / Notes and Legend PDF. (ENERFLEX)
34. I-GIO-631-104267-PL-P-002E / Stabilizer System. (ENERFLEX)
35. I-GIO-631-104267-PL-P-003E / Hot Oil System – Heatec. (ENERFLEX)
36. I-GIO-631-104267-PL-P-004E / Stabilizer Tower. (ENERFLEX)
37. I-GIO-631-104267-PL-P-005E / Hot Oil System Interconnect. (ENERFLEX)

De la documentación, se hizo una primera extracción de todas las DST (etiqueta de señal de dispositivo) identificadas requeridas para el DCS. En este primer análisis se encontraron 96 DST asociadas al sistema de control, distribuidas en 28 DO (salida digital), 29 DI (entrada digital), 18 AO (salida analógica) y 20 AI (entrada analógica). Toda esta información, así como las descripciones de funcionamiento para cada señal se observan en la Tabla A.1 (Ver Apéndice A. Listados de señales y módulos de control.).

Con la ayuda de este primer análisis se logró obtener una perspectiva más definida del proyecto, así como generar una lista de 4 necesidades clave del DCS para cumplir con los objetivos expuestos. Estas necesidades se relacionan con la

capacidad del controlador requerido, el tipo de diseño para el control, la interfaz de operación, así como con características de funcionamiento para los módulos de control.

Necesidades identificadas

- 1- El DCS es capaz de manejar al menos 95 señales de control.
- 2- El área Facilities cuenta con un diseño modular y ordenado para facilitar la configuración y mantenimiento.
- 3- El DCS cuenta con una interfaz de usuario para la supervisión y operación de los equipos.
- 4- El DCS tiene capacidades de escalabilidad para futuras expansiones o agregados al proceso.

Con esta información se continuó con la siguiente etapa del proyecto, la cual consistió en un análisis detallado de los requisitos de control y funcionamiento para cada una de las señales extraídas, un establecimiento de los módulos de control requeridos, así como las especificaciones y rangos con los que estos deben operar.

Listado de módulos de control

En conjunto con los diagramas P&ID, la filosofía de operación y el listado de señales definido en la etapa anterior, se llevó a cabo un segundo análisis más minucioso para verificar y establecer características y requerimientos para el control de estas señales. Se establecieron entonces los nombres de los módulos requeridos para manejar estas señales y siguiendo la filosofía de operación se definieron los parámetros y requerimientos con los que estos deben cumplir. Toda esta información para cada uno de los módulos se presenta en el listado de módulos de control en la

Tabla A.2. (Ver Apéndice A. Listados de señales y módulos de control. El listado generado permitió reunir y visualizar toda esta información, funcionando como la base para la categorización y definición de las clases que se diseñaron.

Entre la información recopilada en este listado, se definieron los nombres de los módulos de control, la descripción de su funcionamiento, las unidades de ingeniería, los valores de alarma, el rango de operación y el proceso asociado

Una vez obtenida esta información, se categorizó cada módulo según su tipo de control y funcionamiento. Esto permitió obtener 6 clases de módulos, las cuales sirvieron de base para las subclases de módulos requeridas para lograr algunos controles específicos requeridos en la operación. La clasificación de estas clases se definió de la siguiente manera:

- 1- Clase CAI: Módulos de indicación analógica.
- 2- Clase CDI: Módulos de indicación digital.
- 3- Clase CAO: Módulos de control analógico.
- 4- Clase VLV: Módulos de control válvulas de estados.
- 5- Clase MTR: Módulos de control de motores.
 - 5.1 Subclase MTR TIP1: Módulo de control de motor típico 1.
 - 5.2 Subclase MTR TIP3: Módulo de control de motor típico 3.
 - 5.3 Subclase MTR ENERF: Módulo de control de motor de sistema ENERFLEX.
- 6- Clase CLC: Módulo de control de lazo cerrado.
 - 6.1 Subclase CSD: Módulo de control de PID de lazo simple.
 - 6.2 Subclase CSR: Módulo de control PID de rango partido.
 - 6.3 Subclase CMS: Módulo de control PID en cascada, maestro-esclavo.

Adicionalmente, se logró extraer una clasificación de los procesos en los cuales participan los módulos de control. Esto permitió cuantificar la cantidad de procesos descritos en los P&ID que deben ser representados en el ambiente de operador de DeltaV. A partir de la información recopilada en el listado de módulos, se realizó un segundo análisis de la filosofía de operación y los diagramas P&ID. Se

construyó una tabla de especificaciones (ver Tabla 1) que permite tener una guía y objetivos claros para la configuración, diseño e implementación del DCS.

Tabla 1. Especificaciones del DCS.

No. Especificación	No. Necesidad	Métrica	Unidades	Valor Marginal	Valor Ideal
1	1 y 4	Cantidad de señales que puede manejar el controlador	Cantidad de señales	100	1000
2	2	Clasificación por proceso y tipo de control	Rúbrica	70%	100%
3	3	Compleitud de la pantalla	Rúbrica	70%	100%

La Tabla 1 muestra las especificaciones generales definidas para el DCS diseñado. Se definieron 3 especificaciones principales, de las cuales la especificación 1 se relaciona con la capacidad de señales que puede manejar el controlador y tiene rangos de valor puntuales para validar su cumplimiento. Por otra parte, las especificaciones 2 y 3 están relacionadas con la forma de implementación del sistema y con la representación de procesos en pantalla receptivamente. Para ambas especificaciones fue necesario generar una rubrica para evaluar su cumplimiento. Estas rúbricas se presentan en el Apéndice D. Específicamente en la Tabla D.1. Evaluación de especificaciones.

Diseño de módulos y estrategias de control

Una vez identificadas las clases y subclases necesarias para los módulos de control, se realizó un diseño para cada una, el cual se inició con un estudio de los

requerimientos para cada clase y subclase y posteriormente un diagramado de funcionamiento, así como de bloques funcionales de la solución propuesta para cada uno.

A continuación, se presentan las subsecciones relacionadas al diseño para cada una de las clases definidas en la etapa anterior.

Clase CAI:

La clase CAI, que se refiere a los indicadores analógicos, es utilizada en el monitoreo e indicación de señales analógicas de campo. Estas señales, debido a los transmisores HART utilizados, se presentan como corrientes en el rango de 4 a 20 mA. La clase CAI funciona para recibir y procesar señales de campo analógicas, permitiendo el monitoreo de las variables medidas en el proceso. Además, debe tener la capacidad para generar alarmas cuando los valores de las variables de proceso alcanzan los límites predefinidos en la filosofía de operación. Estos límites son configurables para cada módulo, al igual que el escalamiento de la señal y las unidades de ingeniería asociadas. Además, para realizar pruebas, la clase debe contar con la capacidad de simular señales de entrada. Para esto se emplea un bloque funcional AI (entrada analógica) junto con seis parámetros que se exponen para ser accedidos desde el entorno de operación. En la lógica del indicador se implementan los parámetros “PV” (valor de proceso) y “PV_SCALE” (escala de valor de proceso). Dichos parámetros se asocian a la salida y la escala de la salida del bloque funcional AI, respectivamente, lo que permite que se puedan utilizar y acceder luego en el ambiente de operación y sean visualizables en las pantallas HMI. Adicionalmente, se exponen también los parámetros para habilitar cuatro tipos de alarma, definidos como alarma de muy alto nivel (HH_ALM_ENAB), alarma de alto nivel (H_ALM_ENAB), alarma de bajo nivel (L_ALM_ENAB) y alarma de muy bajo nivel (LL_ALM_ENAB). Estos parámetros permiten, a nivel de configuración, habilitar las alarmas en caso de que el módulo lo requiera. Esta configuración de bloques se muestra en la Figura 4.

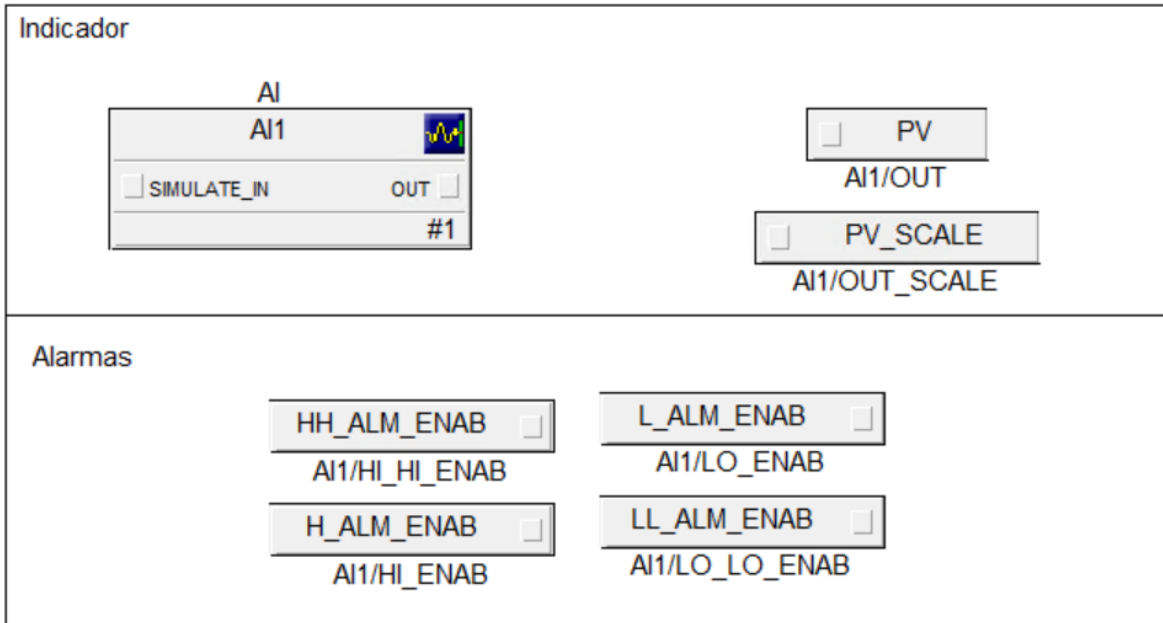


Figura 4: Diagrama de bloques de clase CAI.
Fuente: [Propia]

Como se mencionó, el bloque funcional AI cuenta con una lógica interna que permite la simulación de su entrada, así como la parametrización de la señal de campo y detección de fallos (ver Figura 5). Estas características deben configurarse para cada módulo de acuerdo con el transmisor y variable bajo monitoreo.

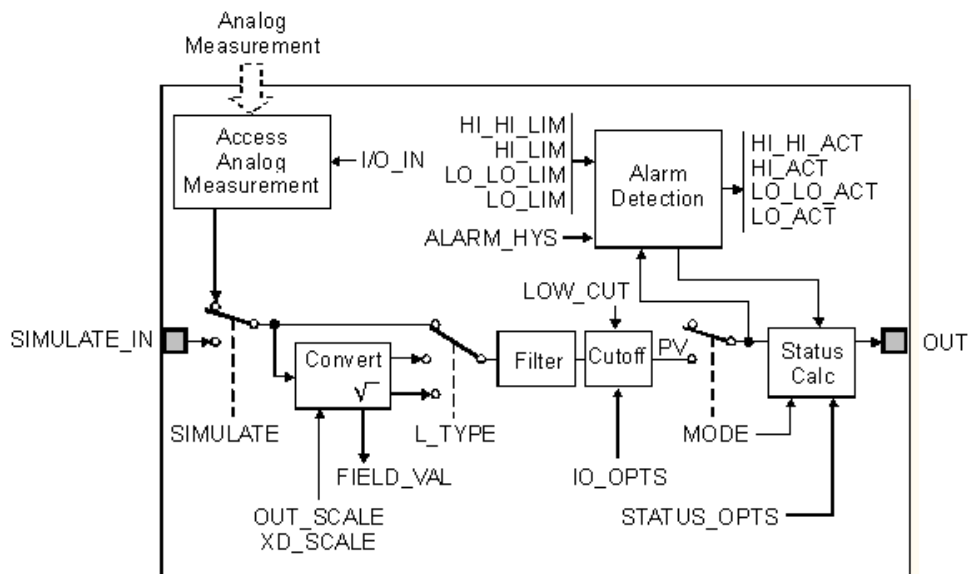


Figura 5: Diagrama esquemático de bloque funcional de entrada analógica.
Fuente: [26]

Clase CDI:

La clase CDI hace referencia a indicadores digitales. Esta clase provee monitoreo e indicación de una señal discreta de entrada. Debe ser capaz de recibir señales discretas de dispositivos de campo y generar alarmas según la lógica de control configurada. Además de tener la opción de simular su valor de entrada para efectos de pruebas y diagnósticos. Para este caso, se requiere de un módulo que funcione como un interruptor o un disparador. Cuando el valor de su entrada sea igual al valor de disparo, debe generar la alarma y mostrar en pantalla la condición establecida. Para esto se utiliza un bloque funcional DI (entrada digital) que permite la simulación de su entrada, así como la inversión de su valor de proceso. Esto se hace para tener configurabilidad del estado de alarma deseado. Adicionalmente, se establecen dos parámetros denominados “ON_WORD” y “OFF_WORD”. Estos parámetros se utilizan para asociar una cadena de caracteres al valor de salida del módulo, la cual puede ser visualizada en el entorno de operación en las pantallas HMI. A continuación, se observa el diagrama de bloques del módulo DI.

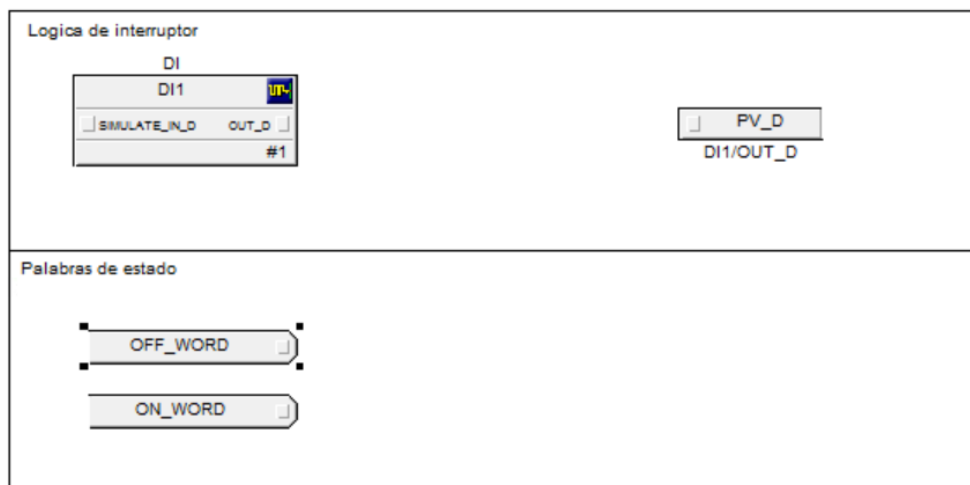


Figura 6: Diagrama de bloques de clase CDI.
Fuente: [Propia]

Como se aprecia en la Figura 6, únicamente se hace uso de un bloque funcional, en este caso el bloque DI. Este bloque tiene la capacidad de invertir el valor de funcionamiento, permitiendo que las alarmas se activen únicamente

cuando la señal de entrada cumpla con una condición especificada, ya sea alto o bajo, según la configuración establecida tal como se observa en la Figura 7. Además, ofrece la funcionalidad de simulación de entrada, facilitando pruebas y diagnósticos sin depender de dispositivos de campo reales.

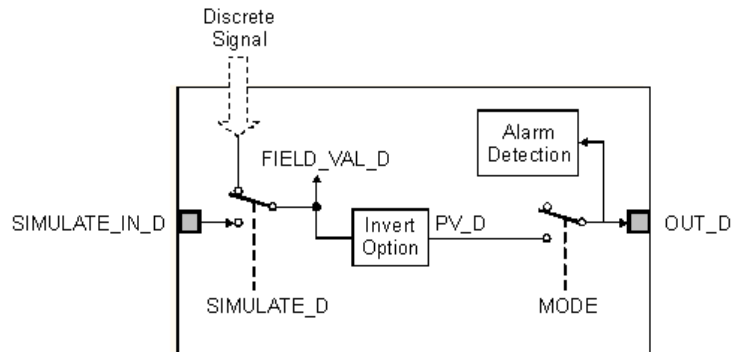


Figura 7: Diagrama esquemático de bloque funcional de entrada digital.
Fuente: [26]

Clase CAO:

La clase CAO se refiere a módulos de control analógico. Esta clase debe proporcionar la capacidad de control sobre una señal analógica que se envía a los equipos en campo. Se requiere que permita, a partir de un valor de entrada, escalar y parametrizar la señal de corriente requerida para el actuador. Debido a que las tarjetas de salidas analógicas utilizan la tecnología HART, esta señal de salida analógica se transmite entre los 4-20 mA. Además, es necesario que permita la simulación de su entrada para efectos de pruebas. Su funcionalidad principal radica en tomar un valor de entrada, ya sea simulado, proveniente de otro módulo o ingresado manualmente, y escalar este punto de ajuste a una señal de 4-20 mA de acuerdo con la escala establecida y las unidades de ingeniería. Además, permite la configuración de parámetros como el punto de ajuste y sus límites de operación.

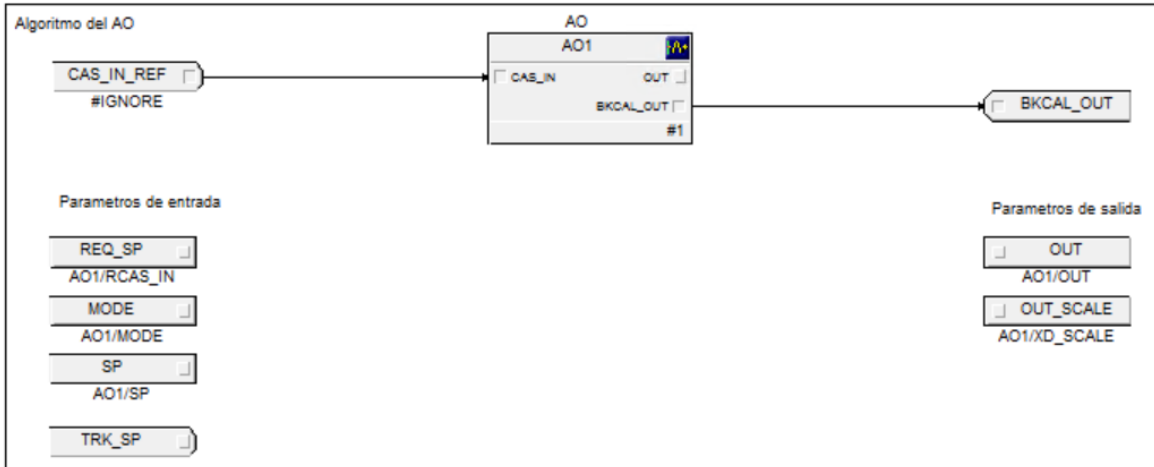


Figura 8: Diagrama de bloques de clase CAO.
Fuente: [Propia]

La Figura 8 muestra el diagrama de bloques de la clase CAO, así como los parámetros del bloque AO1 que fueron expuestos para su utilización y acceso desde las pantallas de operación

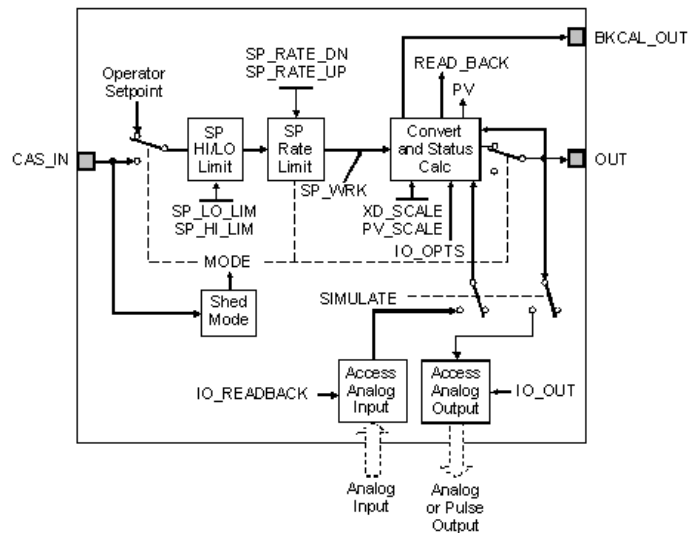


Figura 9: Diagrama esquemático de bloque funcional de salida analógica.
Fuente: [26]

La Figura 9 muestra la configuración interna del bloque funcional AO utilizado para el diseño. La implementación de este bloque funcional (salida analógica) permite cumplir con las especificaciones de diseño de la clase CAO. Este bloque puede operar en tres modos: manual, automático y cascada. En el modo Manual, el

operador puede establecer manualmente el valor de salida (OUT) según las necesidades específicas del proceso. En el modo automático, el valor de salida se ajusta automáticamente en función del punto de ajuste (SP) establecido, con la posibilidad de limitar la velocidad de cambio y definir límites máximo y mínimo para SP mediante los parámetros SP_HI_Limit y SP_LO_Limit respectivamente. Además, el parámetro SP_Rate_limit controla la tasa de cambio permitida para evitar cambios bruscos en SP. La función de retroalimentación (readback) proporciona información en tiempo real sobre el estado actual del dispositivo de campo controlado por el bloque AO.

Además, el parámetro REQ_SP permite introducir cambios planificados en el punto de ajuste que el sistema de control debe seguir gradualmente. Mientras que TRK_SP se utiliza para seguir activamente un punto de ajuste establecido por otro dispositivo o módulo, permitiendo una coordinación efectiva entre diferentes partes del sistema y garantizando un control coherente y sincronizado del proceso.

Clase VLV

La clase VLV se utiliza para el control del estado de válvulas. En este caso, se requiere un módulo capaz de controlar el estado abierto y cerrado de una válvula a partir de indicadores digitales. Las válvulas implementadas con esta clase son parte del sistema de lubricación forzada, donde un sensor de bajo nivel genera un disparo que abre la válvula, la cual permanece así hasta que otro sensor de alto nivel genere otro disparo para cerrarla. El dispositivo se mantiene en un único estado hasta que se cumple la condición de cambio, determinada por los indicadores de nivel. Para construir esta clase, se utiliza un bloque simple de cálculo para verificar y calcular la transición de estado, enviando el resultado a un bloque DO (salida discreta) que se conecta directamente con la válvula en campo. La salida de estado de este bloque DO retroalimenta el bloque de cálculo para verificar el estado antes de realizar la transición (ver Figura 10).

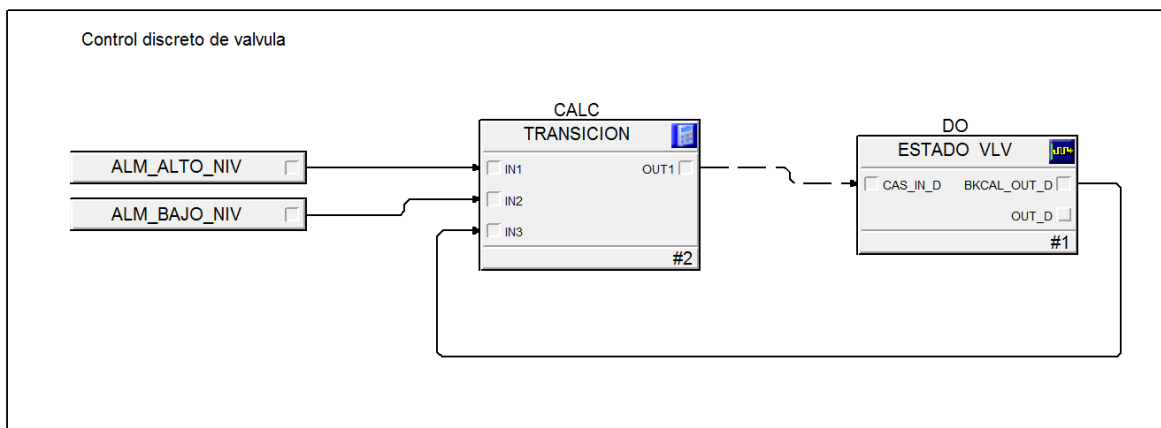


Figura 10: Diagrama de bloques de clase VLV.
Fuente: [Propia]

La lógica implementada indica que primero se revisa el estado actual de la válvula. Si está abierta, se verifica el disparo de alto nivel para cerrarla. Por otro lado, si el estado actual es cerrado, se revisa el disparo de bajo nivel para abrir la válvula (ver Figura 11)

```

Expression:
1  (*VARIABLES IN1 ES EL SENSOR DE ALTO NIVEL*)
2  (*VARIABLES IN2 ES EL SENSOR DE BAJO NIVEL*)
3  (*VARIABLES IN3 ES EL ESTADO ANTERIOR DE LA VLV*)
4
5  IF 'IN3' = TRUE THEN (*VERIFICA QUE LA VLV ESTA ABIERTA*)
6      IF 'IN1' = TRUE THEN (*DISPARO ALTO NIVEL*)
7          'OUT1' := FALSE; (*CIERRA LA VLV*)
8      ENDIF
9  ELSE IF
10     'IN3' = FALSE THEN (*VERIFICA QUE LA VLV ESTA CERRADA*)
11         IF 'IN2' = TRUE THEN (*DISPARO BAJO NIVEL*)
12             'OUT1' := TRUE; (*ABRE LA VLV*)
13     ENDIF

```

Figura 11: Código de transición de clase VLV.
Fuente: [Propia]

El bloque funcional de salida digital (DO) permite controlar dispositivos digitales en el sistema. Este bloque activa o desactiva dispositivos de campo como válvulas, motores o luces. Además de su función principal, el bloque DO ofrece características adicionales, como simular su entrada para pruebas y diagnósticos, y la opción de invertir su valor de salida según lo requiera la lógica (ver Figura 12).

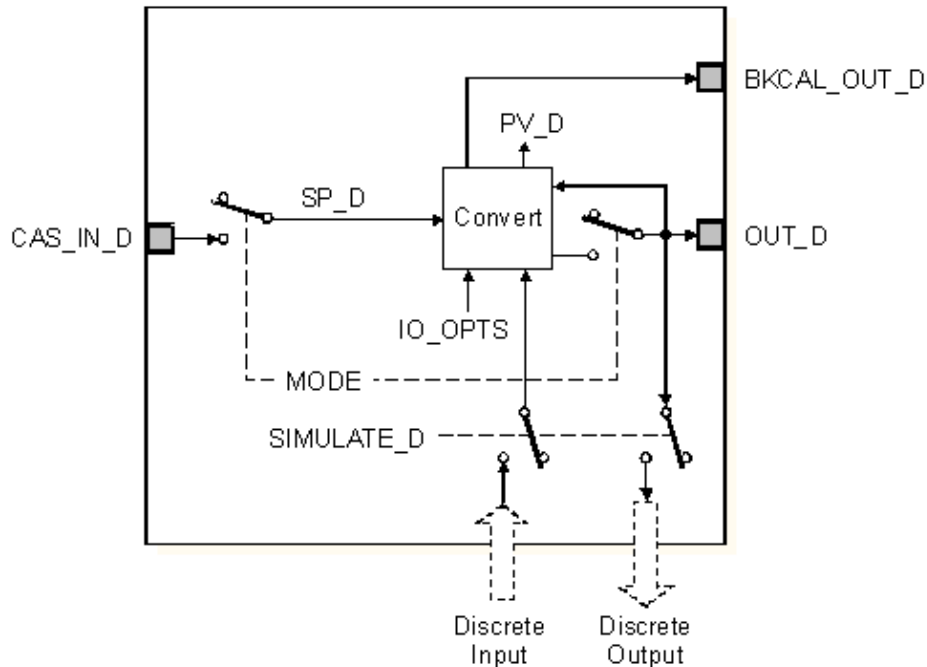


Figura 12: Diagrama esquemático de bloque funcional de salida digital.
Fuente: [26]

Clase MTR

La clase MTR está diseñada específicamente para el control de motores discretos, los cuales operan en dos estados: encendido y apagado. El control digital de estos motores se basa en la evaluación continua de las condiciones de interlocks y el estado actual del equipo para determinar el siguiente estado.

En un entorno industrial, es necesario garantizar que los motores funcionen de manera segura. Los interlocks son condiciones de seguridad extraídas de la filosofía de operación que deben cumplirse para que el motor cambie de estado. Estas condiciones pueden incluir parámetros críticos como temperatura, presión y otros factores que, de no cumplirse, podrían causar daño al equipo o al proceso.

El proceso de control discreto de la clase MTR implica una secuencia estructurada. Primero, se evalúan los interlocks para verificar si todas las condiciones de seguridad y operación necesarias están cumplidas. Luego, el sistema verifica el estado actual del motor, es decir, si está encendido o apagado.

Basándose en los interlocks y el estado actual, el controlador decide si el motor debe encenderse o apagarse, transmitiendo esta decisión como un comando digital al motor. Finalmente, el estado del motor se actualiza y se retroalimenta al sistema, asegurando una operación precisa y segura.

La clase MTR utiliza bloques de control discretos que permiten una configuración flexible y personalizada de los motores según las necesidades específicas del proceso. Para implementar esta clase es necesario hacer una subclase para cada tipo de motor que se utiliza en el proceso. En este caso, tenemos tres tipos.

MTR TIP1: La subclase MTR TIP1 se utiliza para bombas definidas como “Típico 1”, esto hace referencia a una configuración de control para motores ya establecida que se extrae del plano I-GIO-631-104267-PL-P-002 / P&ID Simbología. Este motor trabaja únicamente con 5 señales discretas. Señal de falla, estado de equipo y modo de operación son sus entradas mientras que la señal de paro y arranque son sus salidas.

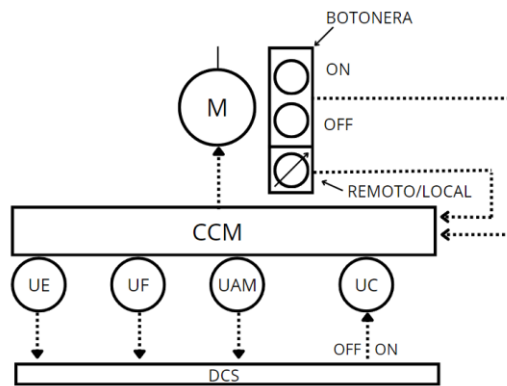


Figura 13: Diagrama de señales de MTR Típico 1.
Fuente: [Propia]

La Figura 13 muestra el diagrama de control de los motores tipo “Típico 1”. El centro de control de motores (CCM) es un tablero que alimenta, mide, controla y protege los circuitos de los motores en campo. Estos motores cuentan con una botonera física en con botones de arranque y paro manual, así como un selector manual para alternar entre estado remoto (desde DCS) o local (desde campo).

Además, al estar en estado remoto permite su control mediante las señales comunicadas con el DCS. Las cuales corresponden a estado del motor (UE), falla del motor (UF), modo de operación (UAM) y arranque y paro remotos (UC/ON y UC/OFF).

Para el control de este motor, es necesario implementar un bloque que pueda hacer una transición entre estados, evaluando siempre las condiciones de operación, estado y señales que puedan interferir en su funcionamiento. Para esto se utiliza un bloque DCC que permite evaluar condiciones de interlock. Esto facilita una evaluación del estado actual de las condiciones de interlock y realizar un cambio de estado cuando se cumplan, o bien llevar el motor a un estado pasivo en caso de fallo. En serie con el bloque DCC, se utiliza un bloque EDC capaz de realizar el control discreto de señales para el manejo del equipo en campo. Este bloque permite crear una máscara de estados con diferentes combinaciones de entradas y salidas para cada estado. Para los módulos MTR Típico 1 se utilizaron únicamente 3 estados: arranque, paro remoto y estado manual. Además, el estado de paro se asocia con estado pasivo, haciendo posible que, en caso de una falla o condiciones anormales, el bloque EDC cambie al estado pasivo, que en este caso es el estado de “paro”. Se tiene una retroalimentación entre el bloque EDC y el bloque DCC mediante el parámetro CMD. Este parámetro muestra el valor discreto del estado en el que se encuentra el bloque EDC cuando está en algún estado activo. En caso de encontrarse en un estado pasivo, dado por algún tipo de falla, este parámetro toma el valor del último estado más 10.

Adicionalmente, se exponen los parámetros “SP_D”, “MODE”, “PV_D” y “PV_STATE” para poder ser referenciados y visualizados en modo de operación. Donde se indicará el próximo estado seleccionado, el modo de operación del motor, el valor de operación y el estado en el que se encuentra, todos estos relacionados directamente con el bloque EDC. Esta configuración de control se muestra en la Figura 14.

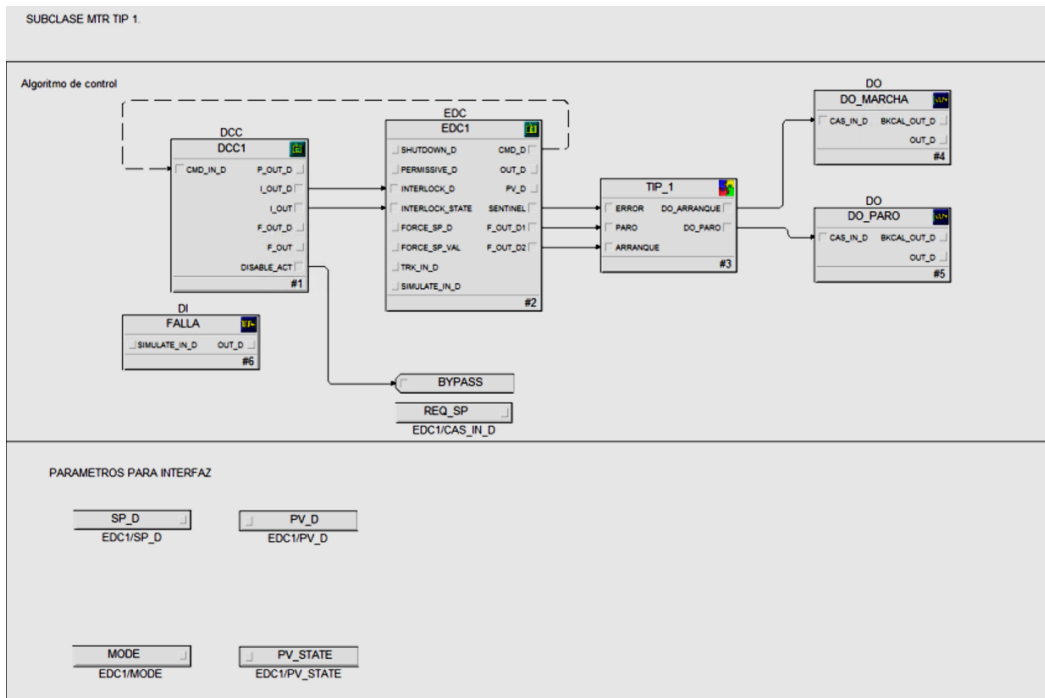


Figura 14: Diagrama de bloques de MTR Típico 1.
Fuente: [Propia]

Para el bloque EDC, tenemos dos parámetros de entrada discretas desde campo: uno indica el estado del motor, es decir, un retro aviso directamente de campo que ayuda a evaluar que el estado real y el estado del bloque EDC son los mismos; y otro parámetro que indica el modo de operación, ya sea manual o automático. Este selector es manual y está directamente en el CCM. Cuando el estado del bloque sea manual, el control digital estará fuera de servicio, esto para temas de mantenimiento y/o paros programados. Mientras se encuentre en automático, las salidas del bloque EDC definirán el estado del motor.

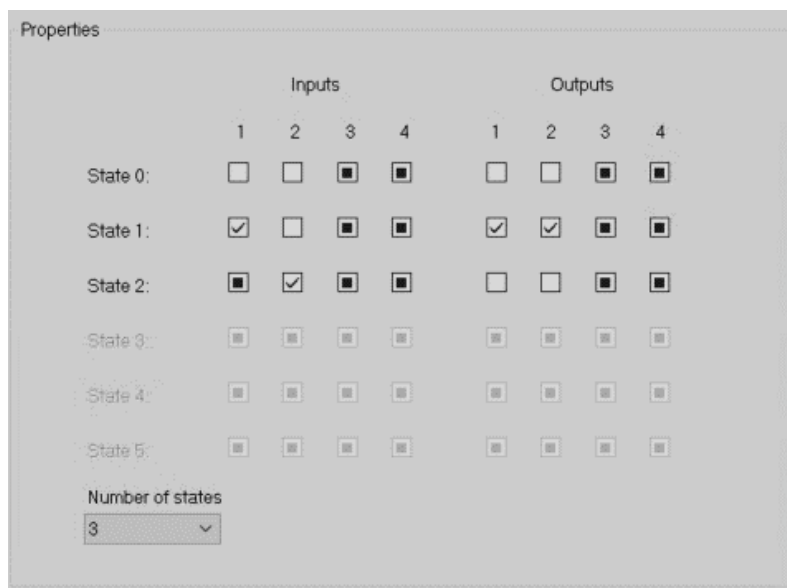


Figura 15: Mascara de estados de MTR Típico 1.
Fuente: [Propia]

La Figura 15 muestra la máscara de estados configurada para la clase MTR Típ 1, donde el estado 0 se define como estado pasivo o estado de interlock, el estado 1 es el estado activo y el estado 2 se utiliza para cuando el motor está en estado manual y su control se realiza directamente del CCM.

Adicionalmente se creó un bloque de control TIP_1 que se encarga de evaluar las condiciones específicas para definir el arranque y paro remotos (ver Figura 16). Se utilizan las dos salidas habilidades del bloque EDC y el parámetro “SENTINEL”. Este bloque permite enviar la señal discreta a campo de arranque de motor luego de que el bloque EDC se encuentre al menos 2 segundos en el estado de marcha. Mientras que, para la condición de paro, se evalúa por medio de una compuerta OR tanto el comando de paro de pantalla o bien la activación del parámetro “SENTINEL”, este parámetro es una característica de seguridad y diagnóstico utilizada para monitorear el estado y la integridad del bloque de control, ayuda a detectar fallos y garantiza que el bloque esté funcionando correctamente. En el caso de que el parámetro discreto de entrada “FALLA” se active, o bien alguna otra condición anormal dentro de la lógica del motor se cumpla, el bloque EDC realizará un paro.

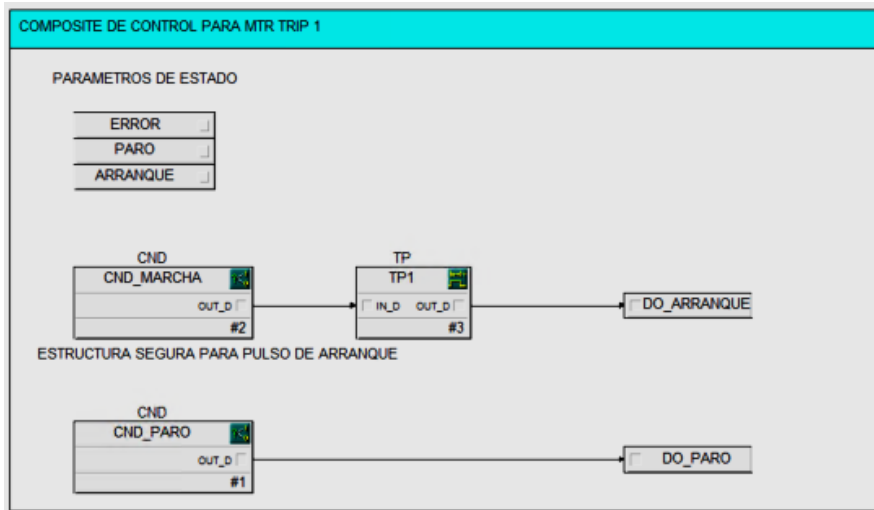


Figura 16: Diagrama interno de bloque funcional típico 1.
Fuente: [Propia]

MTR TIP3: Por otra parte, se tiene otro tipo de motor definido como típico 3. Estos equipos, al igual que para la subclase TIP1, funcionan con 5 señales digitales que van al CCM. Para los motores de tipo típico 3 se cuentan con señal de falla de equipo y confirmación de arranque como entradas discretas, y aparte se tienen la señal de paro, la señal de arranque y la confirmación de permiso como salidas.

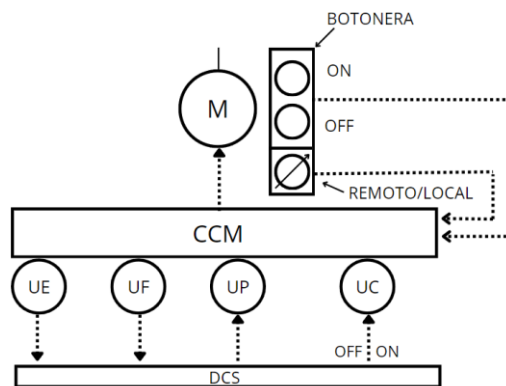


Figura 17: Diagrama de señales de MTR Típico 3.
Fuente: [Propia]

La Figura 17 muestra el diagrama de control de los motores tipo “Típico 3”. Al igual que con la clase MTR TIP 1, se cuenta con centro de control de motores

(CCM). Estos motores cuentan con una botonera física en con botones de arranque y paro manual, así como un selector manual para alternar entre estado remoto (desde DCS) o local (desde campo). Además, al estar en estado remoto permite su control mediante las señales comunicadas con el DCS. Las cuales corresponden a estado del motor (UE), falla del motor (UF), permisivo de arranque (UP) y arranque y paro remotos (UC/ON y UC/OFF). A diferencia que la clase anterior, para este tipo de motores no se cuenta con una señal de aviso de modo de operación si no mas bien se envía una señal a campo con el permiso de arrancar, sin esta señal el sistema mecánico de arranque se bloquea y no permite su operación.

Similar a la subclase MTR TIP 1, se utilizó un bloque DCC en serie con un bloque EDC. Este arreglo permite que el módulo entre en diferentes estados según sus condiciones de operación. Esta subclase opera únicamente en condición remota, por lo que no se tiene un parámetro selector de modo. Se utilizaron dos bloques, uno de entrada discreta y otro de salida discreta, para manejar la confirmación de operación y el permisivo de arranque, respectivamente (ver Figura 18).

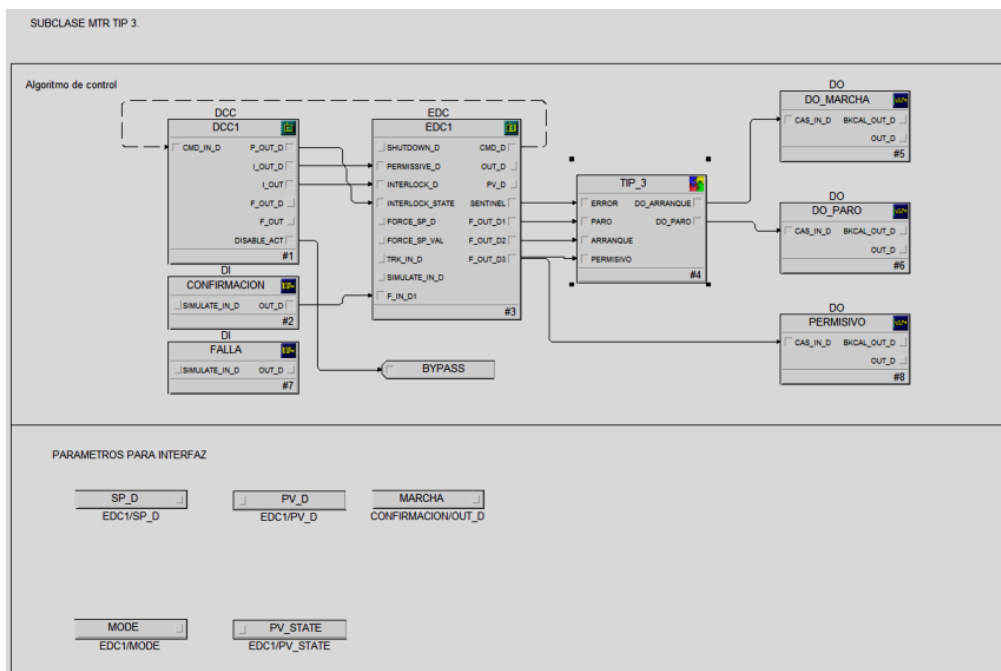


Figura 18: Diagrama de bloques de MTR Típico 3.
Fuente: [Propia]

Con el indicador de operación, se permite reconocer cuál es el estado real del equipo en campo. Una diferencia entre el estado del bloque EDC y el supuesto valor de esta confirmación llevaría el bloque a su estado de interlock. Además de la otra condición que sería un estado activo del parámetro falla. En este estado se mantendrá hasta que se verifique y se corrija el estado erróneo del parámetro de confirmación o bien el estado de falla. Una vez que el módulo se encuentre en un estado pasivo sin fallas, podrá cambiar al estado 1 en el cual tanto el arranque como el permisivo son verdaderos. Esta señal DO de confirmación de permisivo es requerida por el equipo físico en el CCM. Sin esta señal, el equipo no es capaz de iniciar su arranque, y únicamente se coloca en alto cuando el estado del motor es “detenido” y sin presencia de fallas.

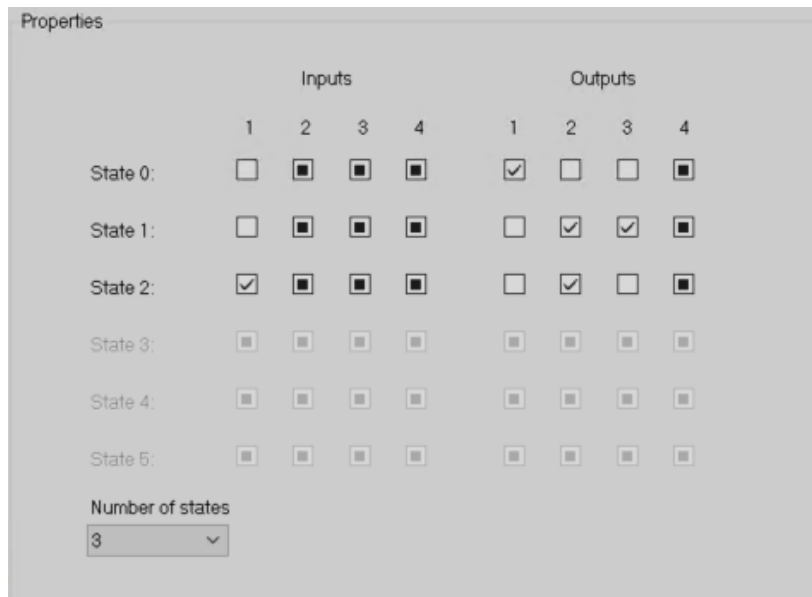


Figura 19: Máscara de estados de MTR Típico 3.
Fuente: [Propia]

La Figura 19 muestra la máscara de estados configurada para la clase MTR Típ 3, donde el estado 0 se define como estado pasivo o estado de interlock, el estado 1 es el estado de paro con permiso para arrancar y el estado 2 es el estado activo de marcha.

Para la lógica mencionada, fue necesario agregar un parámetro en el bloque funcional para MTR TIP 3 (ver Figura 20). Donde la condición de marcha solo se da

cuando el arranque y el permisivo sean verdaderos. Mientras que la condición de paro se mantiene cuando se detecte algún error mediante el parámetro “SENTINEL” del bloque EDC o bien la activación de paro ya sea por interlock o por comando de HMI.

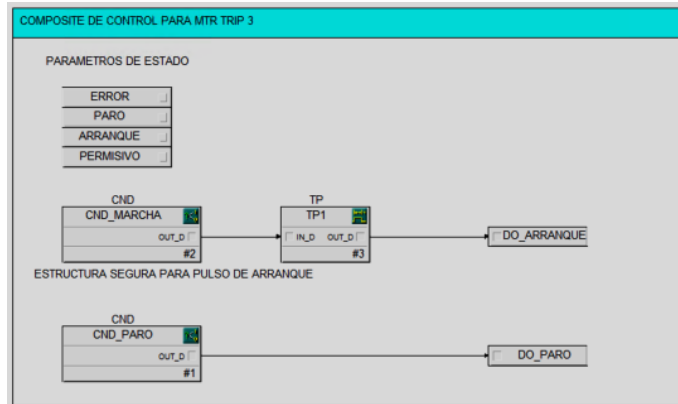


Figura 20: Diagrama interno de bloque funcional típico 3.
Fuente: [Propia]

MTR ENERFLEX: Por último, para la clase MTR, se diseñó la subclase MTR ENERFLEX la cual utiliza únicamente 3 señales para el monitoreo de equipos. Sobre los equipos pertenecientes a este tipo de módulo no se tiene control de paro ni arranque. Sin embargo, se cuenta con dos entradas discretas, el parámetro de falla de equipo y el de confirmación de funcionamiento. Mientras que cuenta con una única salida discreta, el permisivo de arranque. Si bien para esta subclase el arranque y paro es manual desde el CCM. Se utiliza este bloque como monitoreo y bloqueo para el arranque en caso de falla y su estructura se aprecia en el diagrama de la Figura 21.

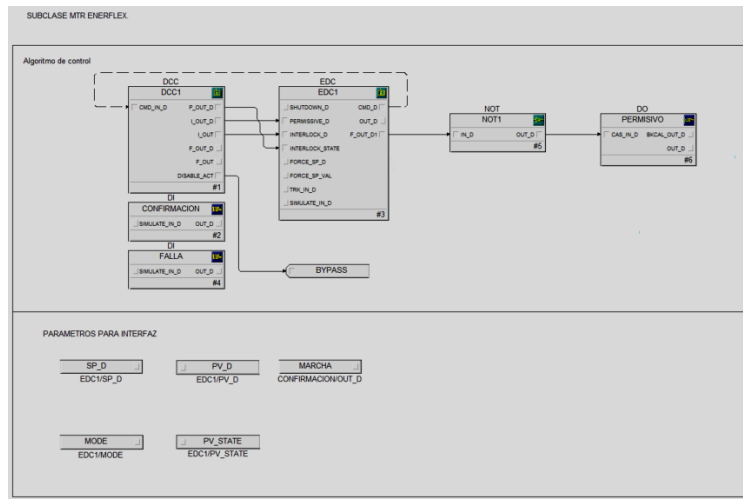


Figura 21: Diagrama de bloques funcionales MTR ENERFLEX.
Fuente: [Propia]

Para que el motor pueda ser arrancado desde el CCM se requiere que la señal de “PERMISIVO” sea 1. Esto implica que el EDC no puede estar en estado 0 o estado de INTERLOCK (ver Figura 22). Se requiere que no se tenga confirmación de arranque para que el permiso sea habilitado. En caso de que detecte una falsa confirmación, el permiso se deshabilitará y no permitirá un arranque.

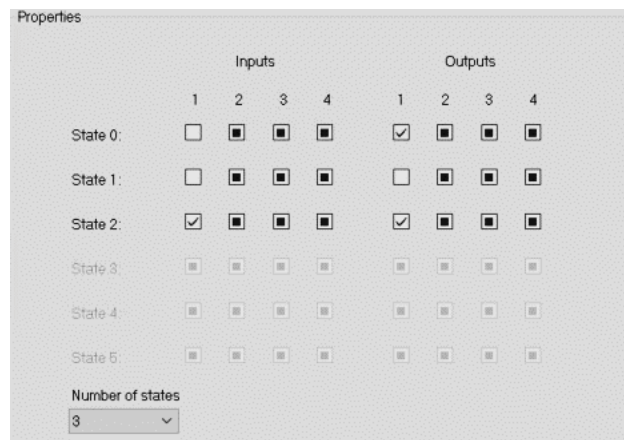


Figura 22: Máscara de estados MTR ENERFLEX.
Fuente: [Propia]

Clase CLC

La clase de control de lazo cerrado (CLC) es una clase diseñada para regular la operación de diversos procesos mediante la implementación de controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo). El objetivo principal de la CLC es mantener una variable de proceso, como temperatura, presión o nivel, lo más cerca posible de un valor deseado (setpoint) a pesar de perturbaciones y cambios en las condiciones de operación. Dentro de la clase CLC, se crearon tres subclases específicas para distintos tipos de lazos de control: control de lazo simple (CSD), control de lazo de rango partido (CSR) y control maestro-esclavo (CSM).

CSD: El control de lazo simple (CSD) es una implementación básica de un controlador PID en donde una sola variable de proceso es regulada por un único lazo de control. Este tipo de control directo es comúnmente utilizado en aplicaciones industriales. En un lazo de control simple, el controlador PID recibe la señal de la variable de proceso desde un sensor (por ejemplo, presión, temperatura, nivel) y ajusta la salida para mantener el valor de proceso cerca del setpoint. El controlador PID calcula la salida de control basada en la desviación del setpoint, con acciones proporcionales, integrales y derivativas para corregir el error, luego envía la señal de control respectiva al bloque de salida que mantiene acción sobre el equipo en campo.

Para esta primera estrategia se utilizó un bloque funcional de entrada AI que recibe la medición de campo, un bloque PID que es el responsable de realizar la acción de control, este recibe retroalimentación de la salida para efectos de ajuste respecto al valor deseado, y un bloque AO que permite enviar la señal de control al equipo de campo.

La configuración utilizada para esta primera subclase se observa en la Figura 23.

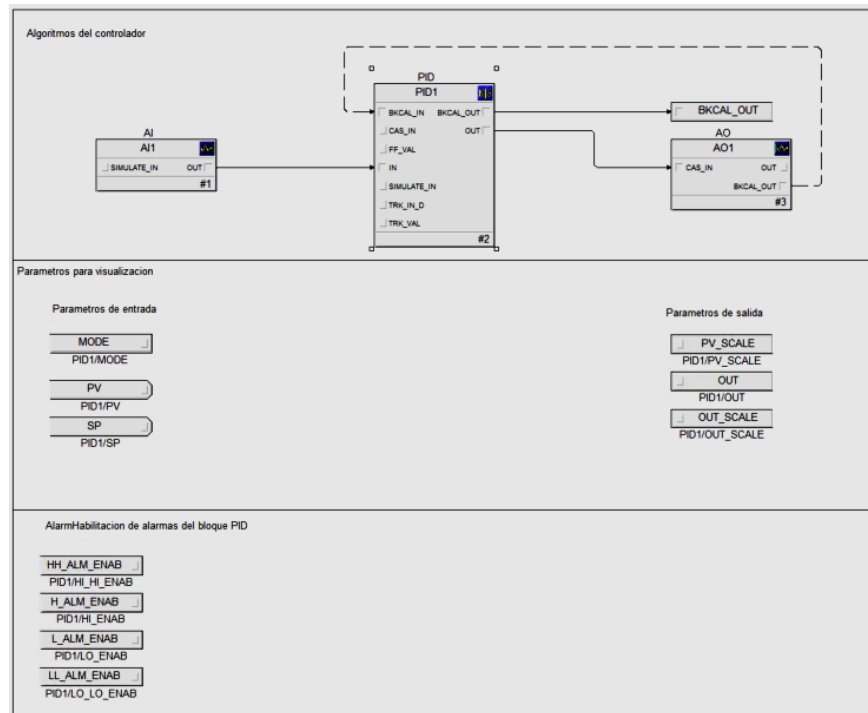


Figura 23: Diagrama de bloques CSD.
Fuente: [Propia]

Este bloque PID permite múltiples modos de operación: Manual, Automático y Cascada, proporcionando flexibilidad en la gestión del proceso. En modo Manual, los operadores ajustan manualmente la salida; en Automático, el controlador ajusta la salida basada en el setpoint y la variable de proceso; y en modo Cascada, la salida de un controlador actúa como el setpoint de otro. Una característica destacada del bloque PID es su capacidad de simulación, permitiendo pruebas y validación de la lógica de control antes de la implementación real. Las señales de retroalimentación (BKCAL_IN y BKCAL_OUT) aseguran transiciones suaves y consistencia operativa. Las alarmas y límites configurables ayudan a establecer condiciones de seguridad y operación óptima.

El bloque PID requiere de configuración en los parámetros de sintonización como ganancia proporcional (K_p), tiempo integrador (T_i) y tiempo derivativo (T_d). La obtención de estos parámetros para la configuración del bloque requirió de un análisis del modelo de la planta, así como un análisis a la respuesta de esta planta aplicando el PID como un regulador. Luego, con la sintonización del controlador se

obtuvieron posibles parámetros que permiten el correcto control sobre la variable deseada.

Debido a que la subclase CSD se utiliza únicamente para proceso de control de nivel en un tanque y a que no se tiene un modelo específico para los procesos de la planta, se hizo un análisis de un modelo teórico que permita simular el comportamiento básico de la planta. Esto con el fin de presentar un base de control y una sintonización previa para los módulos de control de lazo cerrado que permita establecer una base y un método para futuras sintonizaciones que requieran ajustarse cuando se tenga la planta física o bien un modelo específico de la misma. Utilizando las ecuaciones de balance de masa para obtener un modelo teórico del nivel del tanque en relación con sus flujos de entrada y salida, se obtiene que:

$$\frac{dH(t)}{dt} = \frac{Q_{in} - Q_{out}(t)}{A} \quad (4.1)$$

Donde:

- $H(t)$ es el nivel en el tanque.
- Q_{in} es el caudal de entrada que se asume constante para este modelo.
- $Q_{out}(t)$ es el caudal de salida, controlado por la válvula.
- A es el área transversal del tanque.

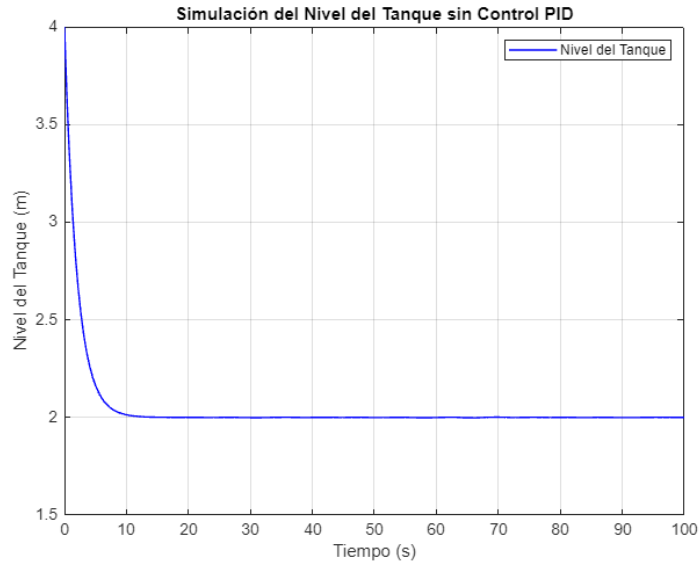


Figura 24: Gráfico de modelado de tanque de nivel sin efecto de control.
Fuente: [Propia]

El gráfico de la Figura 24 muestra cómo el nivel del tanque modelado se comporta sin el control PID. En este caso, observamos una caída rápida inicial del nivel del tanque desde 4 metros hasta estabilizarse alrededor de 2 metros. Este comportamiento indica que el sistema tiende a llegar a un punto de equilibrio por sí mismo, pero este equilibrio no necesariamente corresponde al setpoint deseado. El código implementado en MATLAB para este modelo se observa en el Apéndice E.

Para realizar el control del lazo se desarrolló un controlador regulador PID, teniendo en cuenta la ecuación general del controlador PID.

$$u(t) = k_p \cdot e(t) + k_i \cdot \int_0^t e(\tau) d\tau + k_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (4.2)$$

Se identificó la ecuación de control que utiliza el bloque PID del entorno de simulación y se definieron los parámetros en relación con las ganancias de la ecuación general.

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \cdot \int_0^t e(\tau) d\tau + K_p \cdot T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (4.3)$$

Donde:

- $u(t)$ es la señal de control que afecta al sistema.
- K_p es la ganancia proporcional.
- T_i es el tiempo integral (o tiempo de reset).
- T_d es el tiempo derivativo.
- $e(t)$ es el error en el tiempo t , definido como la diferencia entre el valor setpoint (SP) y el valor medido (PV).

De lo anterior se extrae que entonces para el para controlar el comportamiento del lazo es necesario tener en cuenta las siguientes relaciones.

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \quad (4.4)$$

$$K_d = K_p \cdot T_d \quad (4.5)$$

Respecto a la sintonización se decide hacer uso del método de Ziegler y Nichols. La elección del método de Ziegler y Nichols (Método 1) para la sintonización del controlador PID justifica por su capacidad para proporcionar parámetros genéricos sin requerir un modelo específico de la planta. Este método es ideal en situaciones donde no se dispone de un modelo matemático detallado, como es el caso. Además, ofrece una manera rápida y simple de obtener los parámetros de control K_p , T_i y T_d a partir de la observación de la respuesta en lazo cerrado del sistema. El método indica que se debe someter el sistema en lazo abierto a una perturbación y observar su comportamiento. Para esto se realizó una simulación en Matlab, el código se presenta en el Apéndice E.

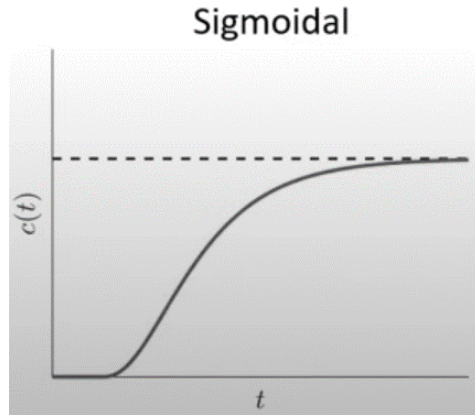


Figura 25: Gráfico una onda sigmoïdal.
Fuente: [27]

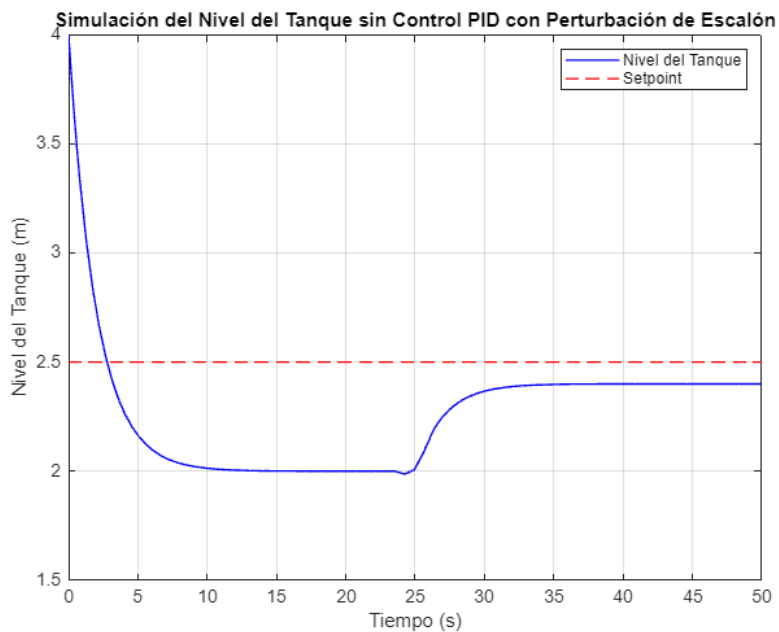


Figura 26: Gráfico de modelado de tanque de nivel con perturbación de escalón.
Fuente: [Propia]

La Figura 26 muestra la respuesta del modelo utilizado a una entrada escalón, este comportamiento se asemeja a una onda Sigmoïdal (ver Figura 25), que, según el método de sintonización de Ziegler y Nichols, permite relacionar el proceso con un modelo de primer orden con retardo con la siguiente ecuación de transferencia.

$$G_p(s) = \frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{\tau s + 1} \quad (4.6)$$

En donde:

- K es la ganancia.
- L es el retardo.
- τ es la constante de tiempo.

Para hallar estos valores el método de sintonización cuenta con un análisis gráfico de la respuesta de la planta con una perturbación al escalón, donde K_e es el valor en el que se estabiliza el sistema, L es el tiempo que tarda en reaccionar el sistema luego de inducida la perturbación y τ el tiempo entre el inicio del cambio en la salida y la intersección de la tangente del punto de inflexión del gráfico y el valor de ganancia.

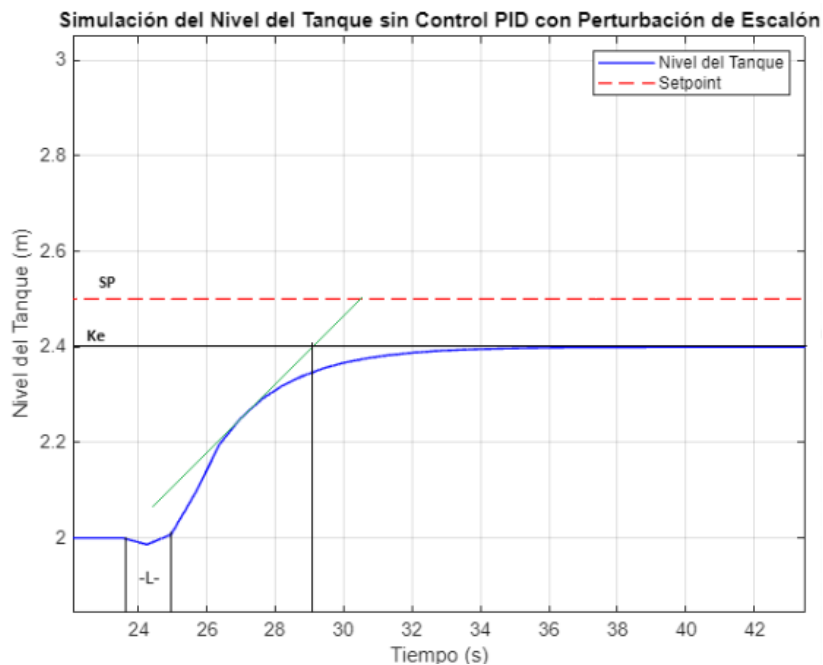


Figura 27: Parámetros de la función de transeferencia de primer orden.
Fuente: [Propia]

A partir del análisis realizado a al gráfico de la Figura 27, se obtuvo un valor para $K = 2.4$, $L = 1.2$ y $\tau = 4$. Con estos valores se obtuvo los parámetros de sintonización utilizando las siguientes ecuaciones del método.

$$K_p = 1.2 \frac{\tau}{KL} = 1.2 \frac{4}{2.4 * 1.2} = 1.67 \quad (4.7)$$

$$T_i = 2L = 2 * 1.2 = 2.4 \quad (4.8)$$

$$T_d = 0.5L = 0.75 \quad (4.9)$$

$$0.1 \leq \frac{L}{\tau} \leq 0.3 \quad (4.10)$$

Con los valores obtenidos y partiendo del modelo del controlador PID del bloque funcional de DeltaV. Se utilizaron las ecuaciones 4.7, 4.8 y 4.9 para obtener la ecuación del modelo del controlador en su espectro de frecuencia.

$$U(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (4.11)$$

$$U(s) = 1.2 \frac{\tau}{KL} \left(1 + \frac{1}{2Ls} + 0.5Ls \right) \quad (4.12)$$

$$U(s) = 1.2 \frac{\tau}{KL} \left(1 + \frac{1}{2Ls} + 0.5Ls \right) \quad (4.13)$$

$$U(s) = 1.2 \frac{\tau}{2Ks} * \left(s + \frac{1}{L} \right)^2 \quad (4.14)$$

La ecuación 4.10 indica el factor de controlabilidad, valor que es de 0.3, al estar dentro del rango de [0.1 – 0.3] el método indica que el proceso puede ser controlado con los parámetros derivados de las ecuaciones. Teniendo los parámetros de sintonización se realizó nuevamente la simulación incluyendo estos valores.

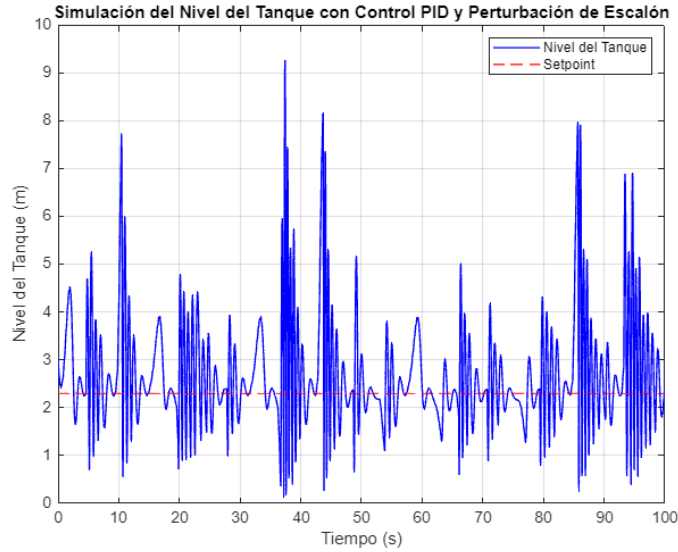


Figura 28: Respuesta del proceso control PID
Fuente: [Propia]

Como se observa en la Figura 28 los parámetros iniciales provocaron que el comportamiento del sistema fuera inestable lo que indica el controlador PID está mal sintonizado. Para evitar estas perturbaciones en las salidas se decidió eliminar la acción derivativa y trabajar únicamente con un control PI. Se realizaron iteraciones aumentando el T_i hasta obtener la mejor respuesta del sistema. Para la siguiente simulación se utilizó un K_p de 1.2 y un T_i de 10.

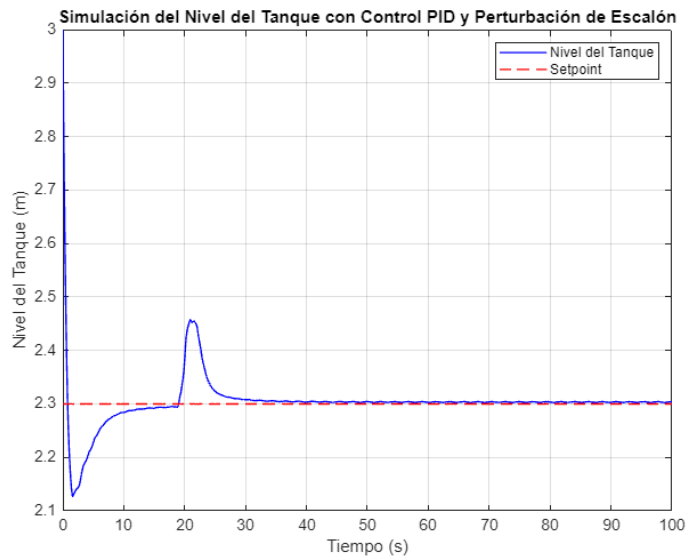


Figura 29: Respuesta del proceso con control PI. Fuente: [Propia]

Como se observa en la Figura 29 el resultado a la perturbación mejoró significativamente respecto al control PID. No cuenta con sobre impulsos mayores al 30% ni con oscilaciones sostenidas, luego de la perturbación vuelve a alcanzar el valor de referencia y el tiempo de estabilización se da a los 5 segundos. Con esta verificación se definieron entonces los parámetros base para el bloque funcional PID de la subclase CSD.

CSR: La subclase CSR o control de rango partido es una variante de la subclase CSD, su función es gestionar procesos que requieren dos salidas analógicas. Este tipo de control es normalmente aplicado en tareas de mantenimiento de presión en un tanque, donde se dispone de dos válvulas, una hacia el proceso y otra de alivio. La primera válvula mantiene la operación normal y estable del proceso, mientras que la segunda válvula proporciona una capa adicional de seguridad, activándose solo cuando la presión supera un umbral crítico definido en la filosofía de operación.

Para el diseño de esta subclase se utilizó el mismo controlador PID de la subclase CSD. Para este caso se agrega un bloque funcional “SPLITR” a la salida del bloque PID y se conectan sus dos salidas a dos bloques AO que permiten el control analógico de las válvulas en campo (ver Figura 30).

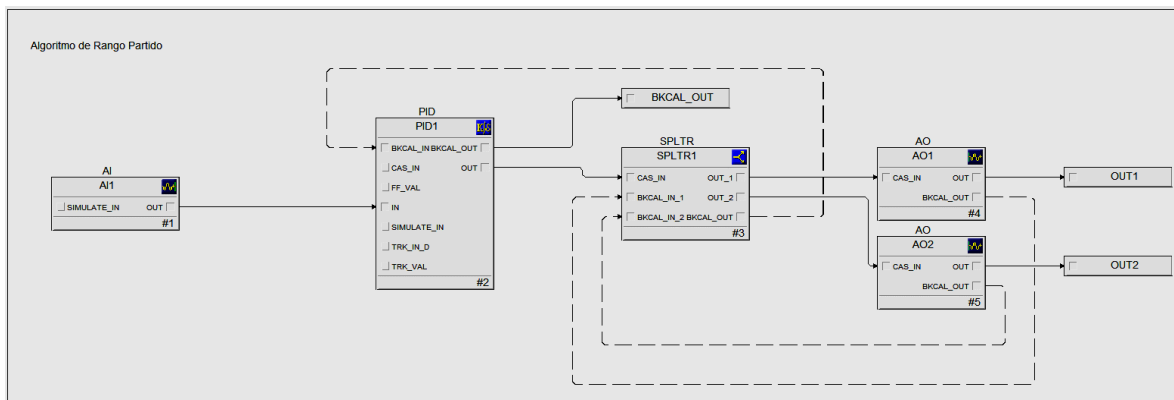


Figura 30: Diagrama de bloques de algoritmo de CSR, con bloque splitter.
Fuente: [Propia]

El bloque funcional SPLITR, dentro de la subclase CSR, realiza la distribución de la señal de control de un controlador PID a múltiples salidas analógicas de

manera independiente. Su funcionamiento se basa en la división interna de la señal de control entrante en dos o más salidas independientes, cada una de las cuales puede ajustarse individualmente para adaptarse a las características y requisitos específicos de cada actuador o proceso controlado. Estas salidas permiten controlar varios actuadores o procesos de manera coordinada, manteniendo una respuesta sincronizada.

Al emplear el SPLTR, se aprovechó la sintonización previa del controlador PID para mantener una respuesta consistente y coordinada en todas las salidas, minimizando el tiempo y los recursos necesarios para implementar y ajustar el control en el sistema. Además, al distribuir la señal de control de manera independiente a cada salida, permite ajustar la respuesta de cada actuador o proceso controlado según sus necesidades específicas, lo que resulta en una operación más eficiente y confiable del sistema en su conjunto.

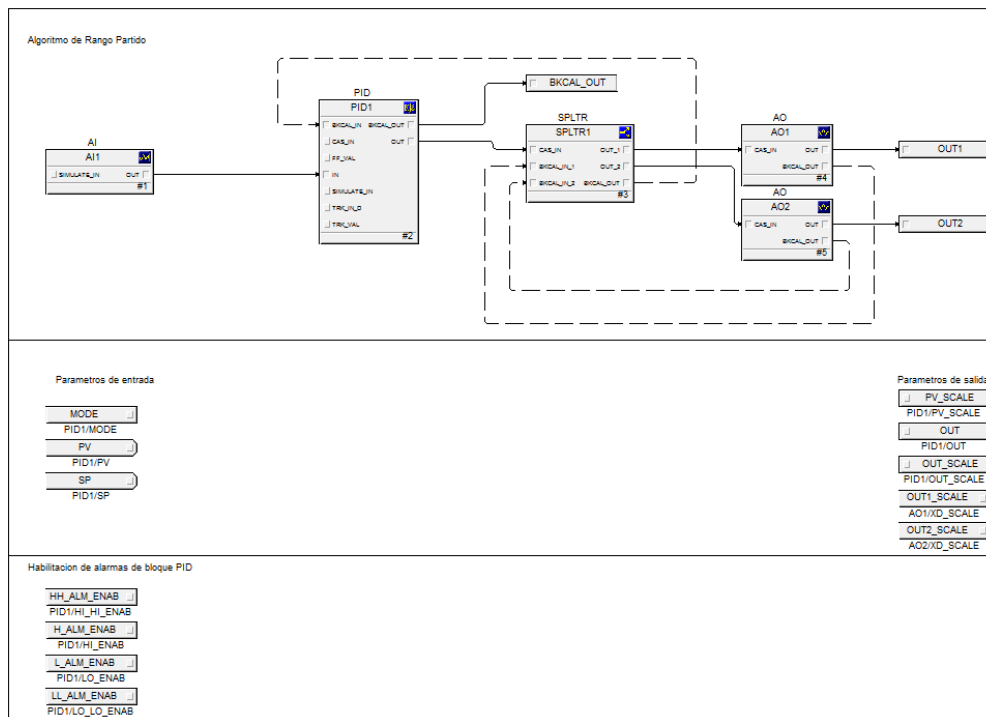


Figura 31: Diagrama de bloques de completo de CSR.
Fuente: [Propia]

La Figura 31 muestra el diagrama del módulo generado como subclase CSR. Los parámetros expuestos se utilizaron para acceder a estos valores desde pantalla y tener su monitoreo en operación, así mismo esta clase cuenta con la habilitación de alarmas desde el bloque PID para los casos en que se requiera.

CSM: La subclase CSM se basa en una configuración de control de Esclavo-Maestro en donde se requieren dos lazos de control independientes que funcionan en cascada. Esta clase se diseñó para un proceso de un tanque que contiene un fluido gaseoso, el cual interactúa con una tubería interna del tanque por la cual fluye aceite caliente. En este caso, el primer controlador (maestro) tiene como entrada la temperatura del gas en el tanque, y su salida está conectada en cascada al setpoint del segundo controlador. Este último tiene como entrada un sensor de flujo en la tubería de aceite, y la salida de este segundo controlador (esclavo) es la acción de control hacia la válvula de flujo de aceite. Para realizar esta estructura, se conectó en cascada la misma versión del controlador PID diseñada para el control CSD (ver Figura 32).

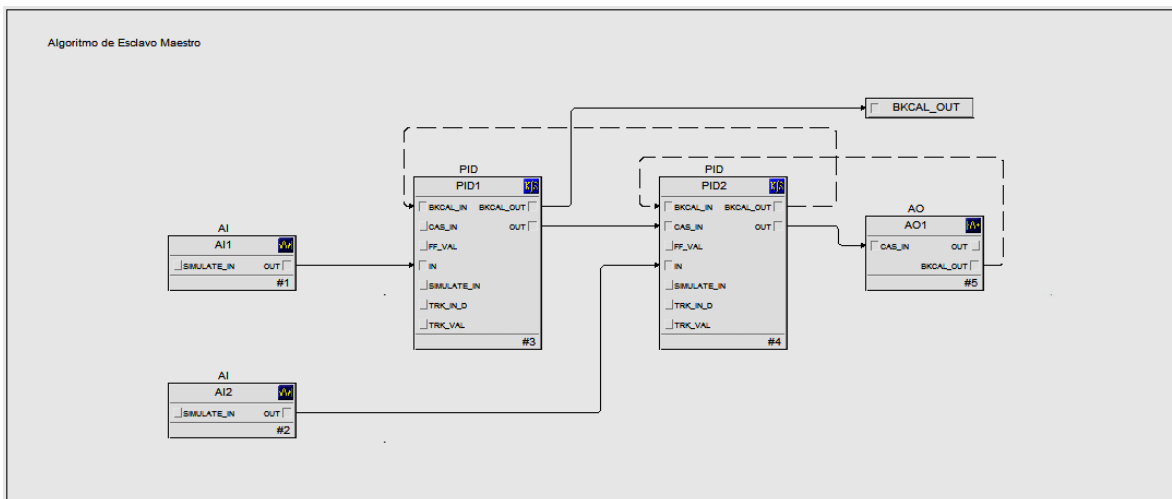


Figura 32: Diagrama de bloques de algoritmo Esclavo-Maestro CSM.
Fuente: [Propia]

El control en cascada, también conocido como maestro-esclavo, es una técnica de control en la que un controlador principal (maestro) ajusta el setpoint de un controlador secundario (esclavo). Esta técnica proporciona un control más preciso y robusto, especialmente en sistemas con múltiples variables o

perturbaciones. Permite una mejor compensación de perturbaciones y un ajuste más fino de los parámetros del sistema.

En este diseño, se implementaron dos lazos de control en cascada para gestionar dos variables: flujo y temperatura. La tasa de escaneo para cada variable se configuró de manera diferente siguiendo la especificación conceptual del diseño de software [19], siendo de 1 segundo para el flujo y 2 segundos para la temperatura. Esta configuración asegura que las entradas de flujo y temperatura cambien a diferentes ritmos, reflejando la naturaleza específica de cada proceso y evitando que ambos lazos operen a la misma frecuencia, lo que podría causar inestabilidad en el sistema.

Inicialmente, se utilizó la configuración del controlador PID previamente sintonizado como una base provisional para ambos lazos. Sin embargo, se reconoce la necesidad de ajustar independientemente cada lazo en función de las características dinámicas específicas del sistema. La implementación inicial con los mismos parámetros de control permite una base de partida y facilita el mantenimiento y la configuración para etapas futuras del proyecto.

Es fundamental resaltar que, en futuras pruebas del proyecto, cada lazo de control debe ser sintonizado de manera específica para adaptarse a las condiciones reales de la planta. Esto implica ajustar los parámetros del PID de cada lazo para asegurar un desempeño óptimo y estable, teniendo en cuenta las dinámicas particulares del flujo y la temperatura. La sintonización inicial sirve como referencia, pero el ajuste fino debe realizarse para optimizar el control y garantizar la estabilidad del sistema global.

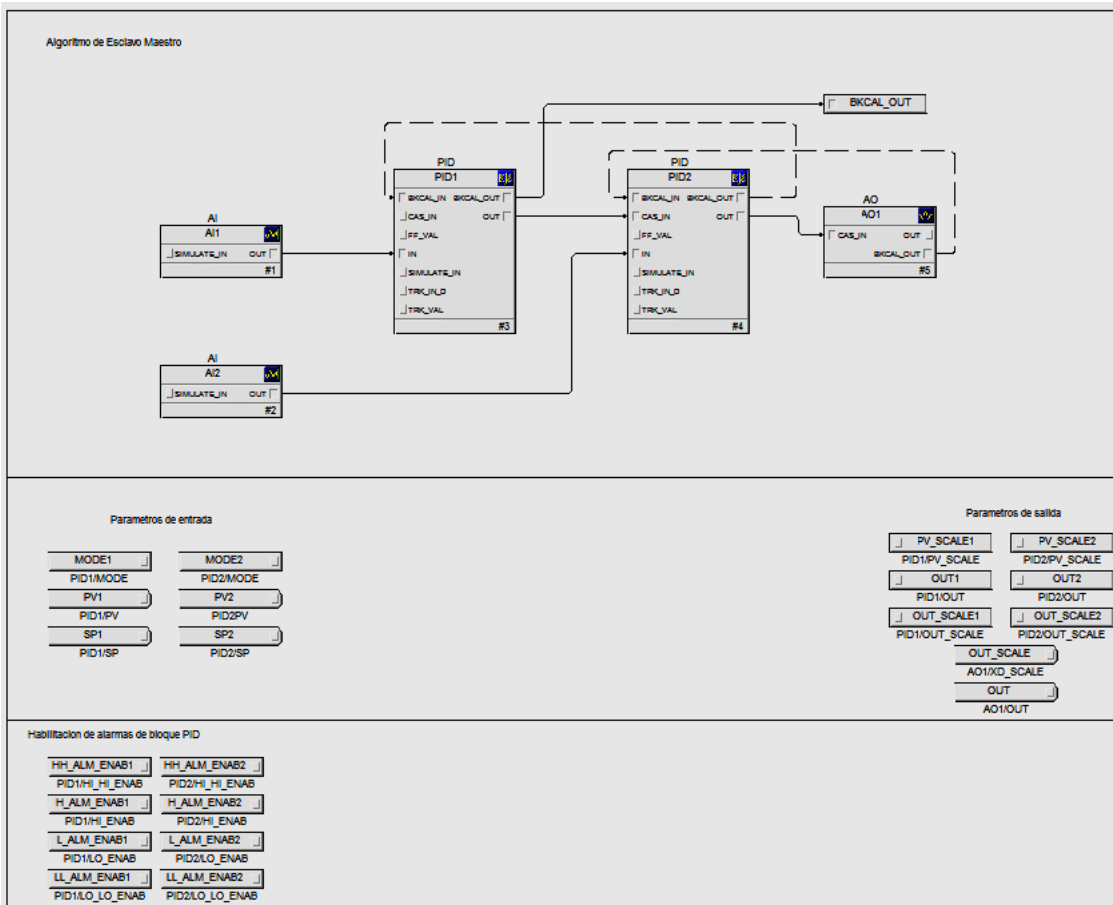


Figura 33: Diagrama de bloques completo Esclavo-Maestro CSM.
Fuente: [Propia]

Al igual que en las otras clases, se exponen algunos parámetros principales de los bloques funcionales para ser configurados y monitoreados desde la pantalla de operación. Así mismo ambos bloques PID cuentan con su propia habilitación de alarmas y rangos para cada lazo de control (ver Figura 33).

Implementación

En la etapa de implementación, se llevaron a cabo los pasos necesarios para materializar los conceptos seleccionados durante el proceso de diseño. La implementación del área Facilities se realizó dentro del sistema DeltaV, una serie de herramientas de Emerson para el manejo y configuración de bases de datos y sistemas de control; específicamente DeltaV Explorer, DeltaV Operate y Control Studio.

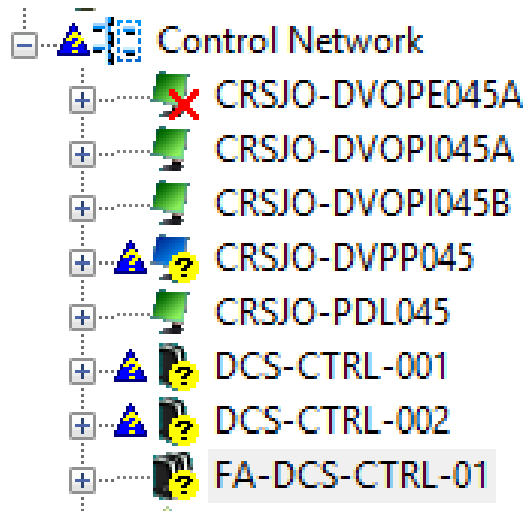


Figura 34: Creación del controlador PK1500 FA-DCS-CTRL-01.
Fuente: [Propia]

Primeramente, se creó el controlador FA-DCS-CTRL-01 dentro del entorno de DeltaV Explorer (ver Figura 34), este controlador se creó como un PK1500 redundante, esto se debe a que el controlador es capaz de manejar hasta 1500 DST, el proceso de Facilities requiere únicamente 96 señales por lo que el controlador cuenta con una alta capacidad y escalamiento para futuros equipos y/o procesos.

Se crearon dos CIOCs 1000-4-CIOC-1 y 1000-4-CIOC-2, estos son necesarios para configurar los CHARMS requeridos. Ambos se visualizan ya creados en la Figura 35.

Contents of 'I/O Network'	
Name	Type
1000-0-CIOC-001	CHARMs I/O Card
1000-0-CIOC-002	CHARMs I/O Card
1000-0-CIOC-003	CHARMs I/O Card
1000-0-CIOC-004	CHARMs I/O Card
1000-0-CIOC-005	CHARMs I/O Card
1000-0-CIOC-006	CHARMs I/O Card
1000-0-CIOC-007	CHARMs I/O Card
1000-0-CIOC-008	CHARMs I/O Card
1000-4-CIOC-1	CHARMs I/O Card
1000-4-CIOC-2	CHARMs I/O Card
EIOC1	Ethernet I/O Card
EIOC2	Ethernet I/O Card

Figura 35: Creación Tarjetas de CHARM 1000-4-CIOC-1/2.
Fuente: [Propia]

Una vez creados el controlador y los CIOCs, se procedió a crear los CHARMs asociados a cada señal de campo dentro de cada CIOC. Cada CHARM se creó manualmente, configurando el tipo de señal que controla, el tipo de tarjeta, y una descripción basada en el orden e información listado de señales.

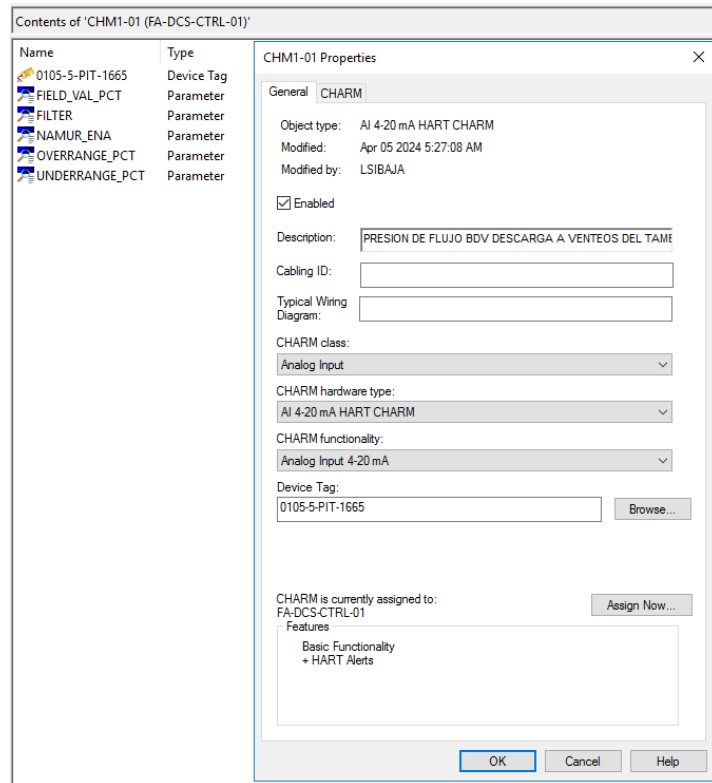


Figura 36: Creación y configuración del primer CHARM y DST.
Fuente: [Propia]

La Figura 36 muestra la pantalla de configuración para el primer CHARM y DST creados en el entorno de DeltaV, correspondientes a una señal de entrada analógica generada por transmisor de presión.

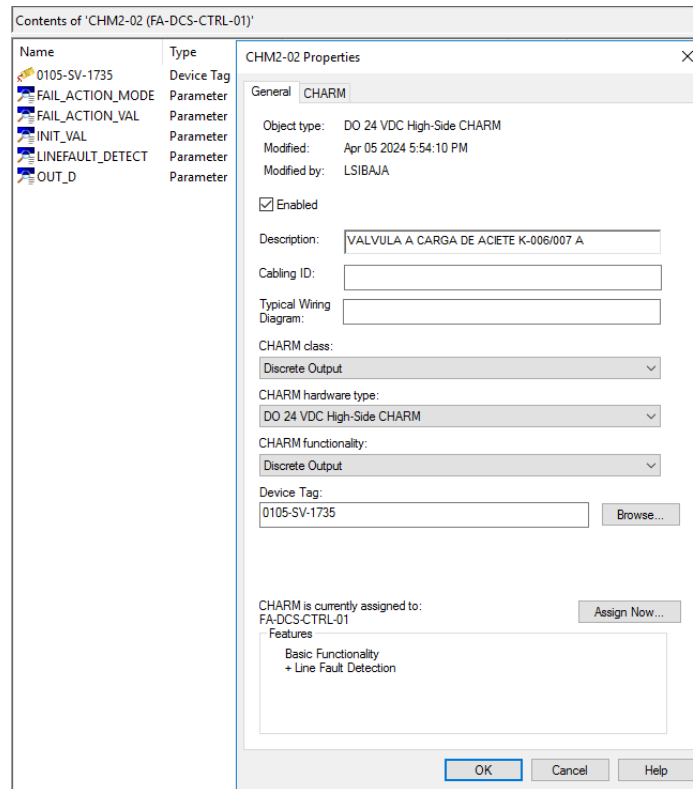


Figura 37: Creación y configuración del último CHARM y DST.
Fuente: [Propia]

La Figura 37 muestra la pantalla de configuración para el último CHARM y DST creados en el entorno de DeltaV, correspondientes a una señal de salida digital enviada a una válvula de estados.

Luego de configurados los CHARMS se crearon las celdas de proceso, estas relacionadas a los procesos identificados en los diagramas P&ID que se muestran en el listado de módulos. Se crearon un total de 7 celdas de proceso para albergar los módulos, estas celdas se observan en la Figura 38 bajo el área de "Facilities".

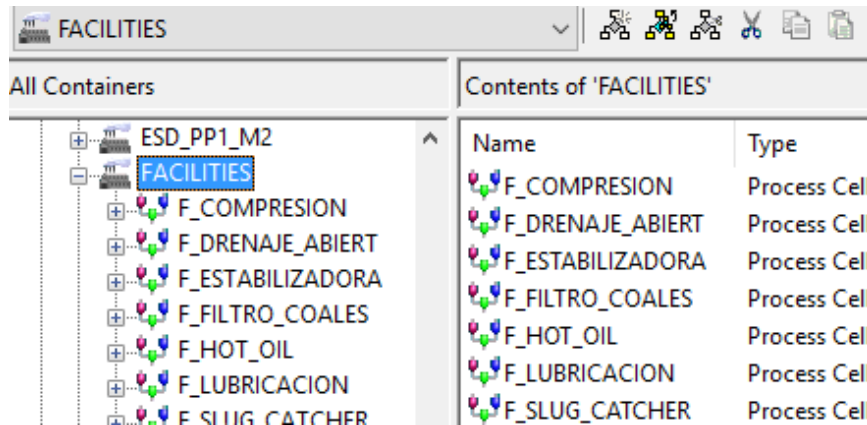


Figura 38: Creación de 7 celdas de proceso.
Fuente: [Propia]

Los módulos de control se crearon dentro de su celda de proceso correspondiente, utilizando el listado de señales y el listado de módulos. Al crearse, se utilizaron las clases diseñadas para replicar cada módulo base y configurar sus características específicas. Principalmente, se hizo uso de la información de los listados y la filosofía de operación para asociar correctamente cada señal a su módulo, calibrar las escalas, así como las unidades de medición de los bloques, ajustar los parámetros PID de los controladores, asociar una descripción de proceso y funcionamiento a cada módulo para que sea desplegable y visible en pantalla, habilitar y definir rangos de alarma y valores límite, y configurar parámetros específicos según la necesidad del proceso del módulo.

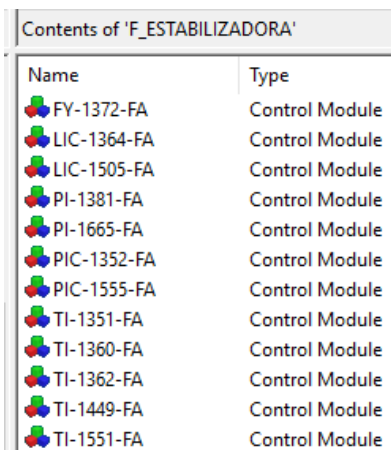


Figura 39: Creación de módulos.
Fuente: [Propia]

La Figura 39 muestra un ejemplo de cómo se visualizan los módulos de control cuando están creados en el entorno de DeltaV. Muestra algunos de los módulos creados para la celda de proceso denominada “F_ESTABILIZADORA”.

Cada módulo se configuró de manera individual, utilizando la plantilla diseñada en la fase anterior como guía. Esta plantilla proporcionó una estructura predefinida que agilizó y estandarizó el proceso de configuración. Además, el diagrama de bloques funcionales generado anteriormente sirvió como referencia visual para comprender la interacción y la configuración de los diferentes parámetros del módulo.

Al estar configurados los módulos, se procedió con la realización de las pantallas de operación, basándose en diagramas PID y pantallas existentes del resto de la planta, se crearon 8 pantallas de operación. Ver Apéndice C.

1. FA_TGS_PAS_P_004_1
2. FA_TGS_PAS_P_006_1
3. FA_TGS_PAS_P_013_1
4. FA_TGS_PAS_P_018_1
5. FA_TGS_PAS_RCPN_01V002
6. FA_TGS_PAS_SGC3_HOTOIL_E3
7. FA_TGS_PAS_SGC3_HOTOIL
8. FA_TGS_PAS_RCG_100K010

En estas pantallas se configuraron “dynamos”, elementos gráficos animados que permiten la representación de estados, valores y condiciones de operación. Estos dynamos junto con otros elementos estáticos que hacen referencia principalmente a equipos grandes, tanques y tuberías, permiten una visualización clara e intuitiva del proceso y sus variables.

Capítulo 5: Resultados y análisis

En este apartado, se despliega un escrutinio minucioso de cada paso dado en la realización del proyecto. Se verifican los resultados de la implementación y se verifica que el diseño propuesto cumpla con los objetivos declarados.

Además de la evaluación técnica, este apartado también alberga un análisis económico integral. A través de un enfoque multidimensional, se examinan no solo los aspectos monetarios, sino también los impactos ambientales, sociales y de sostenibilidad.

Validación y verificación

Pruebas de implementación de software

Para la validación de la implementación de los módulos del DCS se siguieron los pasos descritos en la metodología. Primeramente, se hizo una validación de la implementación del software y la configuración de los elementos del DCS. Utilizando el listado de módulos (ver

Tabla A.2), los diagramas P&ID y la filosofía de operación se verificó, para cada módulo de control, los siguientes aspectos:

1. Nombre acorde con listado de módulos y cuenta con sufijo -FA.
2. Descripción del módulo.
3. Escalas y unidades de ingeniería.
4. Alarmas
5. Clase asociada

La revisión de estos 5 parámetros para cada módulo se presenta en la Tabla D.2. Evaluación de implementación de software, ver Apéndice D.

En dicha tabla se muestra el estado de aprobación para cada uno de los módulos de control en cada uno de los aspectos descritos. Para algunos módulos se marca la columna “N/A” tanto para “escala y unidades de ingeniería” como para “alarmas”. Esto se debe a que, por la naturaleza de los dispositivos, únicamente se

tienen esas dos características para las señales analógicas. Aquellos módulos relacionados con el control discreto, o bien la indicación de estados o la activación por medio de interruptores de nivel, no cuenta con escala ni unidades ya que únicamente trabajan con valores binarios. En el caso de indicadores o interruptores de nivel digital, no se considera que contengan alarmas ya que ni existe un rango de valores de operación normal para estas señales. El módulo en sí debe indicar y generar alarma si el estado de la señal digital es anormal. Sin embargo, no se considera que cuenten con alarmas. Respecto a los demás aspectos, en términos de implementación de software todos los módulos del listado cumplen al 100% con la rúbrica.

Esta primera etapa de validación verificó que toda la nomenclatura, asignación de descripciones, unidades y alarmas esté configurado de acuerdo con la documentación dada por el cliente. La subdivisión del área Facilities en celdas de proceso permite una mayor organización y facilita la revisión por etapas de estos primeros parámetros.

Pruebas de configuración de entradas y salidas

La verificación de la configuración de las tarjetas de E/S consiste en una revisión detallada de la creación de los CHARMS, así como de cada uno de sus parámetros. Esta revisión se hace utilizando el listado de señales obtenido en la etapa inicial y además el documento de “I/O Allocation” aprobado por el cliente, es similar al listado de señales, la única diferencia es que indica en que canal y tarjeta está asociado cada CHARM. Esto para que cuando se haga el montaje del gabinete en físico, funcione como una guía para la inserción de tarjetas CHARMS a los bloques terminales de los CIOC.

En estas pruebas se revisan los siguiente 8 aspectos:

1. Nombre de cada CIOC creado.
2. Asignación de DST a cada canal CHARM acorde con el “I/O List Allocation”.
3. CHARMS y canales habilitados.
4. Clase del CHARM.

5. Tipo de CHARM.
6. Funcionalidad del CHARM.
7. DST del CHARM.
8. Asignación del CHARM.

Al igual que para la validación de la implementación de software, los resultados de estas pruebas se muestran en el Apéndice D. Se muestran en la Tabla D.3. Evaluación de configuración de entradas y salidas. Esta segunda etapa de pruebas es similar a la anterior, con la diferencia de que en lugar de verificar la implementación de nivel de módulos de control y sus parámetros, se verifica la configuración y asignación de las señales de campo a las tarjetas CHARM. Este paso es necesario para validar el tipo de señales con las que trabaja el DCS, así como el tipo de tarjeta y conexión que requiere cada dispositivo para su correcto funcionamiento. La rúbrica muestra que, para las 96 etiquetas de control, se siguió correctamente la descripción del “I/O List Allocation” respecto a la asignación de canales dentro de los CIOC. Así mismo se revisó canal por canal verificando que las características de cada CHARM correspondan con su etiqueta y que su canal esté habilitado para pruebas de funcionamiento. Con esta validación también se ayuda a verificar la cantidad de señales implementadas, ya que, si un tipo de CHARM no corresponde al definido previamente, a nivel de módulo no sería posible tener lectura de dicha señal y generaría una alerta de discrepancias en la asignación de señales.

Pruebas funcionales de gráficos

En esta última etapa de verificación, se revisó el sistema integrado en las pantallas de operación previamente implementadas. Para estas pruebas cada pantalla debía abrirse en el ambiente de operación de DeltaV Operate Run. La pantalla carga toda la información y los valores de los módulos ya configurados y despliega la información en tiempo real.

Para validar funcionalmente cada pantalla, se estableció una lista de 6 pasos a seguir para cada una de las 8 pantallas HMI. Estas revisiones se realizaron en

base a los diagramas P&ID, listado de señales, listado de módulos y filosofía de operación.

1. Verificación de elementos estáticos y tuberías importantes.
2. Los botones de navegación están configurados adecuadamente.
3. Se visualizan todos los módulos descritos en el listado y cuentan con su faceplate.
4. Verificar para cada módulo y faceplate, el despliegue de los parámetros correctos, descripciones, nombres y unidades de ingeniería.
5. Para cada módulo, se abre el entorno de configuración Control Studio en línea para realizar simulaciones de sus valores de entrada. Se verifica que tanto en el entorno de Control Studio como en el Operate las condiciones y los valores de cada módulo sean las mismas. Se simulan valores de entrada al 0, 25, 50, 75 y 100% de su escala y se verifica que la respuesta es la misma en ambos entornos, así como la lógica de control de cada módulo.
6. Para los módulos en los que aplica, se hace una simulación de las entradas dentro y fuera de los rangos de operación descritos en el listado de módulos y se verifica la activación y visualización de los estados de alarma y las alertas propias en el sistema DeltaV Operate. Se confirma la capacidad de confirmación de cada alarma y su registro en la lista de alarmas del sistema.

Para la validación de esta última etapa de pruebas funcionales fue necesario generar una tabla de evaluación con la misma rúbrica para cada una de las pantallas HMI generadas. Esto con el objetivo de tener una evaluación clara y ordenada para cada proceso y grupo de módulos de las celdas de proceso.

La Tabla D.4. Evaluación para gráfico de “Planta estabilizadora” muestra el dibujo final de la pantalla HMI correspondiente a la celda de proceso llamada “F_ESTABILIZADORA” (ver Figura 38). En esta pantalla se observan 21 dynamos que representan elementos finales y mediciones de 12 módulos de control entre los cuales se tienen módulos de las clases CAI, CDI, CSR y CSD (ver Figura C.1.). La pantalla cuenta con sus respectivas flechas de navegación para visualizar otros procesos relacionados y para cada módulo se generó una señal de entrada y se verificó su animación en pantalla.

La Tabla D.5. Evaluación para gráfico de “Filtro Coalescente” muestra la rúbrica de la Figura C.2. Un dibujo sencillo donde se representan únicamente 7 dynamos correspondientes a 3 módulos de control. Se cuenta con un módulo de la clase CAI para el monitoreo de presión y dos módulos de la clase CSD par el control de nivel de las recamaras independientes del filtro. Igualmente se cuenta con flechas de navegación de la pantalla.

La Tabla D.6. Evaluación para gráfico de “Sistema de drenajes abiertos” corresponde a los rubros aplicados a la pantalla mostrada en la Figura C.3. Esta pantalla es de las que involucra la menor cantidad de módulos de control ya que únicamente se visualizan 3 dynamos correspondientes a 2 módulos de control. Un módulo de la clase CAI para un indicador de nivel y uno de la clase MTR TIP 1. En esta pantalla se verificó, igualmente, la navegación entre pantallas y las animaciones de los dynamos a partir de valores de entrada de simulación.

La pantalla de la Figura C.4 corresponde al “Sistema de lubricación forzada”, en esta pantalla se aprecian dynamos correspondientes a las clases CDI, VLV y MTR TIP 1. Esta pantalla consiste en una serie de interruptores de nivel digital que hacen cambiar el estado de las válvulas entre abierto y cerrado. Permitiendo así la carga de aceite a los módulos que requieren lubricación, principalmente las bombas de compresión de gas. En la Tabla D.7. Evaluación para gráfico de “Sistema de lubricación forzada” se aprecia el cumplimiento al 100% de los parámetros establecidos para estas pruebas funcionales.

La Figura C.5 es una representación del “slug catcher” equipo relacionado con el proceso de entrada a planta. En esa pantalla se observan al menos 12 dynamos, sin embargo, se debe resaltar que esta pantalla ya era existente, al ser un equipo utilizado en la entrada de producto hacia la planta, a partir de aquí se transportan diferentes fluidos a las etapas de tratamiento. Para esta pantalla, tal como se observa en la Tabla D.8. Evaluación para gráfico de “Slug Catcher”. Únicamente se tomó en cuenta el módulo de control que fue implementado para el área de Facilites, LV-1500. Respecto a la navegación de la pantalla, los equipos estáticos y el control del módulo implementado, la rúbrica permite verificar la correcta funcionalidad.

Respecto a las pantallas representadas en la Figura C.6 y la Figura C.7. Ambas son representaciones del sistema de aceite térmico o “Hot Oil” su diferencia se basa en que la primera representa un plano de paquetizado en donde se muestran únicamente algunos dynamos importantes para el monitoreo del proceso mientras que la otra muestra los componentes estáticos internos del sistema. Debido a que utilizan los mismos módulos de control en su mayoría, al momento de realizar las simulaciones se utilizó un único valor de simulación para validar ambas animaciones en ambas pantallas. Las rúbricas descritas en la Tabla D.9. Evaluación para gráfico de “Hot Oil (paquetizado)” y en la Tabla D.10. Evaluación para gráfico de “Hot Oil”, verifican que se cumplió al 100% con los parámetros de las pruebas funcionales para ambas pantallas.

Finalmente, se cuenta con la Tabla D.11. Evaluación para gráfico de “Sistema de compresión de gas”. Este gráfico se observa en la Figura C.8. Esta pantalla en particular está relacionada en parte con el sistema de lubricación forzada, ya que los interruptores de nivel de los compresores 0100-K-011 y 0100-K-010 que se muestran en el gráfico son los mismos que de la Figura C.4 que se utilizan para cambiar el estado de las válvulas SDV-1740 y SDV-1739 respectivamente. En esta pantalla además se aprecia un centro de control para ambos compresores en donde se utilizaron módulos de clase CAI, CDI, CAO y MTR TIP 3. Al igual que para las otras pantallas, se verificó la navegación, la congruencia de los estáticos, los datos

y faceplates de cada dynamo (es decir cada módulo), alarmas y la simulación del lazo de control. Se obtuvo, al igual que en las pruebas anteriores un 100% de aprobación según la rúbrica empleada.

Adicionalmente, luego de las revisiones realizadas, se utilizó rúbrica descrita en la Tabla D.1. Evaluación de especificaciones para validar el cumplimiento de las especificaciones estipuladas en la etapa inicial para el diseño del DCS. De dicha tabla se obtuvo que se logró cumplir al 100% con las especificaciones 1 y 2. Se utilizó un controlador PK-1500 para la implementación del sistema, esto sobrepasa el valor marginal de 1000 para la cantidad de señales a controlar. Adicionalmente, para la segunda especificación se cumplió con cada uno de los parámetros definidos para la clasificación por proceso y tipo de control. Por otra parte, respecto a la tercera especificación, "completitud de la pantalla", se obtuvo únicamente un 80% ya que no se cumplió con el rubro de "Se encuentran todos los estáticos descritos en los P&ID" de la Tabla D.1. Esto último se debe a que para la representación en HMI no se hace una copia literal del diagrama si no que se representan únicamente elementos de control y sus estáticos relacionados para poder monitorear apropiadamente el proceso, representar todos y cada uno de los estáticos puede sobrecargar la pantalla y dificultar su visualización para el operador. No obstante, el valor marginal para esta especificación se definió del 70% por lo que igualmente, se cumple con la tercera especificación.

Con los resultados obtenidos en cada una de las etapas de validación, se interpreta que la implementación en software del DCS y sus simulaciones para el área de Facilites cuenta con el visto bueno como resultado de las pruebas de aceptación interna. Además, se verificó el cumplimiento de las especificaciones descritas en la Tabla 1.

Análisis económico

El análisis económico del proyecto de implementación de software para el DCS es una evaluación integral del proyecto. Este análisis considera cómo se gestionaron los recursos, los beneficios económicos directos e indirectos, y los

impactos ambientales y sociales de la culminación del proyecto. La implementación se realizó utilizando recursos proporcionados por la empresa, incluyendo una laptop Dell Latitude 5440 y la licencia estándar de DeltaV. Todo el desarrollo se llevó a cabo en una estación remota donde se instaló el paquete completo de DeltaV, habilitando una licencia y creando estaciones profesionales y de aplicación para el acceso de usuarios a la configuración. En total, se dedicaron aproximadamente 320 horas al proyecto, un esfuerzo significativo que subraya el compromiso y la dedicación del equipo.

Desde un punto de vista financiero, el hecho de que el proyecto se centrara en software y equipo propio de Emerson permitió evitar una inversión inicial considerablemente alta. No obstante, es importante desglosar, como se muestra en la tabla 3, los costos asociados para proporcionar una visión clara del valor de los recursos empleados. Este desglose se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Inversión directa del proyecto.

Descripción	Cantidad	Valor estimado por unidad (colones)	Subtotal (colones)	Disponible en la empresa actualmente
Materiales y Herramientas				
Laptop	1	750.000	750.000	SI
Software y Licencias Delta V	1	1.700.000	1.700.000	SI
Servicios Generales				
Remuneración económica base de ingeniero junior	4	700.000	2.800.000	---
Total			5.250.000	

Este enfoque en el uso de recursos disponibles permitió concentrar los esfuerzos en el desarrollo del sistema y su alineación con los objetivos operativos sin necesidad de grandes inversiones adicionales. La capacidad de utilizar recursos internos y la infraestructura existente de Emerson subraya la ventaja de realizar proyectos de este tipo en un entorno.

Uno de los beneficios tangibles más destacados es la mejora en la eficiencia operativa de la planta de tratamiento de gas natural y petróleo en Vaca Muerta, Argentina. Con la implementación del DCS se espera cumplir con parte de las necesidades de la planta para su puesta en marcha, la cual se espera que duplique la cantidad de gas tratado diariamente, lo cual representa un aumento significativo en la producción de gas natural, gas LP y gasolina. Este incremento no solo mejora la capacidad productiva, sino que también optimiza los procesos industriales, automatizando operaciones de monitoreo y diagnóstico con el fin de mantener y/o mejorar la calidad del proceso. La puesta en marcha de esta planta es un paso importante para aprovechar al máximo los recursos naturales de la región, contribuyendo significativamente a la economía local y nacional.

Además de los beneficios económicos directos, el proyecto también aporta beneficios intangibles. La mejora en la seguridad y la fiabilidad de las operaciones es uno de los impactos más significativos. El diseño del DCS cumple con los requerimientos de control previamente aprobados en la filosofía de operación y los requerimientos de configuración aprobados en el diseño funcional de software, asegurando que el sistema no solo sea eficiente, sino también que siga una estandarización definida a nivel de implementación.

El análisis ambiental y social del proyecto revela un panorama complejo pero gestionable. Aunque la implementación del DCS de Facilities no tiene un impacto ambiental directo en la zona, el propósito de su uso en la industria de extracción de combustibles fósiles conlleva desafíos ambientales conocidos. Entre ellos, la posible contaminación del aire, agua y tierra de la zona, factores que pueden perjudicar otras actividades que requieran de estos recursos o bien, que a partir de

esta contaminación la población local y los mismos operadores de la planta aumenten su riesgo a sufrir enfermedades. Estas son preocupaciones que deben ser gestionadas con responsabilidad.

Desde una perspectiva social, el proyecto ofrece una gran oportunidad laboral para la población local. La creación de empleo es uno de los beneficios más importantes, ya que no solo impulsa la economía de la región, sino que también, el proyecto impulsa a la autosuficiencia energética del país. La industria de hidrocarburos, aunque presenta desafíos ambientales, es un motor crucial para el desarrollo económico, proporcionando empleos y mejorando la calidad de vida de muchas personas.

La implementación del DCS muestra que, a pesar de los costos mínimos debido a la provisión de recursos por parte de la empresa, los beneficios económicos y operativos son significativos. La duplicación de la producción de gas tratado con la puesta en marcha de la nueva planta y el aumento en la empleabilidad de la zona como los principales logros. Sin embargo, es fundamental gestionar de manera proactiva los impactos ambientales y sociales asociados, asegurando un equilibrio entre el desarrollo industrial y la sostenibilidad. Se recomienda continuar con el monitoreo ambiental, la formación del personal y la búsqueda de medidas para mitigar cualquier impacto negativo. De esta manera, se podrá garantizar que el proyecto no solo sea rentable, sino también sostenible y beneficioso para la comunidad y el medio ambiente a largo plazo.

Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

En este capítulo se presentan las conclusiones derivadas del proyecto, las cuales se basan en la revisión de los objetivos planteados, los hallazgos obtenidos, el impacto del proyecto, las limitaciones enfrentadas y las recomendaciones para trabajos futuros. Los objetivos principales del proyecto fueron alcanzados con éxito.

Se hizo un análisis y revisión de la información proporcionada por el cliente con el que se obtuvo el listado de señales de control utilizado para el proyecto.

Se utilizó una estrategia modular para clasificar los módulos de control en clases con una operación de control específica. Se hizo un diseño para cada clase, estas clases se utilizaron como plantilla para la creación de los módulos de control. La estructuración y estandarización del diseño modular proporcionaron una base sólida para futuras expansiones y ajustes.

Se crearon 8 pantallas HMI para el monitoreo y operación de los módulos de control. Las cuales se derivan del análisis inicial de procesos descritos en los diagramas P&ID.

Finalmente realizaron pruebas de validación integrales tanto para la correcta implementación como para el funcionamiento de los módulos de control como de las pantallas HMI, de las cuales se concluye que el sistema está listo para futuras etapas del proyecto y su implementación en gabinete para pruebas en fábrica.

Respecto a las especificaciones establecidas en la tabla 1. Se verificó su cumplimiento por medio del 100% de aprobación en las rúbricas de evaluación para las especificaciones 2 y 3. Además, se cumplió con la especificación del manejo de al menos 95 señales de control con la implementación del controlador PK1500.

Adicionalmente, cabe recalcar que el impacto del proyecto es significativo, ya que establece las bases para que el cliente continúe con la fase de pruebas en fábrica y, posteriormente, en sitio. La correcta implementación y puesta en marcha

de esta área de Facilities contribuirán directamente a la puesta en marcha del proyecto de Tratayen.

Recomendaciones

Una de las principales limitaciones enfrentadas durante el proyecto fue la falta de acceso directo a la planta y a modelos específicos del funcionamiento de los procesos.

Para futuros trabajos, se recomienda obtener información real del sistema y datos de las dimensiones de los equipos para ajustar y validar los modelos teóricos utilizados en este proyecto. La implementación de controladores adaptativos, que puedan ajustarse automáticamente a las variaciones en las condiciones operativas, también es una recomendación valiosa.

Asimismo, se sugiere realizar un monitoreo constante del desempeño del sistema implementado para identificar posibles mejoras y ajustes necesarios. La recopilación y análisis de datos en tiempo real podrían proporcionar información valiosa para la refinación continua del sistema de control, asegurando una operación más eficiente y confiable.

Finalmente, la capacitación continua del personal de operación y mantenimiento en el uso y ajuste de los sistemas de control es fundamental. Un equipo bien capacitado puede responder mejor a las variaciones en el proceso y garantizar que el sistema opere de manera óptima en todo momento. Estas recomendaciones buscan no solo mejorar la precisión y la eficiencia del sistema de control, sino también asegurar su capacidad para adaptarse a las condiciones operativas cambiantes.

Referencias bibliográficas

[1] EMERSON ELECTRIC, "EMERSON", 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.emerson.com/es-cr/about-us/company-history>. [Último acceso: 20/02/2024].

[2] TGS "Referentes en Vaca Muerta", 2024. [En línea]. Disponible: - <https://www.tgs.com.ar/negocios/midstream/tgs-en-vaca-muerta>. [Último acceso: 25/02/2024].

[3] INFOENERGÍA. (21/12/23) "TGS anuncia dos nuevas plantas de acondicionamiento de gas (que permitirá duplicar la capacidad actual de la Planta Tratayén". [En línea]. Disponible: <https://infoenergia.info/vaca-muerta/tgs-anuncia-dos-nuevas-plantas-de-acondicionamiento-de-gas-que-permitira-duplicar-la-capacidad-actual-de-la-planta-tratayen>. [Último acceso: 25/02/2024].

[4] "TGS terminó de ampliar su planta de acondicionamiento de gas en Vaca Muerta y avanza con el proyecto de GNL", DINAMICARG, 19, mayo, 2023. [En línea]. Disponible: <https://dynamicrog.com/tgs-termino-las-obras-ampliar-su-planta-acondicionamiento-gas-vaca-muerta/>. [Último acceso: 25/02/2024].

[5] Shell (s.f). "GAS NATURAL". Shell Global. [En línea]. Disponible en: <https://www.shell.com.co/energia-e-innovacion/gas-natural.html#tiposdegasnatural> [Último acceso: 11/03/23].

[6] The Climate Reality Project (2019). "¿EL GAS NATURAL ES AMIGABLE PARA EL MEDIO AMBIENTE?". Climatereality. [En línea]. Disponible en: <https://www.climatereality.lat/gas-natural/#:~:text=Una%20vez%20extra%C3%ADdo%2C%20el%20gas.> [Último acceso: 11/03/24].

[7] Mistubishi Electric (2018). EL LIBRO DE LA AUTOMATIZACIÓN. Mitsubishi Electric Factory Automation

[8] Red Hat (2023). "La automatización". RedHat. [En línea]. Disponible en: <https://www.redhat.com/es/topics/automation>. [Último acceso: 11/03/24].

[9] Gallardo, S. (2019). Técnicas y procesos en instalaciones domóticas y automáticas. Ediciones Parrainfo S.A. 2da. Ed.

[10] Toro, N & Chaves, Y. (2022). "Manual de interpretación de diagramas P&ID en la industria de los hidrocarburos".

[11] Paonessa, S. & McDuffee, B. (2023). "De regreso a lo básico: Los fundamentos de los lazos de control de corriente de 4-20mA. Precision Digital La automatización". RedHat. [En línea]. Disponible en: <https://www.predig.com/whitepaper/de-regreso-lo-b%C3%A1sico-los-fundamentos-de-los-lazos-de-corriente-de-4-20-ma#:~:text=Las%20se%C3%B1ales%20anal%C3%B3gicas%2C%20en%20las,requieren%20el%20control%20de%20procesos>. [Último acceso: 11/03/24].

[12] SDI (s.f). "Sistemas de control". SDI Industrial. Disponible en: <https://sdindustrial.com.mx/blog/sistemas-de-control/> [En línea]. [Último acceso: 09/04/24].

[13] ACP. (2022). " Sistema DCS VS. SCADA". Automatismos y Control de Procesos S.L. [En línea]. Disponible en: <https://acpautomatismos.com/sistema-dcs-vs-scada/#:~:text=Mientras%20DCS%20es%20un%20sistema,a%20la%20supervisi%C3%B3n%20de%20procesos>. [Último acceso: 09/04/24].

[14] Control Station. (2018). "What is a Distributed Control System?" Control Station Inc. [En línea]. Disponible en: <https://controlstation.com/blog/what-is-a-distributed-control-system/> [Último acceso: 09/04/24].

[15] K. Ogata, "Ingeniería de control moderna," Pearson Educación, S.A., Madrid, 2010. [e-book]. Disponible: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://web.instipp.edu.ec/Libreria/libro/Ingenieria_de_Control_Moderna_Ogata_5ed.pdf [Último acceso: 30/05/24]

- [16] Cannan, J & Hu, H (S.F) Human-Machine Interaction (HMI) A Survey. [En línea]. Disponible en: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=54640f3a02beb8a61cd59395b74a3f46506a748d> [Último acceso: 09/04/24]
- [17] Aguilera, P (2002). programación de PLC's. [En línea]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/919/1/1020148252.PDF> [Último acceso: 09/04/24]
- [18] Emerson Electric. (s.f). "Electronic marshalling Delta V con CHARM". Emerson Electric Co. [En línea]. Disponible en: <https://www.emerson.com/es-mx/automation/control-and-safety-systems/distributed-control-systems-dcs/deltav-distributed-control-system/deltav-controllers-io/deltav-dcs-electronic-marshalling-with-CHARMs> [Último acceso: 09/04/24].
- [19] A. Rosende. "Especificación de Diseño funcional de Hardware". Emerson, Costa Rica. Specs. I-GIO-631-104267-ET-I-100, 2024.
- [20] A. Rosende. "Especificación de Diseño funcional de Software". Emerson, Costa Rica. Specs. I-GIO-631-104267-ET-I-102, 2024.
- [21] GSL Industrias. (2021)." ENCLAVAMIENTO PLC". GSL Industrias. [En línea]. Disponible en: <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/enclavamiento-plc> [Último acceso: 09/04/24].
- [22] A.S Irfan, S. Parekh, T. Shah and F. Kazi. "Testing and Validation of Modbus/TCP Protocol for Secure SCADA Communication in CPS using Formal Methods". Universidad de Vest. Vol. 18 No. 4. 24/09/2017. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.12694/scpe.v18i4.1331> [Último acceso: 09/04/24]
- [23] K.Herath, H.N.S Priyankara and H Samarasinghe. "Development of a Data Acquisition and Monitoring System Based on MODBUS RTU Communication Protocol". International Journal of Innovative Science and Research Technology. ISSN No: -2456-2165. Nugegoda, Sri Lanka. Volume 5, Issue 6, June – 2020.

[24] F.Luo ,T. Feng ,and L. Zheng. "Formal Security Evaluation and Improvement of Wireless HART Protocol in Industrial Wireless Network." Lanzhou University of Technology. Volume 2021, Article ID 8090547, 15 pages. Hindawi. LanZhou 730050, China. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2021/8090547>.

[25] Gutierrez, A & Pezoa, I (S.F) Conceptos Básicos Sobre Instrumentación para Medición y Control de Procesos. Area de Instrumentación y Automatización, USACH, Chile. [En línea] Disponible en: https://www.jint.usach.cl/sites/jint/files/conceptos_basicos_sobreinstrumentacion_para_medicion_y_control_de_p_0.pdf [Último acceso: 04/09/24]

[26] LSIBAJA. (2024). Diagrama de bloques del sistema de control DELTAV [Captura de pantalla]. Recuperado de DELTAV Help Books

[27] S. Giraldo (22/07/19). "Todo sobre Ziegler y Nichols – Sintonía de control PID". [En línea]. Disponible en: <https://controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/ziegler-nichols-sintonia-de-control-pid/> [Último acceso: 19/05/24].

[28] K. T. Ulrich y S. D. Eppinger, Diseño y desarrollo de productos, Quinta ed. ed., McGraw Hill Education, 2011.

[29] IMT ITCR, 2018, Guía para la presentación de anteproyectos.

[30] Bloom, B. (s.f.), Verbos para investigación

[31] Reglamento para Proyectos de Graduación, IMT, versión: II Semestre 20

Anexos y apéndices

Apéndice A. Listados de señales y módulos de control.

Tabla A.1. Listado señales de control.

Número	Etiqueta de Instrumento	Tipo	Descripción	P&ID
1	0100-5-LY-1500	AO	CONTROL DE VALVULA DE PRESION LV-1500	I-GIO-631-104267-PL-P-003
2	0105-5-LY-1505	AO	VALVUAL DE NIVEL EN 0105-V-004	I-GIO-631-104267-PL-P-004
3	0105-5-LIT-1505	AI	TRANSMISOR DE NIVEL EN 0105-V-004	I-GIO-631-104267-PL-P-004
4	0105-5-TIT-1551	AI	TRANSMISOR DE TEMPERATURA DE SALIDA LIQUIDA DEL SEPARADOR	I-GIO-631-104267-PL-P-004
5	0105-5-TIT-1449	AI	TRANSMISOR DE TEMPERATURA DEL TAMBOR SEPARADOR	I-GIO-631-104267-PL-P-004
6	0105-5-PIT-1665	AI	PRESION DE FLUJO BDV DESCARGA A VENTEOS DEL TAMBOR SEPARADOR 0105-V-004	I-GIO-631-104267-PL-P-004
7	0105-5-PIT-1555	AI	TRANSMISOR DE PRESION DEL TAMBOR SEPARADOR 0105-004	I-GIO-631-104267-PL-P-004
8	0105-5-PY-1555A	AO	CONTROL DE VALVULA DE PRESION A COMPRESOR RESIDUAL	I-GIO-631-104267-PL-P-004
9	0105-5-PY-1555B	AO	CONTROL DE VALVULA DE PRESION A COLECTOR DE VENTEOS	I-GIO-631-104267-PL-P-004
10	0105-5-PIT-1352	AI	TRANSMISOR DE PRESION VAPOR DE ENTRADA TORRE ESTAB.	I-GIO-631-104267-PL-P-004
11	0105-5-PY-1352B	AO	CONTROL DE VALVULA DE PRESION HG A FLARE	I-GIO-631-104267-PL-P-004
12	0105-5-PY-1352A	AO	CONTROL DE VALVULA DE PRESION HG A COMPRESOR	I-GIO-631-104267-PL-P-004
13	0105-5-TIT-1351	AI	TRANSMISOR DE TEMPERATURA VAPOR DE SALIDA DE TORRE ESTAB.	I-GIO-631-104267-PL-P-004
14	0105-5-FY-1372	AO	CONTROL DE VALVULA DE FLUJO DE RETORNO DE HOT OIL DE 0105-E-010	I-GIO-631-104267-PL-P-004
15	0105-5-TIT-1372	AI	TRANSMISOR DE TEMPERATURA DEL REBOILER ESTABILIZADOR 0105-E-010	I-GIO-631-104267-PL-P-004
16	0105-5-FIT-1372	AI	TRANSMISOR DE FLUJO DE RETORNO DE HOT OIL DE 0105-E-010	I-GIO-631-104267-PL-P-004
17	0105-5-TIT-1362	AI	TRANSMISOR DE TEMPERATURA DE ENTRADA HL REBOILER	I-GIO-631-104267-PL-P-004
18	0105-5-LY-1364	AO	CONTROL DE VALVULA DE NIVEL DE REBOILER ESTABIIZADOR	I-GIO-631-104267-PL-P-004

19	0105-5-LIT-1364	AI	TRANSMISOR DE NIVEL REBOILER ESTABILIZADOR	I-GIO-631-104267-PL-P-004
20	0105-5-TIT-1360	AI	TRANSMISOR DE TEMPERATURA DESCARGA INTERCAMB. LADO TUBO	I-GIO-631-104267-PL-P-004
21	0105-5-PIT-1381	AI	TRANSMISOR DE PRESION REBOILER ESTABILIZADOR	I-GIO-631-104267-PL-P-004
22	0105-5-PIT-1534	AI	TRANSMISOR DE PRESION DE ENTRADA A COMPRESOR K-010-A	I-GIO-631-104267-PL-P-005
23	0105-5-LSH-1726	DI	NIVEL ALTO EN COMPRESOR DE GAS RESIDUAL 0105-K-010 / 11 ETAPA 1	I-GIO-631-104267-PL-P-005
24	0105-5-LSL-1729	DI	NIVEL BAJO EN TANQUE DE ACEITE K-602	I-GIO-631-104267-PL-P-005
25	0105-5-LSL-1725	DI	NIVEL BAJO EN TANQUE DE ACEITE K-502	I-GIO-631-104267-PL-P-005
26	0105-5-LSH-1730	DI	NIVEL ALTO EN COMPRESOR DE GAS RESIDUAL 0105-K-010 / 11 ETAPA 2	I-GIO-631-104267-PL-P-005
27	0105-PDIT-1677	AI	TRANSMISOR DE PRESION DIFERENCIA FILTRO COALESCEDOR F-006	I-GIO-631-104267-PL-P-006
28	0105-LI-1679	AI	INDICADOR DE NIVEL CAMARA SUPERIOR FILTRO COALESCEDOR F-006	I-GIO-631-104267-PL-P-006
29	0105-LY-1679	AO	VALVULA DE NIVEL DESCARGA CAMARA SUPERIOR FILTRO COALESC. F-006	I-GIO-631-104267-PL-P-006
30	0105-LI-1678	AI	INDICADOR DE NIVEL CAMARA INFERIOR FILTRO COALESCEDOR F-006	I-GIO-631-104267-PL-P-006
31	0105-LY-1678	AO	VALVULA DE NIVEL DESCARGA CAMARA INFERIOR FILTRO COALESC. F-006	I-GIO-631-104267-PL-P-006
32	0105-5-FIT-1593	AI	TRANSMISOR DE RECIRCULACION HOT-OIL	I-GIO-631-104267-PL-P-012
33	0105-5-FY-1593	AO	CONTROL DE RECIRCULAMIENTO HOT-OIL	I-GIO-631-104267-PL-P-012
34	0105-5-PAL-1633	DI	ALARMA BAJA PRESION GAS BLANKETING	I-GIO-631-104267-PL-P-012
35	0105-5-XA-1634	DI	ALARMA DEL CALENTADOR	I-GIO-631-104267-PL-P-012
36	0105-5-XI-1635	DI	CONFIRMACION DE FUNCIONAMIENTO DE CALENTADOR	I-GIO-631-104267-PL-P-012
37	0105-5-XI-1636	DO	PERMISIVO DE ENCENDIDO DE MOTOR SOPLADOR	I-GIO-631-104267-PL-P-012
38	0105-5-XI-1637	DO	PERMISIVO DE ENCENDIDO MOTOR DE BOMBA 21-21A	I-GIO-631-104267-PL-P-012
39	0105-5-XI-1638	DO	PERMISIVO DE ENCENDIDO DE BOMBA 21-21B	I-GIO-631-104267-PL-P-012
40	XSP-BLW-24-1	DO	PARO REMOTO DE MOTOR SOPLADOR	I-GIO-631-104267-PL-P-012
41	XSM-BLW-24-1	DO	ARRANQUE REMOTO DE MOTOR SOPLADOR	I-GIO-631-104267-PL-P-012

42	0105-XSP-PM-003A	DO	PARO REMOTO DE MOTOR BOMBA 21-21A	I-GIO-631-104267-PL-P-012
43	0105-XA-PM-003A	DI	FALLA DE MOTOR BOMBA 21-21A	I-GIO-631-104267-PL-P-012
44	0105-XSM-PM-003A	DO	ARRANQUE REMOTO DE MOTOR BOMBA 21-21A	I-GIO-631-104267-PL-P-012
45	0105-XA-PM-003B	DI	FALLA DE MOTOR BOMBA 21-21B	I-GIO-631-104267-PL-P-012
46	0105-XSP-PM-003B	DO	PARO REMOTO DE MOTOR BOMBA 21-21B	I-GIO-631-104267-PL-P-012
47	0105-XSM-PM-003B	DO	ARRANQUE REMOTO DE MOTOR BOMBA 21-21B	I-GIO-631-104267-PL-P-012
48	0105-5-XI-1639	DI	CONFIRMACION DE ENCENDIDO MOTOR SOPLADOR	I-GIO-631-104267-PL-P-012
49	0105-5-XI-1640	DI	CONFIRMACION DE FUNCIONAMIENTO MOTOR BOMBA 21-21-A	I-GIO-631-104267-PL-P-012
50	0105-5-XI-1641	DI	CONFIRMACION DE FUNCIONAMIENTO MOTOR BOMBA 21-21-B	I-GIO-631-104267-PL-P-012
51	0105-5-XS-1643	DO	PERMISIVO DE CALENTAMIENTO	I-GIO-631-104267-PL-P-012
52	0105-LSL-22-1	DI	INDICADOR DE NIVEL BAJO EN HOT-OIL/ TANQUE DE EXPANSION	I-GIO-631-104267-PL-P-012
53	0105-5-SCAB-21	DI	INICIO DE COMBUSTION EN SOPLADOR DE AIRE 24-1 HOT-OIL	I-GIO-631-104267-PL-P-012
54	0105-XA-022	DI	FALLA DEL SOPLADOR	I-GIO-631-104267-PL-P-012
55	0105-TISH-21-3	DI	ALARMA DE ALTA TEMPERATURA HIGH-STACK	I-GIO-631-104267-PL-P-012
56	0105-5-TIT-21-3	AI	TRANSMISOR DE TEMPERATURA HIGH-STACK	I-GIO-631-104267-PL-P-012
57	0105-5-TIT-21-1	AI	TRANSMISOR DE TEMPERATURA DEL QUEMADOR	I-GIO-631-104267-PL-P-012
58	0105-5-SP-21-1	AO	SET POINT DEL HOT-OIL	I-GIO-631-104267-PL-P-012
59	0705-5-LIT-1562	AI	INDICADOR DE NIVEL DE TANQUE SUMIDERO DRENAJES ABIERTOS	I-GIO-631-104267-PL-P-013
60	0705-YM-001	DI	ESTADO MOTOR 0705-P001	I-GIO-631-104267-PL-P-013
61	0705-YA-001	DI	FALLA MOTOR 0705-P001	I-GIO-631-104267-PL-P-013
62	UAMI-0705P001	DI	SELECTOR REMOTO-MANUAL MOTOR 0705-P001	I-GIO-631-104267-PL-P-013
63	0705-XSP-001	DO	PARO MANUAL MOTOR 0705-P-001	I-GIO-631-104267-PL-P-013
64	0705-XSM-001	DO	ARRANQUE MANUAL MOTOR 0705-P-001	I-GIO-631-104267-PL-P-013

65	0705-YM-105A	DI	ESTADO MOTOR 0705-P105A	I-GIO-631-104267-PL-P-018
66	0705-YA-105A	DI	FALLA MOTOR 0705-P105A	I-GIO-631-104267-PL-P-018
67	UAMI-0705P105A	DI	MODOR REMOTO-MANUAL MOTOR 0705-P105A	I-GIO-631-104267-PL-P-018
68	0705-XSM-105A	DO	ARRANQUE MANUAL 0705-P-105A	I-GIO-631-104267-PL-P-018
69	0705-YM-105B	DI	ESTADO MOTOR 0705-P105B	I-GIO-631-104267-PL-P-018
70	0705-YA-105B	DI	FALLA MOTOR 0705-P105B	I-GIO-631-104267-PL-P-018
71	UAMI-0705P105B	DI	MODO REMOTO - MANUAL MOTOR 0705-P105B	I-GIO-631-104267-PL-P-018
72	0705-XSM-105B	DO	ARRANQUE MANUAL 0705-P-105B	I-GIO-631-104267-PL-P-018
73	0105-SV-1740	DO	VALVULA A CARGA DE ACIETE K-010/011 B	I-GIO-631-104267-PL-P-018
74	0105-SV-1739	DO	VALVULA A CARGA DE ACIETE K-010/011 A	I-GIO-631-104267-PL-P-018
75	0105-SV-1738	DO	VALVULA A CARGA DE ACIETE K-008/009 B	I-GIO-631-104267-PL-P-018
76	0105-SV-1737	DO	VALVULA A CARGA DE ACIETE K-008/009 A	I-GIO-631-104267-PL-P-018
77	0105-SV1736	DO	VALVULA A CARGA DE ACIETE K-006/007 B	I-GIO-631-104267-PL-P-018
78	0105-SV-1735	DO	VALVULA A CARGA DE ACIETE K-006/007 A	I-GIO-631-104267-PL-P-018
79	0705-XSP-105A	DO	PARO MANUAL 0705-P-105A	I-GIO-631-104267-PL-P-018
80	0705-XSP-105B	DO	PARO MANUAL 0705-P-105B	I-GIO-631-104267-PL-P-018
81	3510-3-XSM-010	DO	ARRANQUE REMOTO COMPRESOR 0105-K-010	I-GIO-631-104267-PL-P-401
82	4510-3-XSM-011	DO	ARRANQUE REMOTO COMPRESOR0105-K-011	I-GIO-631-104267-PL-P-401
83	3510-3-XSP-010	DO	PARO REMOTO COMPRESOR 0105-K-010	I-GIO-631-104267-PL-P-401
84	4510-3-XSP-011	DO	PARO REMOTO COMPRESOR 0105-K-011	I-GIO-631-104267-PL-P-401
85	3510-ML-MR-010	DO	MODO LOCAL - REMOTO COMPRESOR 0105-K-010	I-GIO-631-104267-PL-P-401
86	4510-ML-MR-011	DO	MODO LOCAL - REMOTO COMPRESOR 0105-K-011	I-GIO-631-104267-PL-P-401
87	3510-3-YA-010	DI	ESTADO DE FALLA COMPRESOR 0105-K-010	I-GIO-631-104267-PL-P-401

88	4510-3-YA-011	DI	ESTADO DE FALLA COMPRESOR 0105-K-011	I-GIO-631-104267-PL-P-401
89	3510-3-YM-010	DI	ESTADO DE FUJNCIONAMIENTO COMPRESOR 0105-K-010	I-GIO-631-104267-PL-P-401
90	4510-3-YM-011	DI	ESTADO DE FUJNCIONAMIENTO COMPRESOR 0105-K-011	I-GIO-631-104267-PL-P-401
91	3510-CVM-010	AO	CONTROL DE VELOCIDAD MOTOR COMPRESOR 0105-K-010	I-GIO-631-104267-PL-P-401
92	4510-CVM-011	AO	CONTROL DE VELOCIDAD MOTOR COMPRESOR 0105-K-011	I-GIO-631-104267-PL-P-401
93	3510-SCP-010	AO	SETEO DE CONTROL DE PRESION DE VALVULA DE CONTROL SC-501	I-GIO-631-104267-PL-P-401
94	4510-SCP-011	AO	SETEO DE CONTROL DE PRESION DE VALVULA DE CONTROL SC-601	I-GIO-631-104267-PL-P-401
95	3511-SCP-010	AO	SETEO DE CONTROL DE PRESION DE VALVULA DE CONTROL SC-502	I-GIO-631-104267-PL-P-401
96	4511-SCP-011	AO	SETEO DE CONTROL DE PRESION DE VALVULA DE CONTROL SC-602	I-GIO-631-104267-PL-P-401

Tabla A.2. Listado módulos de control.

Num.	Módulo	Descripción	Unidades	Rango	Alarma	Proceso
1	LV-1500-FA	CONTROL DE NIVE SLUG CATCHER CON SALIDA HACIA SEPARADOR FLASH 0105-V-003	%	[0 , 100]	-	Slug Catcher
2	LIC-1505-FA	CONTROL NIVEL EN 0105-V-004	mm	[13 , 1575]	H-787 / L-457	Planta Estabilizadora
3	TI-1449-FA	TEMPERATURA TAMBOR SEPARADOR DE ALIMENTACION 0105-V-003	°C	[-18 , 93]	-	Planta Estabilizadora
4	TI-1551-FA	TEMPERATURA DE SALIDA TAMBOR SEPARADOR DE ALIMENTACION 0105-V-003	°C	[-18 , 66]	-	Planta Estabilizadora
5	PI-1665-FA	PRESION DE FLUJO BDV DESCARGA A VENTEOS DEL TAMBOR SEPARADOR 0105-V-003	kg/cm2g	[0 , 60]	H – 34	Planta Estabilizadora
6	PIC-1555-FA	CONTROL PRESION EN 0105-V-004	kg/cm2g	[0 , 42.4]	H-37.75 / L-26.72	Planta Estabilizadora
7	PIC-1352-FA	CONTROL DE PRESION TORRE ESTABILIZADORA 0105-T-007	kg/cm2g	[0 , 14.06]	H-12.66 / L-10.55	Planta Estabilizadora
8	TI-1351-FA	TEMPERATURA SALIDA 0105-T-007	°C	[-18 , 121]	H-91 / L-52	Planta Estabilizadora
9	FY-1372-FA	CONTROL DE FLUJO DE SALIDA DE 0105-E-004	°C y KG/HR	[-18 , 288] °C / [14 , 56] KG/HR	(H-174 / L-152) °C	Planta Estabilizadora

10	TI-1362-FA	TEMPERATURA EN 0105-E-010	°C	[-18 , 288]	-	Planta Estabilizadora
11	LIC-1364-FA	CONTROL DE NIVEL 0105-E-010	mm	[0, 1524]	H-686 / L-457	Planta Estabilizadora
12	TI-1360-FA	TEMPERATURA EN 0105-E009	°C	[-18 , 149]	L-29.4	Planta Estabilizadora
13	PI-1381-FA	PRESION EN 0105-E-010	kg/cm2	[0 , 17.5]	-	Planta Estabilizadora
14	PI-1534-FA	PRESION DE SALIDA 0105-V-004	kg/cm2	[0 , 60]	-	Interconex. Compres.
15	LAH-1726-FA	SWITCH ALTO NIVEL K-502	-	-	ON	Interconex. Compres.
16	LAH-1730-FA	SWITCH ALTO NIVEL K-602	-	-	ON	Interconex. Compres.
17	FIC-1593-FA	CONTROL DE CAUDAL RECIRUCLACION HOT OIL	m3/h	[0 , 70000]	-	Sistema Aceite Térmico
18	PAL-1633-FA	ALARMA BAJA PRESION GAS BLANKETING	-	-	-	Sistema Aceite Térmico
19	SCAB-21-FA	START COMBUSTION AIR BLOWER 24-1 MOTOR HOT OIL	-	-	-	Sistema Aceite Térmico
20	HXSM-BLW-24-1-FA	MOTOR SOPLADOR HOT OIL	-	-	-	Sistema Aceite Térmico
21	HXSM-023A-FA	MOTOR BOMBA HOT OIL 21-21A	-	-	-	Sistema Aceite Térmico
22	HXSM-023B-FA	MOTOR BOMBA HOT OIL 21-21B	-	-	-	Sistema Aceite Térmico
23	LAL-22-1-FA	SWITCH NIVEL BAJO EN HOT-OIL/ TANQUE DE EXPANSION	-	-	-	Sistema Aceite Térmico
24	HXSM-023-FA	CONTROL DEL QUEMADOR HOT OIL	-	-	-	Sistema Aceite Térmico
25	TI-21-3-FA	ALTA TEMPERATURA EN STACK	°C	[17.8 , 537.8]	-	Sistema Aceite Térmico
26	TI-21-1-FA	TEMPERATURA QUEMADOR	°C	[17.8 , 343.3]	-	Sistema Aceite Térmico
27	TISH-21-3-FA	SWITCH DE ALTA TEMPERATURA HIGH-STACK	-	-	-	Sistema Aceite Térmico
28	SP-21-1-FA	SET POINT REMOTO HOT OIL	°C	[17.8 , 343.3]	-	Sistema Aceite Térmico
29	HXSM-010-FA	MOTOR COMPRESOR K-010	-	-	-	Sistema de compresión
30	HXSM-011-FA	MOTOR COMPRESOR K-011	-	-	-	Sistema de compresión
31	LOC_REM_010-FA	LOCAL / REMOTO COMPRESOR K-010	-	-	-	Sistema de compresión
32	LOC_REM_011-FA	LOCAL / REMOTO COMPRESOR K-011	-	-	-	Sistema de compresión

33	CVM-010-FA	CONTROL DE VELOCIDAD COMPRESOR 0105-K-010	IN RPM / OUT %	[900 , 1485] RPM / [0 , 100] %	-	Sistema de compresión
34	CVM-011-FA	CONTROL DE VELOCIDAD COMPRESOR 0105-K-011	IN RPM / OUT %	[900 , 1485] RPM / [0 , 100] %	-	Sistema de compresión
35	100-SCP-010-FA	SETEO DE PRESION DE CONTROL DE VALVULA DE CONTROL SC-501	%	[0 , 100]	-	Sistema de compresión
36	100-SCP-011-FA	SETEO DE PRESION DE CONTROL DE VALVULA DE CONTROL SC-601	%	[0 , 100]	-	Sistema de compresión
37	101-SPC-010-FA	SETEO DE PRESION DE CONTROL DE VALVULA DE CONTROL SC-502	%	[0 , 100]	-	Sistema de compresión
38	101-SPC-011-FA	SETEO DE PRESION DE CONTROL DE VALVULA DE CONTROL SC-602	%	[0 , 100]	-	Sistema de compresión
39	LI-1562-FA	NIVEL TANQUE SUMIDERO DE DRENAJES 0705-V-004	mm	[0 , 1000]	H-800 / L-600	Sistema drenajes abiertos
40	HXSM-001-FA	MOTOR BOMBA DRENAJES TIP 1. 0705-P-001	-	-	-	Sistema drenajes abiertos
41	HXSM-105A-FA	BOMBA CARGA ACEITE 0105-P-105A	-	-	-	Sistema lubricación forzada
42	HXSM-105B-FA	BOMBA CARGA ACEITE 0105-P-105B	-	-	-	Sistema lubricación forzada
43	LAL-1729-FA	SWITCH BAJO EN TANQUE DE ACEITE K-602	-	-	-	Interconex. Compres.
44	LAL-1725-FA	SWITCH BAJO EN TANQUE DE ACEITE K-502	-	-	-	Interconex. Compres.
45	SV-1740-FA	VALVULA A CARGA DE ACIETE K-010/011 B	-	-	-	Sistema lubricación forzada
46	SV-1739-FA	VALVULA A CARGA DE ACIETE K-010/011 A	-	-	-	Sistema lubricación forzada
47	SV-1738-FA	VALVULA A CARGA DE ACIETE K-008/009 B	-	-	-	Sistema lubricación forzada
48	SV-1737-FA	VALVULA A CARGA DE ACIETE K-008/009 A	-	-	-	Sistema lubricación forzada
49	SV-1736-FA	VALVULA A CARGA DE ACIETE K-006/007 B	-	-	-	Sistema lubricación forzada
50	SV-1735-FA	VALVULA A CARGA DE ACIETE K-006/007 A	-	-	-	Sistema lubricación forzada
51	PDI-1677-FA	PRESION FILTRO DIFERENCIAL COALESCEDOR 101-F-006	kg/cm2	[0 , 100]	H-74	Filtro Coalescedor
52	LIC-1679-FA	CONTROL DE NIVEL CAMARA SUPERIOR FILTRO COALESCEDOR 101-F-006	mm	[0 , 500]	H-290 / L-140	Filtro Coalescedor
53	LIC-1678-FA	CONTROL DE NIVEL CAMARA INFERIOR FILTRO COALESCEDOR 101-F-006	mm	[0 , 500]	H-375 / L-225	Filtro Coalescedor

Apéndice B. Diagramas de módulos diseñados y descripción de su funcionamiento.

B.1 Módulo de clase CAI

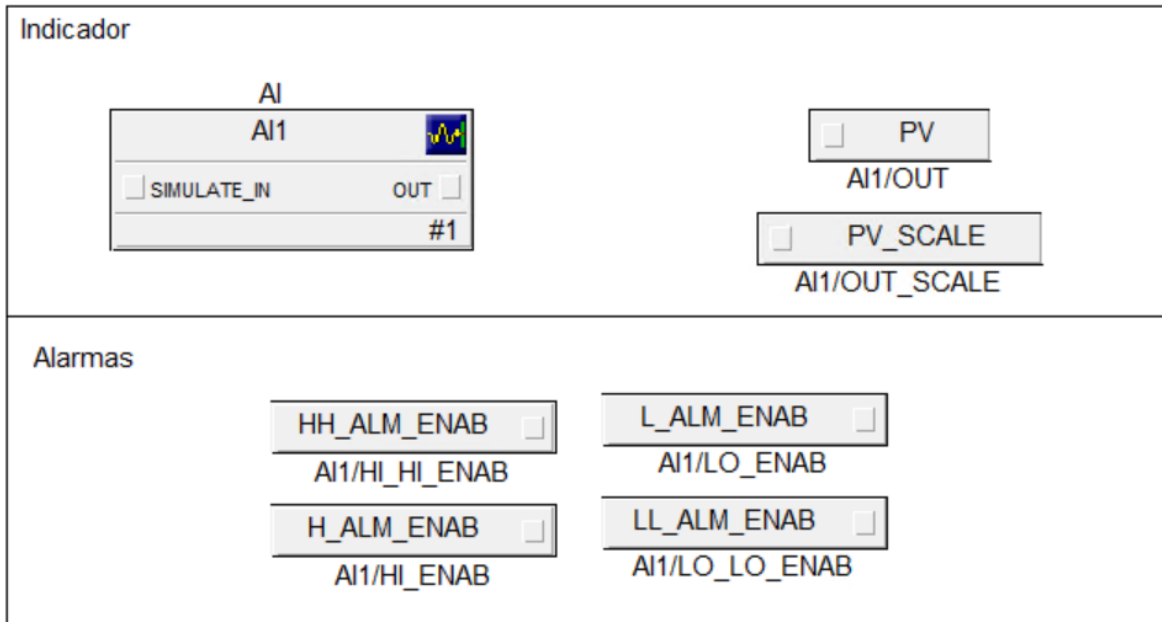


Figura B.1. Módulo de clase CAI

La figura B.1 muestra clase CAI, esta se especializa en el monitoreo y la indicación de señales analógicas de campo, típicamente presentadas en corrientes de 4 a 20 mA mediante transmisores HART. Utiliza un bloque de entrada analógica (AI) para convertir estas señales en valores digitales, escalados a unidades de ingeniería para su comprensión.

Una de sus funciones principales es la generación de alarmas, configurables para diferentes niveles (muy alto, alto, bajo, muy bajo), según los límites predefinidos en la filosofía de operación. Además, el módulo permite la simulación de entradas y la detección de fallos, lo que asegura un monitoreo preciso y confiable de las variables del proceso industrial.

La configuración de la clase CAI se ajusta específicamente para cada módulo, de acuerdo con el tipo de transmisor y la variable bajo monitoreo, ofreciendo así una adaptabilidad óptima a las necesidades de cada proceso industrial.

B.2 Módulo de clase CDI

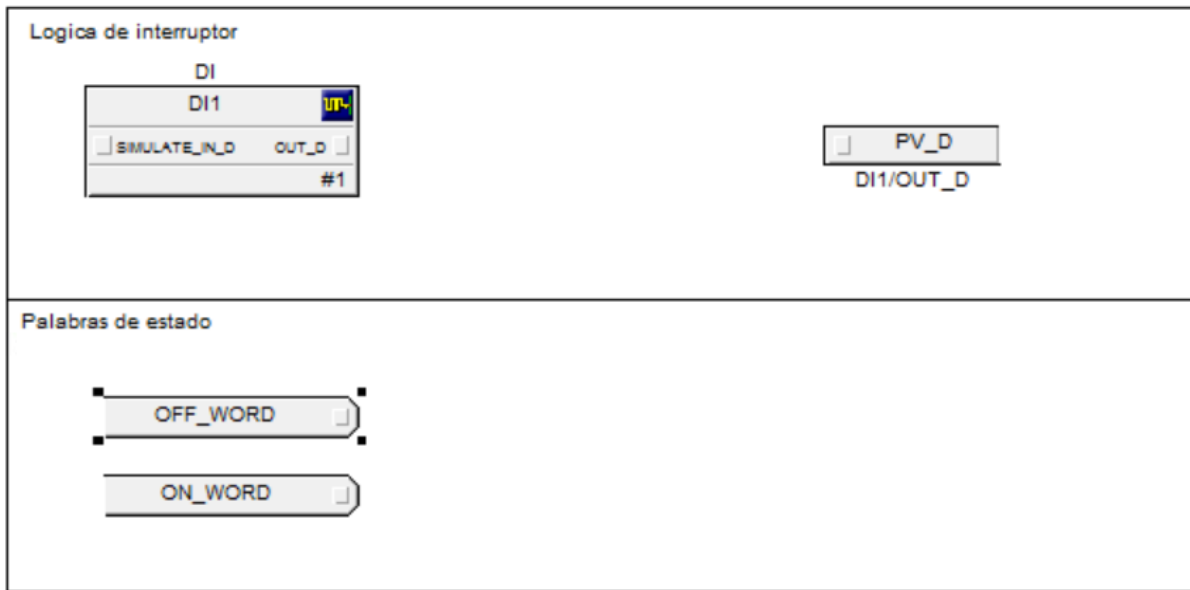


Figura B.2. Módulo de clase CDI

La figura B.2 muestra la clase CDI, esta desempeña su función en el monitoreo y control de señales discretas de entrada en entornos industriales. Es utilizada para detectar estados específicos en dispositivos de campo, como interruptores o sensores, y generar alarmas según la configuración establecida. Su aplicación abarca una amplia gama de escenarios, desde la supervisión de condiciones de seguridad hasta la monitorización de procesos críticos. Al permitir la simulación de entradas y la asociación de cadenas de caracteres a los valores de salida, proporciona una herramienta versátil para el diagnóstico, pruebas y visualización de información en las pantallas HMI.

B.3 Módulo de clase CAO

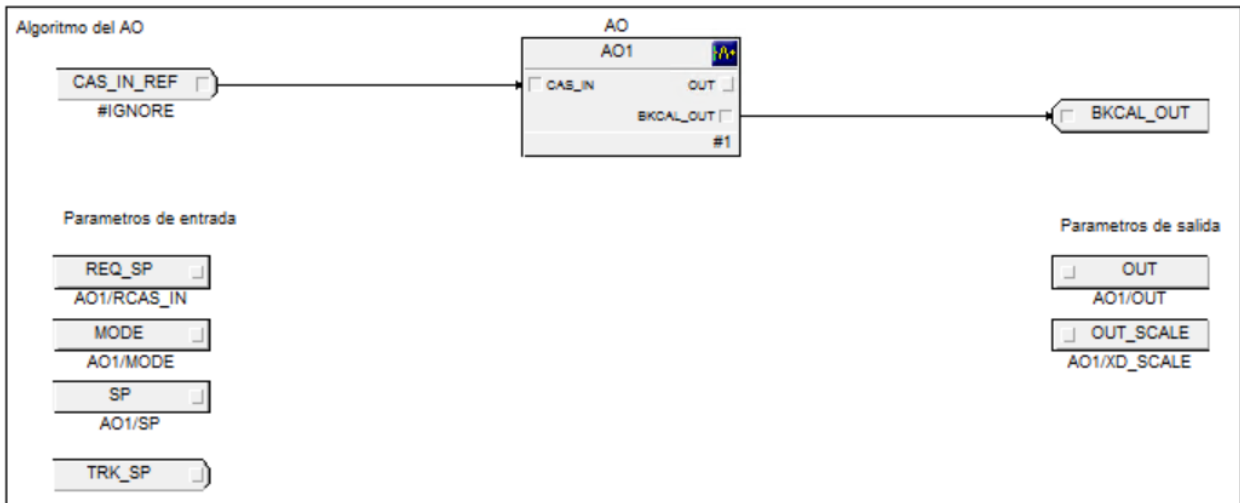


Figura B.3 Módulo de clase CAO

La figura B.3 muestra clase CAO, la cual proporciona una vía para manipular señales analógicas. Con su capacidad para escalar y parametrizar señales de entrada, garantiza un control efectivo sobre los actuadores en campo. El uso del bloque funcional AO permite una operación versátil, desde ajustes manuales. Desde pantalla es posible enviar un valor de entrada al bloque AO y este a partir de su configuración y escala envía la señal analógica a campo.

B.4 Módulo de clase VLV

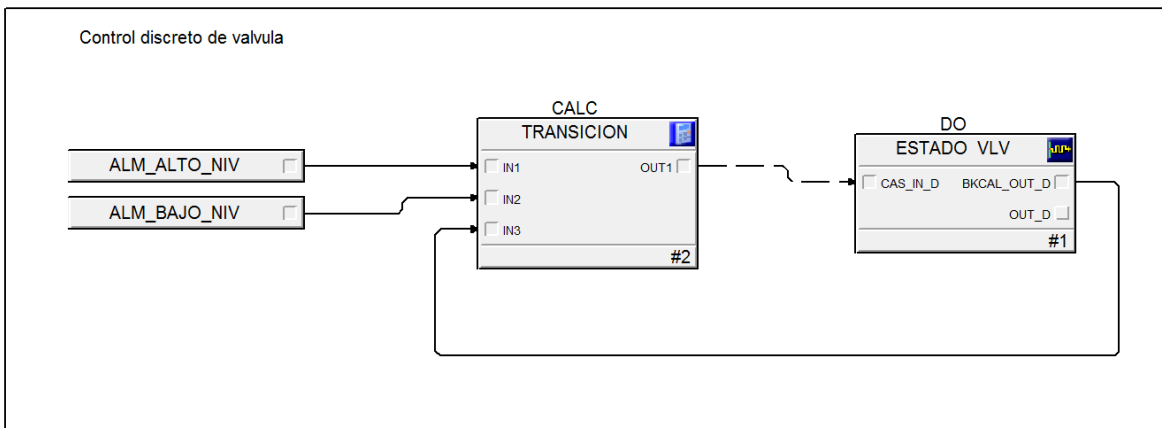


Figura B.4 Módulo de clase VLV.

La figura B.4 muestra la clase VLV. Basa función en el control de válvulas de estado. Su función principal es gestionar el estado abierto y cerrado de las válvulas mediante indicadores digitales, respondiendo a los disparos generados por sensores de nivel. Para ello, emplea un bloque de cálculo para determinar la transición de estado, activando o desactivando la válvula según corresponda. Este bloque se retroalimenta con la salida de estado de la válvula para verificar la transición antes de su ejecución. Su lógica de operación garantiza un control preciso y eficiente de las válvulas, priorizando la seguridad y la integridad del sistema.

B.5 Módulo de clase MTR TIP 1

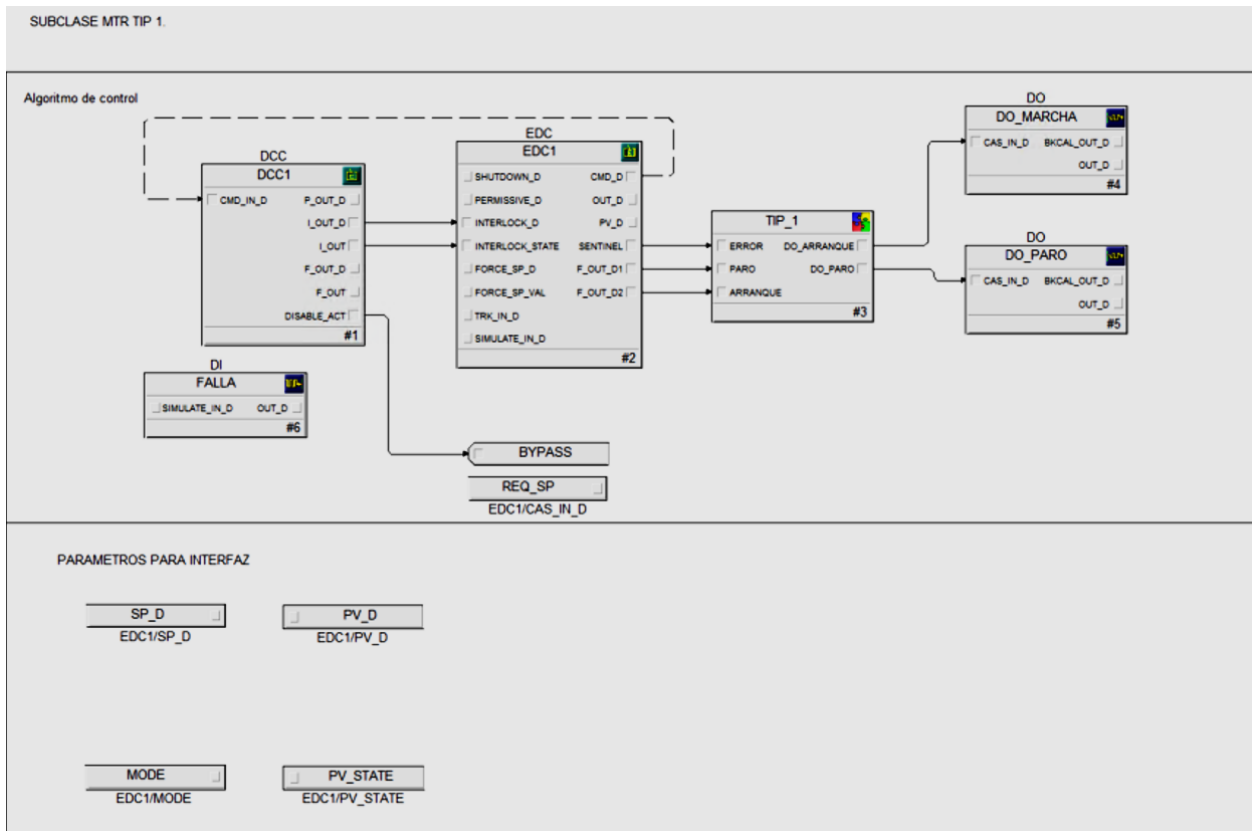


Figura B.5. Módulo de clase MTR TIP1

La figura B.5 muestra la subclase MTR TIP, la cual se encarga del control de motores específicos, conocidos como "Típico 1". Estos motores se caracterizan por trabajar con un conjunto definido de señales discretas que indican su estado y modo de operación. El módulo MTR TIP1 asegura que el motor funcione de manera segura y eficiente, gestionando su operación y respuesta ante diferentes condiciones. Utilizando señales de entrada que indican el estado actual del motor y el modo de operación deseado, el módulo realiza transiciones entre diferentes estados, como arranque, paro y estado remoto o manual. Esto se logra mediante la evaluación continua de las señales de entrada y la generación de señales de salida apropiadas para controlar el motor. Además, el módulo se encarga de coordinar la operación del motor con otros dispositivos del sistema, garantizando un funcionamiento integrado y sincronizado. En caso de detectar condiciones

anormales o de fallo, el módulo toma medidas para detener el motor y evitar daños o riesgos adicionales.

B.6 Módulo de clase MTR TIP 3

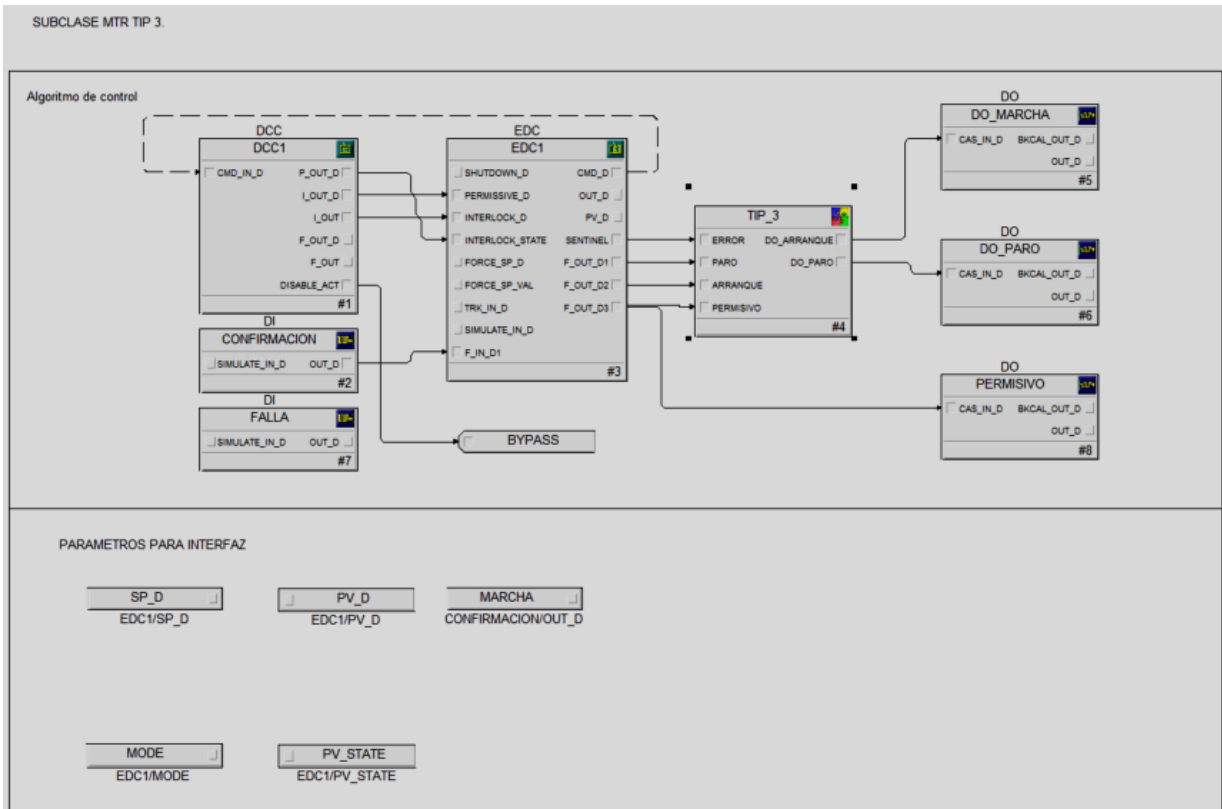


Figura B.6 Módulo de clase MTR TIP 3

La figura B.6 muestra la subclase MTR TIP3, se especializa en el control de motores de tipo Típico 3, los cuales operan con un conjunto específico de señales digitales. Estos motores reciben señales de entrada que indican el estado del equipo y la confirmación de arranque, mientras que generan señales de salida para el paro, arranque y confirmación de permisivo. Se utilizan bloques de entrada y salida discretas para manejar la confirmación de operación y el permisivo de arranque, respectivamente. El módulo verifica constantemente el estado real del equipo en campo mediante la confirmación de operación, y entra en un estado de interlock si existe una discrepancia entre este estado y la señal supuesta. En caso de detectar una falla, el módulo permanece en un estado pasivo hasta que se resuelva la condición errónea. Una vez que el motor se encuentra en un estado sin fallas, puede

cambiar al estado de operación, donde tanto el arranque como el permisivo están activos. La señal de confirmación de permisivo es esencial para iniciar el arranque del equipo en el CCM, y solo se activa cuando el motor está detenido y sin fallas.

B.7 Módulo de clase MTR ENERFLEX

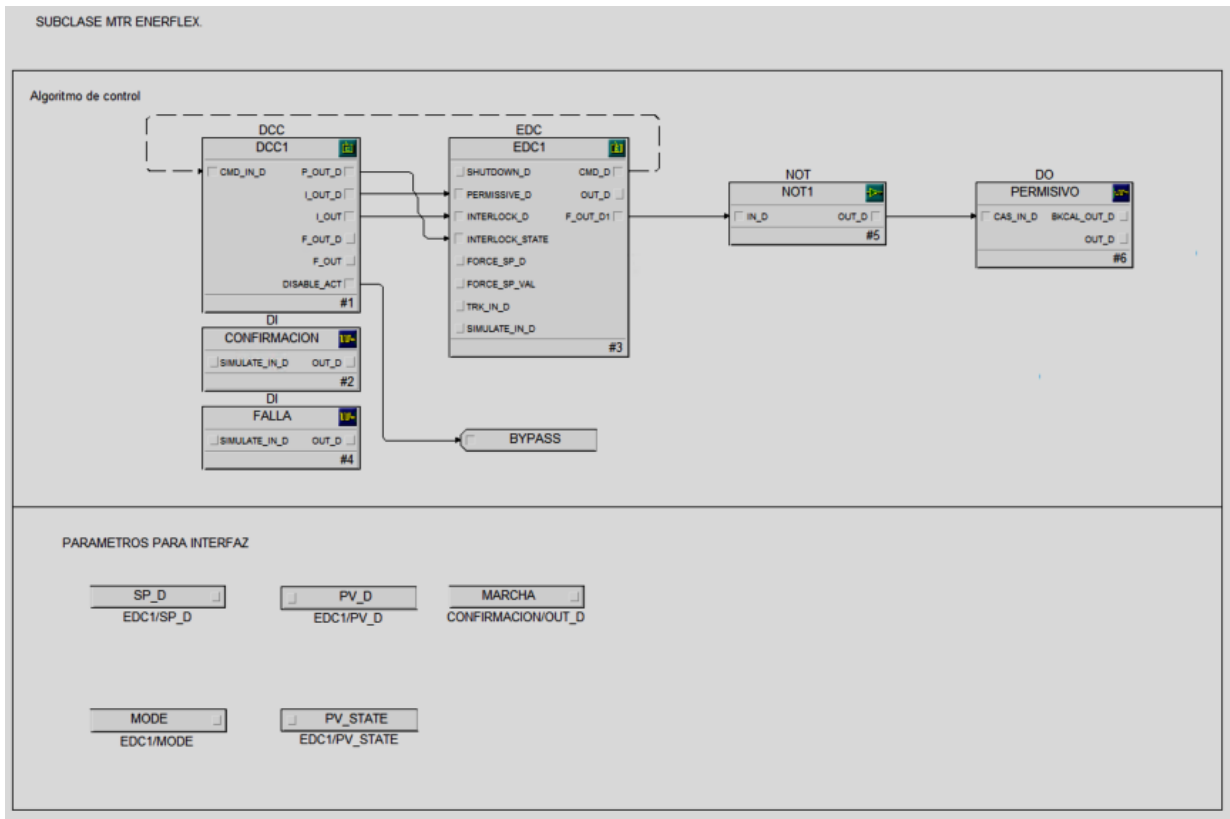


Figura B.7 Módulo de clase MTR ENERFLEX

La figura B.7 muestra la subclase MTR ENERFLEX. Está diseñada para monitorear equipos con un control simplificado, utilizando solo tres señales. A diferencia de otras subclases, no controla el paro ni el arranque del equipo, pero proporciona información crucial sobre su estado operativo. Cuenta con dos entradas discretas para detectar la falla del equipo y confirmar su funcionamiento, junto con una única salida discreta para el permisivo de arranque. En esta configuración, el arranque y el paro del motor son manuales desde el CCM. El módulo actúa como un monitor y un bloqueo para el arranque en caso de falla. Para iniciar el motor desde el CCM, se requiere que la señal de "PERMISIVO" esté activa, lo que indica que el EDC no está en estado pasivo de INTERLOCK. Además, el permisivo solo

se habilita si no hay confirmación de arranque; de lo contrario, se deshabilita para evitar arranques no deseados en caso de falsas confirmaciones.

B.8 Módulo de clase CSD

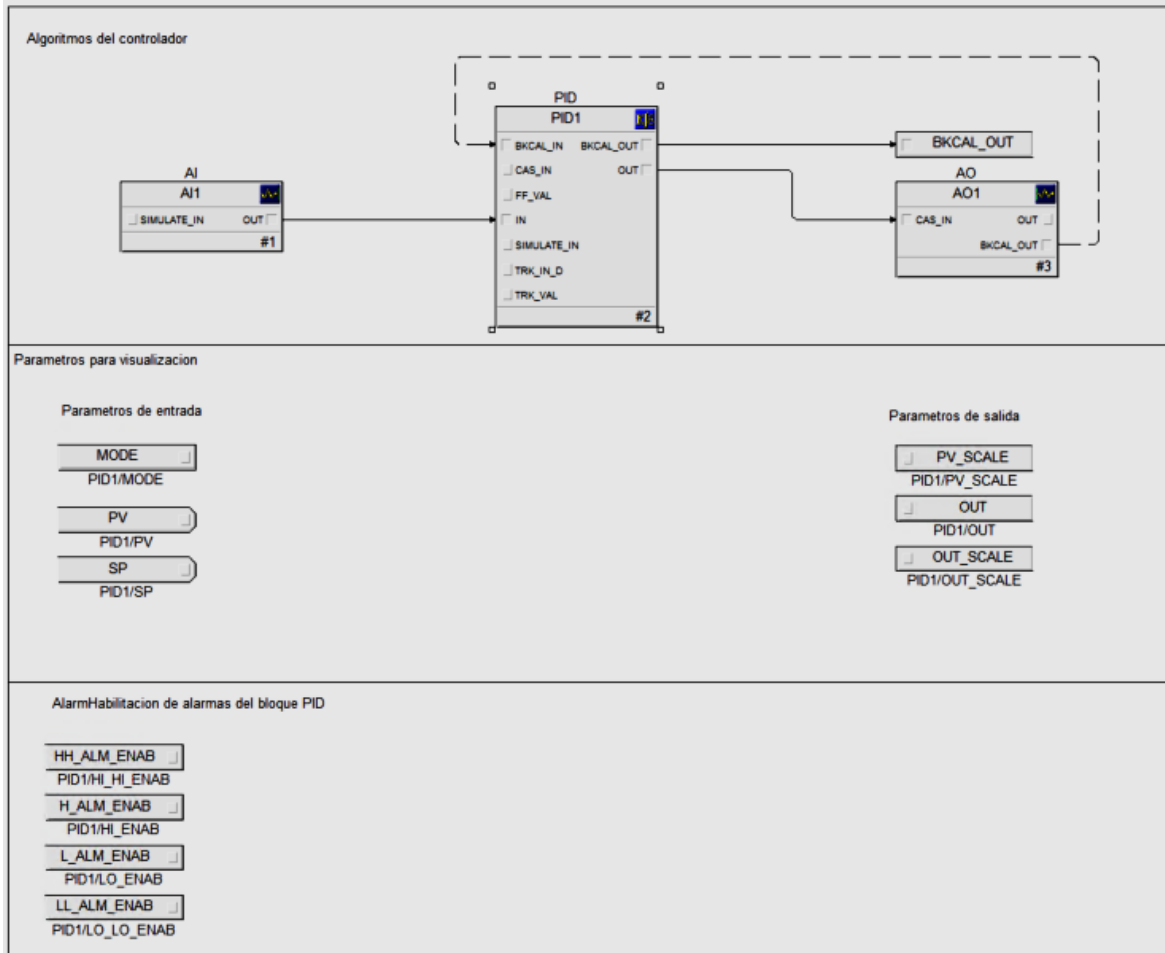


Figura B.8 Módulo de clase CSD

La figura B.8 muestra la subclase CSD. Este módulo de la clase de control de lazo cerrado (CLC) emplea un controlador PID básico para regular una sola variable de proceso. Para lograrlo, utiliza tres bloques funcionales principales: uno de entrada AI para la medición del campo, un bloque PID para calcular la señal de control y un bloque AO para enviar esta señal al equipo correspondiente en campo. El bloque PID ofrece diversos modos de operación, incluyendo Manual, Automático y Cascada, lo que permite ajustes flexibles según las necesidades del proceso. Una característica notable es su capacidad de simulación, que posibilita pruebas

exhaustivas y validación antes de la implementación efectiva, asegurando un funcionamiento óptimo y una transición suave en las operaciones.

B.9 Módulo de clase CSR

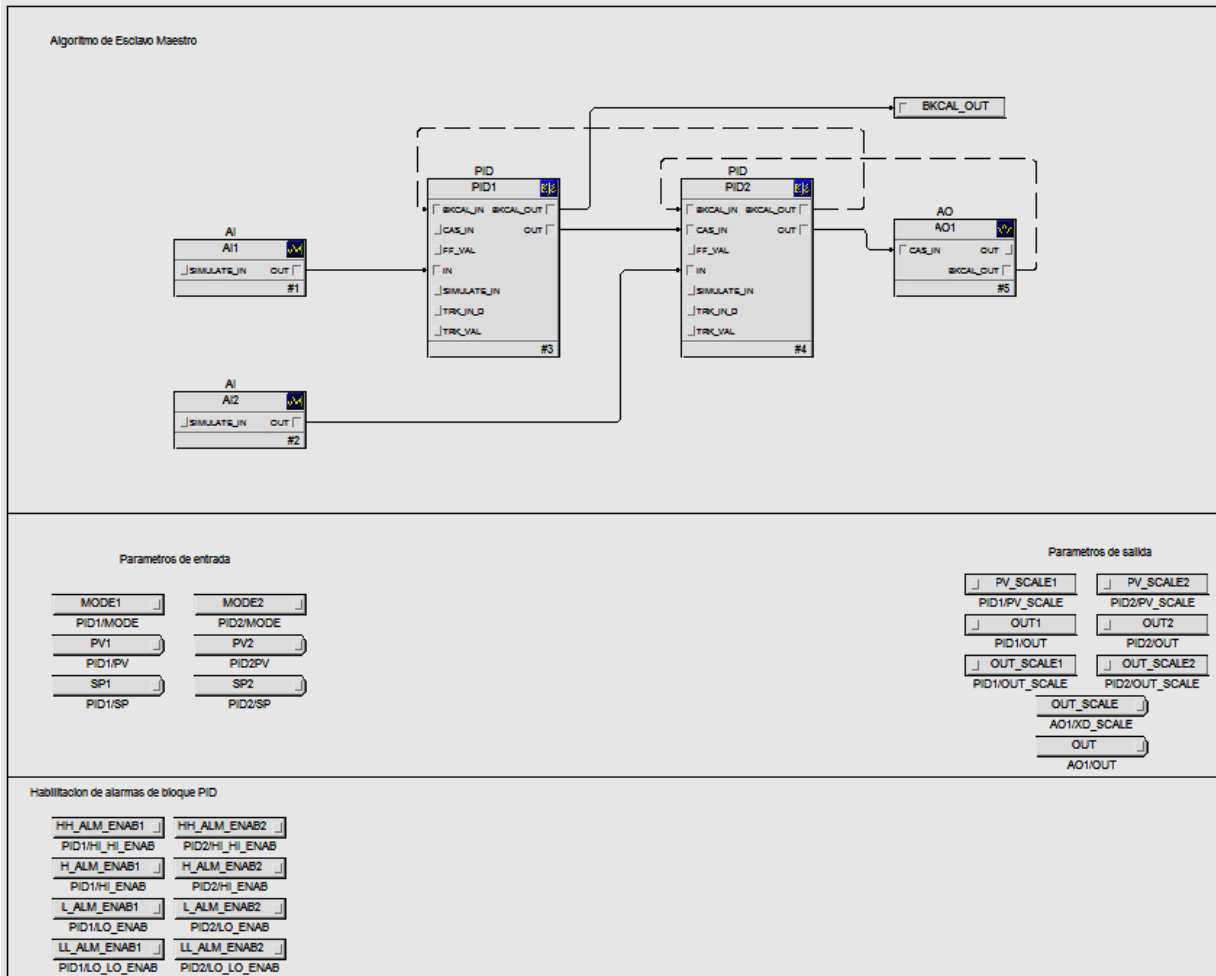


Figura B.9 Módulo de clase CSR

La figura B.9 muestra la subclase CSR, o control de rango partido. Utiliza un controlador PID similar al de la subclase CSD, pero con la capacidad de gestionar dos salidas analógicas independientes. Para lograr esto, se agrega un bloque funcional SPLITR que divide la señal de control del PID en dos salidas separadas, cada una conectada a un bloque AO para controlar las válvulas correspondientes en campo. El SPLITR distribuye la señal de control de manera independiente a cada salida, permitiendo ajustes individuales para adaptarse a las necesidades

específicas de cada actuador o proceso controlado. Esto garantiza una respuesta coordinada y eficiente del sistema en su conjunto, optimizando su operación y confiabilidad.

B.10 Módulo de clase CSM

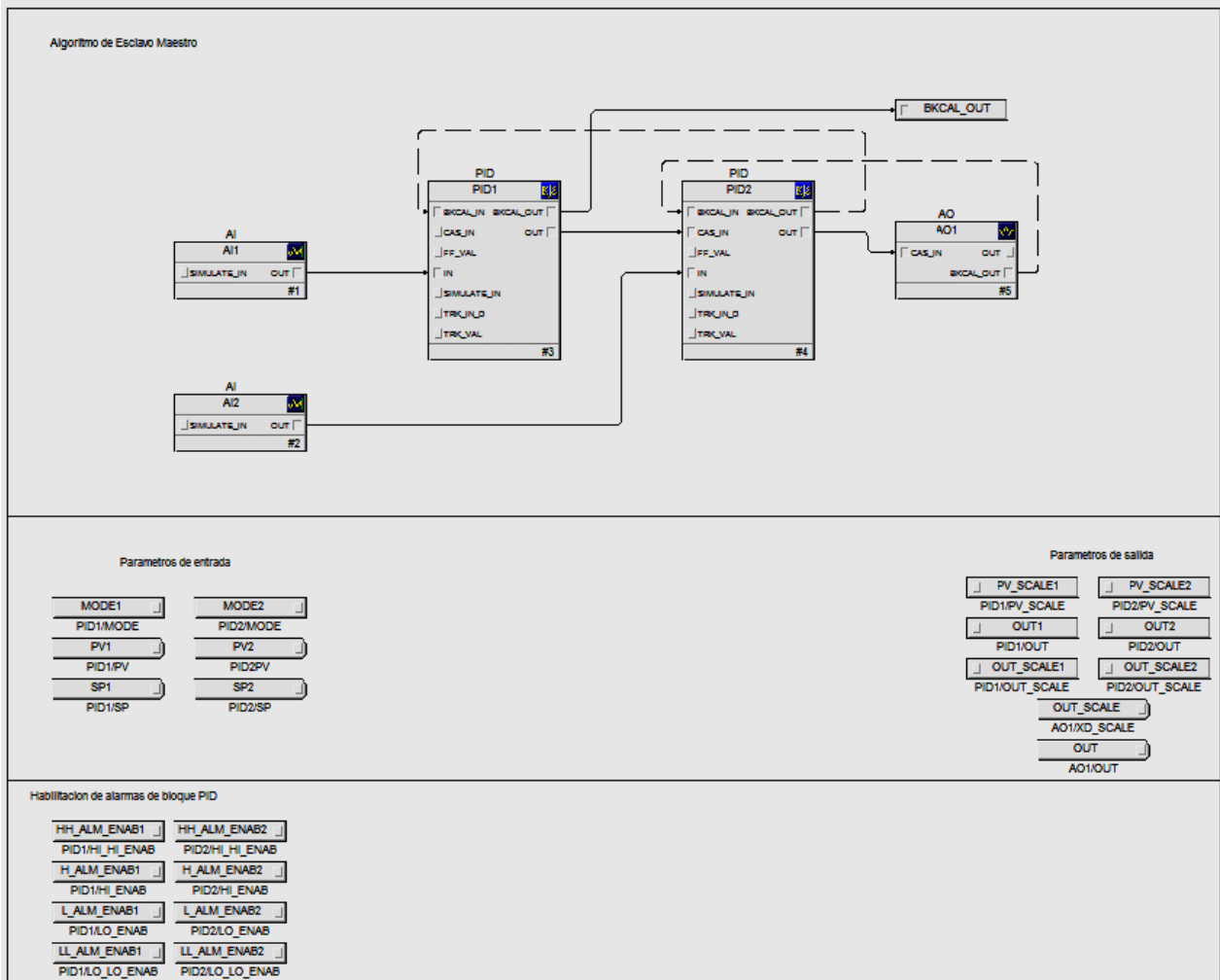


Figura B.10 Módulo de clase CSM

La figura B.10 muestra la subclase CSM. Emplea una configuración de control maestro-esclavo en cascada, ideal para procesos con múltiples variables. En este caso, el módulo se utiliza para un único proceso específico en el cual el control maestro recibe la temperatura del gas y ajusta el setpoint del control esclavo, que regula el flujo de aceite. Ambos lazos utilizan el mismo controlador PID. Esta estructura permite una mejor compensación de perturbaciones y un ajuste más fino

de los parámetros del sistema, facilitando el mantenimiento y la implementación. Los bloques PID tienen parámetros configurables y alarmas para cada lazo de control, proporcionando un control preciso y adaptable a las condiciones específicas del sistema.

Apéndice C. Pantallas HMI.

Tabla C.1. Listado pantallas HMI.

Nombre de pantalla en sistema	Nombre de proceso	Nombre de plano I-GIO-631-104267-PL-	Cantidad de módulos de Facilites visibles
LSTEC_TGS_PAS_P_004_1	Planta estabilizadora	P-004-3 / P-002 / P-004	12
LSTEC_TGS_PAS_P_006_1	Filtro Coalescente	P-006-3	3
LSTEC_TGS_PAS_P_013_1	Sistema de drenajes abiertos	P-013-2	2
LSTEC_TGS_PAS_P_018_1	Sistema de lubricación forzada	P-018-0	12
LSTEC_TGS_PAS_RCPN_01V002	Slug Catcher	P-003-3	1
LSTEC_TGS_PAS_SGC3_HOTOIL_E3	Sistema HotOil (Paquetizado)	P-024-0	7
LSTEC_TGS_PAS_SGC3_HOTOIL	Sistema HotOil	P-012-3	11 (se repiten 6)
LSTEC_TGS_PAS_RCG_100K010	Sistema de compresión de gas	P-005-3	15 (se repiten 4)
TOTAL			53

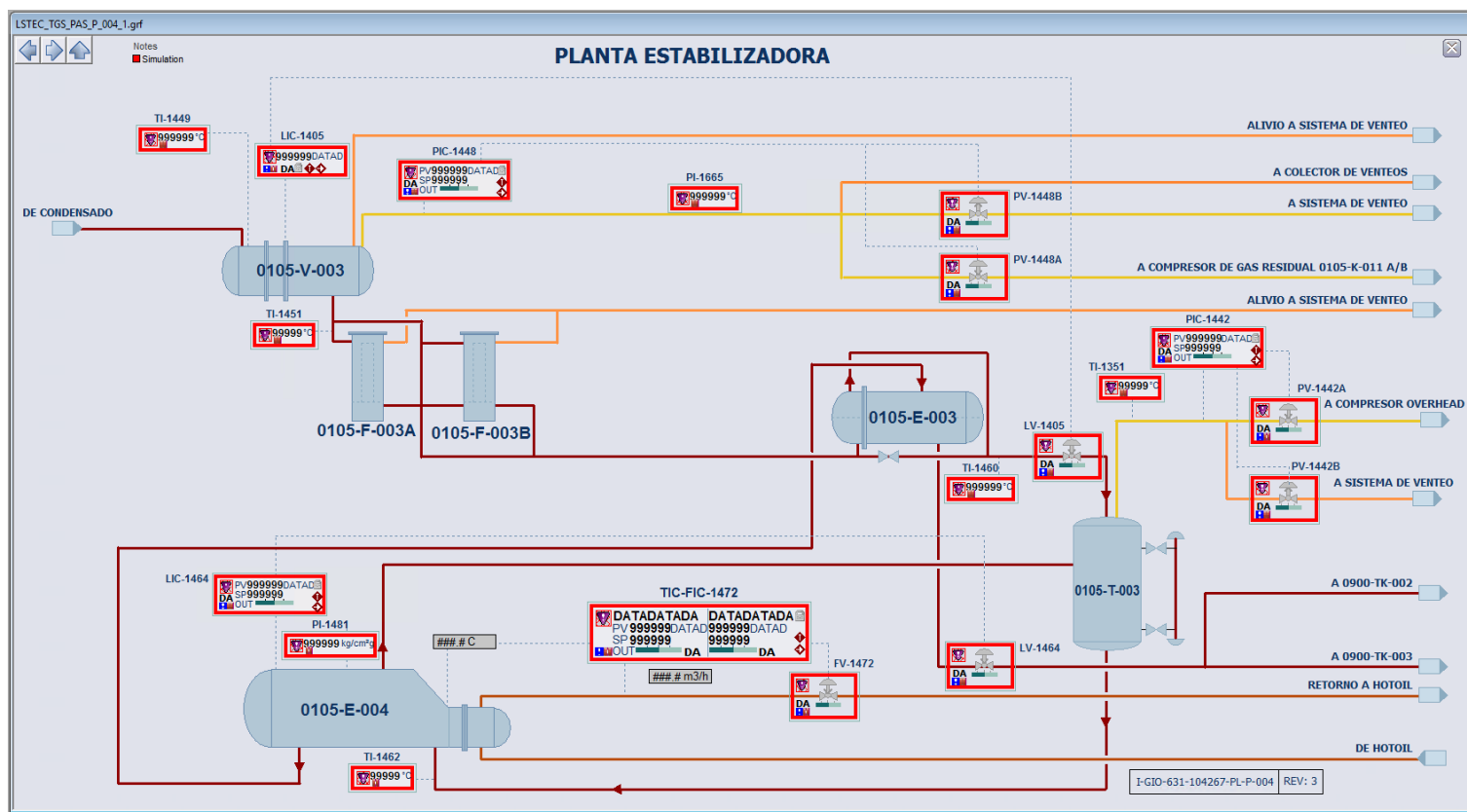


Figura C.1. Pantalla HMI de la planta estabilizadora.

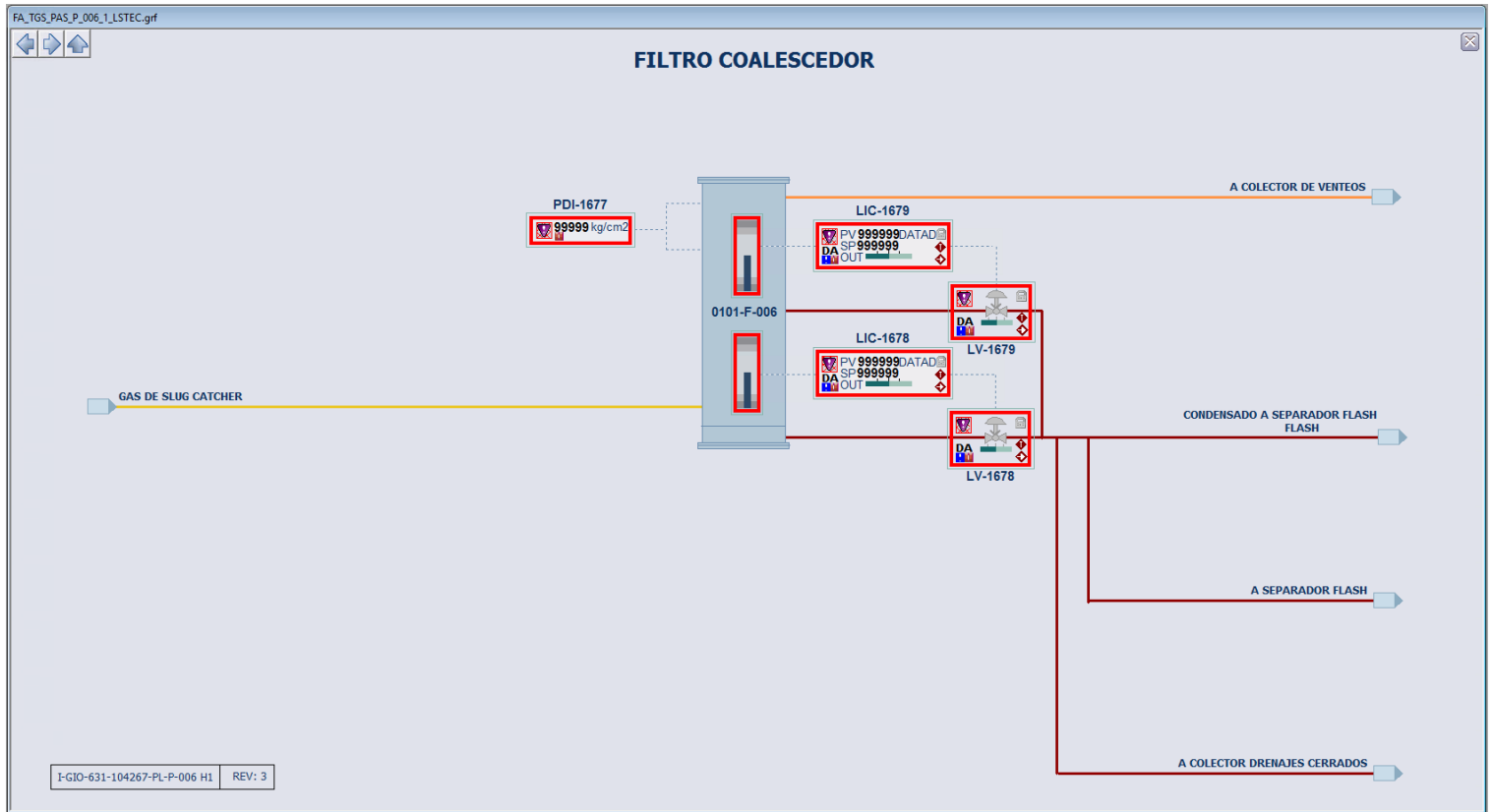


Figura C.2. Pantalla HMI del filtro coalescedor.

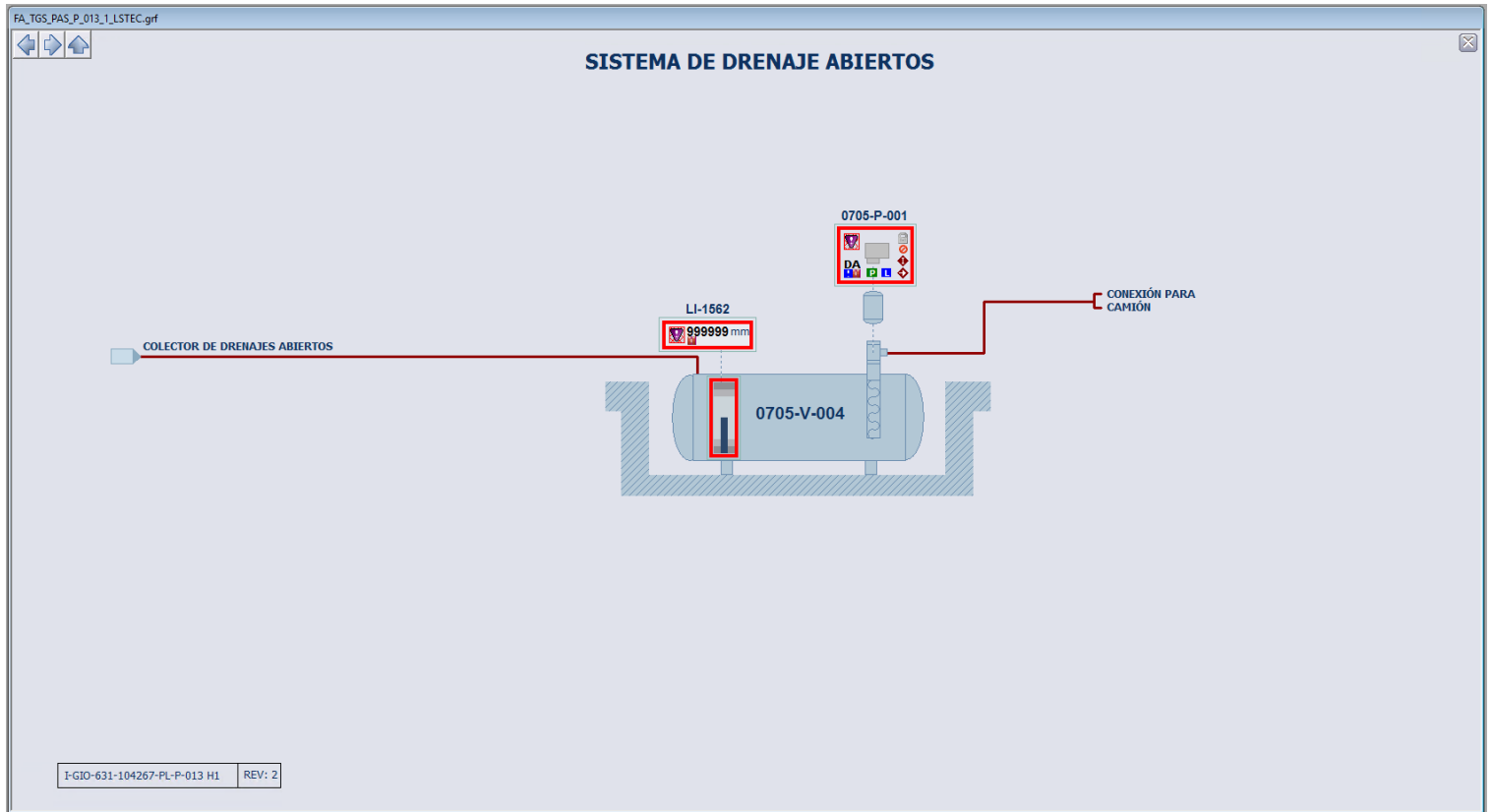


Figura C.3. Pantalla HMI del sistema de drenajes abiertos.

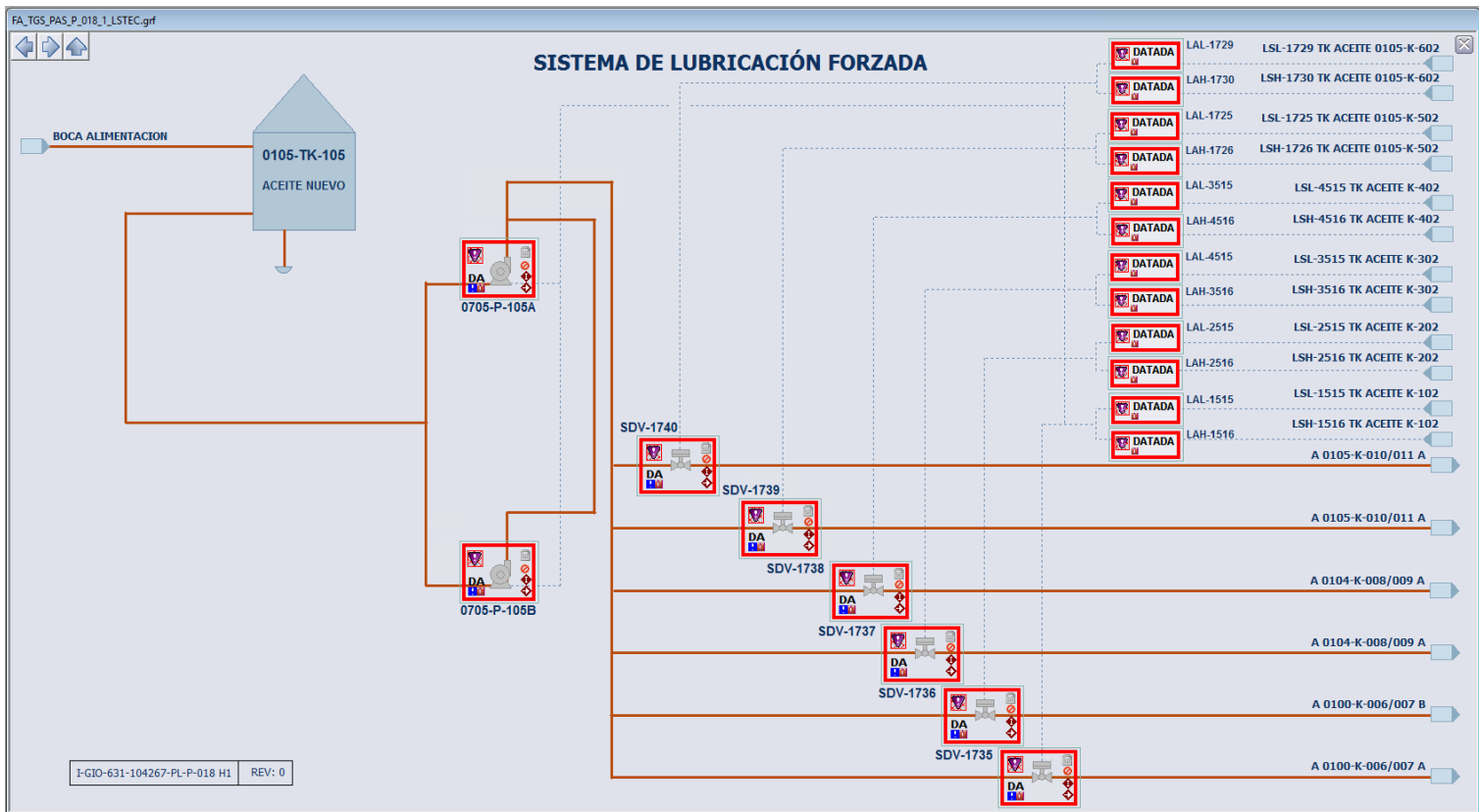


Figura C.4. Pantalla HMI de sistema de lubricación forzada.

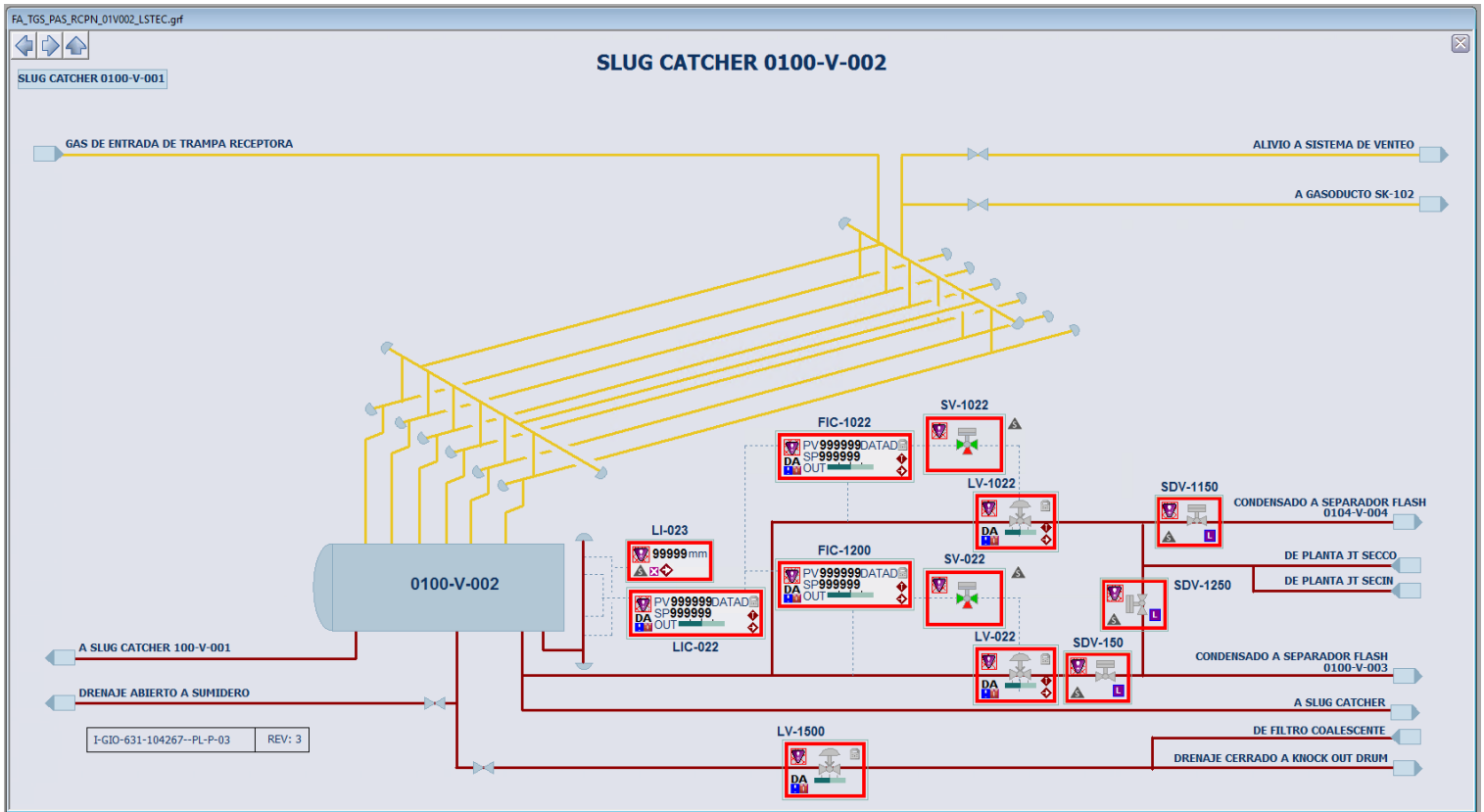


Figura C.5 Pantalla HMI del Slug Catcher.

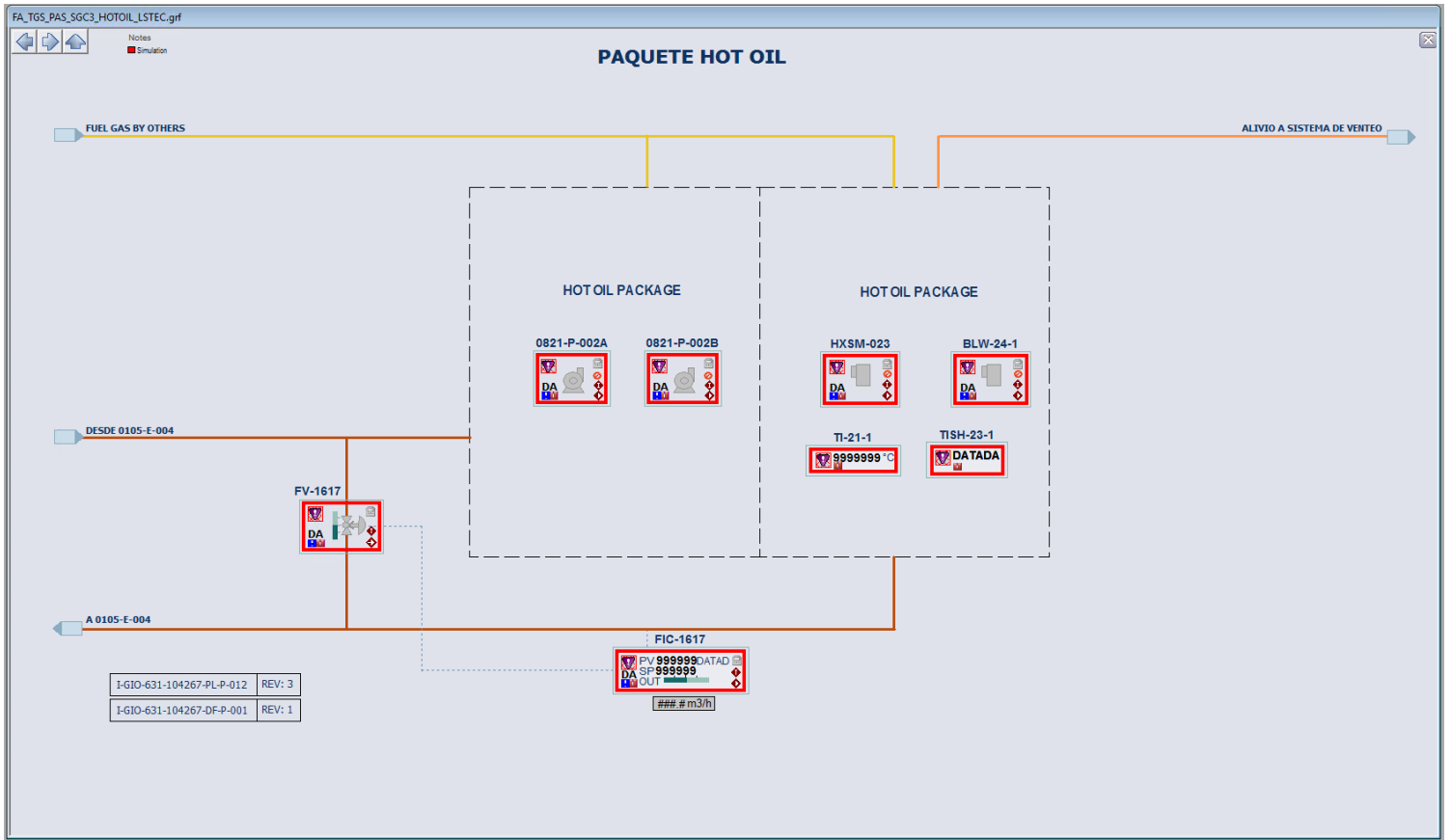


Figura C.6. Pantalla HMI del sistema de HotOil (Paquetizado).

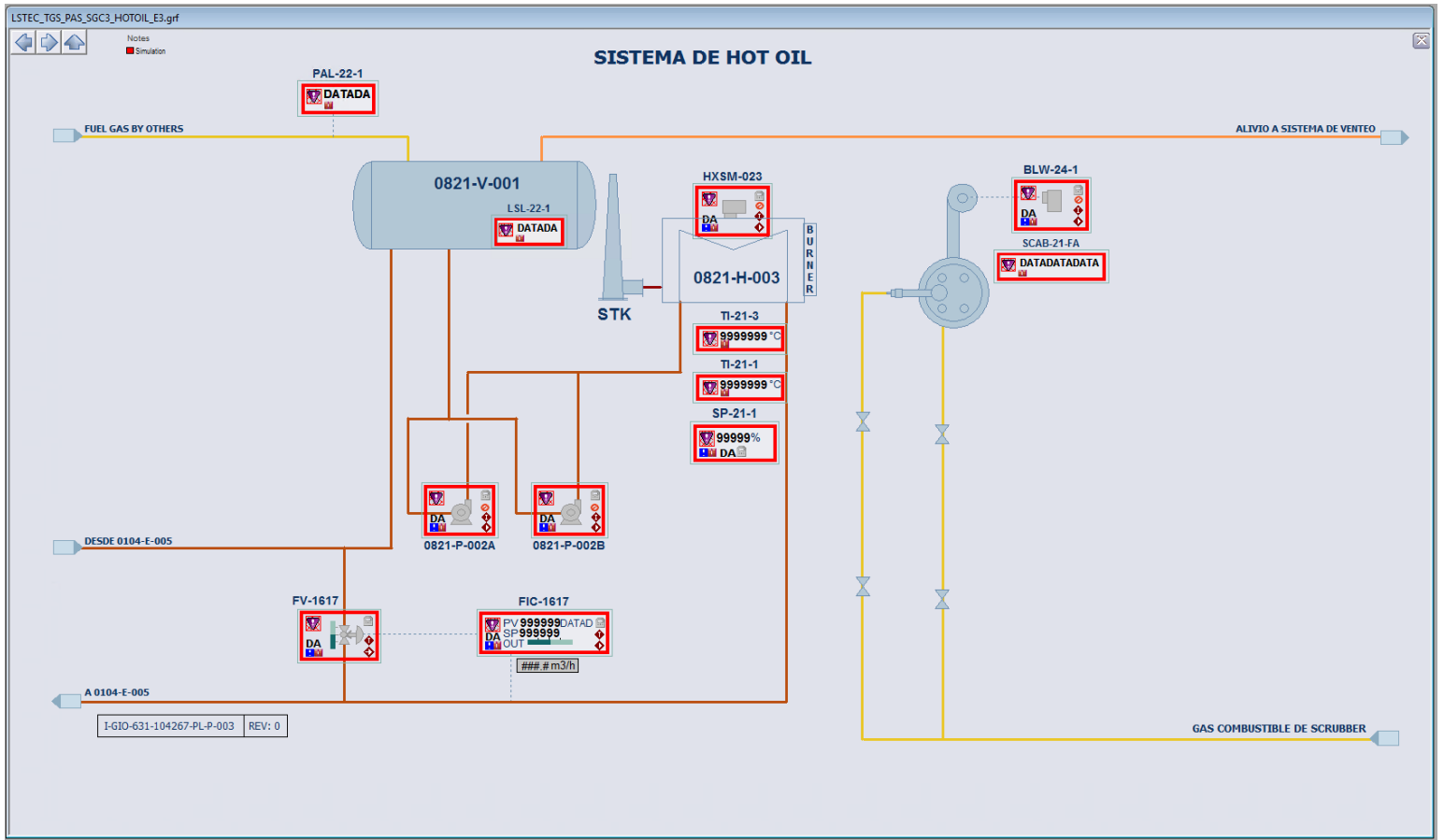


Figura C.7. Pantalla HMI del sistema de HotOil.

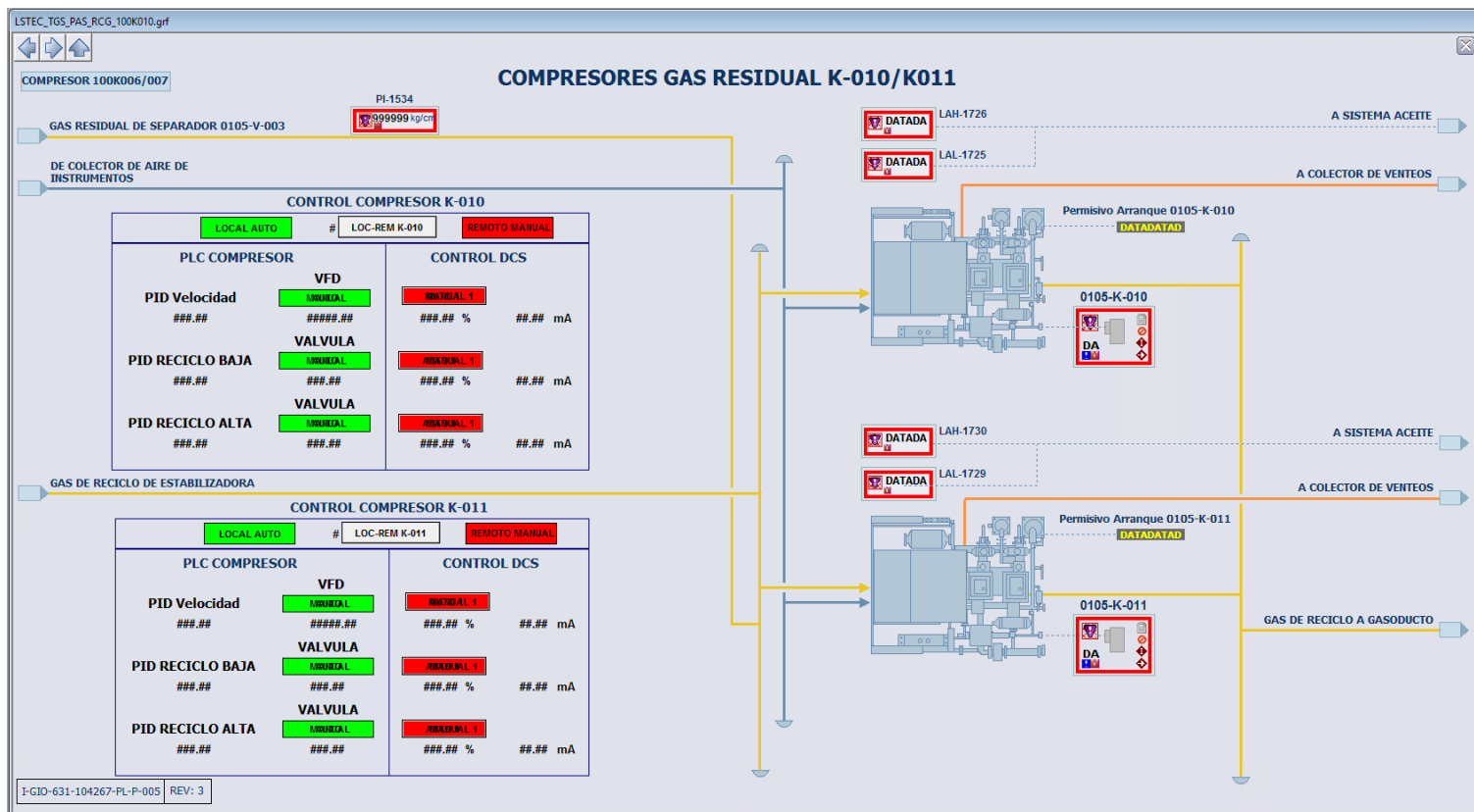


Figura C.8. Pantalla HMI Sistema de compresion de gas.

Apéndice D. Tablas de evaluación para especificaciones y verificación del DCS.

Tabla D.1. Evaluación de especificaciones

Especificación	Métrica	Valor	Resultado
1	Cantidad de señales que puede manejar el controlador	1500	Cumple
	Rúbrica	Condición	Resultado
2	División del sistema por celdas de proceso	Si	Cumple
2	División de módulos por clase	Si	Cumple
2	Friendly names (nombres en pantalla) acordes a diagramas	Si	Cumple
2	Nombre de módulo acorde a nomenclatura definida en la especificación de software	Si	Cumple
2	Descripciones claras para cada módulo	Si	Cumple
2	Asociación correcta de módulos a su celda de proceso	Si	Cumple
2	Módulos y celdas de proceso se integran coherentemente a la estructura de proceso	Si	Cumple
Calificación			100%
	Rúbrica		
3	Se encuentran todos los módulos asociados al proceso y al P&ID	Si	Cumple
3	Se encuentran todos los estáticos descritos en los P&ID	No	No cumple
3	La disposición de elementos en pantalla es clara y ordenada	Si	Cumple
3	Hay consistencia visual en términos de diseño y estilo entre las pantallas	Si	Cumple
3	La navegación es consistente con lo descrito en los P&ID	Si	Cumple
Calificación			80%

Tabla D.2. Evaluación de implementación de software

Número	Módulo	Nombre		Descripción		Escala y unidades			Alarmas			Clase asociada	
		Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail	N/A	Pass	Fail	N/A	Pass	Fail
1	LV-1500-FA												
2	LIC-1505-FA	✓		✓		✓					✓	✓	
3	TI-1449-FA	✓		✓		✓			✓			✓	
4	TI-1551-FA	✓		✓		✓					✓	✓	
5	PI-1665-FA	✓		✓		✓					✓	✓	
6	PIC-1555-FA	✓		✓		✓			✓			✓	
7	PIC-1352-FA	✓		✓		✓			✓			✓	
8	TI-1351-FA	✓		✓		✓			✓			✓	
9	FY-1372-FA	✓		✓		✓			✓			✓	
10	TI-1362-FA	✓		✓		✓			✓			✓	
11	LIC-1364-FA	✓		✓		✓					✓	✓	
12	TI-1360-FA	✓		✓		✓			✓			✓	
13	PI-1381-FA	✓		✓		✓			✓			✓	
14	PI-1534-FA	✓		✓		✓					✓	✓	
15	LAH-1726-FA	✓		✓		✓					✓	✓	
16	LAH-1730-FA	✓		✓				✓	✓			✓	
17	FIC-1593-FA	✓		✓				✓	✓			✓	
18	PAL-1633-FA	✓		✓		✓					✓	✓	
19	SCAB-21-FA	✓		✓				✓	✓			✓	
20	HXSM-BLW-24-1-FA	✓		✓				✓			✓	✓	
21	HXSM-023A-FA	✓		✓				✓			✓	✓	
22	HXSM-023B-FA	✓		✓				✓			✓	✓	
23	LAL-22-1-FA	✓		✓				✓			✓	✓	
24	HXSM-023-FA	✓		✓				✓	✓			✓	
25	TI-21-3-FA	✓		✓				✓			✓	✓	
26	TI-21-1-FA	✓		✓		✓					✓	✓	
27	TISH-21-3-FA	✓		✓		✓					✓	✓	
28	SP-21-1-FA	✓		✓				✓			✓	✓	
29	HXSM-010-FA	✓		✓		✓					✓	✓	
30	HXSM-011-FA	✓		✓				✓			✓	✓	
31	LOC_REM_010-FA	✓		✓				✓			✓	✓	
32	LOC_REM_011-FA	✓		✓				✓			✓	✓	
33	CVM-010-FA	✓		✓				✓			✓	✓	
34	CVM-011-FA	✓		✓		✓					✓	✓	
35	100-SCP-010-FA	✓		✓		✓					✓	✓	
36	100-SCP-011-FA	✓		✓		✓					✓	✓	

37	101-SPC-010-FA	✓		✓		✓					✓	✓	
38	101-SPC-011-FA	✓		✓		✓					✓	✓	
39	LI-1562-FA	✓		✓		✓					✓	✓	
40	HXSM-001-FA	✓		✓		✓			✓			✓	
41	HXSM-105A-FA	✓		✓				✓			✓	✓	
42	HXSM-105B-FA	✓		✓				✓			✓	✓	
43	LAL-1729-FA	✓		✓				✓			✓	✓	
44	LAL-1725-FA	✓		✓				✓	✓			✓	
45	SV-1740-FA	✓		✓				✓	✓			✓	
46	SV-1739-FA	✓		✓				✓			✓	✓	
47	SV-1738-FA	✓		✓				✓			✓	✓	
48	SV-1737-FA	✓		✓				✓			✓	✓	
49	SV-1736-FA	✓		✓				✓			✓	✓	
50	SV-1735-FA	✓		✓				✓			✓	✓	
51	PDI-1677-FA	✓		✓				✓			✓	✓	
52	LIC-1679-FA	✓		✓		✓			✓			✓	
53	LIC-1678-FA	✓		✓		✓			✓			✓	

Tabla D.3. Evaluación de configuración de entradas y salidas

Número	DST	Asignación de canal		Habilitación de canal		Clase de CHARM		Tipo de CHARM		Función de CHARM		
		Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail	
1	LY-1500											
2	LV-1500	✓		✓		✓		✓		✓		
3	LY-1505	✓		✓		✓		✓		✓		
4	LI-1505	✓		✓		✓		✓		✓		
5	TI-1551	✓		✓		✓		✓		✓		
6	TI-1449	✓		✓		✓		✓		✓		
7	PIT-1665	✓		✓		✓		✓		✓		
8	PI-1555	✓		✓		✓		✓		✓		
9	PI-1555A	✓		✓		✓		✓		✓		
10	PI-1555B	✓		✓		✓		✓		✓		
11	PIT-1352	✓		✓		✓		✓		✓		

12	PIC-1352B	✓		✓		✓		✓		✓	
13	PIC-1352A	✓		✓		✓		✓		✓	
14	0105-5-TIT-1351-E5	✓		✓		✓		✓		✓	
15	FY-1372	✓		✓		✓		✓		✓	
16	TI-1372	✓		✓		✓		✓		✓	
17	FIC-1372	✓		✓		✓		✓		✓	
18	TI-1362	✓		✓		✓		✓		✓	
19	LY-1364	✓		✓		✓		✓		✓	
20	LI-1364	✓		✓		✓		✓		✓	
21	TI-1360	✓		✓		✓		✓		✓	
22	PI-1381	✓		✓		✓		✓		✓	
23	PIT-1534	✓		✓		✓		✓		✓	
24	LSH-1726	✓		✓		✓		✓		✓	
25	LSL-1729	✓		✓		✓		✓		✓	
26	LSL-1725	✓		✓		✓		✓		✓	
27	LSH-1730	✓		✓		✓		✓		✓	
28	PDIT-1677	✓		✓		✓		✓		✓	
29	LIT-1679	✓		✓		✓		✓		✓	
30	LY-1679	✓		✓		✓		✓		✓	
31	LIT-1678	✓		✓		✓		✓		✓	
32	LY-1678	✓		✓		✓		✓		✓	
33	FIT-1593	✓		✓		✓		✓		✓	
34	FY-1593	✓		✓		✓		✓		✓	
35	PAL-1633	✓		✓		✓		✓		✓	
36	XA-1634	✓		✓		✓		✓		✓	
37	XI-1635	✓		✓		✓		✓		✓	

38	XI-1636	✓		✓		✓		✓		✓	
39	XI-1637	✓		✓		✓		✓		✓	
40	XI-1638	✓		✓		✓		✓		✓	
41	XSP-BLW-24-1	✓		✓		✓		✓		✓	
42	XSM-BLW-24-1	✓		✓		✓		✓		✓	
43	XSP-PM-003A	✓		✓		✓		✓		✓	
44	XA-PM-003A	✓		✓		✓		✓		✓	
45	XSM-PM-003A	✓		✓		✓		✓		✓	
46	XA-PM-003B	✓		✓		✓		✓		✓	
47	XSP-PM-003B	✓		✓		✓		✓		✓	
48	XSM-PM-003B	✓		✓		✓		✓		✓	
49	XI-1639	✓		✓		✓		✓		✓	
50	XI-1640	✓		✓		✓		✓		✓	
51	XI-1641	✓		✓		✓		✓		✓	
52	XS-1643	✓		✓		✓		✓		✓	
53	5-LSL-22-1-E5	✓		✓		✓		✓		✓	
54	5-SCAB-21-E5	✓		✓		✓		✓		✓	
55	XA-022	✓		✓		✓		✓		✓	
56	5-TISH-21-3	✓		✓		✓		✓		✓	
57	5-TI-21-3	✓		✓		✓		✓		✓	
58	5-TI-21-1	✓		✓		✓		✓		✓	
59	SP-21-1	✓		✓		✓		✓		✓	
60	LI-1562	✓		✓		✓		✓		✓	
61	UE-0705P001	✓		✓		✓		✓		✓	
62	UF-0705P001	✓		✓		✓		✓		✓	
63	UAM-0705P001	✓		✓		✓		✓		✓	

64	UC-0705P001/OFF	✓		✓		✓		✓		✓	
65	UC-0705P001/ON	✓		✓		✓		✓		✓	
66	UE-0105P105A	✓		✓		✓		✓		✓	
67	UF-0105P105A	✓		✓		✓		✓		✓	
68	UAM-0105P105A	✓		✓		✓		✓		✓	
69	UC-0105P105A / ON	✓		✓		✓		✓		✓	
70	UE-0105P105B	✓		✓		✓		✓		✓	
71	UF-0105P105B	✓		✓		✓		✓		✓	
72	UAM-0105P105B	✓		✓		✓		✓		✓	
73	UC-0105P105B/ON	✓		✓		✓		✓		✓	
74	SV-1740	✓		✓		✓		✓		✓	
75	SV-1739	✓		✓		✓		✓		✓	
76	SV-1738	✓		✓		✓		✓		✓	
77	SV-1737	✓		✓		✓		✓		✓	
78	SV1736	✓		✓		✓		✓		✓	
79	SV-1735	✓		✓		✓		✓		✓	
80	UC-0105P105A/OFF	✓		✓		✓		✓		✓	
81	UC-0105P105B/OFF	✓		✓		✓		✓		✓	
82	3510-3-XSM-010	✓		✓		✓		✓		✓	
83	4510-3-XSM-011	✓		✓		✓		✓		✓	
84	3510-3-XSP-010	✓		✓		✓		✓		✓	
85	4510-3-XSP-011	✓		✓		✓		✓		✓	
86	3510-ML-MR-010	✓		✓		✓		✓		✓	
87	4510-ML-MR-011	✓		✓		✓		✓		✓	
88	3510-3-YA-010	✓		✓		✓		✓		✓	
89	4510-3-YA-011	✓		✓		✓		✓		✓	

90	3510-3-YM-010	✓		✓		✓		✓		✓	
91	4510-3-YM-011	✓		✓		✓		✓		✓	
92	3510-CVM-010	✓		✓		✓		✓		✓	
93	4510-CVM-010	✓		✓		✓		✓		✓	
94	3510-SCP-010	✓		✓		✓		✓		✓	
95	4510-SCP-010	✓		✓		✓		✓		✓	
96	3511-SCP-010	✓		✓		✓		✓		✓	

Tabla D.4. Evaluación para gráfico de “Planta estabilizadora”

HMI		Verificación de estáticos		Navegación		Visualización de módulos		
Planta Estabilizadora		Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail	
		✓		✓		✓		
		Datos y faceplate		Simulación de lazo		Alarmas		
Número	Módulos	Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail	N/A
1	LIC-1505-FA	✓		✓		✓		
2	TI-1551-FA	✓		✓				✓
3	TI-1449-FA	✓		✓				✓
4	PI-1665-FA	✓		✓		✓		
5	PIC-1555-FA	✓		✓		✓		
6	PIC-1352-FA	✓		✓		✓		
7	TI-1351-FA	✓		✓		✓		
8	FY-1372-FA	✓		✓		✓		
9	TI-1362-FA	✓		✓				✓
10	LIC-1364-FA	✓		✓		✓		
11	TI-1360-FA	✓		✓		✓		
12	PI-1381-FA	✓		✓				✓

Tabla D.5. Evaluación para gráfico de “Filtro Coalescente”

HMI		Verificación de estáticos		Navegación		Visualización de módulos		
Filtro Coalescente		Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail	
		✓		✓		✓		
		Datos y faceplate		Simulación de lazo		Alarmas		
Número	Módulos	Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail	N/A
1	PDI-1677-FA	✓		✓		✓		
2	LIC-1679-FA	✓		✓		✓		
3	LIC-1678-FA	✓		✓		✓		

Tabla D.6. Evaluación para gráfico de “Sistema de drenajes abiertos”

HMI		Verificación de estáticos		Navegación		Visualización de módulos		
Sistema de drenajes abiertos		Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail	
		✓		✓		✓		
		Datos y faceplate		Simulación de lazo		Alarmas		
Número	Módulos	Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail	N/A
1	LI-1562-FA	✓		✓		✓		
2	HXSM-001-FA	✓		✓				✓

Tabla D.7. Evaluación para gráfico de “Sistema de lubricación forzada”

HMI		Verificación de estáticos		Navegación		Visualización de módulos		
Sistema de lubricación forzada		Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail	
		✓		✓		✓		
		Datos y faceplate		Simulación de lazo		Alarmas		
Número	Módulos	Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail	N/A
1	HXSM-105A-FA	✓		✓				✓
2	HXSM-105B-FA	✓		✓				✓
3	LAL-1729-FA	✓		✓				✓
4	LAL-1725-FA	✓		✓				✓
5	LAH-1726-FA	✓		✓				✓
6	LAH-1730-FA	✓		✓				✓
7	SV-1740-FA	✓		✓				✓
8	SV-1739-FA	✓		✓				✓
9	SV-1738-FA	✓		✓				✓
10	SV-1737-FA	✓		✓				✓
11	SV-1736-FA	✓		✓				✓
12	SV-1735-FA	✓		✓				✓

Tabla D.8. Evaluación para gráfico de “Slug Catcher”

HMI		Verificación de estáticos		Navegación		Visualización de módulos		
Slug Catcher		Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail	
		✓		✓		✓		
		Datos y faceplate		Simulación de lazo		Alarmas		
Número	Módulos	Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail	N/A
1	LV-1500-FA	✓		✓		✓		

Tabla D.9. Evaluación para gráfico de “Hot Oil (paquetizado)”

HMI		Verificación de estáticos		Navegación		Visualización de módulos		
Sistema Hot Oil (Paquetizado)		Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail	
		✓		✓		✓		
		Datos y faceplate		Simulación de lazo		Alarmas		
Número	Módulos	Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail	N/A
1	FIC-1593-FA	✓		✓				✓
2	HXSM-BLW-24-1-FA	✓		✓				✓
3	HXSM-023A-FA	✓		✓				✓
4	HXSM-023B-FA	✓		✓				✓
5	HXSM-023-FA	✓		✓				✓
6	TI-21-1-FA	✓		✓				✓
7	TISH-21-3-FA	✓		✓				✓

Tabla D.10. Evaluación para gráfico de “Hot Oil”

HMI		Verificación de estáticos		Navegación		Visualización de módulos		
Sistema Hot Oil		Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail	
		✓		✓		✓		
		Datos y faceplate		Simulación de lazo		Alarmas		
Número	Módulos	Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail	N/A
1	FIC-1593-FA	✓		✓				✓
2	PAL-1633-FA	✓		✓				✓
3	SP-21-1-FA	✓		✓				✓
4	HXSM-BLW-24-1-FA	✓		✓				✓
5	HXSM-023A-FA	✓		✓				✓
6	HXSM-023B-FA	✓		✓				✓
7	LAL-22-1-FA	✓		✓				✓
8	HXSM-023-FA	✓		✓				✓
9	TI-21-3-FA	✓		✓				✓
10	TI-21-3-FA	✓		✓				✓
11	SCAB-21-FA	✓		✓				✓

Tabla D.11. Evaluación para gráfico de “Sistema de compresión de gas”

HMI		Verificación de estáticos		Navegación		Visualización de módulos		
Sistema de compresión de gas		Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail	
		✓		✓		✓		
		Datos y faceplate		Simulación de lazo		Alarmas		
Número	Módulos	Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail	N/A
1	PI-1534-FA	✓		✓		✓		
2	LAL-1729-FA	✓		✓		✓		
3	LAL-1725-FA	✓		✓		✓		
4	LAH-1726-FA	✓		✓		✓		
5	LAH-1730-FA	✓		✓		✓		
6	HXSM-010-FA	✓		✓		✓		
7	HXSM-011-FA	✓		✓		✓		
8	LOC_REM_010-FA	✓		✓		✓		
9	LOC_REM_011-FA	✓		✓		✓		
10	CVM-010-FA	✓		✓		✓		
11	CVM-011-FA	✓		✓		✓		
12	100-SCP-010-FA	✓		✓		✓		
13	100-SCP-011-FA	✓		✓		✓		
14	101-SPC-010-FA	✓		✓		✓		
15	101-SPC-011-FA	✓		✓		✓		

Apéndice E. Códigos de Matlab para la implementación del controlador PID.

```
% Parámetros del tanque
A = 1;          % Área del tanque (m^2)
Qin = 1;       % Caudal de entrada inicial (m^3/s)
Cv = 0.5;      % Coeficiente de descarga de la válvula (m^3/s/m)

% Inicialización
H0 = 4;        % Nivel inicial del tanque (m)
tspan = [0 50]; % Tiempo de simulación (s)

% Setpoint deseado del nivel del tanque
Setpoint = 2.5; % (m)

% Ecuación diferencial del nivel del tanque con escalón
odefun = @(t, H) tank_model_with_step(t, H, Qin, Cv, A);

% Resolver la ecuación diferencial
[t, H] = ode45(odefun, tspan, H0);

% Función del modelo del tanque con escalón
function dHdt = tank_model_with_step(t, H, Qin, Cv, A)
    % Aplicar el escalón en el segundo 25
    if t >= 25
        Qin = 1.2; % Nuevo valor del caudal de entrada
    end
    Qout = Cv * H;
    dHdt = (Qin - Qout) / A;
end

% Gráfica
figure;
plot(t, H, 'b', 'LineWidth', 1);
hold on;
plot(t, Setpoint * ones(size(t)), 'r--', 'LineWidth', 1);
title('Simulación del Nivel del Tanque sin Control PID con Perturbación de Escalón');
xlabel('Tiempo (s)');
ylabel('Nivel del Tanque (m)');
grid on;
legend('Nivel del Tanque', 'Setpoint');
```

Figura E.1. Código para el modelado teórico del tanque

```

% Parámetros del controlador PID
Kp = 1;      % Ganancia proporcional
Ti = 1000;   % Tiempo de reset (s)
Td = 0;      % Tiempo derivativo (s)

% Convertir los parámetros a las ganancias del controlador PID
Ki = Kp / Ti;
Kd = Kp * Td;

% Setpoint deseado del nivel del tanque
Setpoint = 2.3; % (m)

% Inicialización
H0 = 3;      % Nivel inicial del tanque (m)
tspan = [0 100]; % Tiempo de simulación (s)

% Variables para almacenar el error integral y el último error
error_integral = 0;
last_error = 0;

% Ecuación diferencial del nivel del tanque con control PID
odefun = @(t, H) pid_control(t, H, Kp, Ki, Kd, Setpoint, Qin, Cv, A);

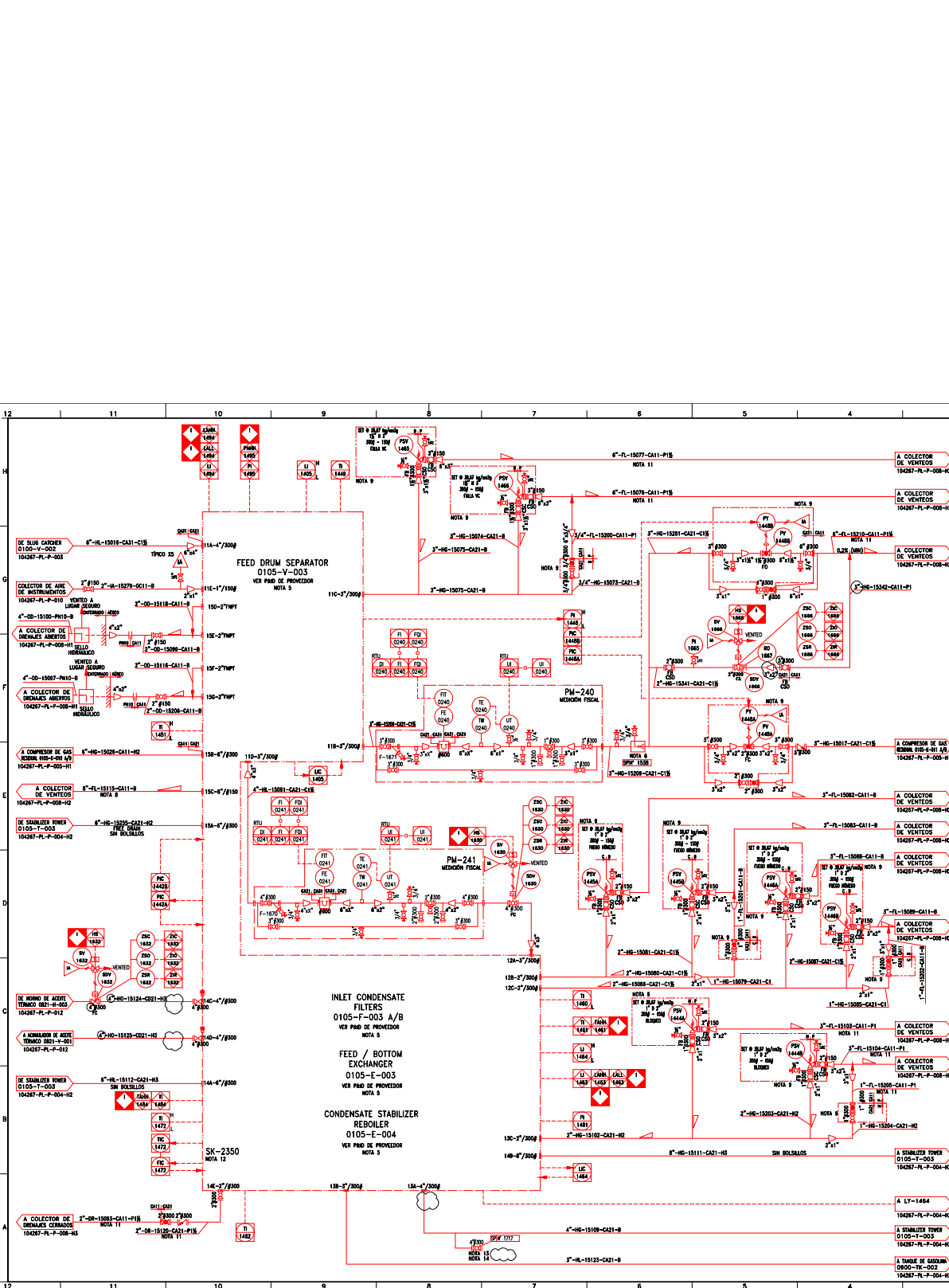
% Resolver la ecuación diferencial
[t, H] = ode45(odefun, tspan, H0);

% Función de control PID
function dHdt = pid_control(t, H, Kp, Ki, Kd, Setpoint, Qin, Cv, A)
    persistent error_integral last_error
    if isempty(error_integral)
        error_integral = 0;
        last_error = 0;
    end
end

```

Figura E.2. Código para la implementación del control PID.

Anexo 1. Planos P&ID en los que se basan las pantallas HMI.



- NOTAS:**
1. LOS NÚMEROS DE DOCUMENTO QUE FIGURAN EN LOS CONECTORES DE LOS PAÍDOS VAN PRECEDIDOS POR "1-010-831-".
 2. SE DEBE ANTERIORER EL NÚMERO DE LA UNIDAD 0105-B-A A LOS NÚMEROS DE TODOS LOS INSTRUMENTOS DE ESTE DIAGRAMA, ADemás, SE DEBE AGREGAR EL SURTID O A TODOS LOS INSTRUMENTOS Y SEÑALES PROVENIENTES DE LA UNIDAD DE ESTABILIZACIÓN.
 3. ELIMINADO.
 4. SE HA CONSIDERADO QUE EL PROVEEDOR DEL MÓDULO DEBEAR UNA CONEXIÓN A LÍMITE DE SKID PARA CONECTAR LOS DRENAJES ABIERTOS Y CERRADOS.
 5. NÚMERO DE DOCUMENTO A CONFIRMAR POR PROVEEDOR.
 6. CONEXIÓN PARA INYECCIÓN DE INHIBIDOR DE HIBRATOS.
 7. INFORMACIÓN DE EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y SEÑALES DEL SKID A SER CONFIRMADOS CON LA INGENIERÍA DE LA PROVISIÓN.
 8. PREVISTO POR EL PROVEEDOR DE LA UNIDAD DE ESTABILIZACIÓN, A SER MONTADO POR EL CONTRATISTA DEL EPC.
 9. DIMENSIONAMIENTO DE LÍNEAS DE SISTEMA DE VENTOS A SER CALCULADA UNA VEZ RECIBIDA LA INFORMACIÓN DEL SISTEMA POR PARTE DE TOS.
 10. LÍNEA AISLADA POR PROTECCIÓN PERSONAL. EN TODOS LOS TRAMOS QUE SE ENCUENTREN A MENOS DE 2 METROS DE ALTURA DEL PISO Y/O A MENOS DE 2 METROS DE DISTANCIA DE UNA PLATAFORMA.
 11. SKID PREVISTO POR TOS.
 12. VÁLVULA PARA POSIBLE CONEXIÓN FUTURA DE CONDENSADOS DE UNIDAD DE AGROMOSAMIENTO/PROCEDIMIENTO MÓDULO 2.
 13. VÁLVULA MANUAL CON FINALES DE CARRERA. VER DETALLE 4 EN DOCUMENTO 1-010-831-104267-PL-P-002 - PAÍD DE SIMBOLOGÍA.
 14. ELIMINADO.

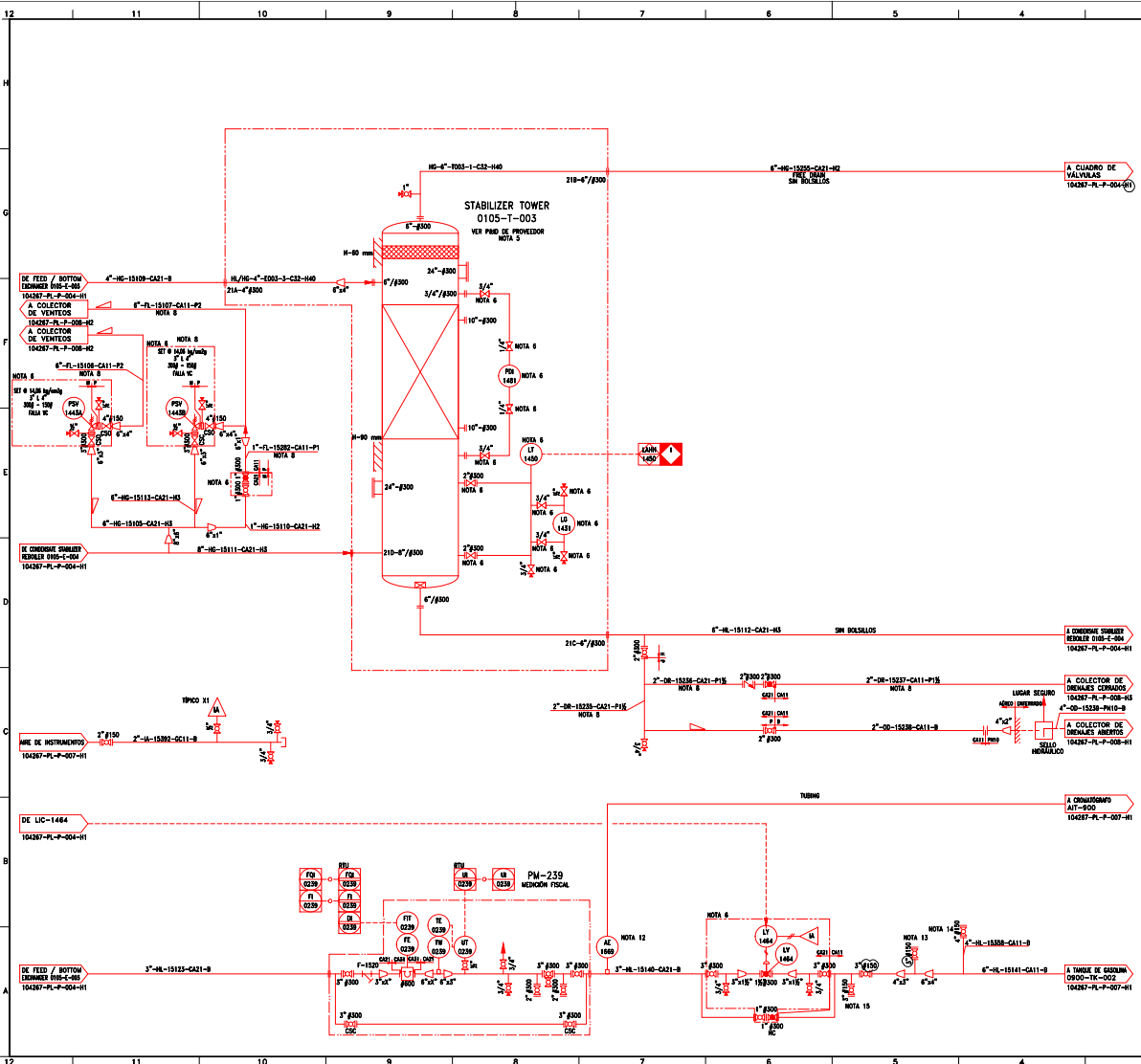
DOCUMENTOS DE REFERENCIA:

1. 1-010-831-104140-PL-P-002 Rev 1_A0 : STABILIZER SYSTEM.

- REFERENCIAS:**
- INSTALACIONES EXISTENTES
 - INSTALACIONES NUEVAS
 - PLANTAS DE PROVISIÓN (H1)
 - LÍMITE DE PROVISIÓN POR TOS
 - LÍMITE DE SKID
- DRENAJE ABIERTO
 DRENAJE CERRADO
 ANTORCHA
 AIRE DE INSTRUMENTOS

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
1	26/10/23	EMISIÓN PARA APROBACIÓN	SSO	FTL	FTL
2	15/09/23	EMISIÓN PARA APROBACIÓN	SSO	LIC	LIC
3	14/09/23	EMISIÓN PARA APROBACIÓN	SSO	LIC	LIC
4	01/09/23	EMISIÓN PARA APROBACIÓN	SSO	LIC	LIC

		DIRECCIÓN DE OPERACIONES GERENCIA DE INGENIERÍA Y OBRAS			
		LUGAR:	TRATAMIENTO DE AGUA	TÍTULO:	PAÍD INTERCONEXIÓN PLANTA ESTABILIZADORA
		OBRA:	IS AMPLIACIÓN INSTALACIONES DETRÁS Y SALIDA DE PLANTA TRATAMIENTO	FECHA:	26/10/23
REV.:	FECHA:	DESCRIPCIÓN:	ELABORÓ:	REVISÓ:	APROBÓ:



EQUIPOS:

TAG		0105-T-003	
Equipo	STABILIZER TOWER		
Dámetro Interno	914 mm (36")		
Altura	9144 mm (300')		
P Densidad	14,07 kg/cm ³ (g) / FY		
T Diseño	-29,9 °C / 232 °C		
NOTA 3			

- NOTAS:**
- LOS NÚMEROS DE DOCUMENTO QUE FIGURAN EN LOS CONECTORES DE LOS PABOS VAN PRECEDIDOS POR "T-GO-831-".
 - SE DEBE ANTERIORER EL NÚMERO DE LA UNIDAD 0108-S- Y AGREGAR EL SUFJIO ES A LOS NÚMEROS DE TODOS LOS INSTRUMENTOS DE ESTE DIAGRAMA.
 - CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS A SER CONFIRMADAS POR PROVEEDOR.
 - ELIMINADA.
 - ELIMINADA.
 - PROVISTO POR EL PROVEEDOR DE LA UNIDAD DE ESTABILIZACIÓN, A SER MONITOREADO POR EL CONTRATISTA DEL EPIC.
 - DIMENSIONAMIENTO DE LINEAS DE SISTEMA DE VENTOSAS A SER CALCULADA UNA VEZ RECIBIDA LA INFORMACIÓN DEL SISTEMA POR PARTE DE TQS.
 - LÍNEA AJUZADA POR PROTECCIÓN PERSONAL EN TODOS LOS TRAMOS QUE SE ENCUENTREN A MENOS DE 2 METROS DE ALTURA DEL PISO Y/O A MENOS DE 2 METROS DE DISTANCIA DE UNA PLATAFORMA.
 - ELIMINADA.
 - ELIMINADA.
 - MOUESTRA CON DESTINO AL CROMATOGRAFO AIR-900.
 - ELIMINADA.
 - VALVULA PREVISTA PARA FUTURA INTERCONEXIÓN CON UNIDADES DE ESTABILIZACIÓN EXISTENTES.
 - VALVULA PREVISTA PARA FUTURA INTERCONEXIÓN CON UNIDADES DE ESTABILIZACIÓN FUTURAS.
 - VALVULA PREVISTA PARA FUTURA INTERCONEXIÓN CON TANQUE SLOP 0500-TC-005.
 - PROVISTO POR TQS.

- DOCUMENTOS DE REFERENCIA:**
- I-GO-831-104140-PL-P-004 Rev 1_A : STABILIZER TOWER.

- REFERENCIAS:**
- INSTALACIONES EXISTENTES
 - INSTALACIONES NUEVAS
 - INSTALACIONES DE ETAPA 2 DE PRIMERA PLANTA DE PROCESAMIENTO
 - LÍMITE DE PROVISIÓN POR TQS
 - LÍMITE DE SKID
- DRENAJE ABIERTO
 DRENAJE CERRADO
 ANTORCHA
 AIRE DE INSTRUMENTOS

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORADO	REVISADO	APROBADO
1	26/10/23	EMISIÓN PARA APROBACIÓN	SSO	ITL	ITL
2	18/09/23	EMISIÓN PARA APROBACIÓN	SSO	LIE	LIE
3	14/09/23	EMISIÓN PARA APROBACIÓN	SSO	LIE	LIE
4	01/09/23	EMISIÓN PARA APROBACIÓN	SSO	LIE	LIE

tgs DIRECCIÓN DE OPERACIONES
 GERENCIA DE INGENIERÍA Y OBRAS

LUGAR: TRATAMEN PABO DE NEUVIGEN
 OBRA: 18 AMPLIACIÓN INSTALACIONES DEBARRA Y SALIDA DE PLANTA TRATAMEN

SPARK

TÍTULO: PABO INTERCONEXIÓN PLANTA ESTABILIZADORA
 FECHA: 26/10/23
 OBRAS: 104.267
 ESCALA: S/E
 HOJA: 2 de 2
 DOCUMENTO: I-GO-831-104267-PL-P-004
 REVISIÓN: 3

**0105-V-004
DRUM SEPARATOR**

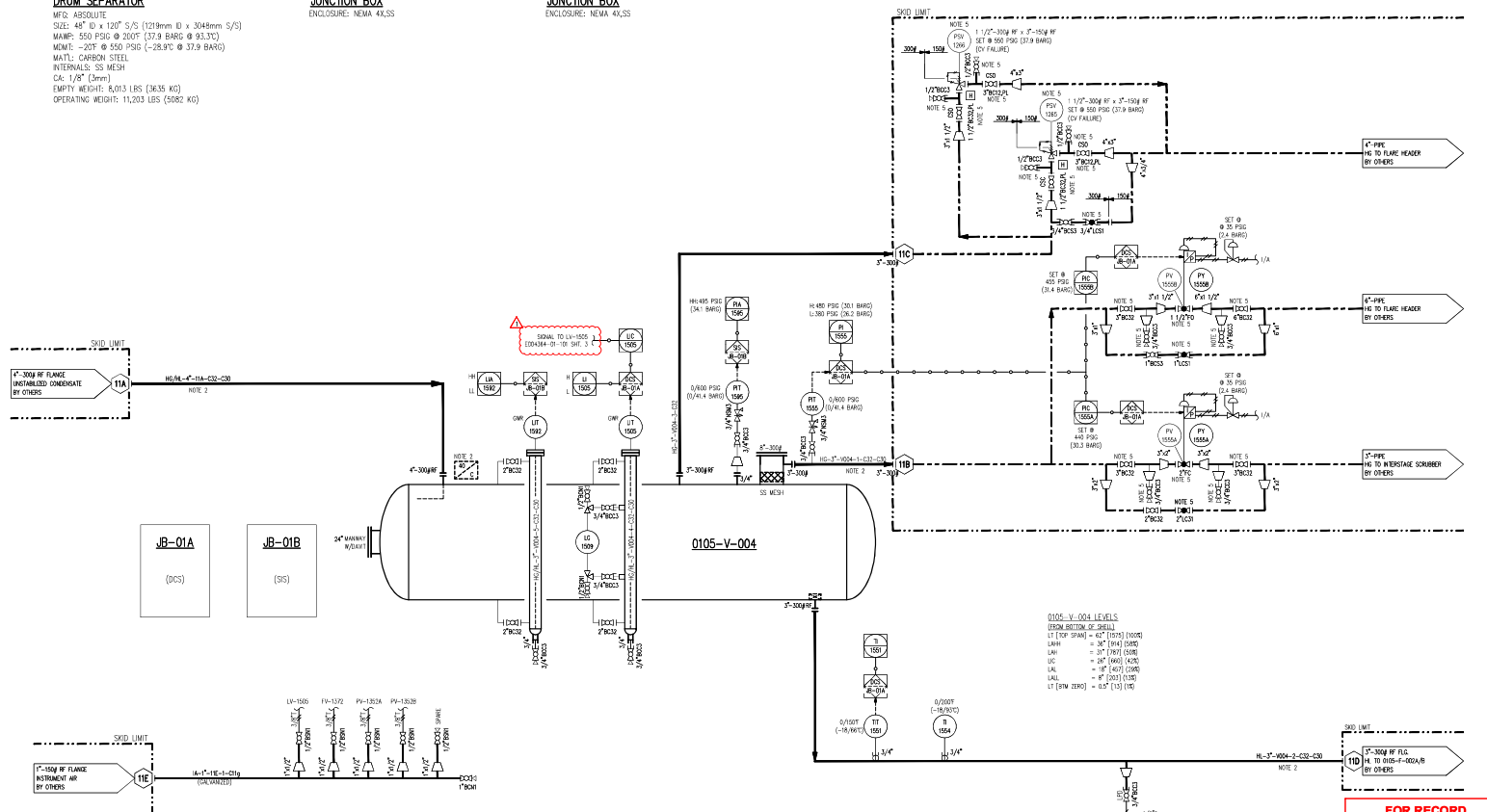
MFG: ABSOLUTE
 SIZE: 48" ID x 120" S/S (1219mm ID x 3048mm S/S)
 NAME: 550 PSIG @ 200°F (37.9 BARG @ 93.3°C)
 MOUNT: -20°F @ 550 PSIG (-28.9°C @ 37.9 BARG)
 MTL: CARBON STEEL
 INTERNALS: SS MESH
 CA: 1/8" (3mm)
 EMPTY WEIGHT: 6,013 LBS (2635 KG)
 OPERATING WEIGHT: 11,203 LBS (5082 KG)

**JB-01A
JUNCTION BOX**

ENCLOSURE: NEMA 4X,SS

**JB-01B
JUNCTION BOX**

ENCLOSURE: NEMA 4X,SS



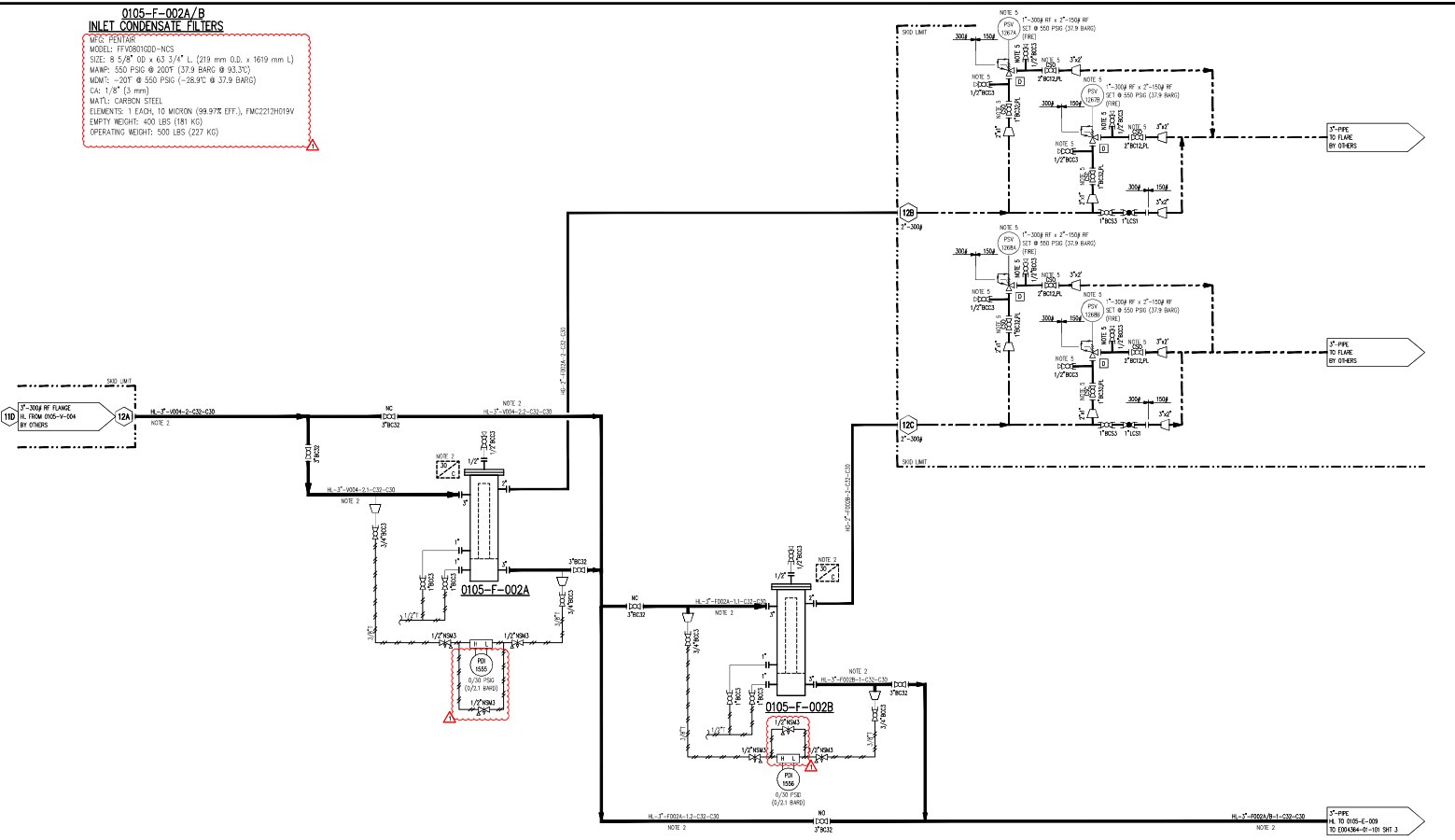
0105-V-004 LEVELS
 (FROM BOTTOM OF SHELL)
 LT (TOP SHIM) = 67" (1703) (100%)
 LWH = 36" (914) (50%)
 LHW = 31" (787) (42%)
 LC = 26" (660) (42%)
 LAL = 18" (457) (30%)
 LLL = 8" (203) (13%)
 LT (NEW ZERO) = 67" (1703) (100%)

- NOTES:**
1. VESSEL MEASUREMENTS ARE FROM THE BOTTOM SHELL (HORIZONTAL), OR BOTTOM SEAM (VERTICAL).
 2. PERSONNEL PROTECTION AND INSULATION BY OTHERS, THICKNESS IS IN MM.
 3. ALL INSTRUMENT TAG NUMBERS PRECEDED BY "0105-".
 4. ALL INSTRUMENT TAG NUMBERS HAVE SUFFIX "ES".
 5. SUPPLIED AND SHIPPED LOOSE BY ENERFLEX, INSTALLED BY OTHERS.

FOR RECORD
 CHANGES MAY EFFECT
 FINAL PRICE AND DELIVERY
 NAME: *[Signature]* DATE: 07/12/23

DATE	04/12/23	SCALE	NONE	 Transportadora de Gas del Sur S.A. TRATAMEN PROCESS PLANT	 Houston, Texas, USA	P & I DIAGRAM 4219 BPD EARLY CONDENSATE STABILIZER SYSTEM
DRAWN BY	BP	CHECKED BY	APPROVED BY			
PROJECT MANAGER	BP	PROJECT ENGINEER	DESIGNER	NOV	NOV	NOV
1 FOR RECORD	07/12/23	1 FOR APPROVAL	04/15/23	1-00-631-104267-0F-P-001	STOP	DATE
REV	DESCRIPTION	DATE	BY	APP	NOV	NOV

0105-F-002A/B
INLET CONDENSATE FILTERS
 MFC PENTAIR
 MODEL: FV950102D-NCS
 SIZE: 8 5/8" OD x 63 3/4" L (219 mm O.D. x 1619 mm L)
 MAMP: 550 PSIG @ 200F (37.9 BARG @ 93.3°C)
 MONT: -300T @ 550 PSIG (-26.0°C @ 37.9 BARG)
 CA: 1/8" (3 mm)
 MATL: CARBON STEEL
 ELEMENTS: 1 EACH: 10 MICRON (99.97% EFF.), FMC2212H019V
 EMPTY WEIGHT: 400 LBS (181 KG)
 OPERATING WEIGHT: 500 LBS (227 KG)



- NOTES:**
- ONE FILTER IN OPERATION, ONE FILTER IN STAND-BY.
 - PERSONNEL PROTECTION AND INSULATION BY OTHERS. THICKNESS IS IN mm.
 - ALL INSTRUMENT TAG NUMBERS PRECEDED BY "0105-".
 - ALL INSTRUMENT TAG NUMBERS HAVE SUFFIX "ES".
 - SUPPLIED AND SHIPPED LOOSE BY ENERFLEX, INSTALLED BY OTHERS.

FOR RECORD
 CHANGES MAY EFFECT
 FINAL PRICE AND DELIVERY
 NAME: J. Ponce DATE: 02/12/23

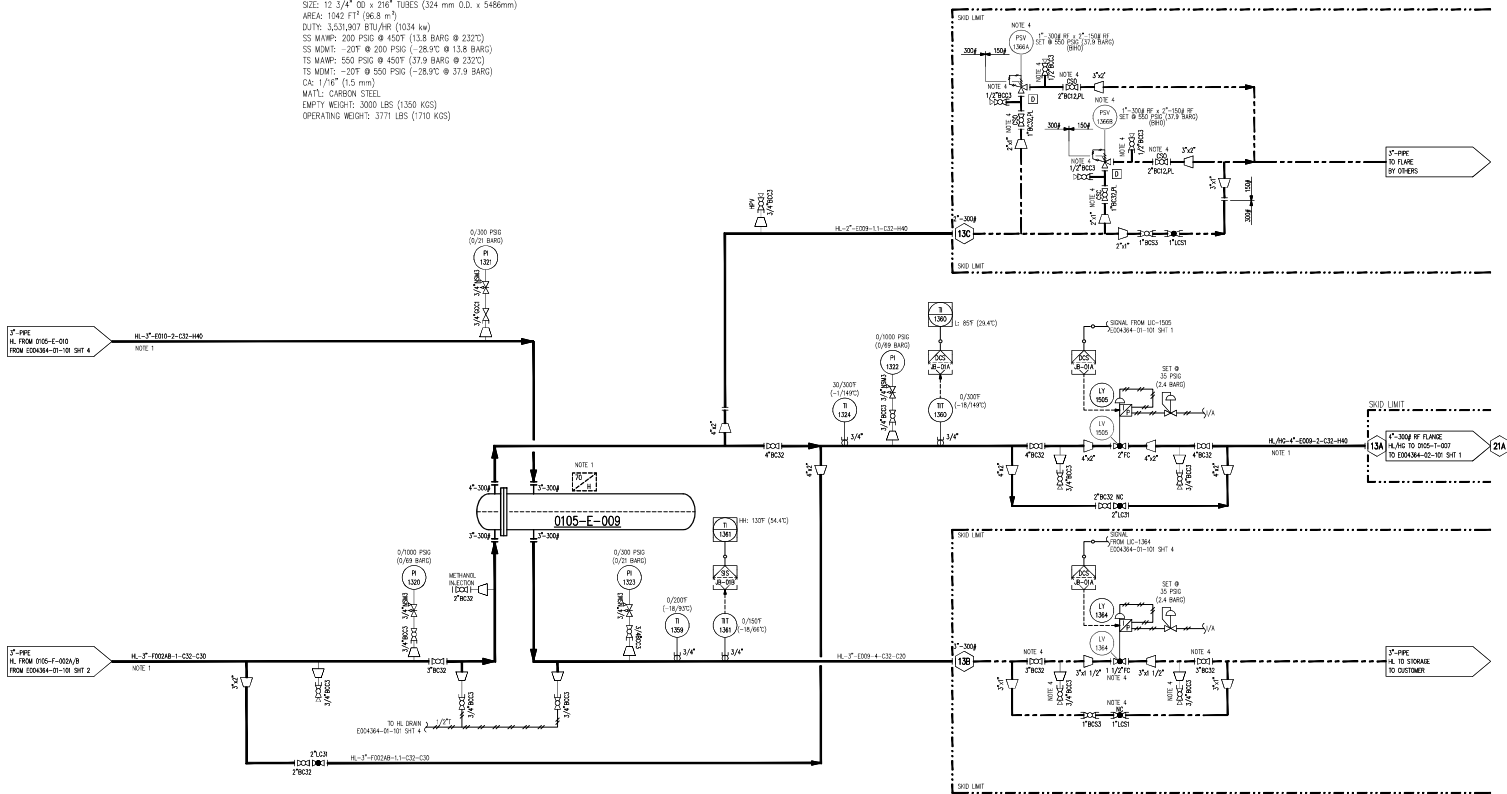
REV	DESCRIPTION	DATE	BY	APP
1	FOR RECORD	02/12/23	BP	JK
0	FOR APPROVAL	04/15/23	BP	JK

DATE	04/12/23	SCALE	NONE
DRAWN BY	B.Ponce	CHECKED BY	J. Ponce
PROJECT MANAGER	Alfonso	PROJECT ENGINEER	Alfonso
DIST PO	104267/P04500100039		
DIST DOC	1-00-631-104267-9F-P-001	STEP	0006

tgs
 Transportadora de Gas del Sur S.A.
 TRATAYEN PROCESS PLANT

ENERFLEX
 Houston, Texas,
 USA
 P & I DIAGRAM
 4219 BFD EARLY CONDENSATE
 STABILIZER SYSTEM
 SHEET NO: E004364-01-101
 SHEET: 2 OF 5
 REV: 1

0105-F-009
FEED/BOTTOMS EXCHANGER
 MFG: DELTA IBE
 TYPE: FBV/TMA C
 SIZE: 12 3/4" O.D. x 216" TUBES (324 mm O.D. x 5486mm)
 AREA: 1142 FT² (106.5 m²)
 DWTN: 3137.907 (711.446) (1034 kg)
 SS MWMT: 200 PSIG @ 450°F (13.8 BARG @ 232°C)
 SS MWMT: -20°F @ 200 PSIG (-28.9°C @ 13.8 BARG)
 TS MWMT: 550 PSIG @ 450°F (37.9 BARG @ 232°C)
 TS MWMT: -20°F @ 550 PSIG (-28.9°C @ 37.9 BARG)
 DA: 1/16" (1.5 mm)
 MATL: CARBON STEEL
 EMPTY WEIGHT: 3000 LBS (1360 KGS)
 OPERATING WEIGHT: 3771 LBS (1710 KGS)



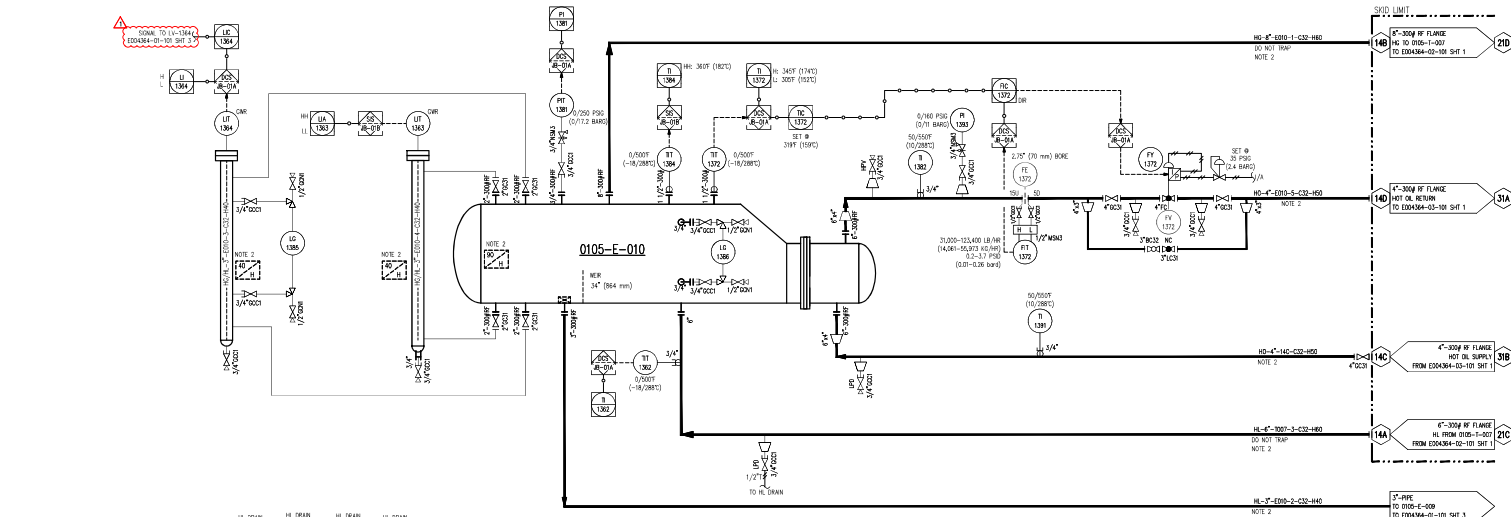
- NOTES:**
1. PERSONNEL PROTECTION AND INSULATION BY OTHERS. THICKNESS IS IN MM.
 2. ALL INSTRUMENT TAG NUMBERS PRECEDED BY "0105-F".
 3. ALL INSTRUMENT TAG NUMBERS HAVE SUFFIX "15".
 4. SUPPLIED AND SHIPPED LOOSE BY ENERFLEX, INSTALLED BY OTHERS.

FOR RECORD
 CHANGES MAY EFFECT
 FINAL PRICE AND DELIVERY
 NAME: J. P. P... DATE: 02/12/23

REV	DESCRIPTION	DATE	BY	APP	DATE	SCALE	NONE	DATE	04/12/23	SCALE	NONE	 Transportadora de Gas del Sur S.A. TRATAYEN PROCESS PLANT	 Houston, Texas, USA	P & I DIAGRAM 4219 BPD EARLY CONDENSATE STABILIZER SYSTEM			
1	FOR RECORD	07/12/23	BP	JK	04/12/23	BP	JK	DIST NO	104267/P04500/00039	DIST DOC	1-00-431-104267-0F-P-001				DWG NO	E004364-01-101	SHT

0105-E-010
STABILIZER REBOILER

WFS: WORLD WIDE EXCHANGERS
TYPE: BRUITEMA C
SIZE: 30/42" OD x 228" TUBES (762/1016 mm x 2315 mm)
AREA: 2334 FT² (217 m²)
DUTY: 3,607,680 BTU/Hr (1062 kW)
SS MAMP: 200 PSIG @ 450F (13.8 BARG @ 232C)
TS MDMT: -20F @ 200 PSIG (-28.9C @ 13.8 BARG)
TS MAMP: 200 PSIG @ 450F (13.8 BARG @ 232C)
TS MDMT: -20F @ 200 PSIG (-28.9C @ 13.8 BARG)
CA: 1/8" (1.5 mm)
MNT: CARBON STEEL
EMPTY WEIGHT: 14,000 LBS (6,350 KGS)
OPERATING WEIGHT: 23,500 LBS (10,659 KGS)



0105-E-010 LEVELS

FROM BOTTOM OF SHELL

LL (TOP SPAN)	= 34" (864.000)
LAR	= 34" (864.036)
LAR	= 27" (686.026)
LAR	= 27" (686.036)
LAL	= 18" (457.000)
LAL	= 0" (0.000) TIE
LI (BVM ZERO)	= 0" (0) 0"

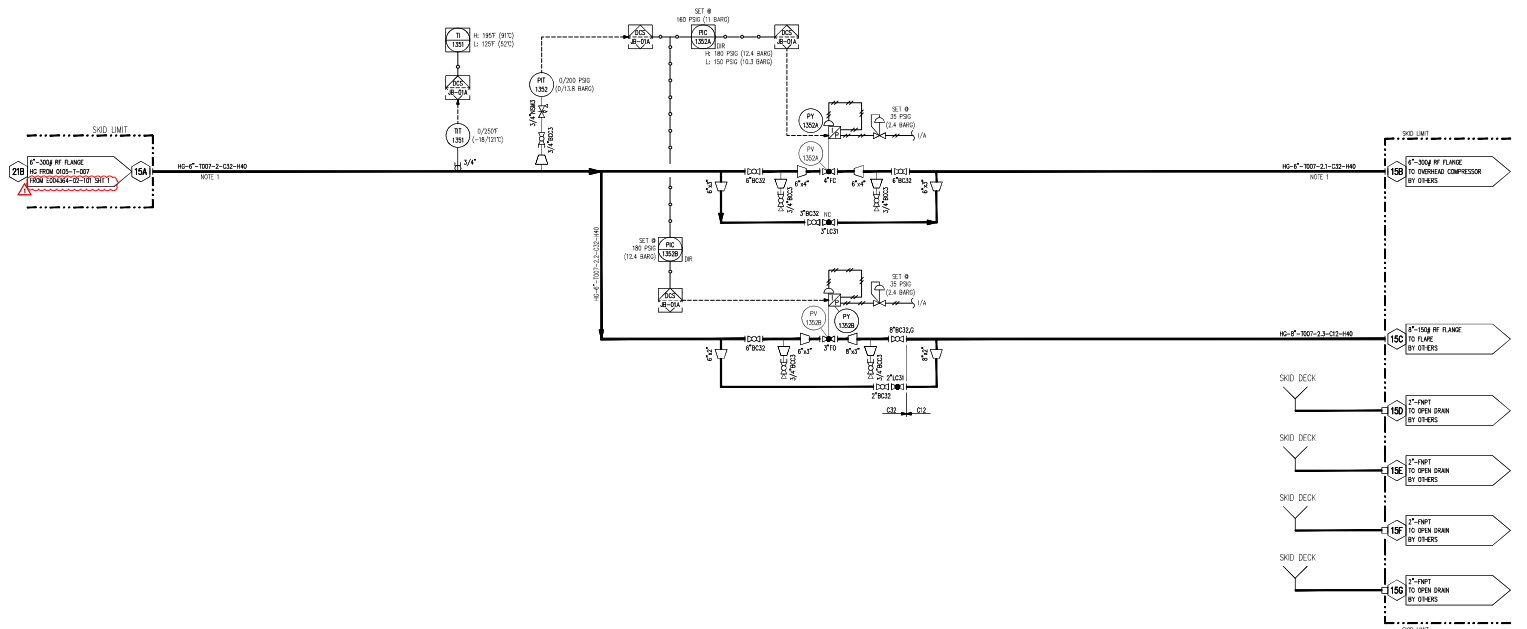
- NOTES:**
1. VESSEL MEASUREMENTS ARE FROM THE BOTTOM SHELL (HORIZONTAL), OR BOTTOM SEAM (VERTICAL).
 2. PERSONNEL PROTECTION AND INSULATION BY OTHERS. THICKNESS IS IN MM.
 3. ALL INSTRUMENT TAG NUMBERS PRECEDED BY "0105-5".
 4. ALL INSTRUMENT TAG NUMBERS HAVE SUFFIX "ES".

FOR RECORD
CHANGES MAY EFFECT
FINAL PRICE AND DELIVERY
NAME: **J. P. Jones** DATE: **07/12/23**

DATE	04/12/23	SCALE	NONE
DRAWN BY	9/2000	DESIGNED BY	J. P. Jones
PROJECT MANAGER	4/2000	PROJECT ENGINEER	J. P. Jones
REV	DESCRIPTION	DATE	BY
1	FOR RECORD	07/12/23	BP JK
0	FOR APPROVAL	04/15/23	BP JK
REV	DESCRIPTION	DATE	BY

tgs Transportador de Gas del Sur S.A. TRATAYEN PROCESS PLANT	ENERFLEX Houston, Texas, USA	P & I DIAGRAM 4219 BFD EARLY CONDENSATE STABILIZER SYSTEM
NO. E004364-01-101	SHT 4 OF 5	REV 1

ALL INFORMATION CONTAINED HEREIN IS THE PROPERTY OF ENERFLEX. IT IS TO BE USED ONLY FOR THE PROJECT AND NOT BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR MECHANICAL, INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING, OR BY ANY INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM.



- NOTES:**
1. PERSONNEL PROTECTION AND INSULATION BY OTHERS. THICKNESS IS IN mm.
 2. ALL INSTRUMENT TAG NUMBERS PRECEDED BY "0106-5".
 3. ALL INSTRUMENT TAG NUMBERS HAVE SUFFIX "ES".

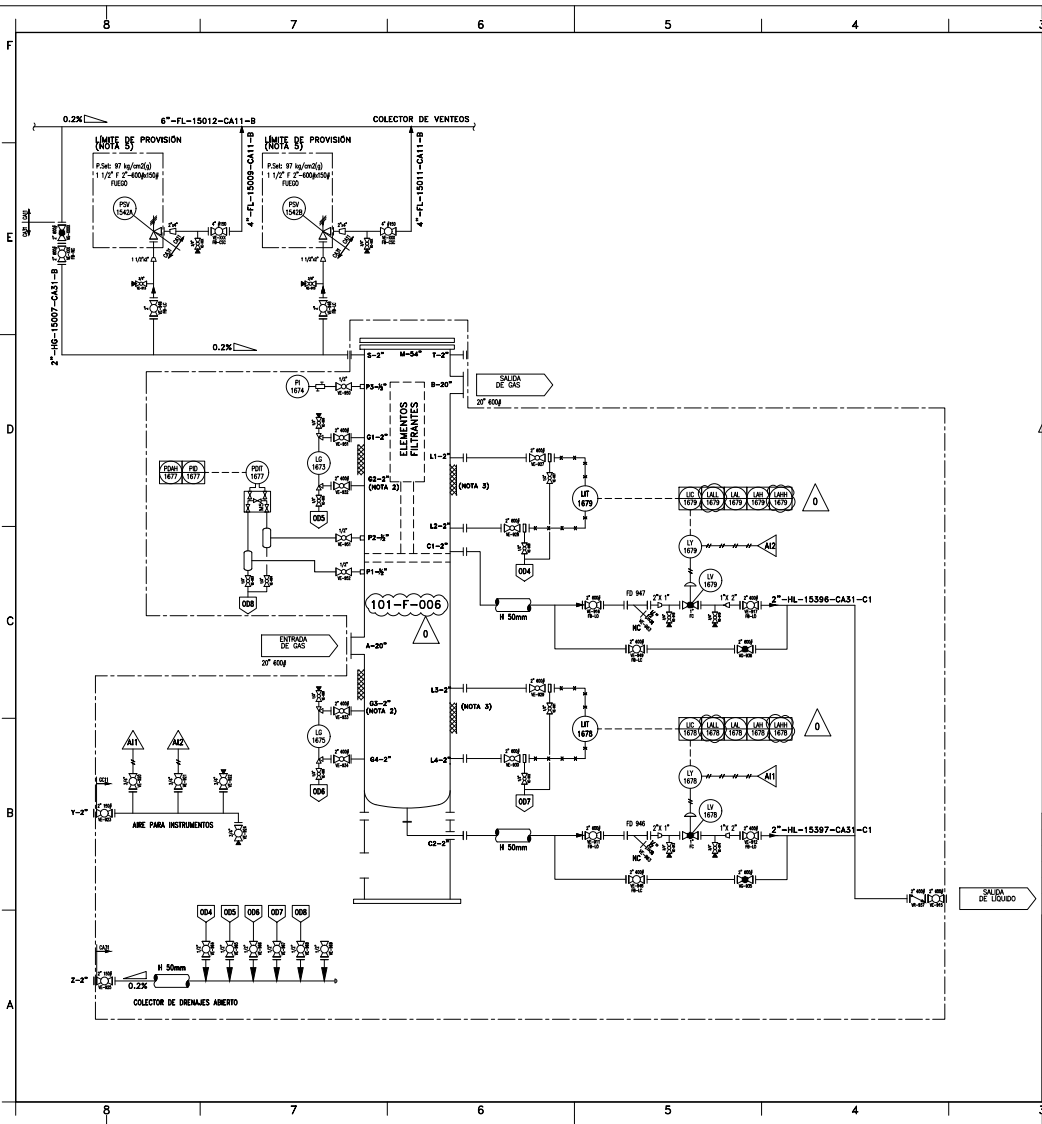
FOR RECORD
 CHANGES MAY EFFECT
 FINAL PRICE AND DELIVERY
 NAME: *J. P. Jones* DATE: 07/12/23

	DATE: 04/12/23	SCALE: NONE			
	DRAWN BY: <i>B. Gomez</i>	CHECKED BY: <i>J. Hestley</i>	APPROVED BY: <i>J. Hestley</i>	Transпорadora de Gas del Sur S.A. TRATAYEN PROCESS PLANT	
	PROJECT MANAGER: <i>J. Hestley</i>	PROJECT ENGINEER: <i>J. Hestley</i>			
1	FOR RECORD	07/12/23	BP	JK	DIST PO: 104267/P04500100039
0	FOR APPROVAL	04/15/23	BP	JK	
REV	DESCRIPTION	DATE	BY	APP	STEP: 0000

ENERFLEX
 Houston, Texas,
 USA

P & I DIAGRAM
 4219 BFD EARLY CONDENSATE
 STABILIZER SYSTEM

DWS NO: E004364-01-101
 SHEET: 5 OF 5
 REV: 1



FILTRO COALESCENTE VERTICAL		0
WT TAC.	11-106	0
PRESION DE DISEÑO	97 Kg/cm ²	
PRESION DE PRUEBA	145.5 Kg/cm ²	
PRESION DE OP. (mbar/abs.)	74/80	0
TEMPERATURA DE DISEÑO	85 °C	
TEMP. DE OPERACION	8 / 35 °C	
CAUDAL DE GAS (m ³ /h)	10,000,000	0

NOTAS:

1. VALVULA DE SEGURIDAD:
 - 1.1. ENTRADA / SALIDA: Ø1 1/2" 600# / 2" 150#
 - 1.2. PRESION DE APERTURA: 97 KG/CM2G
 - 1.3. DESIGNACION DEL ORIFIDO: F.
2. DETALLE DE NIVELES DE LIQUIDO:
 - 2.1. CÁMARA INFERIOR
 - 2.1.1. HLL: 425mm
 - 2.1.2. HLL: 375mm
 - 2.1.3. LLL: 225mm
 - 2.1.4. LLLL: 175mm
 - 2.2. CÁMARA SUPERIOR
 - 2.2.1. HLL: 340mm
 - 2.2.2. HLL: 290mm
 - 2.2.3. LLL: 140mm
 - 2.2.4. LLLL: 90mm
3. AISLACIÓN PARA CONSERVACION DE TEMPERATURA EN ZONAS DE LIQUIDO DESDE EL FONDO HASTA LAS BOQUILLAS L1 / G1.
4. CODIFICACION DE CADERA A SER INFORMADA POR TGS.
5. EL SISTEMA DE VIENTO Queda fuera del alcance DEL SKID. TYCSA SOLAMENTE PROVEERA LAS VALVULAS DE ALIVIO (PSV-1342A Y PSV-1342B)
6. LINEA AISLADA POR PROTECCION PERSONAL EN TODOS LOS TRAMOS QUE SE ENCUENTREN A MENOS DE 2 METROS DE ALTURA DEL PISO Y/O A MENOS DE 2 METROS DE DISTANCIA DE UNA PLATAFORMA.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA:

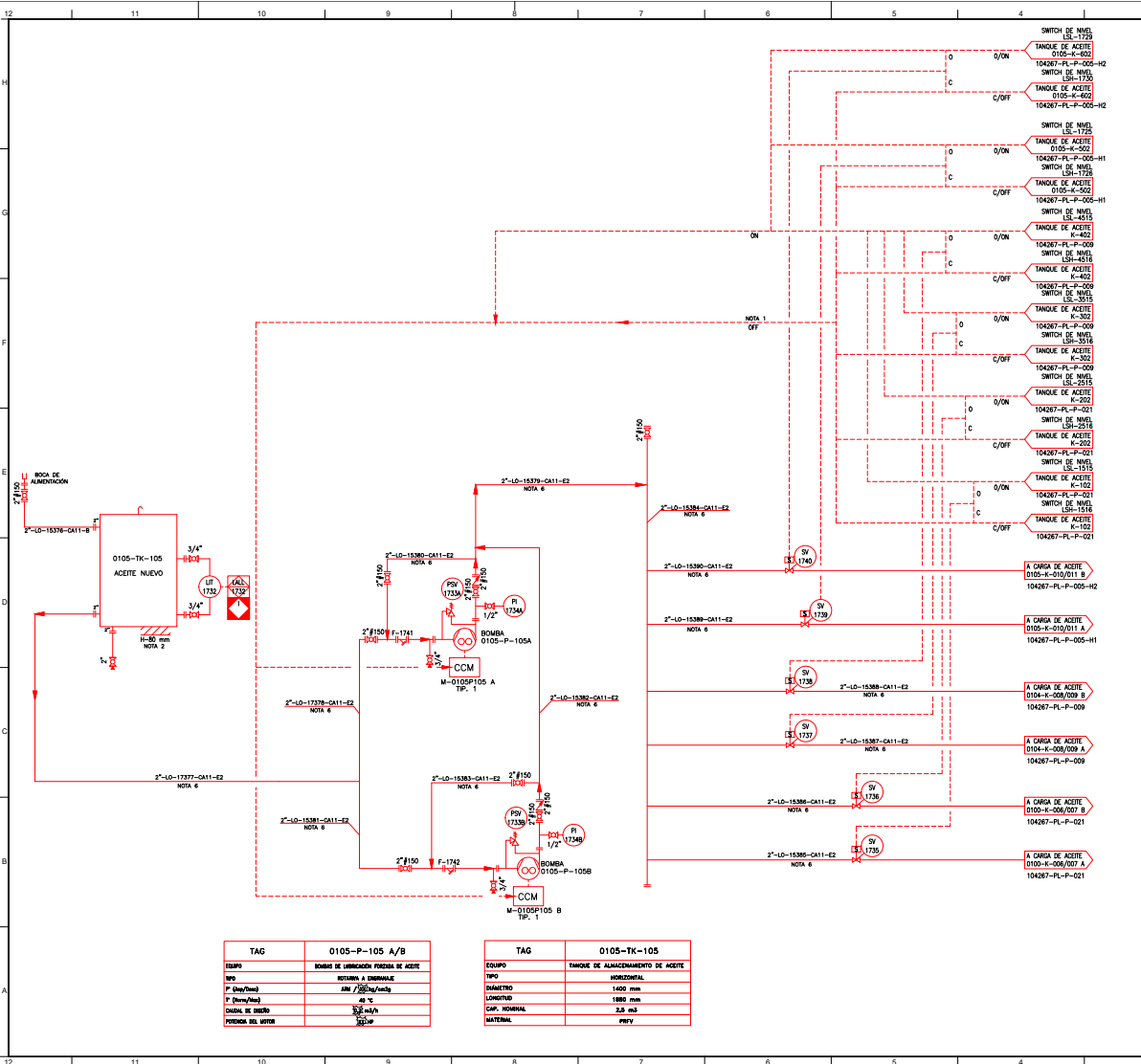
1. I-GIO-831-104267-M-200 (101-F-006) HOJA DE DATOS DEL RECIPIENTE.
2. I-GIO-831-104267-MC-P-200 (101-F-006) MEMORIA DE CALCULO DE PROCESOS.

REFERENCIAS:

- LÍMITE DE SKID
- IA AIRE DE INSTRUMENTOS
- Ø DRENAJE ABIERTO

REV.	FECHA	DESCRIPCION	ELABORO	REVISO	APROBO
0	11/01/24	APROBADO PARA CONSTRUCCION	WME	SMA	LZA
B	17/11/23	EMISION PARA APROBACION	WME	SMA	LZA
A	28/08/23	EMISION PARA APROBACION	WME	SMA	LZA

		DIRECCION DE SERVICIOS GERENCIA DE INGENIERIA Y OBRAS			
		LUGAR: PLANTA ACONDICIONADORA TRATAYEN PCIA. DE NEUQUEN		TITULO: 101-F-006	
OBRA: AMPLIACION INST. DE ENTRADA Y SALIDA DE PLANTA		PLANO DE CAÑERIAS E INSTRUMENTOS (P&ID)			
ESPACIO CONTRATISTA: 	FECHA: 11/01/24	OBRA N°: 104.267	ESCALA: S/E	HOJA: 1 de 1	
N° Doc. Ingeniero: 23-107-R-MC-002	Rev: 0	DOCUMENTO: I-GIO-631-104267-PL-P-200	REVISION 0		



- NOTAS:**
- LA SEÑAL DE PARADA DE LAS BOMBAS 0105-P-105 A/B SE DAará CUANDO LOS 8 SENSORES DE NIVEL LSH-1516/1517/1518/1519/1520/1521/1522/1523 SE ENCUENTREN SIMULTANEAMENTE EN NIVEL.
 - SEALIZACIÓN MECÁNICA DE LAMPA DE ROCA.
 - LOS NÚMEROS DE DOCUMENTOS QUE FIGURAN EN LOS CONECTORES DE LOS PARES VAN PRESERVAOS POR "1-00-481".
 - LINEA MUY SENSIBLE POR PROTECCIÓN PERSONAL EN TODOS LOS TRAMOS QUE SE ENCUENTREN A MENOS DE 2 METROS DE ALTURA DEL PISO Y/O A MENOS DE 2 METROS DE DISTANCIA DE UNA PLANTACIÓN.
 - CÁMBIAR DE LINEA A SER VERIFICADO POR VES.
 - LINEA TRAZADA ELECTRICAMENTE PARA MANTENER LA TEMPERATURA A 40°C.
 - SE DEBE SUPERVISAR EL NIVEL DE LA UNIDAD 0105-A A LOS NÚMEROS DE 10000 LOS INSTRUMENTOS DE ESTE DISEÑO.

- REFERENCIAS:**
- INSTALACIONES EXISTENTES
 - INSTALACIONES NUEVAS
 - INSTALACIONES DE ETAPA 2 DE PRIMERA PLANTA DE PROCESAMIENTO
 - LÍMITE DE PROVISIÓN POR TGS
 - LÍMITE DE SKID
 - DRENAJE ABIERTO
 - DRENAJE CERRADO
 - ANTORCHA
 - AIRE DE INSTRUMENTOS

TAG	0105-P-105 A/B
EQUIPO	BOMBA DE LUBRICACIÓN FORZADA DE ACEITE
MTO	ROTARY A DINAMICO
P (cm³/min)	100 (1000/100)
P (bar)	10
CARGA DE MOTOR	300 kW
POTENCIA DEL MOTOR	300 kW

TAG	0105-TK-105
EQUIPO	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE
TIPO	HORIZONTAL
DIÁMETRO	1400 mm
LARGITUD	1800 mm
CAP. NOMINAL	5.3 m³
MATERIAL	PREV

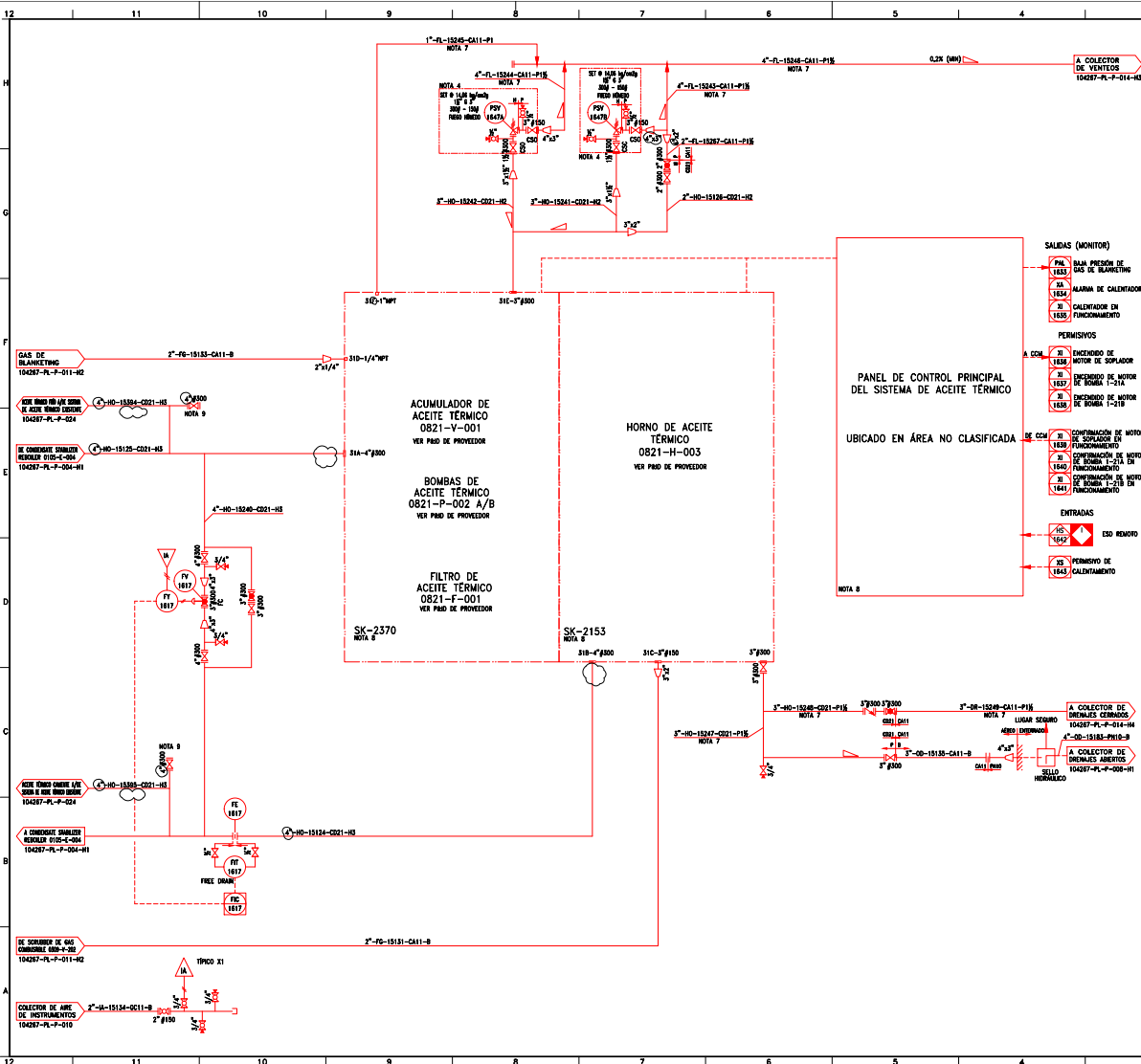
0	16/08/21	EMISIÓN PARA APROBACIÓN	SRD	LRE	LRE
REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ

tgs DIRECCIÓN DE OPERACIONES
GERENCIA DE INGENIERÍA Y OBRAS

LUGAR: TRATAYÉN PABO DE NEULQUÉN
OBRA: 19 AMPLIACIÓN INSTALACIONES DE ENTRADA Y SALIDA DE PLANTA TRATAYÉN
SISTEMA AUTOMÁTICO DE LUBRICACIÓN FORZADA

FECHA: 10/08/21
DISEÑO: 104.287
CALCULO: S/A
REVISIÓN: 164.1

DOCUMENTO: I-010-831-104267-PL-P-018
REVISIÓN: 0



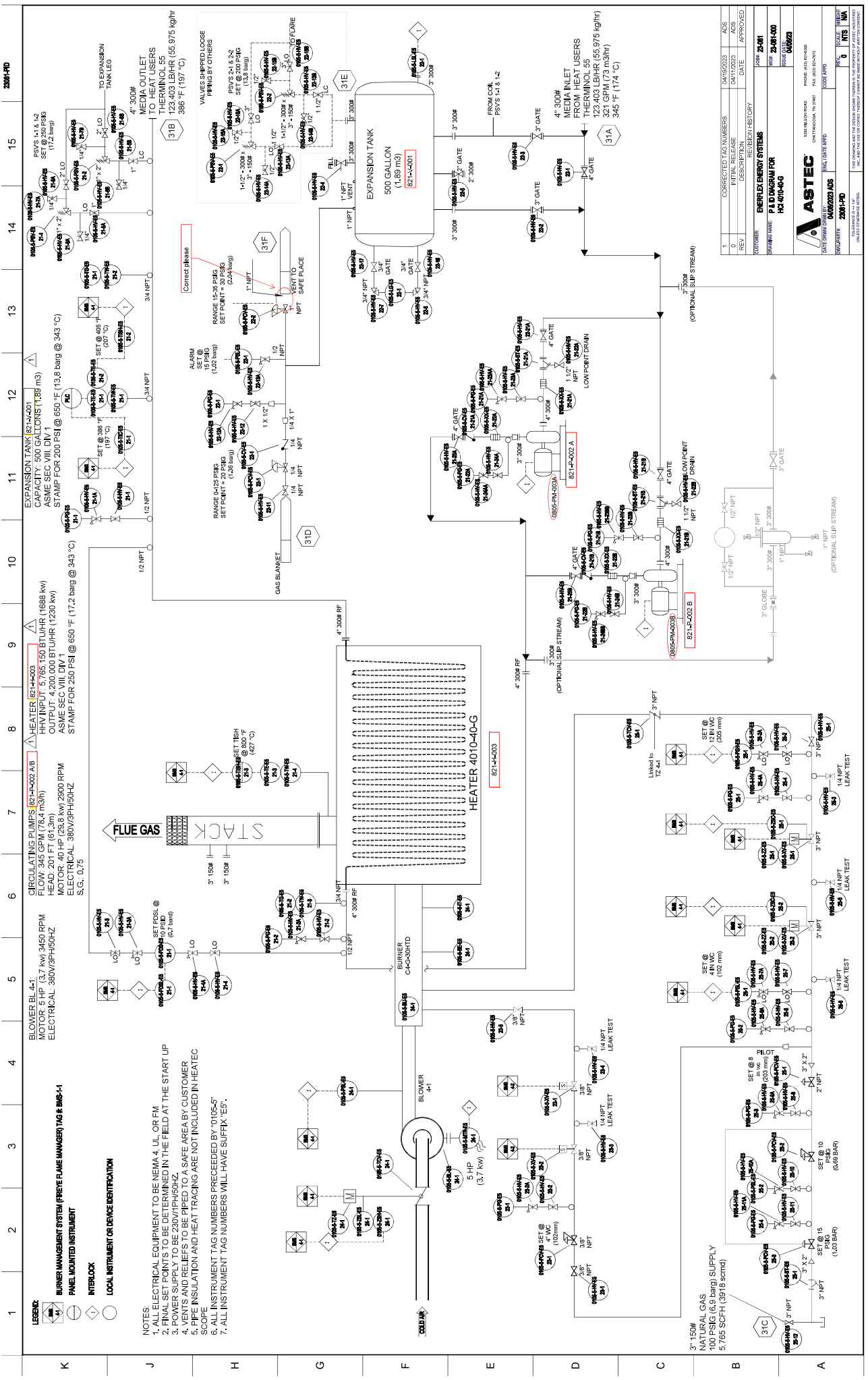
- NOTAS:**
1. LOS NÚMEROS DE DOCUMENTO QUE FIGURAN EN LOS CONECTORES DE LOS PASOS VAN PRECEDIDOS POR "H-00-831-".
 2. SE DEBE ANTEPONER EL NÚMERO DE LA UNIDAD 0821-S A LOS NÚMEROS DE TODOS LOS INSTRUMENTOS DE ESTE DIAGRAMA.
 3. ELIMINADA.
 4. PREVISTO POR EL PROVEEDOR DE LA UNIDAD DE ESTABILIZACIÓN, A SER MONTADO POR EL CONTRATISTA DEL EPC.
 5. EL PROVEEDOR DEBERÁ VERIFICAR EL ACUMULADOR DE ACEITE TERMICO Y LA BOMBA DE ACEITE TERMICO CON EL DIÁMETRO DE LA LÍNEA INDICADO Y LA LONGITUD DE LA MISMA.
 6. DIMENSIONAMIENTO DE LÍNEAS DEL SISTEMA DE VENTOS A SER CALCULADA UNA VEZ RECIBIDA LA INFORMACIÓN DEL SISTEMA POR PARTE DE YES.
 7. LÍNEA AISLADA POR PROTECCIÓN PERSONAL EN TODOS LOS TRAMOS QUE SE ENCUENTREN A MENOS DE 2 METROS DE ALTURA DEL PISO Y/O A MENOS DE 2 METROS DE DISTANCIA DE UNA PLATAFORMA.
 8. PREVISTO POR YES.
 9. VALVERÍA PARA CONEXIÓN FUTURA.
 10. VERIFICAR CON LOS PROVEEDORES DE LAS UNIDADES DE ESTABILIZACIÓN 2021, 2022 Y 2023 QUE LAS CAPACIDADES DE ALMACENAMIENTO (EXPANSIÓN TÉRMICA) Y BOMBEO VERIFICAN PARA LOS ESCHEMAS OPERATIVOS RESULTANTES DE LA INTERCONEXIÓN DE LOS SISTEMAS DE ACEITE TERMICO.
 11. SE CONFIRMA CON LOS PROVEEDORES DE LAS UNIDADES DE ESTABILIZACIÓN 2021, 2022 Y 2023 QUE LAS CAPACIDADES DE ALMACENAMIENTO (EXPANSIÓN TÉRMICA) Y BOMBEO VERIFICAN PARA LOS ESCHEMAS OPERATIVOS RESULTANTES DE LA INTERCONEXIÓN DE LOS SISTEMAS DE ACEITE TERMICO.
 12. SE CONSIDERA QUE EL PROVEEDOR DEL MÓDULO DEBERÁ UNA CONEXIÓN A UNITE DE SOND PARA CONECTAR LOS DRENAJES CERRADOS.

- DOCUMENTOS DE REFERENCIA:**
1. I-010-831-104140-PL-P-008 Rev 1_A: P&I DIAGRAM - HOT OIL SYSTEM INTERCONNECT.

- REFERENCIAS:**
- INSTALACIONES EXISTENTES
 - INSTALACIONES NUEVAS
 - INSTALACIONES DE ETAPA 2 DE PRIMERA PLANTA DE PROCESAMIENTO
 - LÍMITE DE PROVISIÓN POR TGS
 - LÍMITE DE SOND
- ☐ DRENAJE ABIERTO
 - ☑ DRENAJE CERRADO
 - ⚠ ANTORCHA
 - ⚠ AIRE DE INSTRUMENTOS

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
1	26/10/23	DISEÑO PARA APROBACIÓN	SSO	ITL	ITE
2	16/05/23	DISEÑO PARA APROBACIÓN	SSO	LHC	LHC
3	24/05/23	DISEÑO PARA APROBACIÓN	SSO	LHC	LHC
4	01/05/23	DISEÑO PARA APROBACIÓN	SSO	LHC	LHC

		DIRECCIÓN DE OPERACIONES GERENCIA DE INGENIERÍA Y OBRAS	
LUGAR:	TRATAMEN P&I DE NEUVIGEN OBRA: 18 AMPLIACIÓN INSTALACIONES DISTRIB. Y SALIDA DE PLANTA TRATAM	TÍTULO:	P&I SISTEMA DE ACEITE TERMICO
FECHA:	26/10/23	OBJA N°:	104.287
DOCUMENTO:	1-010-831-104267-PL-P-012	ESCALA:	5/E
N° DE REVISIÓN:	02	REVISIÓN:	1 de 1
FECHA:	23/02/2022	APROBÓ:	SSO



LEGEND:

- 1. ALL ELECTRICAL EQUIPMENT TO BE NEMA 4, UL OR FM
- 2. FINAL SET POINTS TO BE DETERMINED IN THE FIELD AT THE START UP
- 3. POWER SUPPLY TO BE 230V/1PH/50HZ
- 4. VENTS AND RELIEFS TO BE PIPED TO A SAFE AREA BY CUSTOMER
- 5. PIPE INSULATION AND HEAT TRACING ARE NOT INCLUDED IN HEATEC SCOPE
- 6. ALL INSTRUMENT TAG NUMBERS PRECEDED BY "0105-"
- 7. ALL INSTRUMENT TAG NUMBERS WILL HAVE SUFFIX "ES"

NOTES:

- 1. BLOWER BL 4-1
- 2. MOTOR 5 HP (3.7 kW) 3450 RPM
- 3. ELECTRICAL 380V/3PH/50HZ
- 4. CIRCULATING PUMPS 821-H-002 AB
- 5. FLOW 345 GPM (76.4 m³/hr)
- 6. HRV INPUT 5,765.150 BTU/HR (1688 kW)
- 7. OUTPUT 4,200.000 BTU/HR (1230 kW)
- 8. MOTOR 40 HP (29.8 kW) 2900 RPM
- 9. ELECTRICAL 380V/3PH/50HZ
- 10. S.G. 0.75
- 11. EXPANSION TANK 821-A-001
- 12. CAPACITY 500 GALLONS (1.89 m³)
- 13. ASME SEC VIII DIV 1
- 14. STAMP FOR 200 PSI @ 650 F (17.2 barg @ 343 C)
- 15. STAMP FOR 250 PSI @ 650 F (17.2 barg @ 343 C)

LOCAL INSTRUMENT OR DEVICE IDENTIFICATION

- 1. BURNER MANAGEMENT SYSTEM (FIRETE FLAME MONITOR) TAG # MBS-14
- 2. PANEL MOUNTED INSTRUMENT
- 3. INTERLOCK

VALUES SHIPPED LOOSE PIPING BY OTHERS

- 1. RANGES 15-56 PSIG
- 2. SETPOINT = 30 PSIG (2.1 barg)
- 3. RANGES 0-15 PSIG
- 4. SETPOINT = 20 PSIG (1.4 barg)
- 5. RANGES 0-15 PSIG
- 6. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 7. RANGES 0-15 PSIG
- 8. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 9. RANGES 0-15 PSIG
- 10. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 11. RANGES 0-15 PSIG
- 12. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 13. RANGES 0-15 PSIG
- 14. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 15. RANGES 0-15 PSIG
- 16. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 17. RANGES 0-15 PSIG
- 18. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 19. RANGES 0-15 PSIG
- 20. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 21. RANGES 0-15 PSIG
- 22. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 23. RANGES 0-15 PSIG
- 24. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 25. RANGES 0-15 PSIG
- 26. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 27. RANGES 0-15 PSIG
- 28. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 29. RANGES 0-15 PSIG
- 30. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 31. RANGES 0-15 PSIG
- 32. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 33. RANGES 0-15 PSIG
- 34. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 35. RANGES 0-15 PSIG
- 36. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 37. RANGES 0-15 PSIG
- 38. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 39. RANGES 0-15 PSIG
- 40. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 41. RANGES 0-15 PSIG
- 42. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 43. RANGES 0-15 PSIG
- 44. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 45. RANGES 0-15 PSIG
- 46. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 47. RANGES 0-15 PSIG
- 48. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 49. RANGES 0-15 PSIG
- 50. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 51. RANGES 0-15 PSIG
- 52. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 53. RANGES 0-15 PSIG
- 54. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 55. RANGES 0-15 PSIG
- 56. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 57. RANGES 0-15 PSIG
- 58. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 59. RANGES 0-15 PSIG
- 60. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 61. RANGES 0-15 PSIG
- 62. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 63. RANGES 0-15 PSIG
- 64. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 65. RANGES 0-15 PSIG
- 66. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 67. RANGES 0-15 PSIG
- 68. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 69. RANGES 0-15 PSIG
- 70. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 71. RANGES 0-15 PSIG
- 72. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 73. RANGES 0-15 PSIG
- 74. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 75. RANGES 0-15 PSIG
- 76. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 77. RANGES 0-15 PSIG
- 78. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 79. RANGES 0-15 PSIG
- 80. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 81. RANGES 0-15 PSIG
- 82. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 83. RANGES 0-15 PSIG
- 84. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 85. RANGES 0-15 PSIG
- 86. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 87. RANGES 0-15 PSIG
- 88. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 89. RANGES 0-15 PSIG
- 90. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 91. RANGES 0-15 PSIG
- 92. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 93. RANGES 0-15 PSIG
- 94. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 95. RANGES 0-15 PSIG
- 96. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 97. RANGES 0-15 PSIG
- 98. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)
- 99. RANGES 0-15 PSIG
- 100. SETPOINT = 15 PSIG (1.0 barg)

REVISION HISTORY

REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED
1	ISSUED FOR CONSTRUCTION	04/12/2023	AS
0	INITIAL RELEASE	04/12/2023	AS

PROJECT INFORMATION

OWNER	ENERTEC ENERGY SYSTEMS
PROJECT NAME	F.A.D DIAGRAM FOR HC 4010-40-G
SCALE	AS SHOWN
DATE DRAWN	04/12/2023
DATE REVISION	04/12/2023
PROJECT NO.	23-01-000
REV.	0
SCALE	AS SHOWN
DATE	04/12/2023
PROJECT NO.	23-01-000
REV.	0
SCALE	AS SHOWN
DATE	04/12/2023

ASTEC

333 WILSON ROAD
CHATTANOOGA, TN 37408
PHONE 423-234-0400
FAX 423-234-0401
WWW.ASTEC.COM

REVISION HISTORY

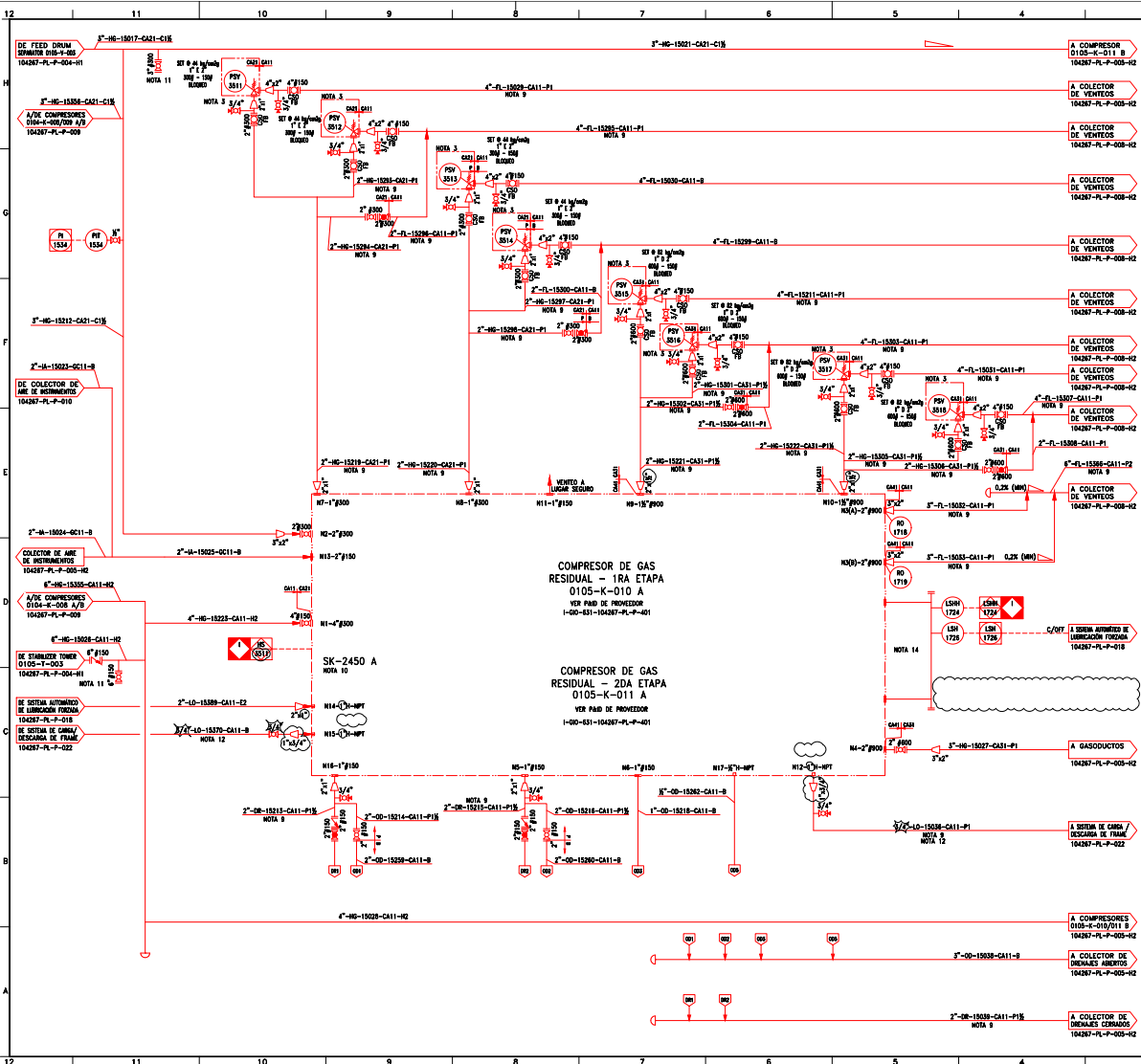
REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED
1	ISSUED FOR CONSTRUCTION	04/12/2023	AS
0	INITIAL RELEASE	04/12/2023	AS

PROJECT INFORMATION

OWNER	ENERTEC ENERGY SYSTEMS
PROJECT NAME	F.A.D DIAGRAM FOR HC 4010-40-G
SCALE	AS SHOWN
DATE DRAWN	04/12/2023
DATE REVISION	04/12/2023
PROJECT NO.	23-01-000
REV.	0
SCALE	AS SHOWN
DATE	04/12/2023

ASTEC

333 WILSON ROAD
CHATTANOOGA, TN 37408
PHONE 423-234-0400
FAX 423-234-0401
WWW.ASTEC.COM



- NOTAS:**
1. LOS NÚMEROS DE DOCUMENTO QUE FIGURAN EN LOS CONECTORES DE LOS PISOS VAN PRECEDIDOS POR "100-831-".
 2. SE DEBE ANTERPONER EL NÚMERO DE LA UNIDAD 0105-- A LOS NÚMEROS DE TODOS LOS INSTRUMENTOS DE ESTE DIAGRAMA.
 3. PREVISTO POR EL PROVEEDOR DE LOS COMPRESORES DE GAS RESIDUAL, A SER MONTADO POR EL CONTRATISTA DEL EPC.
 4. SE HA CONSIDERADO QUE EL PROVEEDOR DEL MÓDULO DEJARÁ UNA CONEXIÓN A LIMITE DE SKID PARA CONECTAR LOS DRENAJES ABIERTOS Y CERRADOS.
 5. INFORMACIÓN DE EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y SEÑALES DEL SKID A SER CONFIRMADA CON LA INGENIERÍA DE LA PROYCCIÓN.
 6. DERIVACIONES DEL COLECTOR HACIA LOS COMPRESORES Y DESDE ESTOS DEBEN HACERSE DESDE LA PARTE SUPERIOR DE LA CARRERA.
 7. ELIMINADA.
 8. DIMENSIONAMIENTO DE LÍNEAS DE SISTEMA DE VIENTOS A SER CALCULADA UNA VEZ SE RECIBA LA INFORMACIÓN DEL SISTEMA POR PARTE DE TGS.
 9. LÍNEA AISLADA POR PROTECCIÓN PERSONAL EN TODOS LOS TRAMOS QUE SE ENCUENTREN A MENOS DE 2 METROS DE ALTURA DEL PISO Y/O A MENOS DE 2 METROS DE ESTANCIA DE UNA PLATAFORMA.
 10. SKID PREVISTO POR TGS.
 11. CONEXIÓN PARA AMPLIACIÓN FUTURA.
 12. DIÁMETRO DE LÍNEA A SER VERIFICADO POR TGS.
 13. ELIMINADA.
 14. LA CONFIGURACIÓN DEFINITIVA DE LOS SEÑALES DE INSTRUMENTACIÓN EN LA INGENIERÍA DE DETALLE.

- DOCUMENTOS DE REFERENCIA:**
1. 100-831-104140-PL-P-401_Rev.3 : P&ID.
- REFERENCIAS:**
- INSTALACIONES EXISTENTES
 - INSTALACIONES NUEVAS
 - INSTALACIONES DE ETAPA 2 DE PRIMERA PLANTA DE PROCESAMIENTO
 - LIMITE DE PROVISIÓN POR TGS
 - LIMITE DE SKID
- DRENAJE ABIERTO
 DRENAJE CERRADO
 ANTORCHA
 AIRE DE INSTRUMENTOS

3	26/10/23	EMISIÓN PARA APROBACIÓN	SSO	ITL	ITE
2	18/06/23	EMISIÓN PARA APROBACIÓN	SSO	LIC	LIC
1	24/05/23	EMISIÓN PARA APROBACIÓN	SSO	LIC	LIC
0	01/02/23	EMISIÓN PARA APROBACIÓN	SSO	LIC	LIC
REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ

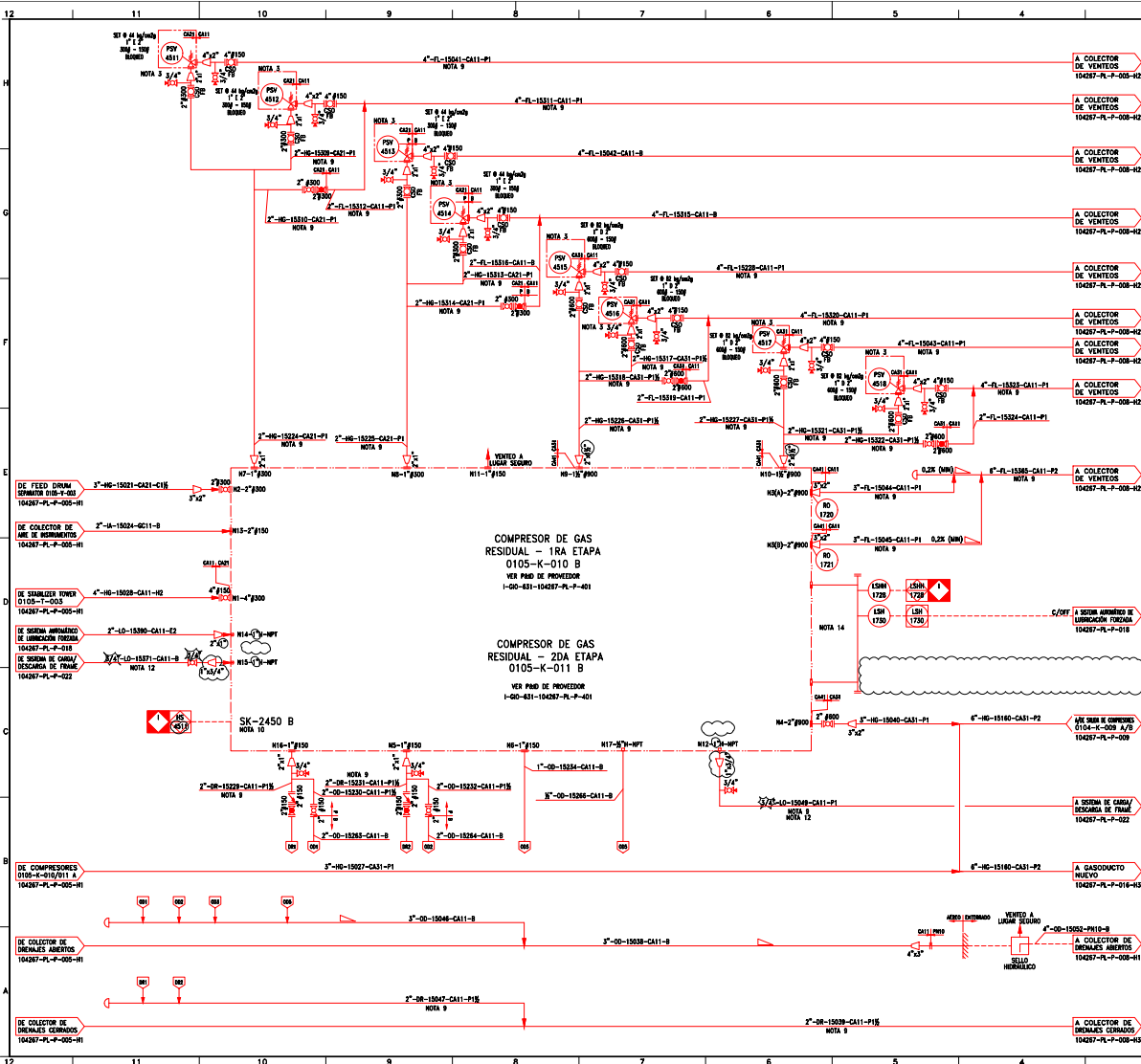
tgs DIRECCIÓN DE OPERACIONES
 GERENCIA DE INGENIERÍA Y OBRAS

LUGAR: TRATAVEN P&ID DE NEUVEN
 OBRA: 1B AMPLIACIÓN INSTALACIONES
 DISTRIBUIDA Y SALIDA DE PLANTA TRATAMEN

SPARK P&ID INTERCONEXIÓN COMPRESIÓN DE GAS RESIDUAL

FECHA: 26/10/23
 OBRAS: 104.287
 ESCALA: 5/C
 HOJA: 1 de 2

DOCUMENTO: 1-010-831-104267-PL-P-005
 REVISIÓN: 3



- NOTAS:**
1. LOS NÚMEROS DE DOCUMENTO QUE FIGURAN EN LOS CONECTORES DE LOS PASES VAN PRECEDIDOS POR "I-GIO-831-".
 2. SE DEBE ANTEPONER EL NÚMERO DE LA UNIDAD 0105-S- A LOS NÚMEROS DE TODOS LOS INSTRUMENTOS DE ESTE DIAGRAMA.
 3. PREVISTO POR EL PROVEEDOR DE LOS COMPRESORES DE GAS RESIDUAL A SER MONTADO POR EL CONTRATISTA DEL EPC.
 4. SE HA CONSIDERADO QUE EL PROVEEDOR DEL MÓDULO DEJARÁ UNA CONEXIÓN A LÍMITE DE SKID PARA CONECTAR LOS DRENAJES ABIERTOS Y CERRADOS.
 5. INFORMACIÓN DE EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y SEÑALES DEL SKID A SER CONFIRMADOS CON LA INGENIERÍA DE LA PROVISIÓN.
 6. DISTRIBUCIONES DEL COLECTOR HACIA LOS COMPRESORES Y DESDE ESTOS DEBEN HACERSE DESDE LA PARTE SUPERIOR DE LA CÁMERA.
 7. ESTIMADA.
 8. DIMENSIONAMIENTO DE LÍNEAS DE SISTEMA DE VENTOS A SER CALCULADA UNA VEZ RECIBIDA LA INFORMACIÓN DEL SISTEMA POR PARTE DE TGS.
 9. LÍNEA AJUSTADA POR PROTECCIÓN PERSONAL EN TODOS LOS TRAMOS QUE SE ENCUENTREN A MENOS DE 2 METROS DE ALTURA DEL PISO Y/O A MENOS DE 2 METROS DE DISTANCIA DE UNA PLATAFORMA.
 10. SKID PREVISTO POR TGS.
 11. CONEXIÓN PARA AMPLIACIÓN FUTURA.
 12. DIÁMETRO DE LÍNEA A SER VERIFICADO POR TGS.
 13. ESTIMADA.
 14. LA CONFIGURACIÓN DEFINITIVA DE LOS SWITCHES DE NIVEL SERÁ DEFINIDA EN LA INGENIERÍA DE DETALLE.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA:

1. I-GIO-831-104140-PL-P-401_Rev.3 : P&ID.

- REFERENCIAS:**
- INSTALACIONES EXISTENTES
 - INSTALACIONES NUEVAS
 - INSTALACIONES DE ETAPA 2 DE PRIMERA PLANTA DE PROCESAMIENTO
 - LÍMITE DE PROVISIÓN POR TGS
 - LÍMITE DE SKID
- ☐ DRENAJE ABIERTO
 - ☑ DRENAJE CERRADO
 - ⌈ ANTORCHA
 - ⚠ AIRE DE INSTRUMENTOS

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
3	26/10/23	EMISIÓN PARA APROBACIÓN	SSO	ITC	ITC
2	16/06/23	EMISIÓN PARA APROBACIÓN	SSO	LIC	LIC
1	24/05/23	EMISIÓN PARA APROBACIÓN	SSO	LIC	LIC
0	01/02/23	EMISIÓN PARA APROBACIÓN	SSO	LIC	LIC

		DIRECCIÓN DE OPERACIONES GERENCIA DE INGENIERÍA Y OBRAS	
LUGAR:	TRATAMÉN P&ID DE NEUVÉN A: IS AMPLIACIÓN INSTALACIONES ENTRADA Y SALIDA DE PLANTA TRATAMÉN	TÍTULO:	P&ID INTERCONEXIÓN COMPRESIÓN DE GAS RESIDUAL
EPH&P:	SPARK	FECHA:	08/07/23
DOCUMENTO:	1-104-831-104267-PL-P-005	ESCALA:	5/E
Nº DE REGISTRO:	22382-PR-PI-033	HOJA:	2 de 2
		REVISIÓN:	3