



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

ESCUELA DE POSGRADOS “ESPOG”

MAESTRÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

Resolución: RPC-SO-09-No.265-2021

PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGISTER

Título del proyecto:
Control automático de nivel del separador de gas de planta productora Shushufindi
Línea de Investigación:
Ciencias de la Ingeniería aplicadas a la producción, sociedad y desarrollo sustentable
Campo amplio de conocimiento:
Ingeniería, industria y construcción
Autor:
José Ignacio López Sánchez
Tutor/a:
Wilmer Fabián Albarracín Guarochico

Quito – Ecuador

2023

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, Wilmer Fabián Albarracín Guarochico con C.I: 1713341152 en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: Control automático de nivel del separador de gas de planta productora Shushufindi.

Elaborado por: José Ignacio López Sánchez, de C.I: 1715380273, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 16 de marzo de 2023

Mg. Wilmer Fabián Albarracín Guarochico

DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, José Ignacio López Sánchez con C.I: 1715380273, autor/a del proyecto de titulación denominado: Control automático de nivel del separador de gas de planta productora Shushufindi. Previo a la obtención del título de Magister en Electrónica y Automatización.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar el respectivo trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor@ del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Quito D.M., 16 de marzo de 2023

José Ignacio López Sánchez

C.C.: 1715380273

Tabla de contenidos

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE	iii
INFORMACIÓN GENERAL	1
Contextualización del tema.....	1
Problema de investigación.....	1
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:.....	2
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	4
1.1. Contextualización general del estado del arte.....	4
1.2. Proceso investigativo metodológico	5
CAPÍTULO II: PROPUESTA.....	8
2.1 Fundamentos teóricos aplicados	8
2.1.1 Separador bifásico primario	8
2.1.2 Válvula de control	9
2.1.3 Transmisor de nivel	10
2.1.4 Sistema de Control Distribuido(DCS).....	10
2.1.5 Sistemas de control.....	11
2.1.5.1 Control en bucle abierto	12
2.1.5.2 Control de bucle cerrado	12
2.2 Descripción de la propuesta.....	13
2.3 Validación de la propuesta.....	26
2.4 Matriz de articulación de la propuesta	31
2.5 Análisis de resultados. Presentación y discusión.	34
CONCLUSIONES.....	37
RECOMENDACIONES.....	39
BIBLIOGRAFÍA.....	40

Índice de tablas

Tabla1. Método de investigación documental y de campo	7
Tabla2. Características técnicas de los elementos utilizados	15
Tabla3. Perfil de validadores.....	27
Tabla4. Criterios de valuación.....	27
Tabla5. Datos del validador 1.....	28
Tabla6. Escala de evaluación. Elaborada por: Adolfo Torres	28
Tabla7. Datos del validador 2.....	29
Tabla8. Escala de evaluación. Elaborada por: Darío López.....	29
Tabla9. Datos del validador 3.....	30
Tabla10. Escala de evaluación. Elaborada por: Ángel Idrobo	30
Tabla11. Matriz de articulación	31

Índice de figuras

Figura1. Separador bifásico primario.....	8
Figura2. Esquema de un sistema de control distribuido.....	11
Figura3. Representación de un control de bucle abierto	12
Figura4. Representación de control de un bucle cerrado.....	13
Figura5. Esquema general del proyecto.....	14
Figura6. Tanque bifásico primario de la planta de gas Shushufindi	17
Figura7. Válvula de control KYMRAY utilizada	17
Figura8. Conexión del transmisor de nivel.....	18
Figura9. Transductor de señal eléctrica a señal neumática	18

Figura10. Conexiones del sistema de separador automático con el procesador FCP 270	19
Figura11. Bloque de programación del bloque en Orchestra IDE.....	20
Figura12. Bloque GLI_5 para recibir y procesar la señal del transmisor de nivel	20
Figura13. Parámetros de entrada del Bloque GLI_5.....	21
Figura14. Parámetros de configuración del bloque de controlador PID GLIC_5	21
Figura15. Parámetros de configuración para las salidas del controlador PID	22
Figura16. Etapa en el control automático de nivel del bloque GLV_5.....	23
Figura17. Parámetros de salida.....	23
Figura18. Interfaz HMI referente al separado bifásico primario	24
Figura19. Diagrama general de planta productora Shushufindi	25
Figura20. Comportamiento de la señal del transmisor de nivel.....	34
Figura21. Prueba de funcionamiento de la válvula.....	35
Figura22. Resultado final del sistema de control automático de nivel.....	36

INFORMACIÓN GENERAL

Contextualización del tema

La Planta de Gas de Refinería Shushufindi fue diseñada para aprovechar el gas asociado al petróleo extraído de los campos y producir GLP y gasolina natural. Con una carga máxima de 25 MMSCF, la Planta de Gas dispone de un separador de gas primario al ingreso del proceso. Sin embargo, este separador no cuenta con un control de nivel automático, lo que puede generar problemas en el procesamiento de GLP. Dado que la Planta de Gas procesa gas asociado al crudo, el gas que ingresa a la planta contiene líquidos como agua e hidrocarburos. El separador de gas primario tiene como objetivo realizar una separación primaria para evitar que el agua entre al proceso.

Actualmente, los operadores de campo de la Planta de Gas, conformados por un jefe de turno, un supervisor, un técnico líder y un operador de campo por turno, llevan a cabo diferentes actividades en el procesamiento de GLP, incluyendo el drenaje manual de líquidos del separador bifásico de gas primario al ingreso del proceso. Sin embargo, este método no es eficiente y puede provocar taponamientos y paradas de producción cuando ingresa agua al proceso.

Por este motivo, se hace necesario implementar un control automático del nivel del separador mediante una válvula de control, un transmisor de nivel y un controlador lógico programable. La implementación de este sistema permitiría una separación más eficiente y evitaría la entrada de agua al proceso, mejorando así la productividad y rentabilidad de la Planta de Gas. Además, esto garantizaría un suministro constante de GLP a las provincias de Sucumbíos y Orellana, lo que beneficiaría a la sociedad en general.

Problema de investigación

En la actualidad, Planta de Gas recibe gas asociado al petróleo de diferentes estaciones de captación, pero dado que esta corriente contiene una cantidad significativa de agua e hidrocarburos, es necesario separarla en la entrada al proceso. Para llevar a cabo esta separación, se utilizan separadores bifásicos que aprovechan las propiedades físico-químicas de las corrientes a separar, especialmente la densidad y la viscosidad, las cuales son más altas para el agua que para los hidrocarburos.

Sin embargo, en Planta de Gas, el separador bifásico primario de gas no cuenta con un control automático de nivel, lo que significa que el proceso de separación se realiza de forma manual.

Este método no es eficiente y puede ocasionar la entrada de agua al proceso, lo que a su vez puede provocar taponamientos y pérdidas de producción.

El control manual del nivel se encuentra a una distancia que no está en el panel de control de operación, lo que requiere que un técnico realice esta tarea de forma manual, lo que puede generar dependencia y puede ser difícil de manejar, ya que la planta procesadora de GLP cuenta con numerosas variables a controlar.

Dado que el gas asociado al petróleo se somete a bajas temperaturas durante el proceso de producción, la entrada de agua al proceso puede provocar taponamientos de hidratos, lo que resulta en pérdidas de producción innecesarias.

Por lo tanto, la implementación de un control automático de nivel en el separador bifásico primario evitaría la entrada de agua al proceso y, por ende, evitaría taponamientos y pérdidas de producción innecesarias.

Objetivo general

Desarrollar el control automático de nivel del separador de gas de planta productora Shushufindi

Objetivos específicos

- ❖ Contextualizar los fundamentos teóricos sobre un separador bifásico y sus elementos de control
- ❖ Determinar la válvula de control adecuada para el control de nivel del separador bifásico
- ❖ Desarrollar el lazo de control adecuado para el control de nivel de acuerdo al proceso
- ❖ Validar el correcto funcionamiento del control de nivel del separador bifásico de acuerdo a las necesidades del proceso.

Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:

La realización de este proyecto tiene un gran impacto en la sociedad, ya que, mediante la implementación de un separador y un control automático del nivel de agua, se logra evitar taponamientos en el procesamiento de GLP en el proceso aguas abajo. Esto es especialmente importante ya que el ingreso de gas asociado al petróleo a la Planta de gas puede contener agua,

y si no se separa adecuadamente, podría crear taponamientos y pérdidas de producción innecesarias.

El objetivo del proyecto es mejorar el abastecimiento de GLP a las provincias de Sucumbíos y Orellana, por lo que evitar los taponamientos en el proceso es fundamental para garantizar un suministro constante y eficiente de este combustible. El proceso de GLP se lleva a cabo a bajas temperaturas, y el agua que se encuentra en el gas puede formar hidratos que obstruyen el proceso, lo que resulta en la pérdida de producción.

Mediante la implementación del separador y el control automático del nivel de agua, se logra evitar la entrada de agua al proceso de GLP, lo que garantiza que se eviten los taponamientos y las paradas innecesarias. De esta manera, se puede abastecer de manera constante y efectiva a las provincias de Sucumbíos y Orellana, lo que contribuye al desarrollo económico y social de la región.

Al implementar un control automático de nivel en el separador de ingreso de gas asociado al petróleo, se podrían evitar pérdidas significativas de producción en la Planta de Gas de Shushufindi. Dicha planta produce alrededor de 2302,48 BBLS/día, y si ocurre un taponamiento, se estima que se perderían aproximadamente 95,94 BBLS/hora. Esta pérdida se traduciría en una pérdida económica de 6.255,07 USD/hora, considerando el valor actual del GLP de 65,20 USD/BBL.

Por lo tanto, la implementación del control automático de nivel en el separador no solo evita pérdidas económicas significativas, sino que también garantiza un suministro constante y eficiente de GLP. Al reducir los taponamientos y las interrupciones en el proceso, se puede mejorar la productividad y, por lo tanto, aumentar la rentabilidad de la Planta de Gas de Shushufindi.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Contextualización general del estado del arte

El separador bifásico tiene como objetivo separar el agua libre de la corriente de licuables para evitar que ingrese al Separador de Entrada, donde se realizará la separación gas-hidrocarburo-agua. Al realizar una separación primaria del agua en el separador bifásico, se logra una mayor eficiencia en la separación trifásica, ya que se tiene más tiempo de residencia. Además, el separador bifásico ayuda a retener los contaminantes que se arrastran en la línea de flujo, como los sólidos que se producen por la corrosión de las tuberías y que son solubles en el agua. Para lograr una separación eficiente, es necesario contar con un control automático de nivel en el separador, ya que esto ayudará a evitar problemas en el proceso aguas abajo.

(Ferrin Vera, 2020) En su trabajo titulado "Metodología para modelar y sintonizar lazos de control de procesos con enfoque en la minimización del consumo energético en el recipiente (u-v5) de la unidad de tratamiento de gas de Petroecuador Esmeraldas", Ferrin Carlos (2020) de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo en Ecuador, tiene como objetivo principal desarrollar una metodología para modelar y sintonizar los lazos de control de procesos, con el fin de reducir el consumo energético en el recipiente (u-v5) de la unidad de tratamiento de gas y combustible U en la empresa pública Petroecuador. En su estudio, se utilizaron dos métodos PID para los lazos de control: el método de Ziegler y Nichols, que consiste en determinar las ecuaciones empíricamente mediante la prueba de cambios en las constantes, y el método AMIGO (Approximate M-constrained Integral Gain Optimization), que aplica un conjunto de ecuaciones para calcular los parámetros del controlador. Se encontró que el método AMIGO logró reducir el consumo energético en todos los datos de control, lo cual será considerado en el desarrollo del control de nivel del separador bifásico en la Planta de Gas.

El trabajo de (Vasquez Carrera, 2017) titulado "Análisis del control de nivel en el proceso de separación de producción de petróleo en el campo petrolero en la provincia Francisco de Orellana en el año 2017" de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador, se enfoca en la evaluación de la eficiencia energética en la separación de petróleo mediante el uso de un banco de pruebas de sistema de control de nivel. El objetivo principal del banco de pruebas es investigar el lazo de control de nivel en el proceso de deshidratación del petróleo, para lo cual se identificaron los factores iniciales K_c , T_i y T_d de sintonización del controlador para el lazo de control de nivel. Para la implementación del proyecto, se utilizaron un PLC de marca Micrologix, una tarjeta de 2 entradas y 2 salidas analógicas y un transmisor de nivel de presión diferencial

SMART LD301 con comunicación HART. En la programación del lazo de control, se utilizó el método de Ziegler-Nichols tanto para el lazo abierto como cerrado, ajustando los valores de las variables proporcional, integral y derivativa. Los resultados mostraron que el banco de pruebas implementado cumple con su objetivo, lo cual es un indicador positivo para aplicar el control de nivel en la Planta de Gas en la Refinería Shushufindi.

El trabajo de (Martínez Clemente, 2016) de la Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia, titulado "Calibración y configuración de sensores inteligentes y elementos finales de control mediante protocolo HART", tiene como objetivo la calibración y configuración de sensores y elementos finales de control utilizando el protocolo HART.

Por otro lado, (Viñan Andino, 2014) de la Universidad Politécnica Nacional, Ecuador, en su trabajo "Diseño e implementación de un sistema de control para la operación automática de separadores trifásicos", busca diseñar e implementar un sistema de control para separadores trifásicos de crudo, utilizando un controlador y un software dedicado a control (Labview). El sistema desarrollado fue simulado y se obtuvo una simulación correcta con un funcionamiento óptimo en el control del separador trifásico. El trabajo contiene información valiosa para la selección de válvulas de control, instrumentación, entre otros. Para la medición de nivel se utilizó un transmisor con principio de medición de microondas y para la selección de la válvula de control de nivel se determinó la válvula de globo. En la construcción del módulo demostrativo se utilizó el controlador TWINDO, la comunicación entre la computadora y el controlador fue por MODBUS RS485 y se utilizaron placas electrónicas con microcontroladores PIC para representar las señales de los instrumentos y válvulas que se encuentran en el separador. El software utilizado para la adquisición, control, análisis y presentación de datos fue Labview.

En este contexto, se requiere la implementación de un control automático del nivel del separador mediante una válvula de control, un transmisor de nivel y un controlador lógico programable para controlar eficientemente la separación y evitar la entrada de agua al proceso. La información presentada en ambos trabajos es relevante para seleccionar los elementos necesarios y asegurar el cumplimiento de las normas y estándares internacionales en la industria petrolera.

1.2. Proceso investigativo metodológico

En el presente trabajo se propone el desarrollo de un control automático de nivel para el separador bifásico de la Planta de Gas, a través de una investigación científica que contempla tanto la investigación aplicada como tecnológica, tal como indica (Esteban Nieto, 2018). Esta

última está orientada a crear, mejorar y optimizar máquinas, equipos, instrumentos, mecanismos, procedimientos y sistemas en el campo de la tecnología de ingenieros.

Para llevar a cabo esta investigación se aplicaron dos métodos: la investigación documental y la investigación de campo. La primera incluyó una revisión bibliográfica y hemerográfica, lo que permitió una revisión documental técnica de casos de estudios ya desarrollados, observando y haciendo un análisis de las nuevas tecnologías y nuevas soluciones que se han implementado de utilidad para la industria en los últimos años. Esto permitió escoger las herramientas adecuadas para los sistemas automáticos de control.

La investigación de campo, por su parte, se apoyó en información proveniente de entrevistas y observaciones para obtener la real necesidad en la ejecución del presente estudio. Esto permitió una recolección de información de los usuarios y de las necesidades en base a la experiencia tanto técnica como práctica.

De los resultados obtenidos en ambas investigaciones, se recopiló la información técnica específica de los equipos de hardware y software necesarios, además de las condiciones de operación que se requieren en el proceso con la finalidad de llevar a cabo la implementación de la solución tecnológica más adecuada para las condiciones actuales del proceso.

Para obtener la información de campo se realizaron entrevistas personales a los 4 grupos de operación en Planta de Gas: un Jefe de Turno, un Supervisor, un Técnico líder panelista y un técnico de campo. Estos indicaron la necesidad de habilitar el separador bifásico instalado el cual no dispone de un control automático de nivel, lo que dificulta la operación. Actualmente, se designa a una persona que realice el drenaje de los líquidos que se acumulan en el separador, lo cual no es el procedimiento óptimo para el proceso.

En resumen, la investigación científica propuesta tiene como objetivo el desarrollo de un control automático de nivel para el separador bifásico de la Planta de Gas, para mejorar el control del proceso y dar mayor confort y seguridad a los usuarios finales. Para lograr esto, se utilizaron los métodos de investigación documental y de campo, los cuales permitieron obtener la información técnica necesaria y la real necesidad del proceso en cuestión.

Tabla 1*Método de investigación documental y de campo*

Integrantes	Por Turno	Total (4 turnos)
Jefe de no catalítica y Planta de Gas	1	4
Supervisor de operaciones de Planta de gas	1	4
Técnico líder de panel de operaciones de Planta de Gas	1	4
Técnico operador de campo	1	4
Total de la población		16

Nota: Planta de gas GLP Shushufindi

Después de haber identificado la necesidad operativa del proceso y las condiciones de operación proporcionadas por los Jefes de Turno, se procedió a determinar el hardware y software disponibles en la Planta de Gas. Se encontró que cuenta con un PLC, una válvula de control y transmisores de nivel. Una vez que se identificó el material a utilizar y las facilidades operativas existentes, se procedió a instalar los elementos de control, tales como la válvula de control y el transmisor de nivel en el separador ya existente. Posteriormente, se llevó a cabo la calibración del instrumento utilizando un calibrador de procesos y se desarrolló la programación del controlador para obtener los datos del transmisor de nivel y controlar la válvula de control de nivel (Cepeda T & Venegas L, 2005).

CAPÍTULO II: PROPUESTA

2.1 Fundamentos teóricos aplicados

Para el desarrollo del proyecto se requiere del conocimiento de definiciones de los elementos necesarios a ser utilizados.

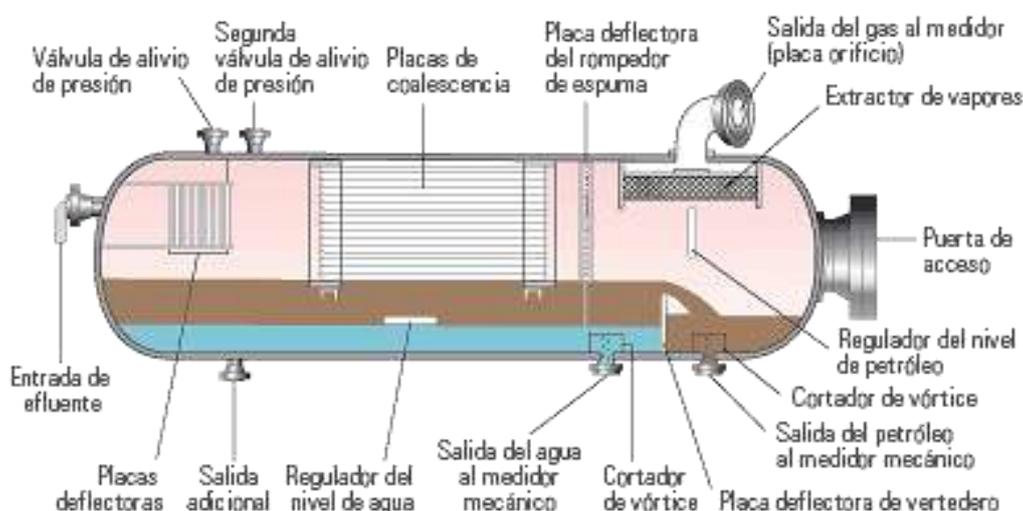
2.1.1 Separador bifásico primario

El separador bifásico primario es un equipo utilizado en la industria del petróleo y gas para separar los líquidos (como agua e hidrocarburos) del gas asociado al petróleo. En una planta de procesamiento de gas, el gas se obtiene de las estaciones de captación de gas, que contienen una gran cantidad de líquidos. Estos líquidos pueden causar daño al proceso de gas y deben ser separados antes de que el gas sea procesado. El separador bifásico primario es el primer equipo utilizado en el proceso de separación y su función es separar los líquidos del gas (Ji et al., 2022).

El control automático de nivel es un sistema utilizado para controlar el nivel de líquido en el separador bifásico primario. El control se realiza mediante una válvula de control, un transmisor de nivel y un controlador. El transmisor de nivel mide el nivel de líquido en el separador y envía una señal al controlador el cual procesa la señal y controla la apertura y cierre de la válvula de control para mantener el nivel de líquido dentro del separador dentro de los límites deseables (Arroba Silva, 2015).

Figura 1.

Separador bifásico primario



Nota: Esquema extraído de la página(LUIS E LEAL M, 01:07:16 UTC) por Energy Glossary

2.1.2 Válvula de control

Las válvulas son dispositivos utilizados para controlar o detener el flujo de líquidos o gases a través de tuberías, y pueden variar en su diseño y función según la aplicación requerida. En los procesos industriales, las válvulas de control son esenciales en los bucles de regulación, ya que su función principal es ajustar el caudal de fluido según las necesidades del proceso. Además de la válvula, el transmisor y el controlador también son importantes en el lazo de control (Qian et al., 2019).

Las válvulas pueden ser de varios tipos según el diseño del cuerpo y el movimiento del obturador. Se clasifican en: válvulas con obturador de movimiento lineal y válvula con obturador de movimiento rotativo.

Las válvulas de movimiento lineal en las que el obturador se mueve en la dirección de su propio eje son las siguientes:

- Válvula de globo
- Válvula de ángulo
- Válvula de tres vías mezcladora
- Válvula de jaula
- Válvula de compuerta
- Válvula en Y
- Válvula de cuerpo partido
- Válvula Saunders
- Válvula de compresión

Las válvulas de movimiento circular se clasifican en:

- Válvula de obturador excéntrico rotativo (Camflex)
- Válvula de obturador cilíndrico excéntrico
- Válvula de mariposa

- Válvula de bola
- Válvula de macho
- Válvula de orificio ajustable
- Válvula de flujo axial

Es importante tener en cuenta que el cuerpo de la válvula debe ser capaz de soportar la temperatura y presión del fluido, ser adecuado para el caudal que se va a controlar y resistente a la erosión o corrosión del fluido. Además, las conexiones y el tamaño del cuerpo de la válvula deben cumplir con ciertas normas de presión y temperatura, como las normas DIN y ANSI, y se pueden utilizar conexiones roscadas, bridas planas o soldaduras a tope según las necesidades específicas del proceso (VÁLVULAS, s. f.).

2.1.3 Transmisor de nivel

Los transmisores son dispositivos esenciales en el control de procesos industriales, ya que se encargan de captar la variable del proceso a través del elemento primario y transmitir la señal a distancia mediante señales neumáticas, electrónicas o digitales. Las señales neumáticas se sitúan generalmente en un rango de 3 a 15 psi, mientras que las señales electrónicas están normalizadas en 4 a 20 mA de corriente continua, y las señales digitales consisten en una serie de pulsos en forma de bits, conocido como código binario (Mecafenix, 2017).

Para seleccionar el transmisor de nivel adecuado para un separador de gas, se recomienda utilizar un sensor de presión diferencial que mide la presión antes y después de una interrupción en el flujo. De esta manera, el transmisor de presión diferencial puede calcular el nivel entre la fase líquida y la fase gaseosa del fluido, (García Ibarra et al., 2014). Sin embargo, es importante considerar la disposición del recipiente, la densidad específica del fluido y la presión hidrostática para asegurar que los cálculos sean precisos y la selección del transmisor sea la correcta.

La medición de nivel por presión diferencial (DP) es una técnica de medición comúnmente utilizada en una amplia variedad de aplicaciones, y se basa en las lecturas de presión y la gravedad específica para calcular el nivel.

2.1.4 Sistema de Control Distribuido (DCS)

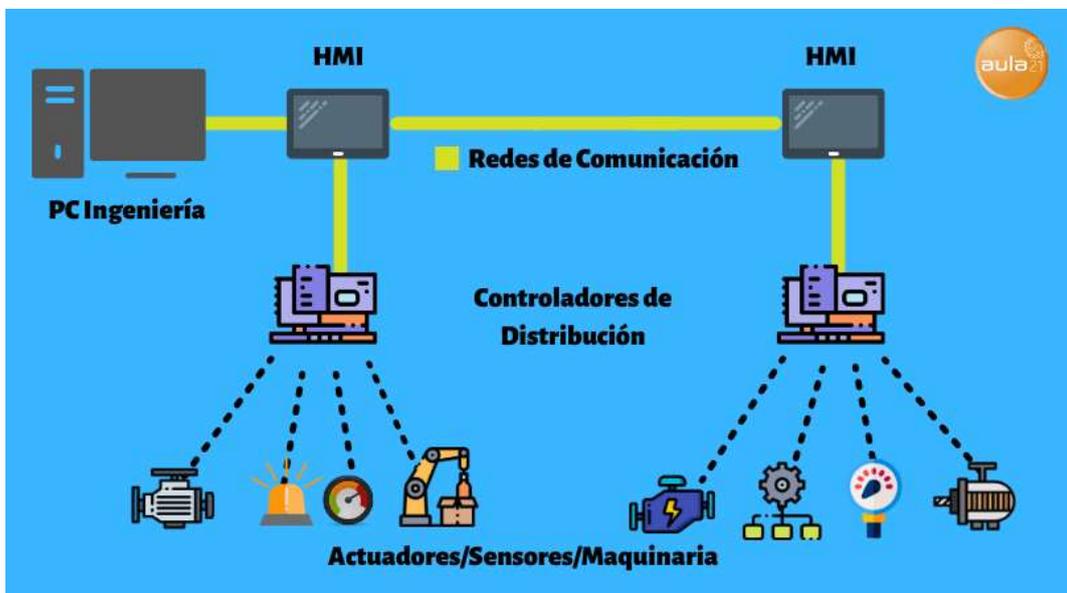
Un Sistema de Control Distribuido (DCS) es una configuración de controladores automatizados industriales que trabajan en conjunto con elementos de control distribuidos a lo

largo de una planta de control. El sistema usa bucles de control para permitir la interacción de control por toda la fábrica. Este sistema de control es muy común en el área industrial, ya que se basa en la automatización y digitalización, y se usa para controlar procesos y mejorar la seguridad y la confiabilidad de los mismos (aula21, 2019a).

La diferencia entre un controlador lógico programable y un sistema de control distribuido es que cada elemento de un proceso se controla por un controlador asignado a dicha tarea, y los controladores de una planta se conectan entre sí a través de una red de comunicación. Además, los DCS tienen herramientas específicas para configurar y tratar la base de datos, la lógica de control, garantizar la seguridad de la información, etc.

Figura 2.

Esquema de un sistema de control distribuido



Nota: Esquema de conexión extraída de la fuente (aula21, 2019a)

2.1.5 Sistemas de control

Un sistema de control es un conjunto de componentes que trabajan juntos para mantener una variable de proceso dentro de un rango deseado o preestablecido. Estos sistemas se utilizan en una variedad de aplicaciones, como en la industria, en la automatización de edificios y en el control de procesos químicos (Gandhi, 2019).

2.1.5.1 Control en bucle abierto

En un sistema de control de bucle abierto (open loop control system), el controlador no recibe información en tiempo real sobre la variable de salida del proceso que se desea controlar (Fig. 3). Se refiere a sistemas cuya salida es un actuador o una respuesta para lograr un objetivo específico a través de un proceso de control. Lo característico de estos sistemas es que la señal de salida no se compara con ninguna señal del proceso, sino que una de las señales de salida se mantiene constante (Herrero, s. f.). Este tipo de sistema de control se basa en un modelo simple y no requiere retroalimentación de la salida para operar, lo que lo hace fácil de implementar y económico. Sin embargo, su principal limitación es su incapacidad para ajustar el proceso a cambios en las condiciones de entrada o salida, lo que puede generar resultados impredecibles o no deseados.

Figura 3.

Representación de un control de bucle abierto



Nota: Esquema extraído de Sistemas de control | Introducción a la Automatización

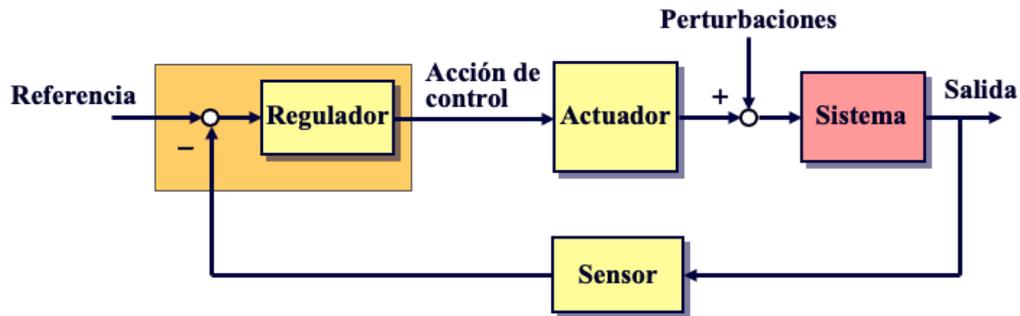
Industrial.(Herrero, s. f.)

2.1.5.2 Control de bucle cerrado

Los sistemas de control en bucle cerrado, también conocidos como sistemas de control de retroalimentación, se caracterizan por recibir información en tiempo real en sus entradas sobre el valor de la variable que controlan (ver Fig. 4). Estos sistemas utilizan esta información para ajustar su salida y mantener la variable controlada en un valor deseado. Este tipo de sistemas se caracterizan por contar con una retroalimentación en la señal de salida, lo que permite compararla con la señal de entrada y minimizar posibles errores en el proceso de control. Además, son muy eficaces para manejar perturbaciones y resultan muy útiles cuando no se conoce completamente la relación entre la señal de entrada y salida (Herrero, s. f.). Estos sistemas son altamente precisos y confiables, y se utilizan comúnmente en procesos industriales y de automatización.

Figura 4.

Representación de control de un bucle cerrado



Nota: Esquema extraído de Sistemas de control | Introducción a la Automatización Industrial.(Herrero, s. f.)

2.2 Descripción de la propuesta

La propuesta de este proyecto busca no solo mejorar la producción de GLP, sino también optimizar los procesos en la planta Shushufindi para garantizar una mayor eficiencia en la producción y una reducción en los costos de operación. Para ello, se ha identificado que una de las principales causas de las pérdidas en la producción es la presencia de taponamientos en el proceso de separación del gas, los cuales pueden generar disminuciones en la calidad del producto final, pérdida de tiempo y, por ende, aumento de los costos de producción, (Jonathan B - Issuu, s. f.).

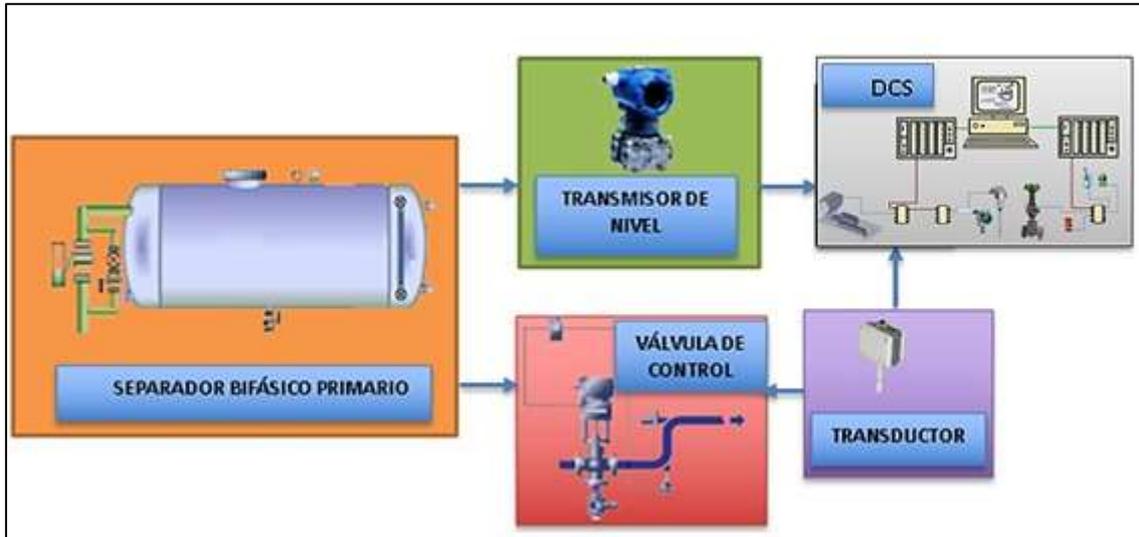
En este sentido, la implementación de un sistema de control automático de nivel en la planta Shushufindi, mediante el uso de un transmisor de nivel, permitirá medir con mayor precisión el nivel de agua que se encuentra en el separador bifásico primario y, de esta manera, poder realizar un control automático que active o desactive la válvula de control en dependencia del Setpoint, lo que contribuirá a un correcto funcionamiento y disminución de taponamientos en el sistema.

Cabe destacar que la implementación de un sistema de control automático no solo permitirá una mayor precisión en la medición del nivel de agua, sino que también mejorará la seguridad en la operación de la planta, ya que se evitarán posibles errores humanos en el proceso de control manual. Además, la instalación de un sistema de este tipo se ajusta a las tendencias actuales de automatización de procesos industriales, lo que permitirá a la empresa mantenerse a la vanguardia en cuanto a innovación tecnológica y competitividad en el mercado.

a. Estructura general

Figura 5.

Esquema general del proyecto



Nota: Elaboración propia, 2023

El proceso de control automático de nivel del separador de la planta procesadora de GLP de Shushufindi se lleva a cabo mediante una interconexión de elementos, que se puede observar en el diagrama de procesos. En primer lugar, se utiliza un transmisor de nivel que está conectado al separador. Este dispositivo mide el nivel en el tanque mediante presión diferencial y transmite la información a un controlador. A continuación, el DCS realiza el proceso necesario para poder determinar la señal a enviar al transductor, el cual se encarga de convertir la señal eléctrica en una señal neumática. Finalmente, la señal neumática es utilizada para activar o desactivar la válvula de control, de modo que se pueda mantener el setpoint del sistema. De esta manera, se logra un control preciso del nivel en el separador, lo que permite mejorar la producción de GLP y reducir las pérdidas debido a taponamientos en el proceso de separación del gas.

b. Explicación del aporte

El sistema de control del nivel de separador automático de gas de la planta productora Shushufindi es una solución de automatización industrial que utiliza tecnología avanzada para lograr un alto nivel de precisión y confiabilidad. En este sistema, el procesador FCP 270 de Foxboro se utiliza como el elemento central de control para procesar las señales de entrada y salida, se hace uso del procesador FCP 270 como dispositivo de control distribuido que utiliza

una arquitectura de computación en red para monitorear y controlar los procesos industriales. Este procesador es capaz de comunicarse con otros dispositivos en el sistema de control, como la tarjeta de entrada/salida FBM 244, para adquirir y controlar señales de campo, así mismo la tarjeta FBM 244 cuenta con cuatro entradas y cuatro salidas HART, lo que significa que puede recibir y transmitir señales digitales adicionales a través de una señal analógica existente. Esto permite una mayor capacidad de adquisición y control de señales de campo, lo que a su vez mejora la precisión y confiabilidad del sistema de control.

El transmisor de nivel utilizado en este sistema, es el modelo IDP10S-T22B21F-M1, considerado como un dispositivo de campo que se utiliza para medir el nivel del separador automático de gas. Este transmisor utiliza una tecnología de sensor de presión diferencial para medir la presión del líquido y la presión del vapor en el separador y calcular el nivel del líquido. La señal de salida de este transmisor se envía al procesador para realizar el control PID (proporcional, integral y derivativo) y generar la salida hacia el transductor E69F-T13-JRS 4-20 mA / 3-15 PSI, por otra parte, el transductor E69F-T13-JRS convierte la señal eléctrica de 4 a 20mA en una señal neumática de 3 a 15 PSI. Esta señal neumática se utiliza para activar la válvula KYMRAY 1" 3-15 PSI, que es la encargada de drenar el agua excedente del tanque bifásico primario (aula21, 2019b).

Tabla 2

Características técnicas de los elementos utilizados

Elementos	Características técnicas
<p>PROCESADOR FCP 270 FOXBORO</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Arquitectura de procesador: 32 bits -Lenguajes de programación: FBD (Function Block Diagram) -Capacidades de comunicación: Ethernet, Profibus, Modbus, OPC -Módulos: entrada y salida (I/O) -Capacidades avanzadas de control: control de bucle cerrado, el control PID y el control de secuencia. - Fuente de alimentación: 24 VDC -Tolerancia: ±15% -Corriente de entrada:1.25 A máx -Potencia de consumo máximo: 30 W -Puerto de comunicaciones: RS-232 entre +5 V y -5 V -Protecciones eléctricas: Contra cortocircuitos y sobretensiones
<p>FBM 244 4 ENTRADAS/4 SALIDAS HART</p>	<p>-Entradas y salidas: 4 entradas HART, 4 salidas HART</p>

	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentación universal de: 85-250VAC/VDC - Protección: IP65 - Alimentación de: 24 VDC para transmisores - Control de salidas con controladores: PID - Señal de retorno de: dos hilos y soporte de FDT/DTM - Protocolos: HART, seguridad de datos de seguridad y de comunicación de campo.
<p>TRANSMISOR IDP10S-T22B21F-M1</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Conexión de acero inoxidable: AISI 316L - Presión nominal: 10 bar - Rango de medición de: 0,6 a 40 bar - Precisión de spam: 0,25% - Señal de salida de: 4 a 20 mA - Alimentación de: 12 a 36 VDC - Protección: IP68 - Protocolos: HART, PROFIBUS y Modbus.
<p>CONVERTIDOR E69F-T13-JRS 4-20 mA / 3-15 PSI</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Entradas y salidas: 4 entradas HART, 4 salidas HART - Alimentación: 85-250VAC/VDC - Conversión de: 4-20 mA a 3-15 PSI - Protección: IP65 - Protocolos: HART, PROFIBUS y Modbus - Conexión: AISI 316L - Soporte: FDT/DTM
<p>VÁLVULA KYMRAY 1" 3-15 PSI</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Conexión de brida: 1 - Alcance de medición: 0a 15 PSI - Presión máxima de trabajo: 4000 psig - Válvula de bola de acero: AISI 316L - Protocolos: HART, PROFIBUS y Modbus - Protección: IP68 (Maestre Carrillo, 2015)

Nota: Información de evaluación de la factibilidad del uso del gas natural producido en el campo Shushufindi (Valdivieso & Eduardo, 2016)

Por consiguiente, este sistema de control del nivel de separador automático de gas utiliza tecnología avanzada y dispositivos de campo para adquirir y controlar señales de campo con una precisión y confiabilidad excepcionales. El uso del procesador FCP 270, la tarjeta FBM 244, el transmisor de nivel modelo IDP10S-T22B21F-M1, el transductor E69F-T13-JRS y la válvula KYMRAY 1" 3-15 PSI en conjunto permiten un control de nivel de separador automático de gas altamente eficiente y confiable, en la tabla 2 se presentan las especificaciones técnicas de cada uno de los elementos utilizados para el desarrollo del proyecto.

Implementación en la planta

En la figura 6, se muestra el tanque separador bifásico primario de la planta productora de gas Shushufindi, el cual se utiliza para separar el gas asociado al petróleo del líquido. En este tanque se implementará un sistema de control de nivel automático para asegurar el drenaje del exceso de líquido del tanque de separación.

Figura 6.

Tanque bifásico primario de la planta de gas Shushufindi



Nota: Esquema de implementación en la planta Shushufindi

La válvula elegida para la implementación del proyecto se muestra en la figura 7 y se conecta al transductor eléctrico-neumático que cuenta con una presión máxima de trabajo: 4000 psig y una protección IP68, con el propósito de regular la descarga del líquido sobrante en el tanque bifásico primario.

Figura 7.

Válvula de control KYMRAY utilizada



En la planta de gas Shushufindi se ha incorporado el transmisor de nivel, como se muestra en la figura 8, cuya función es la de medir el nivel de líquido presente en el separador de gas con el propósito de llevar a cabo acciones específicas en el proceso, cuenta con una señal de salida de 4 a 20 mA que será procesada por el DCS.

Figura 8.

Conexión del transmisor de nivel



El transductor E69F-T13-JRS, se implementó para la conversión de la señal emitida por el DCS en la relación de 4-20 mA a 3-15 PSI, como se observa en la figura 9, se encuentra acoplado a la estructura del tanque bifásico primario.

Figura 9.

Transductor de señal eléctrica a señal neumática



El sistema de control distribuido para el procesamiento de la señal recibida por el transmisor de nivel y la salida al transductor, se puede visualizar en la figura 10 con sus respectivas conexiones, además este sistema (conocido como DCS), cuenta con la programación necesaria para controlar el sistema mediante el algoritmo PID.

Figura 10.

Conexiones del sistema de separador automático con el procesador FCP 270



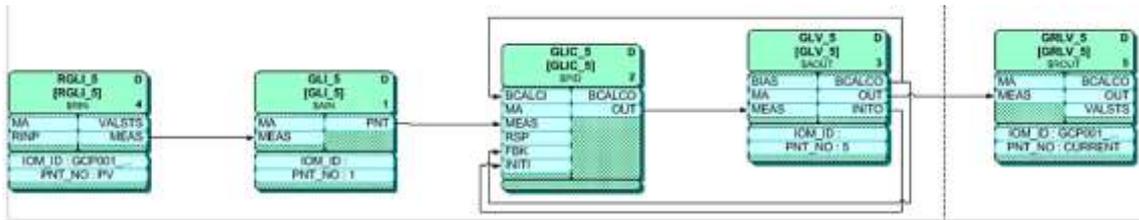
Programación en Archestra IDE

La programación en Archestra IDE se realiza mediante la creación y configuración de objetos y componentes de aplicación. Estos objetos y componentes se pueden reutilizar en múltiples proyectos, lo que facilita la creación y mantenimiento de aplicaciones de automatización de procesos (Sevillano, s. f.).

En el proyecto REF_SHUSHUFINDI se han desarrollado bloques específicos para el control automático del nivel del tanque. En la figura 11, se muestran los cinco bloques creados para este fin. El primer y último bloque son bloques por defecto que se generan automáticamente al inicio del proyecto, mientras que los 3 restantes fueron los realizados para el control.

Figura 11.

Bloque de programación del bloque en Archestra IDE

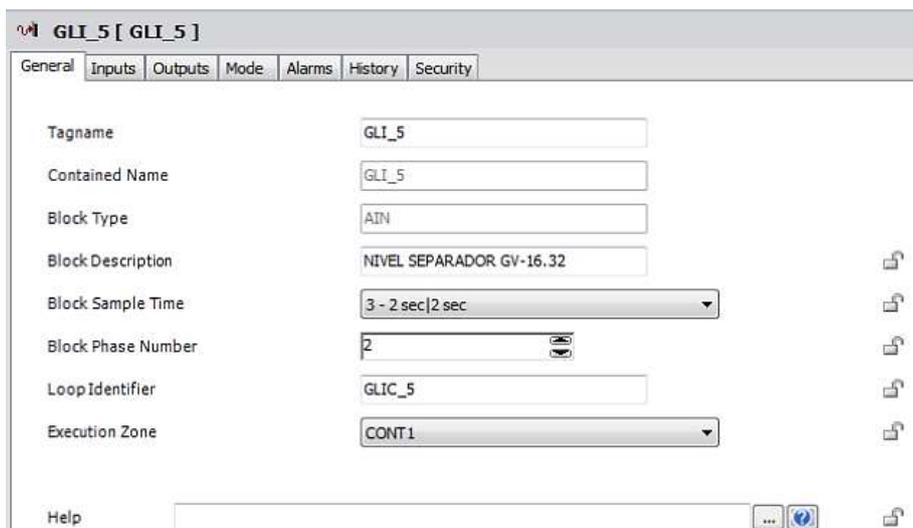


Nota: Elaboración propia,2023

El bloque GLI_5 se utiliza para recibir y procesar la señal del transmisor de nivel, el cual mide el nivel de agua en el tanque y envía la señal al sistema de control. La configuración del bloque se puede visualizar en las figuras 12 y 13, donde se establecen los diferentes parámetros de configuración, como el tiempo de muestreo, la zona de ejecución y el control de la señal de entrada, entre otros. Una vez que el bloque GLI_5 recibe la señal del transmisor, la procesa y envía la información al siguiente bloque, GLIC_5, el cual actúa como un controlador PID encargado de realizar el proceso de control del nivel del tanque. El controlador PID utiliza la información recibida por el bloque GLI_5 para calcular la señal de control necesaria para regular el nivel del tanque, y envía esta señal al bloque de salida correspondiente.

Figura 12.

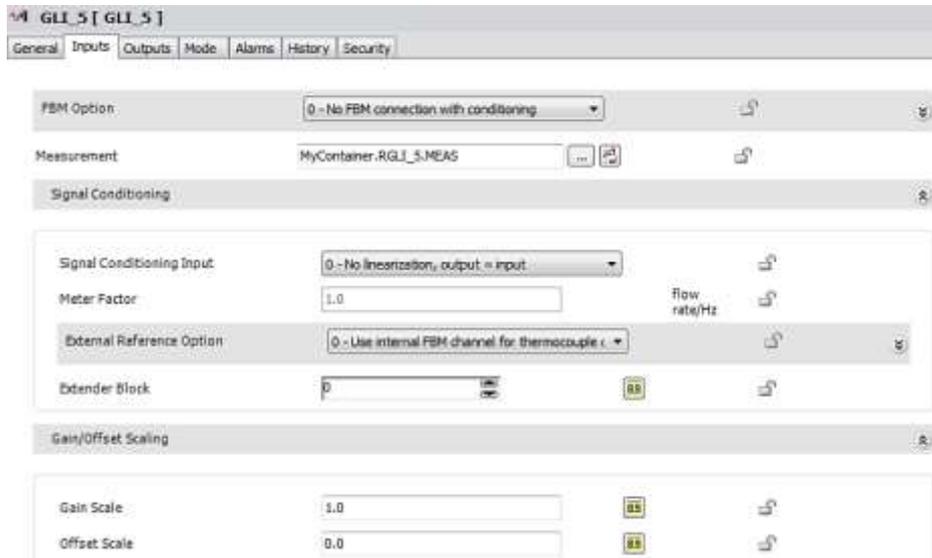
Bloque GLI_5 para recibir y procesar la señal del transmisor de nivel



Nota: Elaboración propia,2023

Figura 13.

Parámetros de entrada del Bloque GLI_5

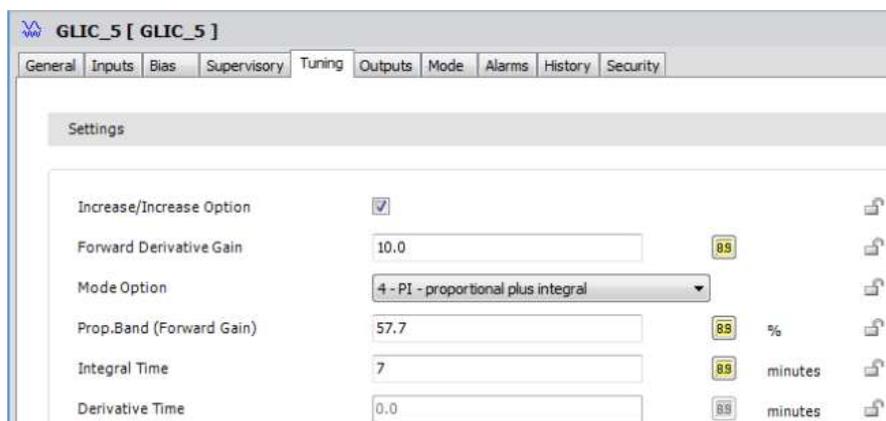


Nota: Elaboración propia,2023

En la figura 14, se puede observar los parámetros de configuración del bloque de controlador PID GLIC_5, el cual es responsable de realizar el proceso de control. En este bloque se establecen diversos parámetros técnicos, como la escala de valores de ingreso y el modo de operación del PID. En particular, se establece un modo proporcional integral con una ganancia derivativa de 10. Este proceso de control es crucial para asegurar que el nivel de agua en el tanque se mantenga dentro de los límites aceptables.

Figura 14.

Parámetros de configuración del bloque de controlador PID GLIC_5

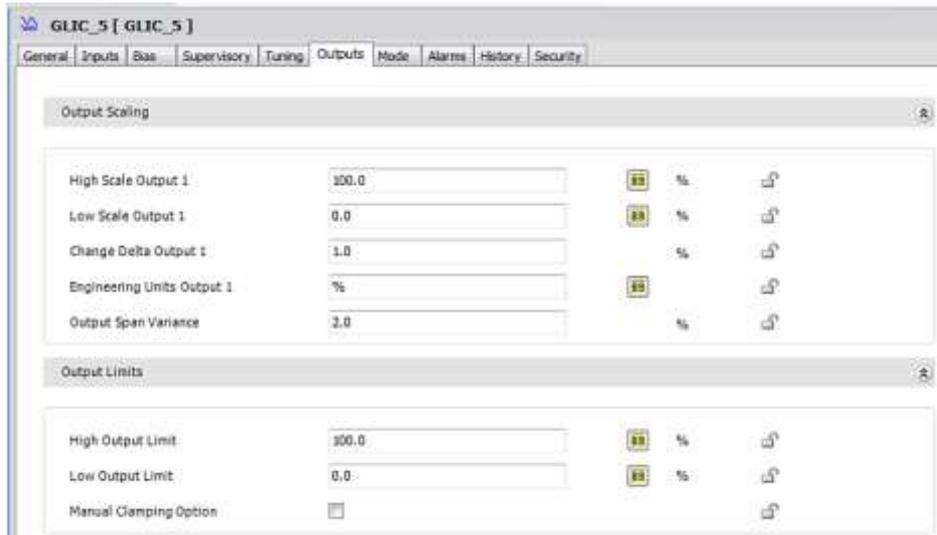


Nota: Elaboración propia,2023

Por otro lado, en la figura 15, se presentan los parámetros de configuración para las salidas del controlador PID. La salida de la señal va desde un rango 0 al 100% de la potencia, lo que equivale a una salida máxima de 20 mA. Esta señal es enviada al bloque GLV_5 el cual se encarga de controlar la válvula y drenar el agua excedente del tanque bifásico primario.

Figura 15.

Parámetros de configuración para las salidas del controlador PID

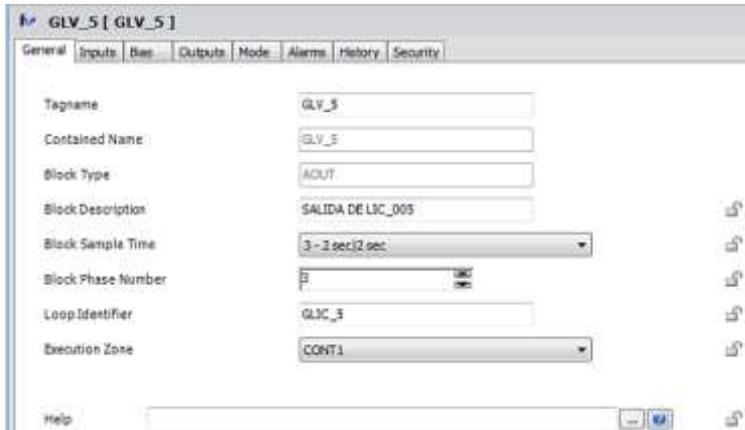


Nota: Elaboración propia, 2023

El bloque GLV_5, que es la última etapa en el control automático de nivel, cuenta con parámetros de configuración que se pueden observar en la figura 16. En esta configuración se establecen los valores para el tiempo de muestreo y el rango de la señal de salida que se envía al transductor como se muestra en la figura 17, así como también la señal de entrada proveniente del bloque PID. Estos parámetros son esenciales para asegurar un adecuado funcionamiento del sistema de control, ya que permiten una correcta sincronización de la señal de entrada y salida.

Figura 16.

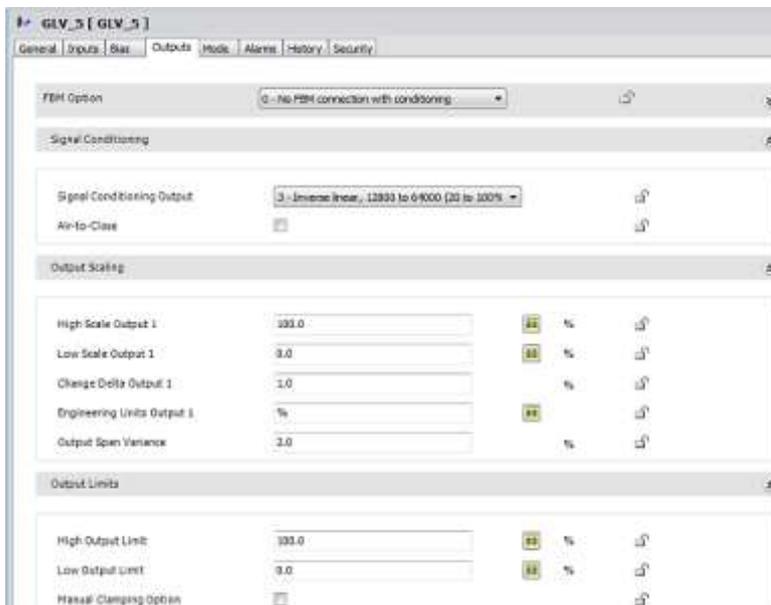
Etapa en el control automático de nivel del bloque GLV_5



Nota: Elaboración propia,2023

Figura 17.

Parámetros de salida



Nota: Elaboración propia,2023

Este proceso de control automático del nivel del tanque se lleva a cabo mediante la interconexión de los bloques mencionados anteriormente. Cada bloque cumple una función específica y contribuye al correcto funcionamiento del sistema. De esta manera, se logra un control eficiente y preciso del nivel del tanque en la planta productora Shushufindi.

Diseño HMI

Para el diseño de la interfaz HMI del control del separador bifásico primario, se utilizó la herramienta de archivo de pantalla del software Archestra IDE. A través de esta herramienta, se seleccionaron los diferentes elementos necesarios para construir la interfaz gráfica del usuario.

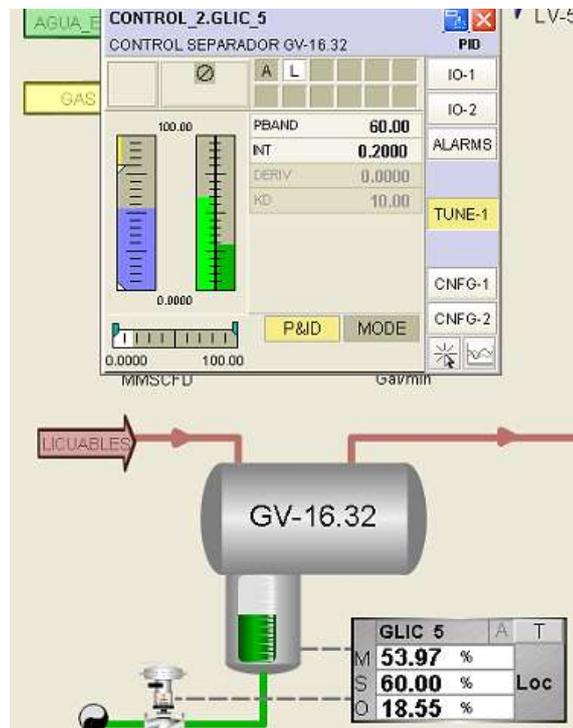
En la figura 18 del proyecto, se pueden apreciar los componentes que conforman la interfaz HMI, que se utiliza para monitorear y controlar el tanque de separación de gas, hidrocarburos y agua. El primer componente en la interfaz es el tanque GV-16.32, que representa el tanque encargado de la separación de los fluidos mencionados.

Además, la interfaz cuenta con una tabla que muestra los indicadores del transmisor de nivel, el Setpoint y la salida para el transductor que controla la válvula. Esta tabla es una herramienta importante para monitorear el nivel de líquido dentro del tanque y controlar el flujo del líquido dentro del sistema mediante el Setpoint ingresado.

En la figura 18, se visualiza una ventana que muestra los parámetros referentes al controlador PID, como es la información sobre la ganancia proporcional, integral y derivativa, así como el modo de operación del mismo.

Figura 18.

Interfaz HMI referente al separado bifásico primario

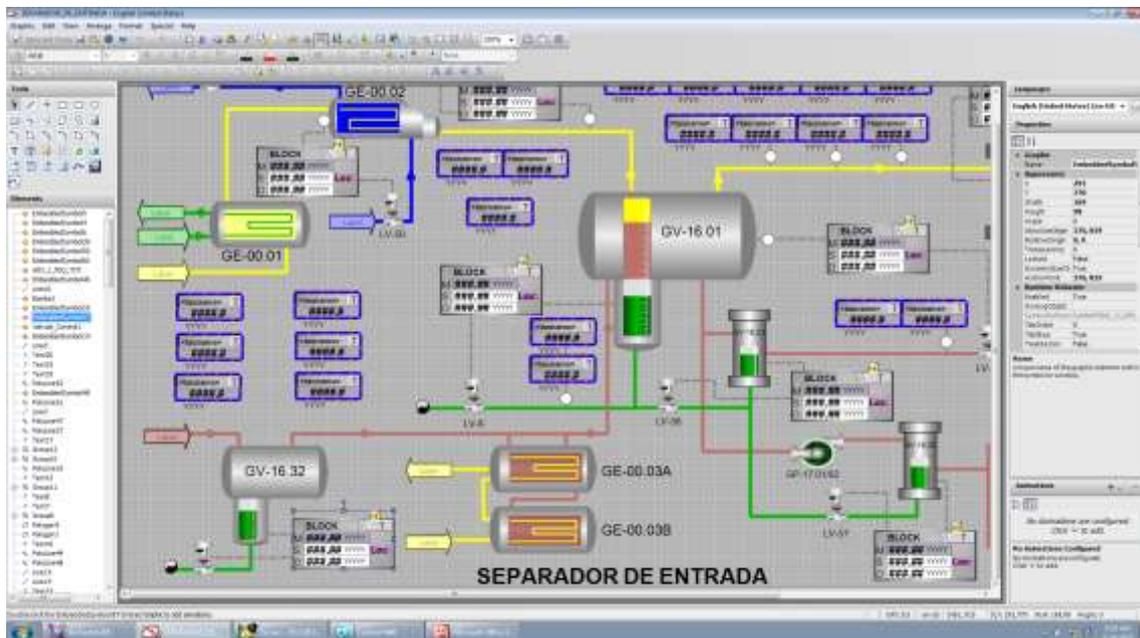


Nota: Elaboración propia, 2023

Luego de completar la etapa de diseño de la interfaz (HMI) para el proyecto de control del separador de nivel en el tanque bifásico primario, se procedió a integrar dicha interfaz en el HMI general que controla el proceso de la planta productora de gas Shushufindi. La integración se llevó a cabo mediante la programación de los componentes necesarios para asegurar una interacción fluida y segura entre el sistema de control del separador de nivel y el sistema de control general de la planta. Esta integración permitió obtener una visión completa y consolidada del proceso de producción de gas y facilitó la monitorización y el control de todas las variables involucradas en el proceso como se muestra en la figura 19.

Figura 19.

Diagrama general de planta productora Shushufindi



c. Estrategias y/o técnicas

En primer lugar, fue importante realizar un análisis detallado del proceso y de las necesidades de la empresa para mejorar su producción y cumplir con los requisitos del sistema, a continuación, se llevó a cabo una selección adecuada de los equipos y dispositivos de control, como los transmisores de nivel, controladores PID y válvulas de control, que permitan una operación eficiente y confiable del sistema. También fue fundamental realizar una programación adecuada de los bloques de control según las normativas establecidas en el software Orchestra IDE, asegurándose de que las configuraciones y parámetros sean los correctos para el correcto funcionamiento del sistema. Finalmente, fue importante realizar pruebas y puesta en marcha del sistema, con el fin de garantizar su correcto funcionamiento y ajustar cualquier parámetro

necesario para la sintonización del PID u otros aspectos en el control de nivel para un proceso optimo en la separación de gas.

Se determina la interfaz de programación Archestra IDE como la adecuada para realizar el proyecto de control automático de nivel para la separación de gas en la planta Shushufindi. Esto debido a que Archestra IDE es un software de programación de automatización industrial que ofrece una amplia variedad de herramientas y recursos para el diseño, desarrollo e implementación de sistemas de control avanzados siendo una plataforma altamente escalable y personalizable que permite a los ingenieros y programadores adaptar fácilmente los sistemas de control a las necesidades específicas de la aplicación. Otra razón a destacar es su capacidad de integración con otros sistemas y dispositivos de automatización industrial, lo que facilita la comunicación y el intercambio de datos entre diferentes componentes del sistema de control. Además, es compatible con una amplia variedad de protocolos y estándares de comunicación, ofreciendo una interfaz gráfica intuitiva y fácil de usar que permite a los programadores diseñar y desarrollar sistemas de control complejos de manera eficiente y efectiva.

2.3 Validación de la propuesta

Se han establecido criterios específicos para seleccionar a los especialistas que participarán en la validación del modelo. Estos criterios incluyen una formación académica relevante en relación al tema de investigación, así como experiencia laboral y/o académica en la gestión administrativa y una motivación clara para participar en el proyecto. En la tabla siguiente se detalla la información de los especialistas seleccionados para llevar a cabo la validación.

El objetivo principal de esta validación es confirmar la metodología de trabajo utilizada en la investigación y validar los resultados, conclusiones y recomendaciones obtenidos. Además, en caso de ser necesario, se buscará redefinir el enfoque de los elementos desarrollados en la propuesta, considerando la experiencia y conocimientos de los especialistas. Finalmente, se espera constatar las posibilidades potenciales de aplicación del modelo de gestión propuesto

Tabla 3*Perfil de validadores*

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Adolfo Torres	+10 años	Ingeniero de Mantenimiento	Jefe de instrumentación y automatización
Darío López	+10 años	Diploma superior en Redes Digitales Industriales	Jefe de proyectos operativos
Ángel Idrobo	+10 años	Ingeniero en Administración y Producción Industrial	Jefe de instrumentación y automatización

Elaborado por: Autor

Tabla 4*Criterios de valuación*

Criterios	Descripción
Impacto	Representa el alcance que tendrá el modelo de gestión y su representatividad en la generación de valor público.
Aplicabilidad	La capacidad de implementación del modelo considerando que los contenidos de la propuesta sean aplicables
Conceptualización	Los componentes de la propuesta tienen como base conceptos y teorías propias de la gestión por resultados de manera sistémica y articulada.
Actualidad	Los contenidos de la propuesta consideran los procedimientos actuales y los cambios científicos y tecnológicos que se producen en la nueva gestión pública.
Calidad Técnica	Miden los atributos cualitativos del contenido de la propuesta.
Factibilidad	Nivel de utilización del modelo propuesto por parte de la Entidad.
Pertinencia	Los contenidos de la propuesta son conducentes, concernientes y convenientes para solucionar el problema planteado.

Elaborado por: UISRAEL

Tabla 5*Datos del validador 1*

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Adolfo Torres	+10 años	Ingeniero de Mantenimiento	jefe de instrumentación y automatización

Elaborado por: Autor

Tabla 6*Escala de evaluación. Elaborada por: Adolfo Torres*

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia				X	

Elaborado por: Autor

Tabla 7*Datos del validador 2*

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Darío López	+10 años	Diploma superior en Redes Digitales Industriales	Jefe de proyectos operativos

Elaborado por: Autor

Tabla 8*Escala de evaluación. Elaborada por: Darío López*

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia				X	

Elaborado por: Autor

Tabla 9*Datos del validador 3*

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Ángel Idrobo	+10 años	Ingeniero en Administración y Producción Industrial	jefe de instrumentación y automatización

Elaborado por: Autor

Tabla 10*Escala de evaluación. Elaborada por: Ángel Idrobo*

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia				X	

Elaborado por: Autor

2.4 Matriz de articulación de la propuesta

En la presente matriz se sintetiza la articulación del producto realizado con los sustentos teóricos, metodológicos, estratégicos-técnicos y tecnológicos empleados.

Tabla 11

Matriz de articulación

Ejes o partes principales del proyecto	Breve descripción de los resultados de cada parte	Sustento teórico que se aplicó en la construcción del proyecto	Metodologías, herramientas técnicas y tecnológicas que se emplearon
<p>1 Análisis de los diferentes dispositivos eléctricos, electrónicos y neumáticos de acuerdo a su modo de operación de variables.</p>	<p>1.1. Para la selección de los dispositivos eléctricos, electrónicos y neumáticos del sistema fue necesario investigar los requerimientos de la empresa, así como la disposición del espacio en el tanque bifásico primario.</p> <p>1.2. Se llevó a cabo una cuidadosa evaluación de los datos técnicos proporcionados por los fabricantes de dispositivos para determinar los modelos adecuados para el proyecto</p>	<p>Matemáticas Aplicadas</p> <p>Visión por Computador</p> <p>Comunicaciones Dedicadas</p> <p>Machine Learning</p>	<p>Se analizó la información técnica presente en los Datasheet de los dispositivos y en fuentes oficiales de los fabricantes</p>

		en cuestión, como especificaciones de rendimiento, características de funcionamiento y compatibilidad con otros componentes del sistema.		
2	Implementación del sistema de control para el nivel del tanque y programación en Archestra IDE para el desarrollo del controlador PID	<p>2.1. Se procedió a llevar a cabo las conexiones eléctricas necesarias para el correcto funcionamiento del sistema, las cuales incluyen la conexión del transmisor de nivel IDP10S-T22B21F-M1 al procesador para la medición precisa del nivel de líquido en el tanque. Asimismo, se efectuó la conexión del transductor E69F-T13-JRS de señal eléctrica a neumática con el procesador, el transductor se encuentra conectado a su vez a la válvula de presión para garantizar el control adecuado del proceso.</p> <p>2.2. Una vez establecidas las conexiones, se procedió a la programación del procesador en Archestra IDE mediante la</p>	<p>Instalaciones eléctricas industriales</p> <p>Procesamiento de señales</p> <p>Programación del procesador</p> <p>Sintonización de PID</p>	<p>Diagramas de conexiones eléctricas de los dispositivos, utilización del software para la programación de lectura, salida de datos y controlador PID.</p>

		utilización de un bloque de control PID, el cual permite la implementación de un control preciso del nivel de líquido en el tanque.		
3	Diseño de la interfaz HMI para la monitorización y control del sistema, comprobación del funcionamiento del control de nivel de la planta productora de GLP Shushufindi.	<p>3.1 Siguiendo el diseño de la interfaz HMI inicial del proceso de gas de la planta Shushufindi se implementó el grafico del tanque bifásico primario con los indicadores de nivel, setpoint y salida del sistema</p> <p>3.2 Se evaluó el sistema mediante diversas pruebas de funcionamiento verificando que el nivel del tanque no sobrepase el valor del setpoint</p>	<p>Programación de HMI</p> <p>Interpretación de datos</p> <p>Control Proporcional Integral Derivativo</p>	<p>Instalación del entorno de programación para la interfaz, supervisión y gestión en tiempo real del proceso, mediante la ejecución de pruebas de campo, monitoreo y verificación constante de las variables</p>

2.5 Análisis de resultados. Presentación y discusión.

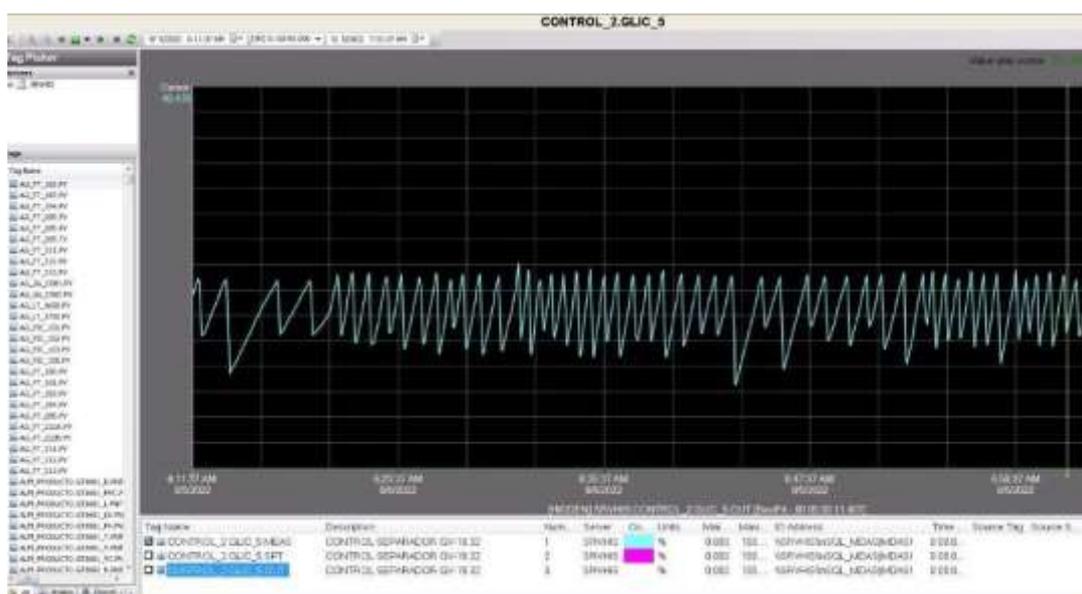
La implementación del sistema automático de control de nivel en la Planta Shushufindi es una solución clave para mejorar la producción y el abastecimiento de GLP a las provincias de Sucumbíos y Orellana. Este sistema permite reducir el tiempo empleado por el operador técnico en el accionamiento manual de la válvula de drenaje de líquido, lo que se traduce en una mayor eficiencia y una disminución de los errores humanos que pueden retrasar el proceso.

Además, el sistema automático de control de nivel también ayuda a prevenir los taponamientos y la filtración de agua en el tanque separador, lo que puede ocasionar pérdidas significativas para la empresa. Al reducir el tiempo de separación de gas, se garantiza un proceso más rápido y eficiente, lo que se traduce en un aumento en la producción de GLP y en una mayor rentabilidad para la Planta Shushufindi.

En la Figura 20 se puede observar una señal generada en tiempo real por el transmisor de niveles, mostrando varios picos de señal que representan la activación y desactivación del sensor cuando detecta que el nivel de líquido está dentro del rango o por encima del mismo. Esto es para controlar que el nivel no exceda los límites establecidos. Si esto ocurre, se activa la válvula de drenaje para estabilizar el sistema en los rangos óptimos de operación.

Figura 20.

Comportamiento de la señal del transmisor de nivel

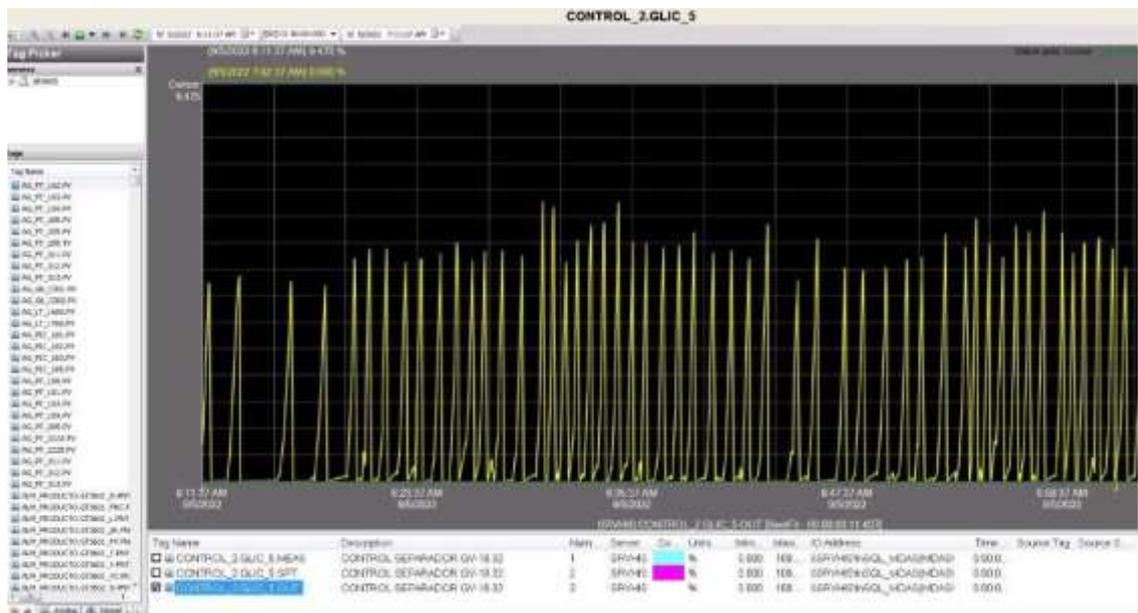


Nota: Elaboración propia, 2023

Para realizar pruebas en la válvula de drenaje, se estableció un proceso de pruebas del control de nivel, el cual está representado en la figura 20. Cuando se detecte líquido en el tanque, se enviará una señal para activar la válvula, que permitirá el drenaje del exceso de líquido hasta que se reciba una señal de desactivación. Después de eso, el ducto de drenaje se cerrará, hasta recibir otra señal de activación, las pruebas de funcionamiento se muestran en la figura 21.

Figura 21.

Prueba de funcionamiento de la válvula



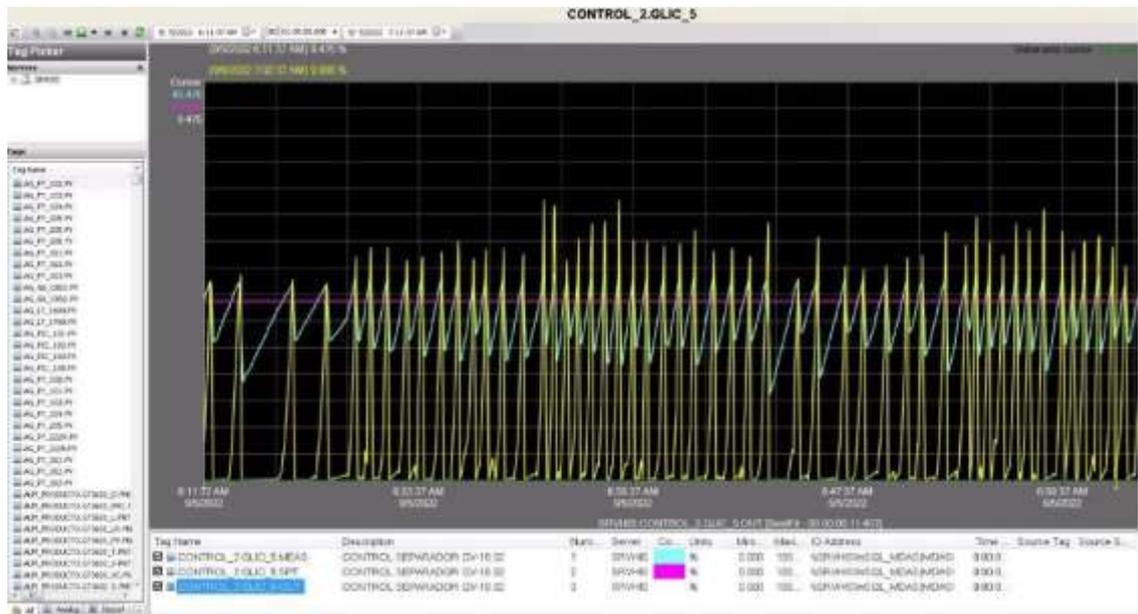
Nota: Elaboración propia,2023

La Figura 22, ilustra el resultado final del sistema de control automático de nivel del separador bifásico, en el cual se observa la relación entre los parámetros de Setpoint, Nivel y Válvula. Durante la fase de prueba, se establece un rango específico para la señal de Setpoint, lo que permite evaluar el comportamiento del sistema en situaciones controladas. Como se puede apreciar en la figura, el nivel y la posición de la válvula se mantienen dentro del rango establecido por el valor de Setpoint, lo que demuestra la eficacia del sistema de control. Este resultado es crucial para garantizar un funcionamiento óptimo del proceso de producción de gas, ya que el control adecuado del nivel en el separador bifásico permite evitar problemas de taponamiento y pérdidas de producción innecesarias, lo que se traduce en una mayor eficiencia y rentabilidad para la Planta de Gas de Shushufindi. Por tanto, se puede concluir que el sistema

de control automático de nivel del separador bifásico cumple con los objetivos establecidos y es una solución efectiva para mejorar el proceso de producción de gas en la planta.

Figura 22.

Resultado final del sistema de control automático de nivel



Nota: Elaboración propia,2023

CONCLUSIONES

Se contextualizo los fundamentos teóricos sobre un separador bifásico y sus elementos de control lo cual es fundamental para entender su importancia en el proceso de producción de gas. Se logró comprender la importancia del proceso de separación de agua y líquido en el gas asociado al petróleo para garantizar un suministro constante y eficiente de GLP a las provincias de Sucumbíos y Orellana. La investigación y el conocimiento profundo de los fundamentos teóricos permitieron identificar las limitaciones y desafíos que se presentan en el proceso de producción de gas, y la importancia de implementar un separador bifásico con un control adecuado del nivel de agua. La contextualización teórica también permitió identificar los elementos de control necesarios para garantizar el correcto funcionamiento del separador bifásico y evitar taponamientos en el proceso de producción. Estos elementos de control incluyen la válvula de control de nivel, la medición de presión y temperatura, y el controlador de nivel.

Se determinó la válvula de control adecuada para el correcto funcionamiento del control de nivel del separador bifásico comprendiendo la importancia de la elección correcta de la misma en el proceso de separación de agua y líquido en el gas asociado al petróleo. La investigación y el análisis de los diferentes tipos de válvulas permitieron identificar la válvula de control neumático como la opción más adecuada para el presente proyecto. Esta elección se basó en sus características de alta precisión, bajo costo y fácil mantenimiento. Además, se identificaron los parámetros críticos que deben ser considerados al seleccionar la válvula de control de nivel. Estos incluyen la relación de caudal, la capacidad de la válvula, la presión diferencial y la capacidad de recuperación.

Se desarrolló el lazo de control adecuado para el control de nivel del separador bifásico lo cual es esencial para garantizar el correcto funcionamiento del proceso. Para lograr esto, fue necesario conocer en detalle los requerimientos del sistema, identificar los parámetros críticos y seleccionar los instrumentos de medición adecuados. También fue importante elegir el tipo de controlador y las estrategias de control adecuadas que se adapten al proceso. Una vez que se ha desarrollado el lazo de control, se realizó un análisis cuidadoso del sistema para determinar si el controlador es estable y si cumple con los requisitos del proceso. Se realizaron pruebas en el lazo de control para así ajustar los parámetros y garantizar que el controlador sea preciso y efectivo en la regulación del nivel del separador bifásico.

Se ha comprobado que el control de nivel del separador bifásico es efectivo y su implementación es esencial para optimizar el proceso de producción de gas en la Planta de Gas de Shushufindi. La validación del correcto funcionamiento del sistema mediante la activación y desactivación de la válvula y la observación en tiempo real de las gráficas ha permitido asegurar la eficiencia del proceso y evitar taponamientos y pérdidas innecesarias de producción. El uso de un controlador PID ha demostrado ser una solución viable para mejorar la rentabilidad de la planta y maximizar la eficiencia del proceso. La monitorización en tiempo real de las gráficas de activación y desactivación de la válvula, según el setpoint, permitió la determinación de que el control automático de nivel funciona correctamente y cumple el propósito para el cual fue desarrollado. Es importante destacar que el sistema de control de nivel no solo mejoró la eficiencia del proceso, sino que también aumentó la seguridad en la planta de gas, ya que se reducen los riesgos de fallas en el sistema y se minimizan los tiempos de inactividad.

RECOMENDACIONES

Para contextualizar los fundamentos teóricos sobre un separador bifásico y sus elementos de control, es recomendable revisar fuentes confiables y actualizadas, tales como manuales de operación del fabricante y literatura técnica especializada. También se puede contactar con expertos en el tema para aclarar dudas y obtener información relevante.

Al determinar la válvula de control se deben considerar factores como la presión y temperatura de trabajo, el tipo de líquido y gas que se están separando, y la capacidad de la válvula para manejar el flujo requerido. Es importante consultar con proveedores de válvulas de control de confianza para obtener asesoramiento y recomendaciones.

Al desarrollar el lazo de control adecuado para el control de nivel de acuerdo con el proceso, se deben tener en cuenta aspectos como la frecuencia de muestreo, la ganancia del controlador, y el tipo de algoritmo de control a utilizar. Es recomendable realizar pruebas y ajustes en la configuración del controlador para optimizar su desempeño y asegurar un control preciso y estable del nivel.

Se deben realizar pruebas en condiciones controladas y observar la respuesta del sistema ante cambios en el nivel de líquido. Es recomendable utilizar instrumentación de medición precisa y software de registro y análisis de datos para evaluar el desempeño del control de nivel. Además, se deben establecer procedimientos de mantenimiento y monitoreo continuo para asegurar la operación confiable y segura del sistema.

Es importante realizar pruebas exhaustivas en el controlador y en el sistema de control en general para asegurarse de que los valores medidos sean precisos y que el controlador esté ajustado adecuadamente. También es fundamental realizar pruebas en diferentes condiciones operativas para garantizar que el controlador sea efectivo en diferentes situaciones.

Es necesario asegurarse de que se hayan implementado medidas de seguridad adecuadas para evitar posibles riesgos para el personal y el equipo en caso de fallas del controlador.

BIBLIOGRAFÍA

- 2018 Laboratorio 01 DCS FCS Hardware DCS | PDF | Scada | Microprocessor. (s. f.). Recuperado 1 de marzo de 2023, de <https://es.scribd.com/document/380190593/2018-Laboratorio-01-DCS-FCS-Hardware-DCS>
- Arroba Silva, D. J. (2015). *Diseño e implementación de un sistema de control automático de petróleo, agua y gas, mediante un PLC y visualización en una HMI, para la empresa SERTECPET S.A.* [BachelorThesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Carrera de Ingeniería Mecatrónica.]. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/10122>
- aula21. (2019a, diciembre 11). Qué es un Sistema de Control Distribuido (DCS) | Aula21. *aula21 | Formación para la Industria*. <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-de-control-distribuido/>
- aula21. (2019b, diciembre 11). Qué es un Sistema de Control Distribuido (DCS) | Aula21. *aula21 | Formación para la Industria*. <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-de-control-distribuido/>
- Cepeda Tafur, J. L., & Venegas López, C. A. (2005). *Automatización y control de un sistema de calibración y medición de flujo de petróleo en la estación central del Campo Shushufindi* [BachelorThesis, ESPE / SANGOLQUÍ / 2005]. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/588>
- Esteban Nieto, N. (2018). *Tipos de Investigación*.
- Ferrin Vera, C. R. (2020). *Metodología para modelar y sintonizar lazos de control del proceso, enfocado a minimizar el consumo energético en el recipiente (U_V5) en la Unidad de tratamiento de gas de Petroecuador Esmeraldas*. <http://dspace.espe.edu.ec/handle/123456789/14507>

- Gandhi, M. (2019, noviembre 27). *¿Qué es un sistema de control?* - AUTYCOM.
<https://www.autycom.com/que-es-un-sistema-de-control/>,
<https://www.autycom.com/que-es-un-sistema-de-control/>
- García Ibarra, A. R., Hernández González, A., Ramírez Beltrán, J., Reina Muñoz, R., & Charry Rodríguez, E. (2014). Transmisor de presión diferencial de muy alta precisión y estabilidad. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 35(1), 57-77.
- Herrero, A. B., Pablo San Segundo y Rebeca. (s. f.). *1.5 Sistemas de control | Introducción a la Automatización Industrial*. Recuperado 1 de marzo de 2023, de https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/sistemas-de-control.html
- Instructivo de operación de un separador de fluidos by Jonathan Barrios—Issuu*. (s. f.). Recuperado 1 de marzo de 2023, de https://issuu.com/jonathanbarrios/docs/instructivo_de_operacion_de_un_sepa
- Ji, L., Zhao, Q., Deng, H., Zhang, L., & Deng, W. (2022). Experimental Study on a New Combined Gas–Liquid Separator. *Processes*, 10(7), Art. 7. <https://doi.org/10.3390/pr10071416>
- LUIS EDUARDO LEAL MARTINEZ. (01:07:16 UTC). *Separador horizontal*. <https://es.slideshare.net/TlakuaOher/separador-horizontal-50116343>
- Maestre Carrillo, L. C. (2015). *Criterios de ingeniería para la selección de instrumentación en un proceso de separación de crudo*. Universidad Pontificia Bolivariana. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/2090>
- Martínez Clemente, F. (2016). *Calibración y configuración de sensores inteligentes y elementos finales de control, mediante protocolo HART*. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/6642>
- Mecafenix, I. (2017, abril 4). Transmisores industriales y sus tipos. *Ingeniería Mecafenix*. <https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/transmisores-industriales/>

- Qian, J., Gao, Z., Hou, C., & Jin, Z. (2019). A comprehensive review of cavitation in valves: Mechanical heart valves and control valves. *Bio-Design and Manufacturing*, 2(2), 119-136. <https://doi.org/10.1007/s42242-019-00040-z>
- Schlumberger. (s. f.). *Separador*. Energy Glossary. Recuperado 23 de febrero de 2023, de <https://glossary.slb.com/es/terms/s/separador>
- Sevillano, F. (s. f.). redindustria: ¿Qué es Archestra? *redindustria*. Recuperado 1 de marzo de 2023, de <http://redindustria.blogspot.com/2008/07/qu-es-archestra.html>
- Valdivieso, G., & Eduardo, C. (2016). *Evaluación de la factibilidad del uso del gas natural producido en el campo Shushufindi como una alternativa energética para disminuir la contaminación ambiental en el oriente ecuatoriano* [BachelorThesis, CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS FACULTAD:INGENIERÍA DE PETROLEOS]. <http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/16757>
- VÁLVULAS. (s. f.). facultad-ingenieria. Recuperado 1 de marzo de 2023, de <https://instrumentacionuc.wixsite.com/facultad-ingenieria/parte-f>
- Vasquez Carrera, F. G. (2017). *Análisis del control de nivel en el proceso de separación de producción de petróleo, en el campo petrolero en la provincia francisco de Orellana en el año 2017. Construcción de un banco de pruebas de un sistema de control de nivel para evaluar la eficiencia en los procesos de separación*. [MasterThesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6541>
- Viñan Andino, M. F. (2014). *Diseño e implementación de un sistema de control para operación automática de separadores de petróleo trifásicos*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17133>