



**Universidad
Israel**

**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:
AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO HORIZONTAL HPS #1 DEL POZO INYECTOR SHUSHUQUI 3 DEL CAMPO LIBERTADOR DE EP PETROECUADOR
Línea de Investigación:
Automatización
Campo amplio de conocimiento:
Automatización y Control
Autor/a:
Ing. RICARDO MAURICIO CARRASCO MAYORGA.
Tutor/a:
Mg. WILMER FABIAN ALBARRACION GUAROCHICO

Quito – Ecuador

2023

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, **Wilmer Fabián Albarracín Guarocho** con C.I: **1713341152** en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: **AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO HORIZONTAL HPS #1 DEL POZO INYECTOR SHUSHUQUI 3 DEL CAMPO LIBERTADOR DE EP PETROECUADOR.**

Elaborado por: **Ricardo Mauricio Carrasco Mayorga**, de C.I: **1803961752**, estudiante de la Maestría: **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., 15 de marzo de 2023



Firmado electrónicamente por:
**WILMER FABIAN
ALBARRACIN
GUAROCHICO**

Firma

DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, **Ricardo Mauricio Carrasco Mayorga** con C.I: **1803961752**, autor/a del proyecto de titulación denominado: **AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO HORIZONTAL HPS #1 DEL POZO INYECTOR SHUSHUQUI 3 DEL CAMPO LIBERTADOR DE EP PETROECUADOR**. Previo a la obtención del título de Magister en ELECTRONICA 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., marzo de 2023

Firma

Tabla de contenidos

APROBACIÓN DEL TUTOR	2
DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE	3
INFORMACIÓN GENERAL	1
Contextualización del tema.....	1
Problema de investigación.....	2
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:.....	3
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	5
1.1. Contextualización general del estado del arte.....	5
1.2. Proceso investigativo metodológico	7
1.2.1. Tipo de investigación utilizada	7
1.2.2. Técnicas para recolección de datos	7
1.2.3. Fases de desarrollo	8
CAPÍTULO II: PROPUESTA	10
2.1 Introducción	10
2.2 Fundamentos teóricos aplicados	10
2.2.1. Pozo de Inyección	10
2.2.1 Estación de bombeo horizontal	11
2.2.2 Sistema de Control	13
2.2.3 Sensores Analógicos	16
2.3 Descripción de la propuesta.....	20
2.3.1 Estructura general.....	20
2.3.2 Estrategias y/o técnicas.....	38
2.4 Validación de la propuesta.....	39
2.5 Matriz de articulación de la propuesta	40
2.6 Análisis de resultados. Presentación y discusión.	42
RECOMENDACIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	48
ANEXOS	51

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Componentes principales de una bomba horizontal HPS</i>	23
Tabla 2. <i>Resultados de la prueba del transmisor de presión Viatran 570</i>	35
Tabla 3. <i>Resultados sensor de temperatura Murphy TA-96084B-SP</i>	37
Tabla 4. <i>Datos del validador</i>	39
Tabla 5. <i>Matriz de articulación</i>	40
Tabla 6. <i>Instrumentos de medición analógicos vs instrumentos electrónicos</i>	45

Índice de figuras

Figura 1. <i>Bomba Horizontal Schlumberger REDA</i>	12
Figura 2. <i>Diagrama esquemático del PLC Allen Bradley Micrologix 1100</i>	14
Figura 3. <i>PanelView Plus 600</i>	16
Figura 4. <i>Elementos de un sensor de presión</i>	17
Figura 5. <i>Sensor de temperatura PT100</i>	17
Figura 6. <i>Sensor de Vibración ST5491E</i>	18
Figura 7. <i>Componentes de un lazo 4-20 mA</i>	19
Figura 8. <i>Diagrama del proceso – Unidad HPS #1 Shushuqui 3</i>	21
Figura 9. <i>Componentes principales de una bomba horizontal HPS Schlumberger REDA</i>	23
Figura 10. <i>Diagrama esquemático del PLC Allen Bradley Micrologix 1100</i>	24
Figura 11. <i>Versión del software RSLogix Micro Starter Lite</i>	26
Figura 12. <i>Pantalla inicial RS Micro Starter Lite</i>	27
Figura 13. <i>Proyecto nuevo RS Micro Starter Lite</i>	28
Figura 14. <i>Pantalla programación PLC MicroLogix 1100</i>	28
Figura 15. <i>Programación RS Micro Starter Lite</i>	29
Figura 16. <i>PanelView 600 de Allen Bradley</i>	30
Figura 17. <i>Pantalla principal de la interfaz – usuario</i>	31
Figura 18. <i>Pantalla de eventos de la interfaz – usuario</i>	31
Figura 19. <i>Pantalla parámetros de Presión de la interfaz – usuario</i>	32
Figura 20. <i>Sensor de presión Viatran 570</i>	32
Figura 21. <i>Pruebas de los Sensores de presión Viatran 570</i>	33
Figura 22. <i>Ejemplos del sensor de temperatura Murphy TA-96084B-SP</i>	34
Figura 23. <i>Pruebas del sensor de temperatura Murphy TA-96084B-SP</i>	34
Figura 24. <i>Representación del conexionado</i>	35
Figura 25. <i>Tablero de Control PLC MicroLogix 1100</i>	40
Figura 26. <i>Tablero de control Unidad HPS #1 PanelView</i>	41
Figura 27. <i>Monitoreo en línea a través de la plataforma Plant Information (PI)</i>	41

INFORMACIÓN GENERAL

Contextualización del tema

Actualmente la industria del gas y el petróleo se ha convertido en una de las más importantes y reguladas del planeta. Por lo que, las autoridades del sector energético se hallan en una misión constante para estar al día con las cambiantes regulaciones que afectan a las actividades de los oleoductos y a la seguridad de los obreros, además de buscar integrarlas en las operaciones mundiales. Sin embargo, debido a la rapidez con que cambian las regulaciones se ha vuelto muy difícil que muchas empresas petroleras a nivel mundial estén al día con las mismas (Padilla et al., 2021).

Esta elevada responsabilidad normativa genera un campo propicio e ideal para el desarrollo de la automatización, una tecnología que se aprovecha de las normas más estrictas. Ello ya que en lugar de cambiar los procedimientos internos o incrementar el número de empleados, los procesos de trabajo automatizados vuelven al trabajo menos pesado, reduciendo los tiempos y el personal necesario (Escobar et al., 2018).

Dicha tendencia de mejora se mantiene en la actualidad, con compañías de distintos sectores que hacen uso de tecnologías digitales cada vez más inteligentes para automatizar los procesos, inclusive aquellas que tradicionalmente se habían apreciado de mano de obra humana, únicamente. No obstante, en discrepancia de otros sectores históricamente dependientes del trabajo humano, la industria del gas y el petróleo continúa tratando de ponerse al día con los avances tecnológicos (Naspleda & Nava, 2020).

Por otra parte, las últimas previsiones de la empresa Det Norske Veritas (DNV GL) acerca de los servicios de gas y petróleo revelan que este sector se tendrá que automatizarse totalmente para el 2050. Sin embargo, a día de hoy en el mercado únicamente las empresas más grandes de petróleo y gas hacen uso de tecnologías de control o de perforación automatizadas de plataformas y yacimientos, como también de operaciones de medición del flujo y la presión de petróleo, ello les deja en ventaja con empresas más pequeñas, principalmente las pertenecientes a países tercermundistas que a día de hoy aún utilizan tecnologías de hace más de 10 años (DNV GL, 2021).

Por otro lado, con respecto a Ecuador su producto principal de exportación es el petróleo, que simboliza más del 40% del total de las exportaciones, constituyendo el 9% del producto interno bruto (PIB) en el 2019. Desde su descubrimiento se ha convertido en el eje primordial de la economía ecuatoriana. La industria petrolera es la columna vertebral de la que penden la

economía y los capitales del Ecuador, ya que es la fuente principal de divisas, ayuda a equilibrar la balanza comercial y aporta al financiamiento del presupuesto general de la nación, lo que la convierte en el factor principal para el desarrollo del país (Banco Central del Ecuador, 2021).

Anualmente en Ecuador se generan 194 millones de barriles de estos son exportados 77 millones, mismos que crean un ingreso de USD 6.400 millones de dólares anualmente. Ello hace que la cadena de producción del petróleo sea una de las cadenas económicas más imprescindibles a nivel estatal, además contribuye a la generación de empleo en el componente nacional poseyendo 38.122 plazas de trabajo, representando el 0,5% de la totalidad del empleo en la nación (Banco Central del Ecuador, 2022).

Por tal motivo, una de las prioridades de Petroecuador EP. es aumentar los niveles de producción de petróleo, volviéndose necesario mejorar los procesos, mejorar la tecnología y sustentar con estudios técnicos – económicos todos sus campos de extracción, que cuentan con equipos obsoletos que ya no cumplen con su función de forma adecuada, lo que genera que no se encuentren produciendo eficazmente.

Con respecto, a la unidad HPS #1 de la mini estación Shushuqui 3 esta cuenta con un sistema de control básico en función de señales digitales de cada una de sus variables de operación, sin embargo, no se tiene un monitoreo continuo de las gráficas de cada una de las variables de operación imposibilitando el análisis de fallos en la unidad HPS, reduciendo el tiempo de respuesta para la corrección o reparación, lo que genera paras de maquinaria y consecuentemente una reducción en la cantidad de crudo producido.

Migrando la instrumentación de la unidad HPS a sensores de 4-20 mA se podrá realizar un control PID de cada una de sus variables, además de que se podrá monitorear el comportamiento de cada una de ellas en función del tiempo de operación de la unidad HPS.

Todo esto controlado por un PLC MicroLogix 1100 el mismo que se encargará de comandar al Variador de frecuencia de la unidad HPS, así mismo será el encargado de controlar cada uno de los sensores y de transmitir sus datos hacia la interface de monitoreo Plant Information de EP PETROECUADOR donde se llevará un registro gráfico de las tendencias de cada una de las variables de operación de la unidad HPS.

Problema de investigación

El sistema de control actual de la unidad HPS de Shushuqui 3 está basado en control mediante señales digitales de control es decir 0-1, Presión, Temperatura, Vibración y nivel de

aceite en cámara de empuje son las principales variables a considerar para realizar el control de una unidad de bombeo, todas estas señales están ingresando directamente a la tarjeta de entradas digitales del variador de frecuencia VSD el cual se encarga de apagar el equipo si sucediese un error por alguna de estas variables.

Al ser una señal digital la que activa las alarmas, no se puede obtener un registro gráfico el cual indique el comportamiento de la unidad HPS antes de entrar en fallo, dificultando el análisis para determinar fallos en el equipo y evitar mayores daños en el equipo haciendo un correcto mantenimiento preventivo y predictivo.

Al implementarse un sistema de control automático utilizando sensores analógicos de 4-20 mA para el control de cada uno de los lazos de control de la unidad HPS se obtendrá medidas reales de los valores de cada una de las variables de proceso con lo que se podrá llevar un estadístico de todos los valores registrados antes y durante algún evento que ocasione la parada súbita de la unidad HPS, facilitando la determinación de fallos en el equipo.

Objetivo general

- Desarrollar la automatización del sistema de bombeo horizontal HPS #1 del pozo inyector shushuqui 3 del campo libertador de EP PETROECUADOR,

Objetivos específicos

Los objetivos específicos de la presente investigación son:

- Dimensionar los instrumentos y elementos necesarios para la automatización del sistema de control de la unidad HPS #1.
- Diseñar el sistema de control en función del PLC – MicroLogix 1100 con el que se realizará la automatización del sistema de control de la unidad HPS #1.
- Realizar la programación del PLC y HMI para el sistema de control de la unidad HPS #1.
- Realizar las pruebas de funcionamiento y puesta en marcha de la unidad HPS #1.

Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:

El presente proyecto de investigación se realiza debido al incremento de tecnologías de control en el campo de extracción de petróleo a nivel mundial, además de la obsoleta tecnología presente en muchas mini estaciones de bombeo horizontal HPS de EP PETROECUADOR que han generado fallas e inconvenientes al monitorizar el proceso de

bombeo, por lo que la automatización mediante un PLC MicroLogix 1100 ayudará a controlar dicho problema.

El aporte del presente proyecto está dirigido a demostrar la factibilidad de diseñar un sistema de control automatizado mediante un PLC MicroLogix 1100, que sea efectivo para visualizar los valores de cada una de las variables de proceso de bombeo de aceite, además de ser un aporte para los obreros ya que les ayudará a realizar de mejor forma su trabajo y en un menos tiempo, favoreciendo su desempeño e incrustando la producción de petróleo.

Con la implementación de un sistema de control basado sensores analógicos y comandados por un PLC se obtendrán mediciones en tiempo real, se podrá monitorear cada una de las variables de proceso, el equipo estará protegido por cada uno de los lazos de control, los valores de cada una de sus variables podrán ser observadas en tiempo real en panelview del tablero de control HMI además de que podrán ser observadas en línea a través de la plataforma Plant Information de EP Petroecuador.

Con la implementación de este tablero de control automatizado se realizará un mejor seguimiento y monitoreo del comportamiento de la unidad HPS en operación normal, facilitando el análisis de fallas dando la posibilidad de realizar un mantenimiento predictivo adecuado con lo que se podrá ahorrar fondos evitando grandes daños en el equipo.

Los beneficiarios directos del presente proyecto serán usuarios internos y externos que trabajan en la mini estación Shushuqui 3, ya que contarán con un sistema de control mejorado que les permita analizar en tiempo real cada una de las variables que interceden en el proceso productivo. Por otra parte, los beneficiarios indirectos serán los estudiantes, tecnólogos o ingenieros interesados en la automatización ya que encontrarán en este trabajo una guía para futuros proyectos.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Contextualización general del estado del arte

El sistema de control actual de la unidad HPS de Shushuqui 3 está basado en control mediante señales digitales de control es decir 0-1, Presión, por lo que no se puede obtener un registro gráfico el cual indique el comportamiento de la unidad HPS antes de entrar en fallo dificultando el análisis, por ello es necesario realizar una automatización del sistema de control mediante sensores lógicos. Para ello, se revisaron fuentes bibliográficas como libros, artículos científicos, manuales y Tesis de Maestría, que hablen sobre la automatización industrial y todos los elementos relacionados, que permitan la redacción del marco teórico y sean una guía para el desarrollo de la propuesta de automatización.

La automatización de operaciones incluye la obtención de beneficios futuros tales como: reducir los costos de producción y tiempo de ejecución, liberar a las personas de tareas pesadas, peligrosas o nocivas para la salud, por lo que para automatizar cualquier máquina o proceso, se debe determinar que dicha implementación será beneficiosa ya sea por simulación de diseño de programación de software o utilizado en procesos industriales que permitan identificar la capacidad de responder a los cambios en la producción y su impacto en la productividad (Alcocer et al., 2020)

Al mismo tiempo, toda empresa industrial busca beneficios económicos y de eficiencia productiva para lograr un desarrollo sostenible en la actualidad, lo que ha llevado al desarrollo de procesos productivos para la denominada 4ta revolución industrial, o Industria 4.0, misma que necesita conectar las herramientas industriales a las áreas de la empresa a través de una jerarquía que permita automatizar, todo ello mediante la pirámide de automatización (Barona & Velasteguí, 2021).

Por otra parte, la pirámide de automatización se compone de capas, en la cuales se ubican los niveles de automatización industrial necesarios para las operaciones industriales, basadas en las tecnologías de comunicación nuevas en el contexto de la arquitectura de la Industria 4.0. Además, esta propensión de larga data avala la eficiencia de producción, de gestión y financiera de compañías, corporaciones, multinacionales, etc. (Montes et al., 2021) (Körner et al., 2019) (Novák & Vyskocil, 2022).

Con respecto a estudios relacionado con la automatización, se puede encontrar el trabajo realizado por Ñacato (2020), con el título “ Diseño e implementación de un sistema SCADA para el sistema de pruebas de control de calidad de las cámaras de empuje utilizadas en los

sistemas de bombeo horizontal (HPS) de la planta artificial lift de la empresa Baker Hughes”, planteándose como objetivo diseñar e implementar un sistema SCADA (monitoreo, control y recolección de información) para una prueba dinámica de cámaras de empuje de la compañía, por lo que usaron el programa de uso gratuito Rapid SCADA, que permitió diseñar las vías de comunicación enlazadas con kepsserverEx (OPC UA), además se usó el software WebAccess HMI para diseñar las pantallas HMI. El autor concluye que mediante el desarrollo del sistema se logran reducir costos de trabajo y la cantidad de operarios, lo que favorece económicamente a la empresa.

Garcia (2017) presenta su trabajo “Estudio de ingeniería para la automatización del área de bomba de agua número 1 de la CELEC EP de Termoesmeraldas”, con el objetivo de ejecutar una investigación que permita automatizar la sección de bombas, para ello se diseñaron un grupo de pantallas participativas que funcionaron mediante la instalación de un PLC con un HMI, lo que favoreció a los operadores brindándoles la posibilidad de identificar fallas o errores y darles soluciones rápidamente. El autor concluye que la automatización del sistema permite llevar a cabo de mejor forma el proceso de supresión, visualización y control de los operadores.

Por otra parte se encuentra el trabajo realizado por Laverde (2021) titulado “Diseño de un Sistema SCADA como Herramienta de Gestión y Control de Mantenimiento de los Equipos Electromecánicos para el Área ELPO de la Empresa Aymesa”, el autor se plantea como objetivo el desarrollo de un sistema SCADA que sirva para el mantenimiento en el Área ELPO de la compañía, para la gestión y control de alarmas usó el Software Ignition, además de la creación de una Base de Datos SQL mediante el programa PostgreSQL, que contenía de la maquinaria. Además del diseño de un sistema HMI que permitió al usuario (Operarios Técnicos), visualizar, controlar y administrar el mantenimiento de la maquinaria del Área ELPO. El autor concluye que mediante el sistema SCADA de mantenimiento los operarios podrán realizar auditorías del control de datos a través de pesquisas como órdenes de trabajo, pedidos de material a bodega y control de inventarios, reduciendo el tiempo de trabajo.

Además, con respecto a las investigaciones realizadas en la Universidad Tecnológica Israel, se halla el trabajo realizado por Cortijo y Córdor (2019), con el título “Automatización de un sistema de refrigeración industrial mediante un PLC, interface HMI y control remoto desde dispositivos móviles” que tuvo como objetivo automatizar un equipo de refrigeración industrial a través de un PLC e interfaz HMI y control lejano mediante equipos móviles, para ello los autores usaron un PLC, un HMI y además de la configuración de un control lejano a

partir de un equipo móvil, obteniendo como resultado la configuración del proceso acorde a los requerimientos que permitió visualizar el sistema ya sea a partir de la interfaz hombre máquina o desde un dispositivo móvil que podía ser una Tablet o celular, todo ello permitió una comunicación exitosa que favoreció la ejecución del trabajo por parte de los operadores de la planta.

1.2. Proceso investigativo metodológico

En esta sección se revisan los aspectos metodológicos utilizados para implementar el presente proyecto de la AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO HORIZONTAL DEL POZO INYECTOR SHUSHUQUI 3 DEL CAMPO LIBERTADOR DE EP PETROECUADOR ubicada en el Bloque 57, Campo Libertador, Lago Agrio.

1.2.1. Tipo de investigación utilizada

El presente proyecto usó una investigación bibliográfica, que permitió la búsqueda y recopilación de información de distintas fuentes como artículos científicos, manuales, libros y tesis de grado afines al tema de estudio, ello con la meta de redactar el marco teórico, además de obtener una guía el diseño de la propuesta actual, además se incluyeron hojas técnicas con información de todos los equipos usados la ejecución del proyecto.

Por otra parte, también se utilizó una investigación de campo, ya que permitió la realización de inspecciones y chequeos en el área donde se encuentra el sistema de control, mismo que se comunica con la sala de bombas horizontales, o, mejor dicho, el lugar donde operan las bombas del pozo, de donde se recolectaron los datos de los equipos existentes.

Así mismo, la investigación fue de tipo comparativo ya que se llevó a cabo un proceso donde se determinaron y seleccionaron los dispositivos y equipos idóneos para el proyecto y al mismo tiempo que tengan ventajas con respecto a otros equipos.

Además, para el diseño del proyecto se utilizó el método científico tecnológico, ya que se observó, midió, experimentó y formuló el proyecto, todo ello basándose en los manuales técnicos de los fabricantes.

1.2.2. Técnicas para recolección de datos

Para la recolección de información distinguida para el desarrollo del proyecto, se usó la técnica de análisis documental, misma que se centró en seleccionar las ideas informativamente significativas de distintos documentos con el fin de utilizar su contenido en el desarrollo del presente proyecto.

Por otra parte, también se utilizó la técnica de observación, debido que se observó atentamente el funcionamiento, variables y problemas del sistema de control actual de la unidad HPS de Shushuqui 3, lo que permitió la toma y registrarla de información para posteriormente analizarla.

1.2.3. Fases de desarrollo

Las fases o etapas requeridas para un correcto desarrollo del presente proyecto se basan en un proceso continuo, que se explica a continuación:

- **Reconocimiento del equipo**

En la primera fase se ejecutó un levantamiento detallado de la información de la estación de bombeo y principalmente de la unidad HPS del campamento Shushuqui 3, teniendo en cuenta que elementos y dispositivos componen el sistema, además de identificar su principio de funcionamiento y la ubicación de la unidad HPS en las instalaciones.

Se diseñaron planos eléctricos y de control fundamentados en el principio de funcionamiento de la unidad HPS y en los manuales del fabricante, además se determinó la ubicación más adecuada del tablero de control y las herramientas y equipos que se usaron para la implementación del proyecto de automatización.

- **Selección de equipos y dispositivos**

En la segunda fase, se definieron el o los equipos y las especificaciones correctas de los mismos requeridas para la correcta implementación del proyecto, ello seguido de pruebas exhaustivas, para detectar problemas y así formular posibles soluciones técnicas.

Una vez llevado a acabo el levantamiento de los planos, se procedió a la elección de los equipos tales como PLC, módulos de ampliación, HMI, breaker, borneras y demás accesorios para la automatización del sistema de bombeo.

- **Implementación del sistema**

En la tercera fase, se llevó a cabo con las conexiones de los sensores analógicos digitales hacia el PLC y la comunicación desde el PLC a la pantalla donde se podrán observar los datos e información.

- **Programación del PLC y HMI**

En esta fase se realizó la programación de la comunicación del PLC y HMI que forman parte de la automatización.

- **Pruebas de Funcionamiento**

En esta fase, finalmente se probó el sistema automatizado, con el fin de detectar fallas o inconvenientes y solucionarlos adecuadamente.

CAPÍTULO II: PROPUESTA

2.1 Introducción

En este capítulo se propone el diseño de un sistema automático para el control de DEL sistema de bombeo horizontal del pozo inyector Shushuqui 3 del Campo Libertador de EP PETROECUADOR, lo que permitirá reducir los tiempos de respuesta con respecto a problemas, fallas o mantenimientos del sistema, favoreciendo la producción de crudo en este campo petrolero.

La propuesta se basa en la migrando de la instrumentación de la unidad HPS a sensores de 4-20 mA, y con ello poder llevar a cabo un control PID de todas las variables, además se buscó poder monitorear el comportamiento de cada una de estas con respecto al tiempo de operación de la unidad HPS.

Además, todo el sistema estuvo controlado por un PLC MicroLogix 1100 el cual se programó para que se encargue de controlar al Variador de frecuencia (VSD) de la unidad HPS, además de controlar a todos los sensores y de transmitir sus datos hacia la interface de monitoreo Plant Information (PI) de EP PETROECUADOR, lo que permitió llevar un registro gráfico de las tendencias de cada una de las variables de operación de la unidad HPS, favoreciendo la identificación de fallas y así llevar a cabo controles o mantenimientos preventivos.

2.2 Fundamentos teóricos aplicados

En esta sección se explican los principales fundamentos teóricos utilizados en el desarrollo de la propuesta, además se especifican los principales conceptos y bases teóricas de la automatización y temas tratados en el proyecto.

2.1.1. Pozo de Inyección

En un pozo de inyección los fluidos son inyectados en lugar de producir, siendo la meta principal conservar una correcta presión de yacimiento. Se pueden encontrar dos tipos principales de inyección: agua y gas. Los pozos que inyectan agua son habituales en zonas marinas o cercanas a ríos, donde el agua se filtra y trata para posteriormente ser inyectada en una zona acuífera inferior del yacimiento (Sánchez et al., 2022).

En un pozo petrolero, las fuerzas primarias que proceden como mecanismo de recuperación en el campo petrolero generalmente se complementan con la inyección de gas y agua en el proceso de recuperación secundaria para incrementar la energía y, por lo tanto, aumentar la recuperación (Lara et al., 2018).

Además, Romero y García (2019) mencionan que la inyección de agua es uno de los métodos tradicionales más usados para lograr una recuperación adicional de petróleo en los yacimientos de petróleo. Al mismo tiempo, la inyección de agua se usa con el fin de desplazar crudo móvil, por ello es el fluido más usado con objetivos de recuperación y las características de este se presentan a continuación:

- Su disponibilidad es cercana a la de la mayoría de campos conocidos hasta el momento.
- Costos de inyección generalmente más bajos que otros fluidos.
- Su ratio de liquidez a crudos livianos y medianos es mejor que cualquier gas natural.
- Dado que gran parte de los yacimientos consisten en rocas con una capacidad de humectación de agua moderada o levemente mejor, pueden penetrar poros de menor radio y trasladar el petróleo crudo.
- Los precios de entrega y procesamiento son más bajos que cualquier tipo de gas natural.

2.2.1 Estación de bombeo horizontal

Una estación de bombeo es una estructura o grupo de estructuras cuyo propósito es bombear agua a una red de almacenamiento o distribución. Sean cuales sean las necesidades de agua, una estación de bombeo puede ser el recurso para distribuir el líquido por el espacio deseado (Blandón & Calvete, 2018).

Las estaciones de bombeo son un grupo de estructuras que consisten únicamente en una o más bombas. Cada bomba consta de un conjunto de tuberías y depósitos de bomba. Hay dos tipos de tuberías: de admisión y de escape. De esta forma, la tubería de succión absorbe el agua y luego la pasa por la tubería de descarga para distribuirla por toda la red. Específicamente, las estaciones de bombeo son ubicadas para mover agua a presión a puntos de menor o mayor altura (Proaño & Mantilla, 2018).

2.2.1.1 Bombas Horizontales

Una bomba de agua horizontal es una bomba en la que el eje está a la misma altura que el eje del motor. Cuestan menos de construir que los verticales y son más fáciles y económicos de mantener (Machado, 2020).

La bomba no puede funcionar en seco ya que el propio líquido bombeado es el lubricante entre el impulsor, los anillos colectores y el eje. Antes de arrancar la bomba, se tiene que

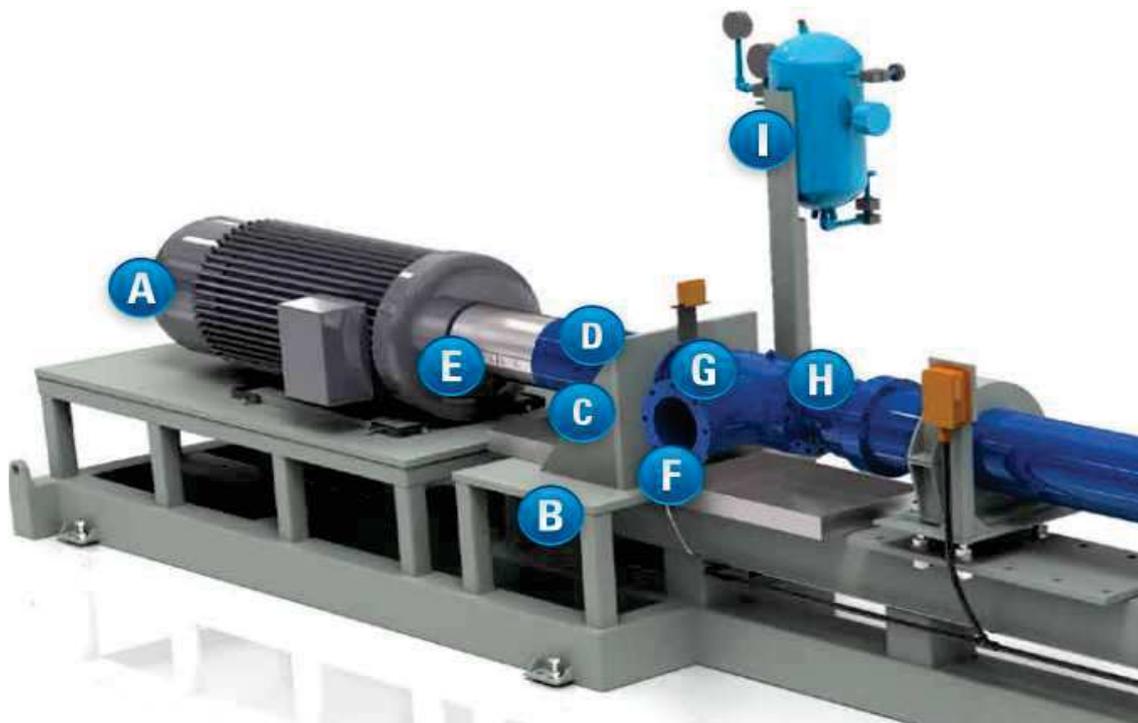
cebar. Entonces esto no es un problema y se puede ubicar una válvula en el lado de succión de la bomba (Hovstadius & Steven Bolles, 2018).

2.2.1.2 Bombas Horizontales Schlumberger REDA

Los sistemas REDA HPS son una alternativa probada y rentable a las bombas de desplazamiento positivo turbo verticales divididas. Son capaces de bombear fluidos complejos en ciertos entornos más hostiles del planeta, el sistema tiene una vasta gama de aplicaciones que envuelven inyección y bombeo de agua simple, transferencia de petróleo crudo en alta mar y servicios de refinación de petróleo (Schlumberger, 2020).

Figura 1.

Bomba Horizontal Schlumberger REDA



Fuente: (Schlumberger, 2020).

De acuerdo con la guía de Bombas REDA (Schlumberger, 2020), están compuestas de las siguientes partes:

A. Motor

- Transmisión estándar eléctrica y/o de combustión interna de 5-2500 hp disponibles.

B. Abrazaderas de ajuste de la platina del motor

C. Conjuntos de cojinetes

- El bloque de cojinete de empuje horizontal redefinido reduce la temperatura de funcionamiento y aumenta el esfuerzo o la fuerza aerodinámica.

D. Cámara de empuje

- Cabida de carga de hasta 80 068 N [18 000 pies.lbf)

E. Acoplamiento espaciador

- Los espaciadores API 610 de 7" permiten cambios rápidos de sellos sin interrumpir la bomba o las bridas de las tuberías de proceso.

F. Brida de descarga y brida de succión

- Conexiones de brida de succión y descarga API 610 incluidas.

G. Sello de extracción posterior

- Sección de cojinete trasero retráctil para facilitar el mantenimiento del sello.

H. Sello Mecánico

- Presión de entrada de hasta 4000 psi [27 579 kPA] con cuerpo y cara de elastómeros para cumplir con los requisitos de la aplicación.

I. Sistema de contención de presión según el plan de fluidos de lubricación y enfriamiento de los sellos API

- Disponibilidad de sistemas líquidos para sellado, lubricación y refrigeración según especificaciones API; los modelos comunes incluyen API Schedules 11, 21, 31, 32, 52, 53, 54, 65 (detección de fugas de líquido), 74, 75 y 76.

2.2.2 Sistema de Control

Este sistema es un régimen caracterizado por la existencia de varios elementos que pueden afectar la funcionalidad del mismo. La meta de un sistema de control es lograr la potestad de las variables de salida gestionando las variables de control para que estas lleguen a los valores preestablecidos (puntos de ajuste) (Mercado & Reyes, 2017).

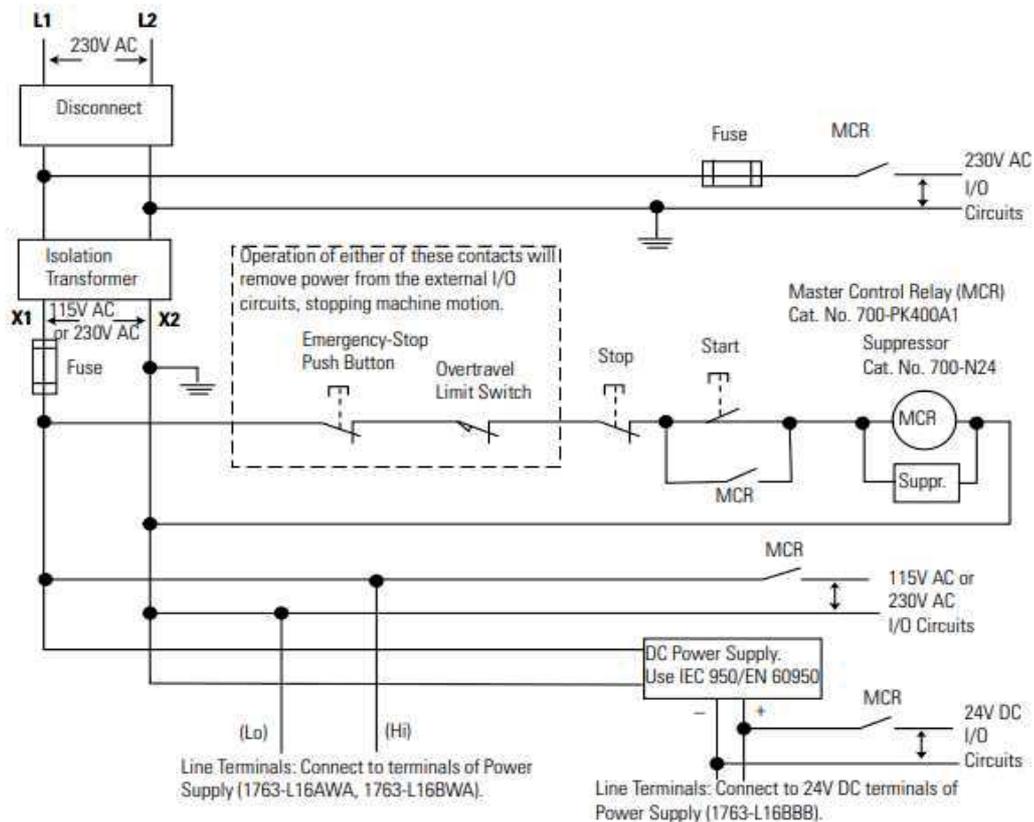
2.2.2.1 PLC Allen Bradley Micrologix 1100

De acuerdo con el manual de usuario cada MicroLogix 1100 posee dos entradas analógicas agregadas, con 10 entradas y 6 salidas digitales. Este PLC también favorece expandir sus capacidades de E/S mediante el uso de los mismos módulos que el MicroLogix 1200. Además,

pueden usarse hasta cuatro de los módulos de 1762 E/S con un único controlador MicroLogix 1100 (Rockwell Automation, 2017).

Figura 2.

Diagrama esquemático del PLC Allen Bradley Micrologix 1100



Fuente: (Rockwell Automation, 2017).

Además, las ventajas de los controladores MicroLogix 1100, son las siguientes:

- Extensa memoria de 8K (4K para software y 4K para información de usuario) para abarcar una amplia gama de aplicaciones.
- Cambio de conducción/control remoto/programación.
- Cuatro entradas de elevada velocidad (1763-L16BWA y 1763-L16BBB únicamente) que se pueden usar particularmente como entradas de bloqueo (para capturar pulsos), paralizaciones de sucesos o combinadas sucesivamente con ocho módulos de operación como contadores de alta velocidad de 20 kHz.
- Tiene integradas dos entradas analógicas de 0 a 10 V CC (no aisladas) con resolución de 10 bits.
- Dos salidas de elevada velocidad con capacidad de configurarse como de PTO (salida de tren de impulsos) de 20 kHz o como salidas PWM (modulada por ancho

de impulso) (1763-L16BBB solamente).

- Los dispositivos habituales de entrada múltiple favorecen que el controlador se use para generar o disipar dispositivos de entrada, al mismo tiempo los dispositivos frecuentes de salida múltiple brindan aislamiento particular en aplicaciones con múltiples voltajes de salida.
- Intervalo de tiempo seleccionable (STI) de 1 ms.
- Temporizador de 1 ms de alta resolución.
- El canal de comunicación 0 entrega afinidad eléctrica separada con RS-232 o RS-485 (al seleccionar el cable de transmisión).

2.2.2.2 PanelView Allen Bradley Plus 600

Un PanelView es una pantalla pequeña que posee una interfaz que se comunica con el PLC y favorece la interacción con los datos, entradas, salidas y procesos (Mercado & Reyes, 2017).

De acuerdo con el manual de Allen-Bradley (2019) las características del PanelView Plus 6 Performance son las siguientes:

- Procesador con una velocidad que va de 350 MHz a 1 GHz.
- La transición de la pantalla tiene una velocidad hasta un 70% más rápida.
- Amplia memoria RAM del sistema de 64 MB hasta 256 MB.
- Memoria de guardado flash de 64 MB hasta 512 MB.
- Contiene 80 MB de memoria no volátil para la aplicación. ● Mayor iluminación de las pantallas de iluminación LED
- Conectividad mejorada con varios adjuntos como impresoras, ratones y teclados
- Compatibilidad con controles ActiveX®.
- Integrar con software de terceros como Internet Explorer® y Microsoft Office Viewer.
- Acepta conexiones remotas (VNC y FTP).
- Proporcionar función de copia de seguridad y restauración.
- Brinda prescripción remota y administración de datos a través de archivos .CSV.
- Usar gráficos vectoriales de Symbol Factory
- Incorpora un visor de archivos PDF para soporte del operador sensible al contexto.
- Acepta registro y tendencia de DataStore Plus, excluye el límite de 300.000 puntos de datos.

Figura 3.

PanelView Plus 600



Fuente: Allen-Bradley (2019)

2.2.3 Sensores Analógicos

Un sensor analógico es un dispositivo diseñado para emitir una señal que es proporcional al elemento o cantidad que se mide. El instrumento debe recibir energía de la unidad de control eléctrico de CC para realizar este procedimiento (Mercado & Reyes, 2017).

Para que un sensor analógico funcione, debe tener la misma estructura básica que tienen todos los sensores o transductores, que es detectar objetos o variables utilizando los siguientes procesos: Variables físicas Elemento sensor Acondicionamiento de señal Salida de señal eléctrica (Fernandez & Zotovic, 2018).

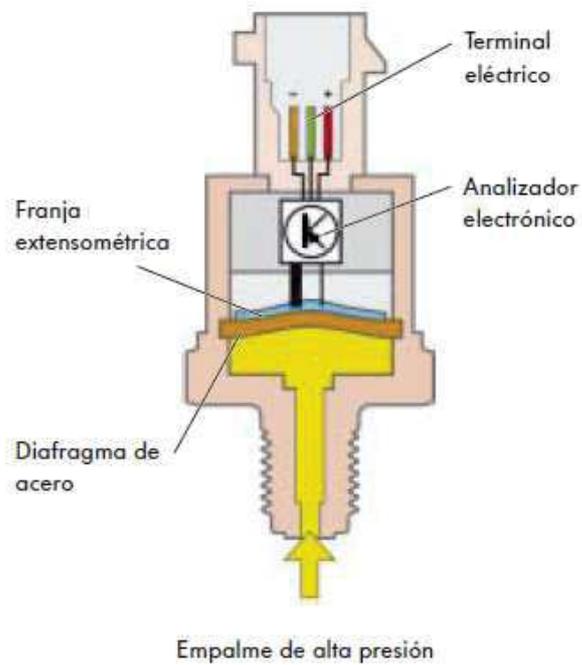
Estos sensores llevan a cabo su detección por escala hasta conseguir una medición exacta. Las emisiones de señal que detectaron se convirtieron en voltajes analógicos. Por lo general, funcionan con una placa de desarrollo programable (Mercado & Reyes, 2017).

Los sensores que se utilizan en los sistemas de bombeo son los siguientes:

- A. Sensores analógicos de presión:** El sensor de presión analógico es un sensor de presión relativa piezorresistivo con amplificador integrado y compensación de temperatura en una carcasa de aluminio (Mercado & Reyes, 2017).

Figura 4.

Elementos de un sensor de presión



Fuente: (Mercado & Reyes, 2017).

- B. Sensores analógicos de temperatura:** Consiente cuantificaciones de temperatura en el rango de -55°C a 150°C . Con una salida analógica lineal y muestra una pendiente de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$. Estos sensores vienen calibrados de fábrica dentro de $0,5^{\circ}\text{C}$. Entre sus aplicaciones se destacan termostatos, termómetros, sistemas de monitorización, etc. (Mercado & Reyes, 2017).

Figura 5.

Sensor de temperatura PT100



Fuente: (Mercado & Reyes, 2017).

C. Sensores analógicos de vibración: Los sensores de vibración se utilizan para detectar velocidad, aceleración o desplazamiento. Varios de estos sensores de vibración son usados en distintas aplicaciones industriales o laboratorios, por ello tiñen que ser flexibles con respecto a la clase de medición o las condiciones ambientales (Mercado & Reyes, 2017).

Figura 6.

Sensor de Vibración ST5491E



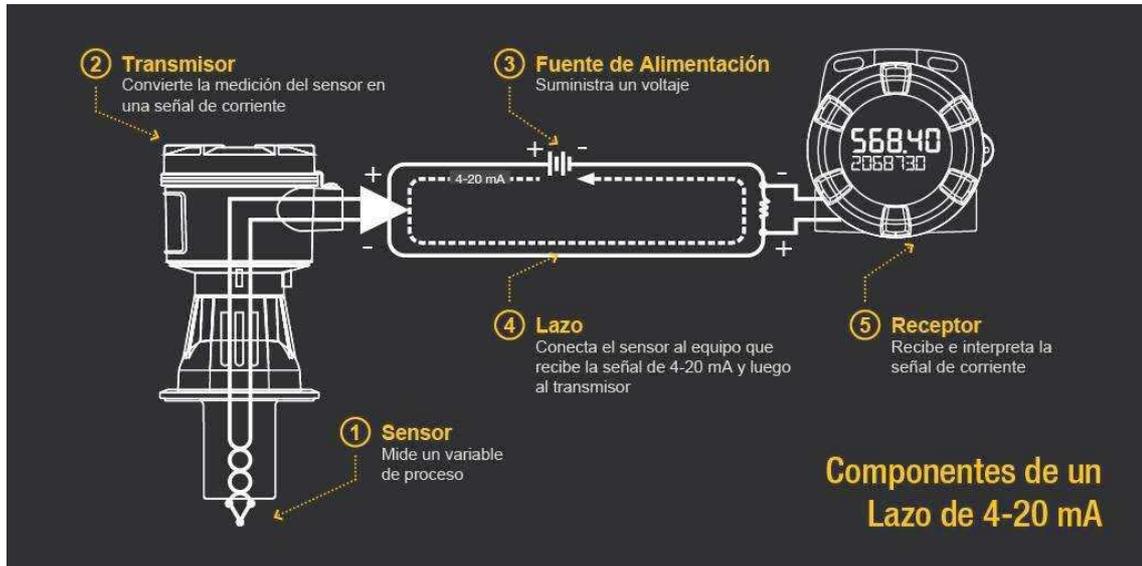
Fuente: (Mercado & Reyes, 2017).

2.2.3.1 Lazos de Corriente de 4-20 mA

Un lazo de corriente de 4-20 mA es una señal de control de procesos de gran uso en una alta variedad de industrias. Es una herramienta adecuada para la transmisión de datos de procesos, ya que la corriente no varía cuando se traslada del transmisor hasta el receptor, además su uso es mucho más sencillo y rentable. No obstante, las caídas de voltaje y la gran variedad de variables de proceso que tienen que ser monitoreadas pueden influir en su costo y su nivel de complejidad (Tellez et al., 2017).

Figura 7.

Componentes de un lazo 4-20 mA



Fuente: (Mercado & Reyes, 2017).

Por otro lado, al trabajar en una industria se requiere un control de procesos por lo que es imprescindible identificar si las ventajas son más que las desventajas. Tomando una decisión adecuada puede resultar en un ahorro de tiempo y dinero (Paonessa & McDuffee, 2019).

De acuerdo con (Tellez et al., 2017) las ventajas de los lazos de corriente 4-20 mA son las siguientes:

- El lazo de corriente es el estándar en una gran cantidad de compañías.
- Es una alternativa de conexión y configuración simple.
- Necesita de pocas conexiones y alambrado, reduciendo costos grandemente.
- Se encomienda para circuitos distantes, debido a que no hay pérdida de corriente en conexiones extensas.
- Presenta una sensibilidad menor al ruido eléctrico.
- Detección de una falla en el sistema de gran facilidad.

Por otra parte, las desventajas son las siguientes:

- Solo comunica una única y particular señal de proceso.
- Tienen que crearse varios lazos cuando existen una alta cantidad de variables de proceso que necesitan transmisión.
- Al utilizar mucho cableado suele generar problemas con los lazos a tierra cuando los lazos independientes no se encuentran aislados apropiadamente.

2.3 Descripción de la propuesta

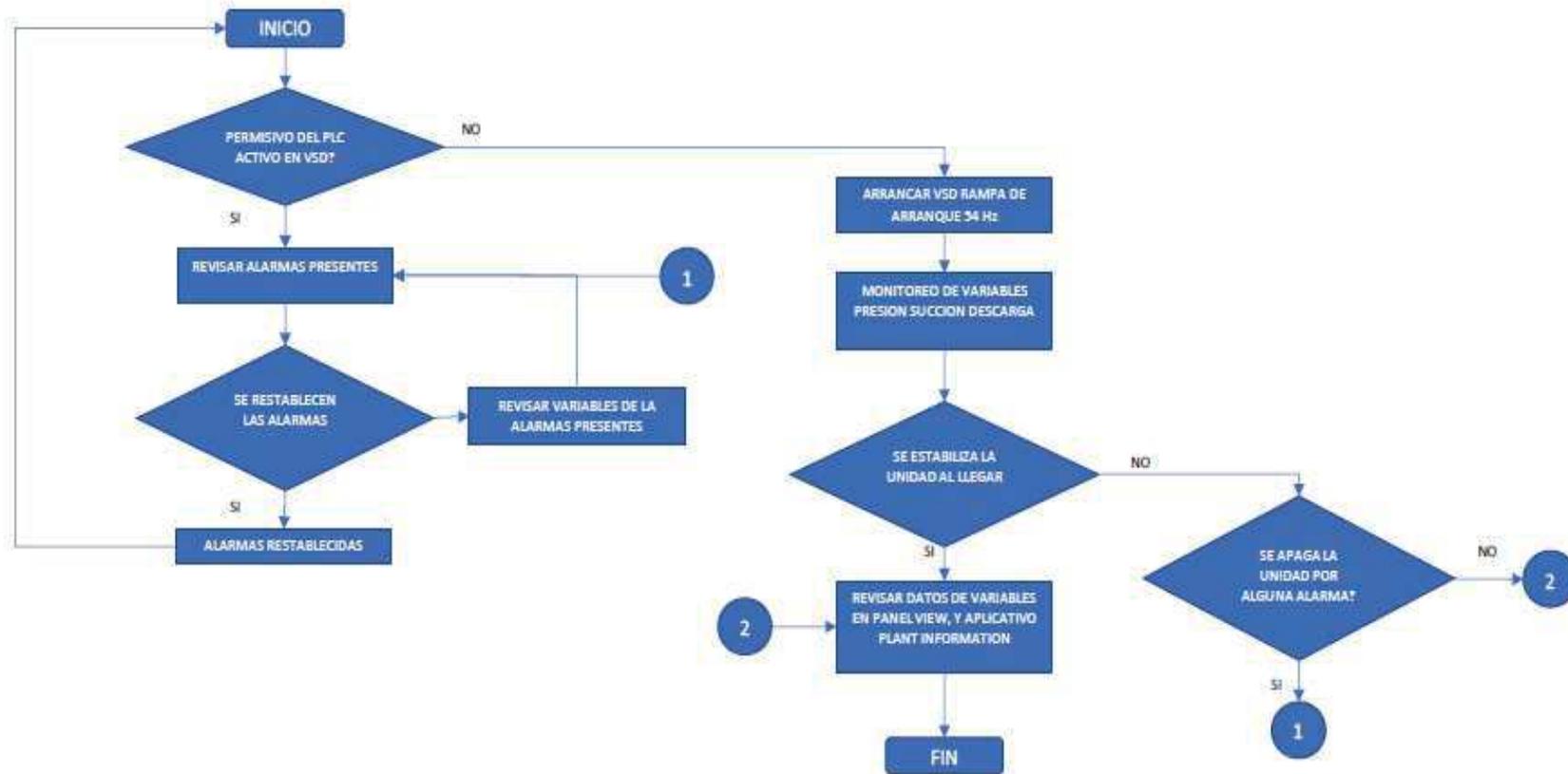
El presente proyecto es desarrollado con el fin de automatizar el sistema de control de la unidad HPS #1 del sistema de bombeo horizontal del pozo inyector shushuqui 3, dado que la operación de la unidad es manual, el monitoreo de las variables de operación se podrá realizar desde el tablero de control del PLC a través de la interfaz HMI, en caso de presentarse un evento fuera de lo normal que afecte la operación de la unidad, este quedará registrado en la pantalla de eventos del HMI, así mismo al subir los datos de las variables de operación al sistema Plant Information(PI) se podrá monitorear remotamente la operación de la unidad con lo que se podrá reducir tiempos en la identificación de fallas por ende se reduce el tiempo de parada de la unidad, siendo una solución a estos inconvenientes la automatización del sistema de control de la unidad HPS #1 para que el PLC esté monitoreando continuamente el proceso de inyección de agua al pozo Shushuqui 3.

2.3.1 Estructura general

La estructura del proyecto se presenta en la figura 8.

Figura 8.

Diagrama del proceso – Unidad HPS #1 Shushuqui 3



Fuente:

Elaboración

Propia

En el diagrama del proceso se muestra el control para puesta en marcha de la unidad HPS #1 del pozo shushuqui 3, el PLC realiza el barrido de cada una de las variables de proceso de esta manera permite el arranque de la unidad siempre que no esté activado el permisivo de arranque es decir que no existan alarmas presentes en el HMI, por medio del HMI se realiza la visualización y seguimiento del proceso en donde también se pueden realizar modificaciones a los set de protecciones y escalamiento de instrumentos, también se puede visualizar el histórico de eventos que han existido en el equipo en orden cronológico.

2.3.1.1 Explicación del aporte

Todos los dispositivos y accesorios que forman parte de este proyecto son de mucha importancia ya que cada uno cumple con su trabajo específico en el control de la automatización, a continuación, describimos cada uno de estos:

A. Unidad de bombeo horizontal (HPS) Schlumberger REDA

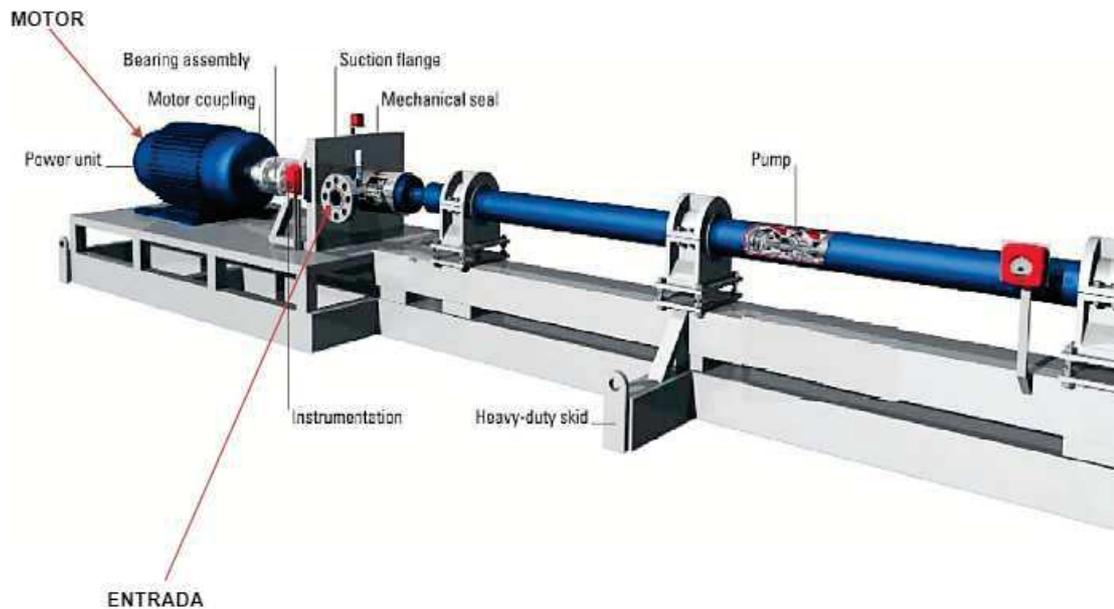
Una bomba centrífuga multietapa horizontal es una bomba centrífuga que tiene dos o más impulsores. Cada una de sus etapas hace el trabajo de una bomba separada. Son utilizadas primariamente para trabajos que necesitan un TDH (Cabeza Dinámica Total) de medio a alto.

B. Proceso bombeo de agua

Las bombas centrífugas multietapas o múltiples producen alta presión en un mecanismo que opera diversos impulsores ensamblados en un solo eje. El mecanismo de accionamiento funciona en serie, mejor dicho, la etapa primera absorbe agua y aumenta la presión a un valor terminante.

Figura 9.

Componentes principales de una bomba horizontal HPS Schlumberger REDA



Fuente: (Schlumberger, 2020).

En la tabla 1 se describen los principales componentes de las bombas REDA

Tabla 1.

Componentes principales de una bomba horizontal HPS

Ítem N	Componente	Objetivo
1	Motor eléctrico	Accionamiento de la cámara de empuje y las etapas
2	Coupling	Unión mecánica del motor eléctrico y la cámara de empuje
3	Cámara de empuje	Transmitir el par del motor a la bomba. Aislar el motor y las etapas de la bomba.
4	Cooler cámara de empuje	Mantener lubricado y en temperatura adecuada el

		sello mecánico de la cámara de empuje
5	Succión	Ingreso de fluido a cámara de empuje
6	Descarga	Salida de fluido presurizado al final de la etapa de la bomba HPS
7	Válvula check de descarga	Evitar que retorne fluido presurizado a la cámara de empuje
8	Instrumentación	Control y protección de la unidad HPS
9	Válvula de seguridad PSV	Recircular el fluido de la HPS en caso de una sobre presión en la línea de descarga
10	Variador de Frecuencia VSD	Control de arranque del motor eléctrico

Fuente: Adaptado de Schlumberger (2020).

C. PLC Allen Bradley Micrologix 1100

De acuerdo con el manual de usuario cada MicroLogix 1100 contiene dos entradas analógicas incorporadas, con 10 entradas digitales y 6 salidas digitales. Asimismo, este controlador consiente una expansión de sus capacidades de E/S mediante el uso de módulos idénticos al MicroLogix 1200. Además, pueden usarse hasta cuatro de los módulos de 1762 E/S con un solo controlador MicroLogix 1100 (Rockwell Automation, 2017).

Figura 10.

PLC Allen Bradley Micrologix 1100

por ancho de impulso) (1763-L16BBB solamente) o como de PTO (salida de tren de impulsos) de 20 kHz o.

- Los dispositivos habituales de entrada múltiple favorecen que el controlador se use para generar o disipar dispositivos de entrada, al mismo tiempo los dispositivos frecuentes de salida múltiple brindan aislamiento particular en aplicaciones con múltiples voltajes de salida.
- Intervalo de tiempo seleccionable (STI) de 1 ms.
- Temporizador de 1 ms de alta resolución.
- El canal de comunicación 0 entrega afinidad eléctrica separada con RS-232 o RS-485 (al seleccionar el cable de transmisión).

D. PanelView Allen Bradley Plus 600

De acuerdo con el manual de Allen-Bradley (2019) las características del PanelView Plus 600 Performance son las siguientes:

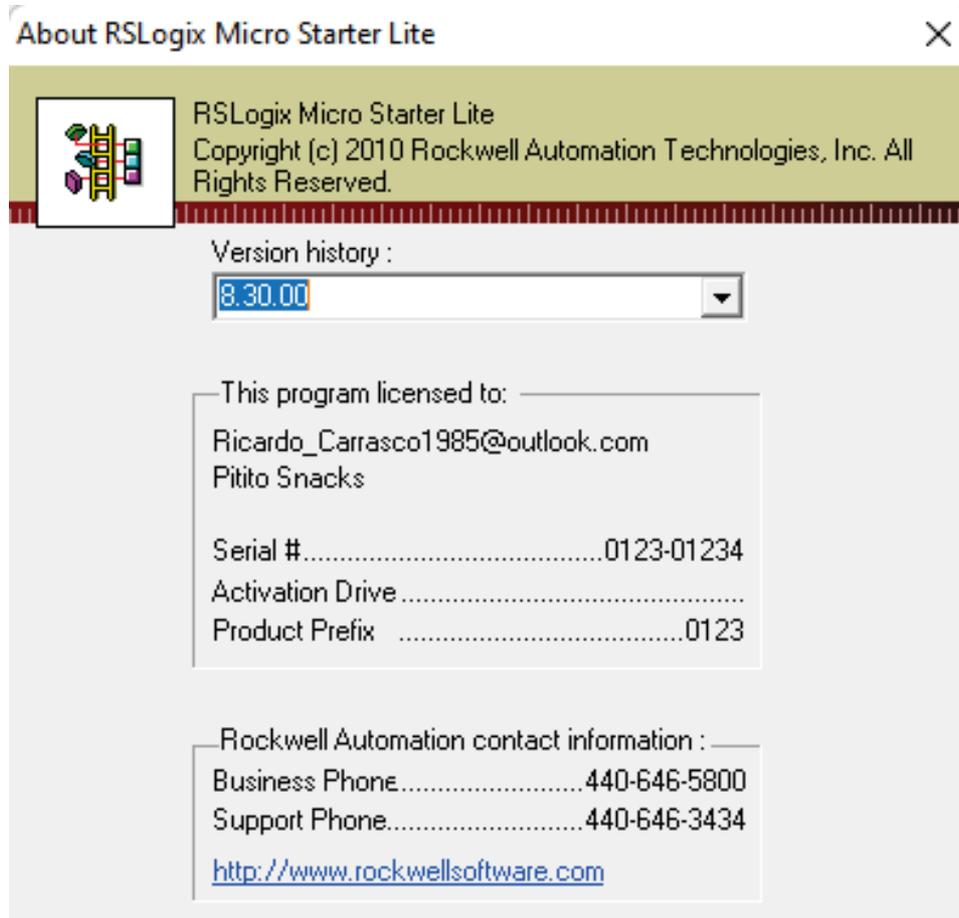
- Procesador con una velocidad que va de 350 MHz a 1 GHz.
- La transición de la pantalla tiene una velocidad hasta un 70% más rápida.
- Amplia memoria RAM del sistema de 64 MB hasta 256 MB.
- Memoria de guardado flash de 64 MB hasta 512 MB.
- Contiene 80 MB de memoria no volátil para la aplicación. ● Mayor iluminación de las pantallas de iluminación LED

E. RSLogix Micro Starter Lite – Software de la marca Rockwell Automation

RSLogix 500 es el software de programación para el tipo de control MicroLogix de Allen-Bradley. Permite la programación con diagrama del programa de contactos, diagrama de bloque de funciones, diagrama de funciones secuenciales y texto estructurado.

Figura 11.

Versión del software RSLogix Micro Starter Lite



Fuente: Elaboración Propia.

RSLogix Micro Starter Lite es un software que se utiliza para configurar controladores lógicos programables de la marca micrologix 1000 y 1100:

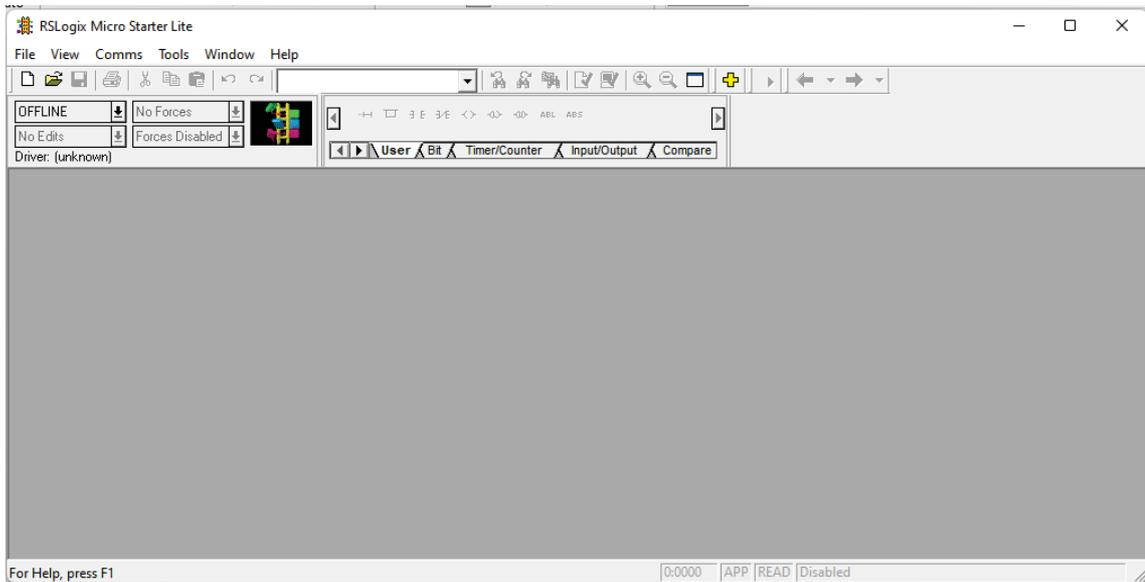
- Creación offline de aplicaciones.
- Compilación del programa offline (Usando Emulador Micrologix)
- Almacenamiento directo del programa el disco de la PC.
- Carga y descarga de programa PLC-PC
- Muestra fallas de los módulos PLC
- Ajuste horario

El modo de programación se lo realiza en modo OFFLINE de PLC se inicia seleccionando el procesador del PLC que se va a utilizar, una vez seleccionado se despliega la ventana principal

donde se puede observar el apartado para la programación en LADDER así como en un extremo encontramos cada uno de nuestros módulos de entradas/salidas y según vayamos avanzando cada una de nuestras rutinas, en la parte superior tenemos los diferentes conectores para nuestros líneas de código, en caso de que las líneas de código sean extensas podemos desplazarnos a los costados con las barras de desplazamiento.

Figura 12.

Pantalla inicial RS Micro Starter Lite

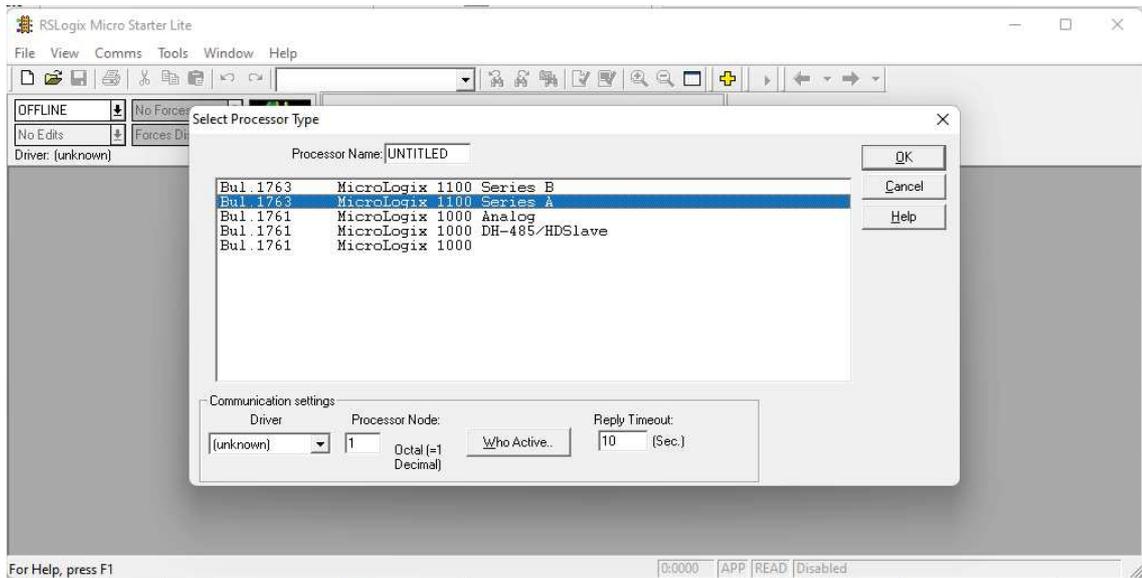


Fuente: Elaboración Propia.

Para iniciar el proyecto, se selecciona el icono New o también desde la opción File y luego new en el menú desplegado.

Figura 13.

Proyecto nuevo RS Micro Starter Lite

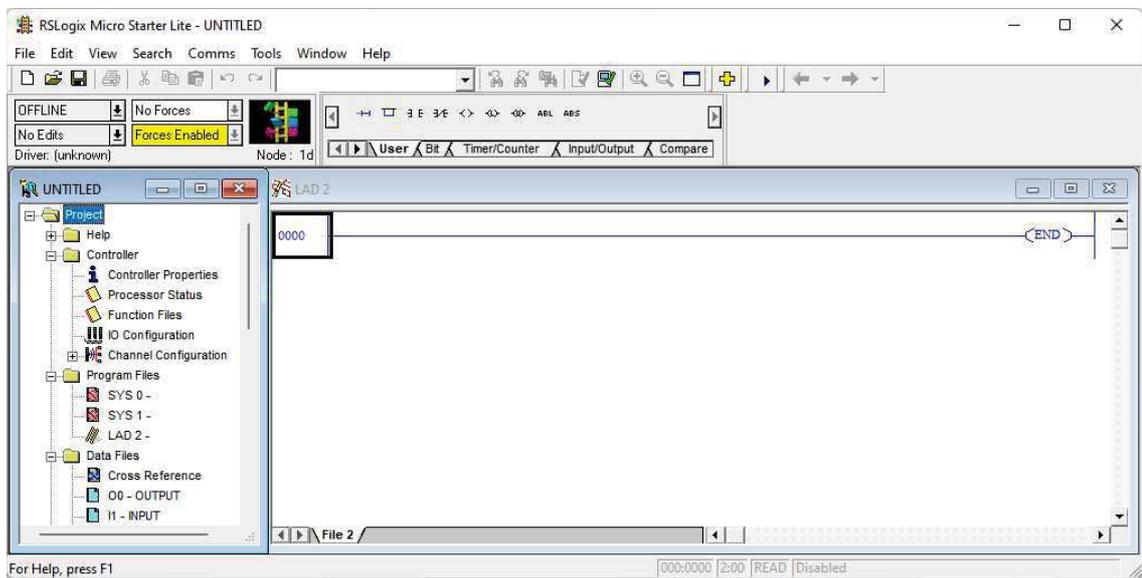


Fuente: Elaboración Propia.

Se escoge el procesador MicroLogix 1100 Series A. Ahí se comienza a crear el aplicativo con cada una de las subrutinas necesarias para controlar cada uno de los lazos de control.

Figura 14.

Pantalla programación PLC MicroLogix 1100

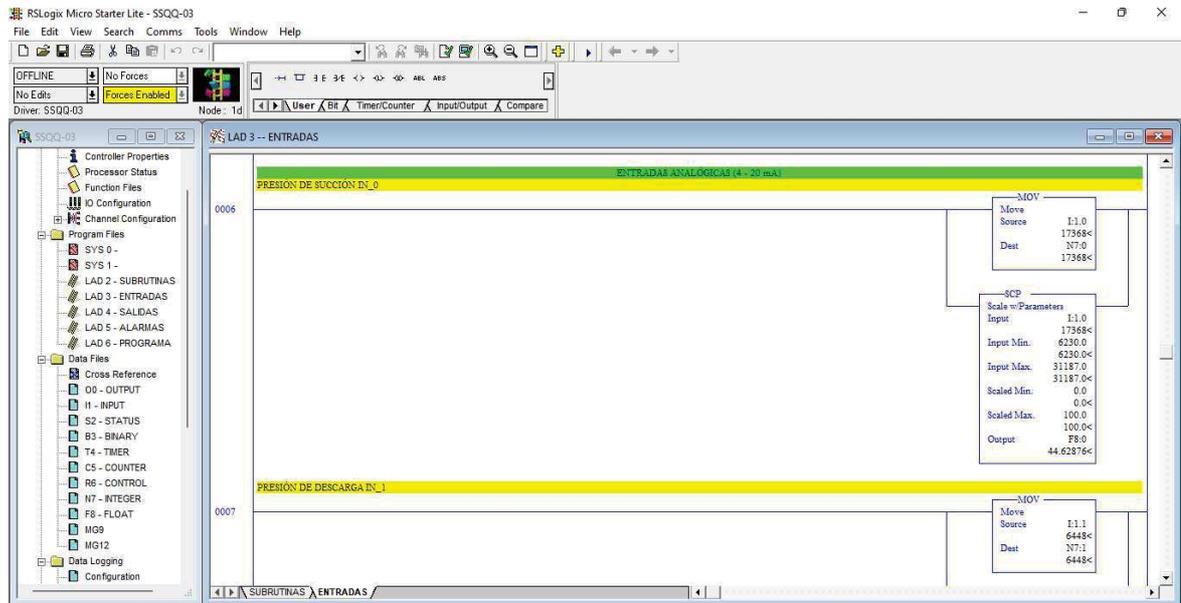


Fuente: Elaboración Propia.

Con los datos de los instrumentos de cada una de las variables se realiza el escalamiento de las señales en la programación de cada uno de los lazos de control.

Figura 15.

Programación RS Micro Starter Lite



Fuente: Elaboración Propia.

Este programa está diseñado para automatizar el sistema de control de la unidad de bombeo HPS #1 del pozo inyector Shushuqui 3 cuyos parámetros de operación y control se puedan visualizar en su HMI y en el aplicativo Plant Information (PI) de EP PETROECUADOR.

F. HMI Local PanelView 600 (Interfaz Hombre Máquina)

Con el objetivo de monitorear el funcionamiento y operación de la unidad HPS #1, es necesario la implementación de un HMI local, se escoge una pantalla táctil básica, el PanelView 600 es de 7 pulgadas, con comunicación ethernet y USB.

Sus principales características son:

- Compatibilidad con controles ActiveX®.
- Integrar con software de terceros como Microsoft® Internet Explorer® y Microsoft Office Viewer.

- Acepta conexiones remotas (VNC y FTP)
- Proporcionar función de copia de seguridad y restauración
- Usar gráficos vectoriales de Symbol Factory

Figura 16. PanelView 600 de Allen Bradley

PanelView 600 de Allen Bradley



Fuente: Allen-Bradley (2019)

G. FactoryTalk View ME de Rockwell Automation

El programa de computador FactoryTalk® View Machine Edition es una aplicación cambiante de interfaz hombre-máquina (HMI) que suministra una poderosa solución y especialmente diseñada para módulos de interfaz de operador a nivel de máquina. Versión usada v6.11.00.

FactoryTalk View Studio es una aplicación HMI diseñada para administrar aplicaciones de servidor de monitoreo. Suministra una imagen total y precisa de las operaciones, lo que satisface las necesidades de varias partes interesadas, incluidas mantenimiento, ingeniería, operaciones, fabricación y tecnologías de la información (TI).

FactoryTalk View SE proporciona una poderosa y confiable funcionalidad en un único paquete que puede escalar desde un sistema HMI independiente hasta una aplicación de visualización compartida. Como han experimentado muchos usuarios en la última década, FactoryTalk View SE consiente la virtualización y otras tecnologías nuevas para resolver los problemas del operador en lotes discretos y aplicaciones de misión crítica en cualquier momento y en cualquier lugar.

FactoryTalk View Site Edition proporciona el máximo control al desarrollar e implementar aplicaciones independientes y multiservidor/multicliente. Además, es una aplicación de software HMI para operaciones de producción en toda una organización.

Figura 17.

Pantalla principal de la interfaz - usuario



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 18.

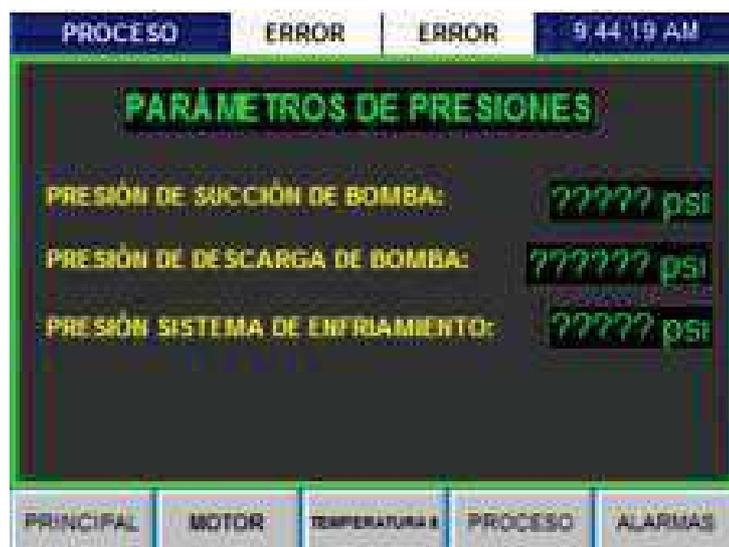
Pantalla de eventos de la interfaz – usuario



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 19.

Pantalla parámetros de Presión de la interfaz – usuario



Fuente: Elaboración Propia.

H. Transmisor de presión Viatran modelo 570

Este sensor se compone de 3 hilos y tiene una salida de 4 a 20 mA, su rango de trabajo es de 0 a 300 PSI para la línea de succión y de 0 a 5000 PSI para la línea de descarga de la unidad HPS #1.

- La presión de succión de la unidad HPS #1 varía entre los 50 a 80 PSI.
- La presión de descarga de la unidad con 54 Hz es de 2800 PSI
- Las especificaciones eléctricas dadas por el fabricante se pueden ver en el ANEXO 1.

Figura 20.

Sensor de presión Viatran 570

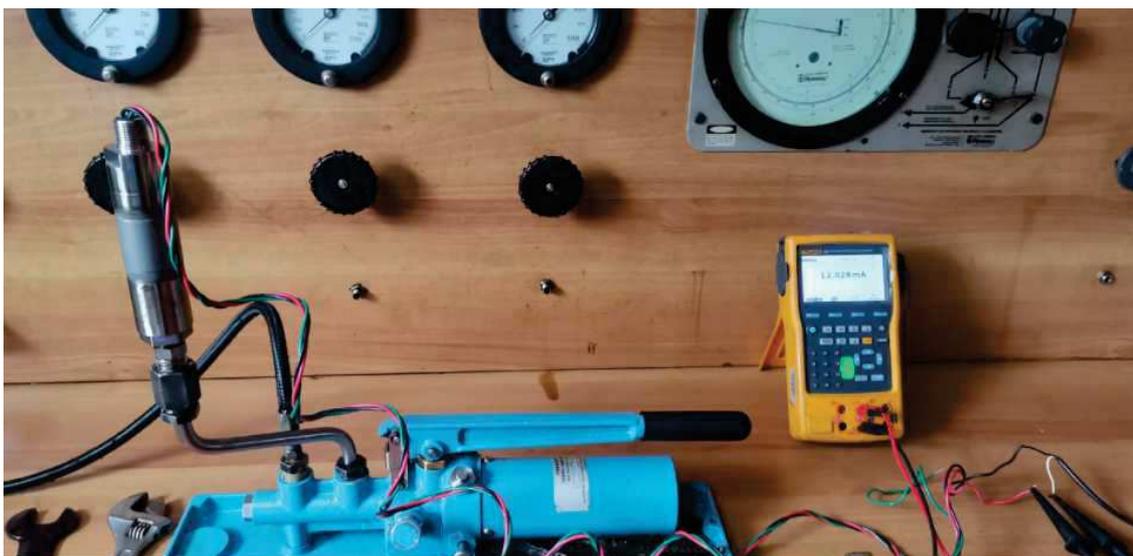


Fuente: Elaboración Propia.

Para calibrar este transmisor se realiza pruebas utilizando el calibrador de procesos FLUKE 753 con el calibrador peso muerto, la calibración del instrumento se lo realiza a través de sus potenciómetros de ajuste, y se los va comparando en función a la presión presente y la corriente de lazo., ver certificado de calibración de los equipos en anexos.

Figura 21.

Pruebas de los Sensores de presión Viatran 570



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 2.

Resultados de la prueba del transmisor de presión Viatran 570

Peso Muerto (PSI)	Corriente de Lazo (mA)	Estado
0	4	Ok
75	8	Ok
150	12	Ok
300	20	Ok

Fuente: Elaboración Propia.

I. Sensor de Temperatura RTD Murphy TA-96084B-SP

Es un detector de temperatura de resistencia con elemento de platino de 100 ohmios (PT100), 3 hilos y dispositivo protector de acero inoxidable 316L con resorte.

Posee, conjuntos de termo pozo de transmisor RTD, las unidades RTDT transmiten temperaturas de proceso variables. Conjuntamente, los transmisores RTDT están disponibles como unidades separadas y aceptan 2 o 3 hilos, 100 ohmios. Además, el transmisor RTDT está alimentado por bucle con una salida lineal de CC de 4-20 mA y protección contra polaridad inversa.

Figura 22.

Ejemplos del sensor de temperatura Murphy TA-96084B-SP



Fuente: Elaboración Propia.

Para verificar la calibración de este transmisor se utilizará la MUFLA para proporcionar las temperaturas de calibración, para comprobar los valores que entregue el transmisor de temperatura nos basaremos en la medición de resistencia de la RTD y se la comparará con el valor de la corriente de lazo.

Figura 23.

Pruebas del sensor de temperatura Murphy TA-96084B-SP



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.

Resultados sensor de temperatura Murphy TA-96084B-SP

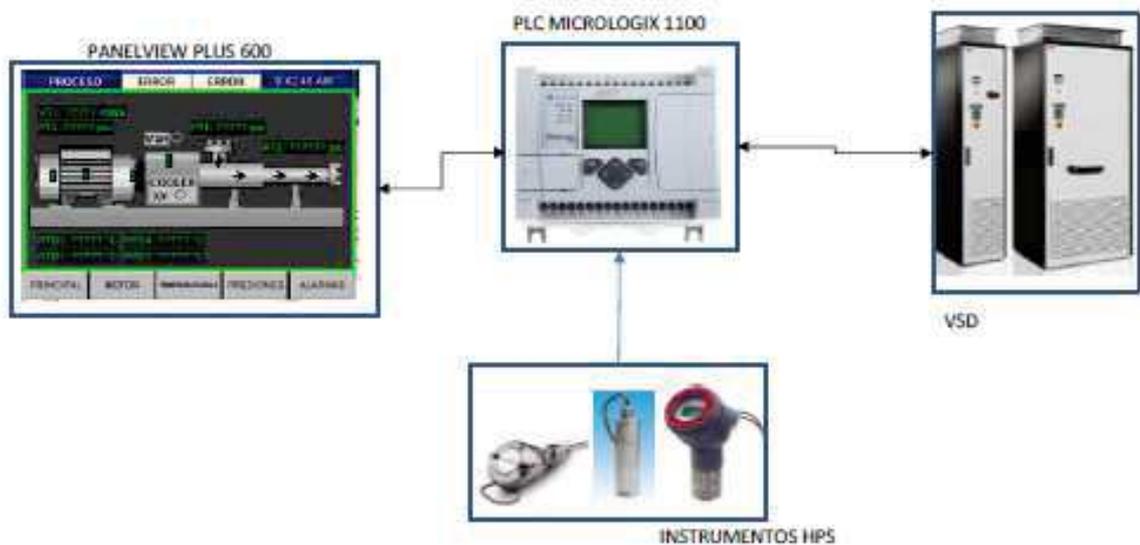
MUFLA (T°C)	RESISTENCIA (OHM)	CORRIENTE DE LAZO (mA)	ESTADO
25	109.7	4	Ok
50	119.4	8	Ok
75	128	12	Ok
100	138	20	OK

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se presenta a forma de bloques todo el sistema permitiendo ver y entender de una forma más adecuada las conexiones implementadas en la propuesta (Figura 24).

Figura 24.

Representación del conexionado



Fuente: Elaboración Propia.

2.3.2 Estrategias y/o técnicas

Las estrategias utilizadas se presentan a continuación:

2.3.2.1 Fases de desarrollo

Se detalla las fases utilizadas para desarrollar este proyecto:

a) Reconocimiento del equipo

En esta fase se realizaron los diagramas eléctricos y de control de acuerdo a la operación de la unidad HPS 1, se realiza la medición de distancias para el cableado de los sensores desde la unidad HPS hasta la ubicación donde se colocará el tablero de control PLC, así como los terminales del VSD en donde nos conectaremos.

b) Selección de los equipos y dispositivos

Después de realizar los diagramas eléctricos y de control, se realiza la selección de los equipos como PLC, PanelView, módulos de entradas analógicas, borneras, fusibleras, brackers y fuente de alimentación necesarios para la automatización de la unidad HPS #1.

c) Implementación del sistema eléctrico

Se inicia con el tendido de cableado para los sensores de cada uno de los lazos de control hacia las borneras del tablero de control del PLC.

d) Programación del PLC y HMI

En esta fase realizamos la programación, configuración y comunicación del PLC con el HMI PanelView.

e) Pruebas de Funcionamiento

Se procede a energizar el tablero de control para realizar pruebas de los lazos de control:

- Pruebas de funcionamiento lazo de control de presión de succión.
- Pruebas de operación del lazo de control de presión de descarga.

- Pruebas de operación del lazo de control de temperatura cámara de empuje.
- Pruebas de operación del lazo de control de temperatura bobinados del motor.
- Pruebas de operación del lazo de control parada de emergencia.

Una vez realizadas estas pruebas se procede alinear la unidad HPS #1, se revisa que todas las variables de operación estén bien y se procede arrancar la unidad con una frecuencia de operación de 54Hz con una rampa de 2 min. Se observa que la unidad HPS #1 se estabiliza al llegar a su frecuencia de trabajo preestablecida, bajo parámetros de operación normales:

- Presión de Succión (80 PSI)
- Presión de Descarga (2250 PSI)
- Temperatura de la cámara de empuje (54.9 °C)

Se realiza pruebas de protecciones en la unidad HPS #1, simulando con el calibrador de procesos:

- Elevada presión de Descarga.
- Muy poca presión de Succión.
- Alta temperatura de la cámara de empuje.
- Parada de Emergencia.

Cada una de estas alarmas envían inmediatamente a apagar la unidad HPS #1 y queda su registro en el HMI, siendo de gran ayuda para cuando al equipo se le haga la revisión por mantenimiento correctivo.

2.4 Validación de la propuesta

Tabla 4.

Datos del validador

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Roberto Fabricio Chaquinga Cortes	15	Mg. Gestión en Mantenimiento Industrial	Ingeniero Automatización y Control EP Petroecuador
Edison Ernesto Mancero Orozco	20	Mg. Gestión en Mantenimiento Industrial	Intendente de Mantenimiento EP Petroecuador

Maricela de Lourdes Garces Mayorga	12	Ing. Electromecánico	Supervisor de Instrumentación y Control EP Petroecuador
------------------------------------	----	----------------------	---

Fuente: Elaboración Propia.

2.5 Matriz de articulación de la propuesta

En esta sección se presenta la articulación de la propuesta realizada, mediante los sustentos teóricos, metodológicos, estratégicos-técnicos y tecnológicos empleados, tal como se observa en la tabla 5.

Tabla 5.

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
1 Automatización del sistema de control de la unidad HPS #1 Variables de operación análogas como presión, temperatura y vibración de la unidad HPS #1, Variables digitales como Start-Stop, parada de emergencia, reconocimiento	Para el control y monitoreo de la unidad HPS #1 se optó por utilizar sensores de presión y temperatura analógicos con los que se podrá llevar un monitoreo continuo de cada una de las variables del proceso, así como el set de cada una de sus protecciones.	Matemáticas Aplicadas Electrónica	Investigación de parámetros de operación, set de protecciones a los cuales debe trabajar la unidad HPS #1. Cálculo matemático para el escalamiento de las señales analógicas AI Conexionado de sensores

	de alarmas (RESET).			
2	<p>Programación del PLC – Micro Logix 1100</p> <p>Programación del interfaz usuario HMI PanelView Plus 600</p>	<p>El PLC MicroLogix 1100 se lo programó utilizando LADDER con el software RS MicroLogix Starter Lite, la cual consta de temporizadores, AI, DI, AO y DO.</p> <p>En el PanelView 600 se programan tres pantallas, en la principal se se puede observar el proceso de toda la unidad HPS #1, en la segunda se puede observar las variables de operación: Presión y temperatura, en la tercera se pueden observar los eventos registrados por paradas intempestivas.</p>	<p>Programación de PLC.</p> <p>Programación del HMI</p>	<p>Softwares de programación proporcionado por el Fabricante</p>

3	Diseño y construcción del tablero de control para el PLC, el HMI y en donde llegarán las señales de los lazos de control de la unidad HPS #1	Se realiza el diseño de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes de los equipos de tal manera que se tenga un diseño funcional. Se utilizan materiales y accesorios industriales, todos con la debida protección para los cables que traen señales de los sensores.	Cableado estructurado Instalaciones eléctricas industriales Protocolos de comunicación industrial PLC - HMI	Cableado para uso tanto en la alimentación de potencia como también para señales de control y comunicación Diseño del circuito de control
---	--	--	---	--

Fuente: Elaboración Propia.

2.6 Análisis de resultados. Presentación y discusión.

Con el desarrollo e implementación de este trabajo de titulación, se realiza la automatización del sistema de control de la unidad HPS #1, con lo cual se hace más confiable la operación y monitoreo de la misma.

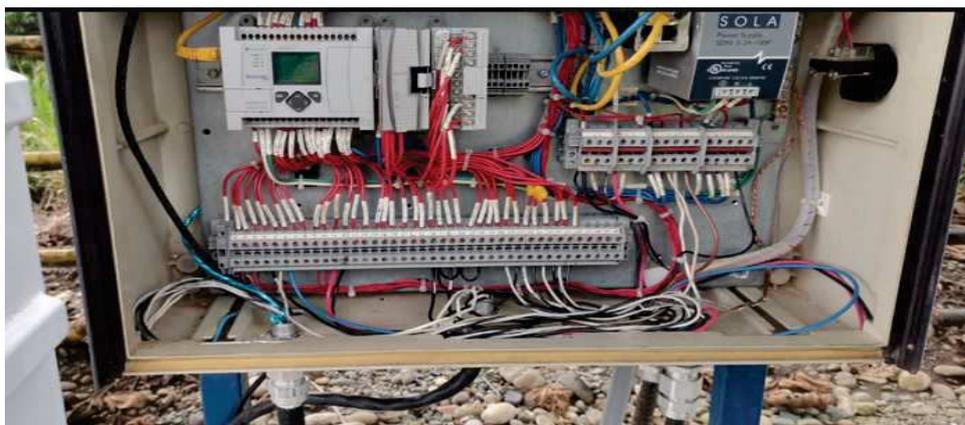
Anteriormente se contaba con falencias en este sistema de bombeo, por la utilización de sensores digitales para los sistemas de protecciones de la unidad HPS, el tiempo de tipificación de fallas y restitución de la unidad complicaban el proceso de inyección de agua del pozo Shushuqui 3 más aún cuando no se dispone de unidad BACK UP.

En la implementación de esta propuesta de automatización del sistema de control de la unidad HPS #1 se aplican los conocimientos adquiridos para la selección de instrumentos y configuración del controlador, teniendo como resultados el control y monitoreo automático,

correcto funcionamiento de la unidad HPS #1, mostrando cada una de sus variables de proceso en el HMI PanelView Plus 600 con lo que se facilita el monitoreo y obtención de información por parte del personal y encargados de mantenimiento (Figura 26), y así minimizando los tiempos de paradas en los mantenimientos correctivos

Figura 25.

Tablero de Control PLC MicroLogix 1100



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 26.

Tablero de control Unidad HPS #1 PanelView

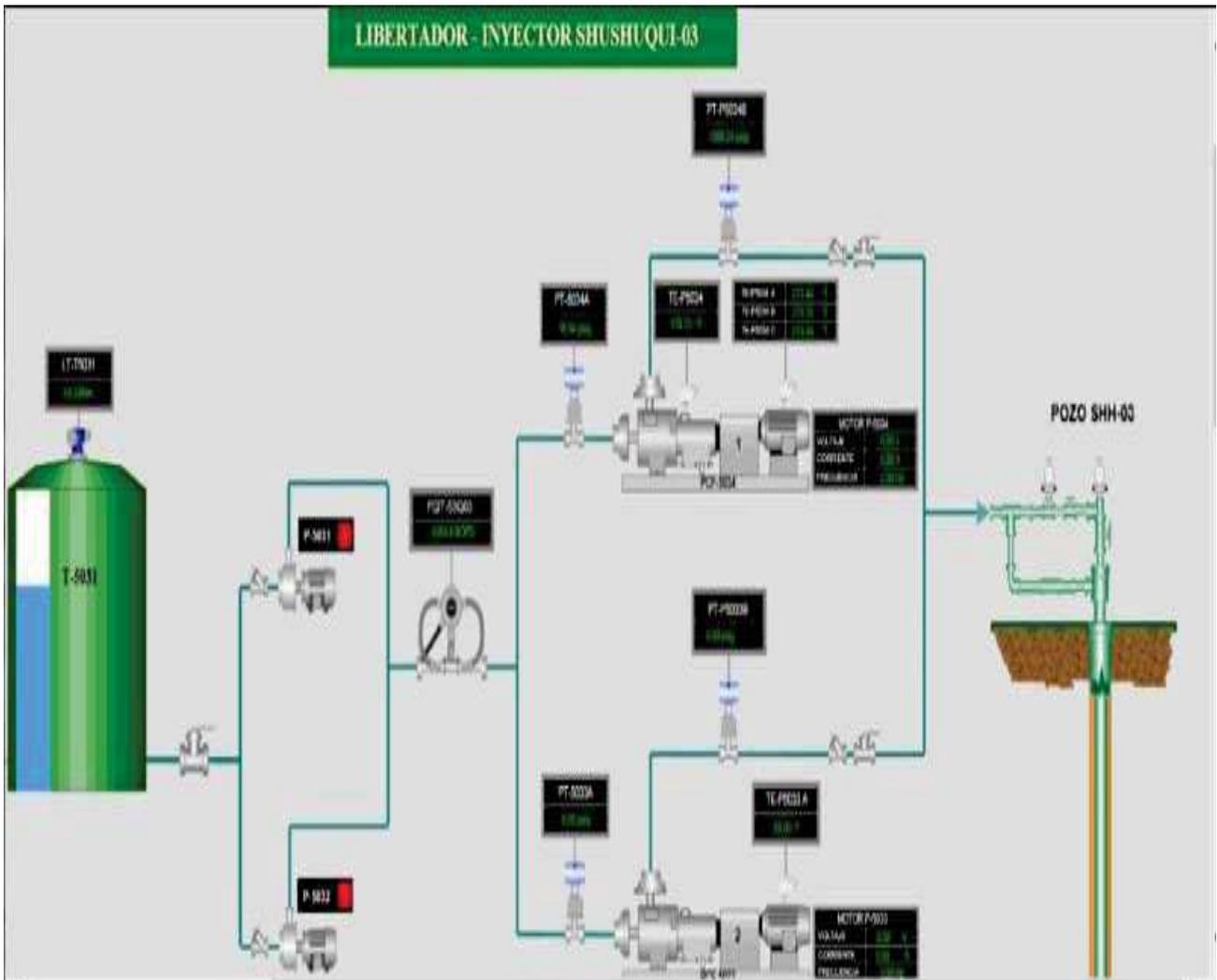


Fuente: Elaboración Propia.

Con la finalización del proyecto de automatización del sistema de control de la unidad HPS #1 podemos evidenciar el correcto funcionamiento del control y monitoreo de la unidad HPS desde la interface HMI (Figura 27), así como la adquisición de datos en línea a través de la plataforma Plant Information (PI), se logra cumplir con el objetivo planteado.

Figura 27.

Monitoreo en línea a través de la plataforma Plant Information (PI)



Fuente: Elaboración Propia.

Se realiza comparativa entre los valores obtenidos por los instrumentos de medición analógicos vs instrumentos electrónicos:

Tabla 6.

Instrumentos de medición analógicos vs instrumentos electrónicos

Instrumento Analógico	Lectura	Instrumento Electrónico	Lectura	Desviación
Manómetro de Succión	80 PSI	Tx presión de succión	81 PSI	1.25%
Manómetro de Descarga	2250 PSI	Tx presión de Descarga	2245 PSI	-0.22%
Termometro Camara de empuje	54 °C	Tx temperatura cámara de empuje	54.6 °C	1.11%
Resistencia RTD Bobinados	130 OHM= 80°C	Temperatura bobinados	81 °C	1.25%

Fuente: Elaboración Propia

En base a estos datos obtenidos en la tabla comparativa de las lecturas de los instrumentos, se puede evidenciar que la desviación de la lectura en cada una de las variables es menor al 2% por lo que los valores mostrados en el HMI son confiables.

CONCLUSIONES

- Se concluye que la automatización del sistema de control de la unidad HPS #1 hace posible el control y monitoreo de las variables del proceso en tiempo real.
- Durante la etapa de diseño se pudo determinar el tipo de PLC, los módulos de señales analógicas y digitales además de cada uno de los sensores que realizarán el control de cada variable del proceso de inyección de agua de la unidad HPS #1
- Con la visualización de parámetros de operación en el HMI PanelView Plus 600, la operación y recolección de parámetros de la unidad se hacen más fáciles.
- Con la implementación del presente proyecto se logra mantener el monitoreo continuo de las señales de las variables de proceso de la unidad HPS #1.
- El registro de eventos cronológicos en el HMI PanelView Plus 600 facilita los mantenimientos correctivos en la unidad al ayudar a la identificación directa de fallas.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda registrar en el cronograma de mantenimientos programados el tablero de control PLC HPS #1 Shushuqui 3, con el fin de evitar fallas o problemas en el funcionamiento.
- Se recomienda capacitar al personal de operaciones y mantenimiento acerca del funcionamiento del tablero de control, así como del desplazamiento en las diferentes pantallas del HMI, para evitar problemas al momento de controlar el proceso de inyección de agua.
- Se recomienda generar un stock de repuestos para el tablero de control e instrumentos del sistema de control de la unidad HPS #1, con el fin de darle un mantenimiento oportuno en el caso de presentarse alguna falla.
- Se recomienda, antes de entrar en operación la unidad verificar el funcionamiento del cooler de cámara de empuje, y así garantizar un correcto funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcocer, P., Calero, M., Cedeño, N., & Manchay, E. (2020). Automatización de los procesos industriales. *Buenas Practicas Empresariales*, 4(2), 123–131. <http://herramientas.camaramedellin.com.co/Inicio/Buenaspracticasempresariales/BibliotecaProducciónyOperaciones/Automatizaciondelosprocesosindustriales.aspx>
- Banco Central del Ecuador. (2022). *Boletín analítico del sector petrolero*. 14–14. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ASP202202.pdf>
- Baque, L., Cadena, M., Moserratte, D., & Quiñonez, K. (2020). Análisis de los niveles de automatización de los procesos de producción de cacao Analysis of the levels of automation of cocoa production processes. *Journal of Business and Entrepreneurial Julio-Diciembre*, 4(2), 8–23. <https://doi.org/10.37956/jbes.v4i2.701.1.1><http://journalbusinesses.com/index.php/revis> taeISSN:2576-0971
- Barona, G., & Velasteguí, L. (2021). Automatización de procesos industriales mediante Industria 4.0. *AlfaPublicaciones*, 3(3.1), 84–101. <https://doi.org/10.33262/ap.v3i3.1.80>
- Cegelski, C., Katogui, S., Stoisa, H., Corrado, L., & Nuñez, M. (2019). SISTEMAS DE CONTROL-La automatización como el motor del desarrollo. In *Colección: Cuadernos de Cátedra*. Universidad Nacional de Misiones. https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos_digitales/I_01_Sistemas_de_Control_web.pdf
- Dhabal, M. (2021). A Guide to Design a PLC and SCADA based Industrial Automation System. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIVE RESEARCH IN TECHNOLOGY*, 8(4), 1–10. https://www.researchgate.net/publication/360773117_A_Guide_to_Design_a_PLC_and_SCADA_based_Industrial_Automation_System/link/6289a1873303d263c46ed373/download
- DNV GL. (2021). *DNV GL combina los negocios de petróleo y gas y energía y energías renovables en respuesta a la transición energética*. 26 de Enero. <https://www.dnv.com/ar/news/dnv-gl-combina-los-negocios-de-petroleo-y-gas-y-energia-y-energias-renovables-en-respuesta-a-la-transicion-energetica-196172>

- Ecuador(BCE), B. C. del. (2021). *Cuentas Nacionales Trimestrales Resultados Segundo trimestre 2021*. 32.
- Escobar, A., Oviedo, L. E., & Vacca, H. (2018). Instrumentación para sistemas automatizados de medición dinámica de hidrocarburos. *Ingeniería Solidaria*, 14(26). <https://doi.org/10.16925/in.v14i24.2306>
- Gutiérrez, M., & Iturralde, A. (2017). *Fundamentos Basicos e Instrumentacion y Control* (U. E. P. de S. Elena (ed.); Primera). [https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4228/1/Fundamentos de Instrumentacion y Control.pdf](https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4228/1/Fundamentos%20de%20Instrumentacion%20y%20Control.pdf)
- Körner, M. F., Bauer, D., Keller, R., Rösch, M., Schlereth, A., Simon, P., Bauernhansl, T., Fridgen, G., & Reinhart, G. (2019). Extending the automation pyramid for industrial demand response. *Procedia CIRP*, 81(2), 998–1003. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.241>
- Martinez, E., Ponce, P., Macias, I., & Molina, A. (2021). Pirámide de automatización como constructora de un gemelo digital completo, estudio de caso: un sistema de fabricación didáctico. *Sensors*, 21(14), 1–29. <https://doi.org/10.3390/s21144656>
- Montes, D., Zamarreño, J., Pitarch, J., Oliveira-silva, E., & Prada, C. De. (2021). IMPLEMENTACION DE CAPAS SUPERIORES DE LA PIRAMIDE DE AUTOMATIZACION EN UNA PLANTA PILOTO HIBRIDA. *XLII Jornadas de Automática*, 403–410. https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/28340/2021_Montes_Daniel_Implementacion_de_capas_superiores_de_la_piramid_de_automatizacion.pdf?sequence=3
- Montoro, E., & Avila, M. (2020). Sistema de ejecución en la producción (mes). *Sinergias En La Investigación En STEM*, 11(4), 123–127. https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/107457/mariaJesus-avila_ponencia-sevilla_2020_sistema.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Nasplada, F., & Nava, A. (2020). Inteligencia artificial, automatización, reestructuración capitalista y el futuro del trabajo: un estado de la cuestión. *Cec*, 6(12), 93–114.
- Novák, P., & Vyskocil, J. (2022). Systems and Their Tight Cooperation with Digital Twins. *Processes*, 10(404), 1–27. <https://doi.org/10.3390/pr10020404>

Padilla, A., Chamba, S., Aguilera, G., & Anguaya, H. (2021). Sistemas de automatización en unidades LACT para la medición dinámica de hidrocarburos en la industria petrolera. *AlfaPublicaciones*, 3(3.1), 6–28. <https://doi.org/10.33262/ap.v3i3.1.73>

Santos, Á. (2017). IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA MES. In *Universidad de Oviedo-Memoria del Trabajo Fin de Máster* (pp. 1–68). http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/43550/4/TFM_AlvaroCasadoSantos.pdf

Stankovski, S., Ostojic, G., Baranovski, I., Tegeltija, S., & Smirnov, V. (2022). Robust automation with PLC/PAC and edge controllers. *IFAC-PapersOnLine*, 55(4), 316–321. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.06.052>

ANEXOS

ANEXO 1

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN VIATRAN MODELO 570



PRESSURE TRANSMITTER / TRANSDUCERS

Models 570 / 770 / 870

Summary of Specifications		
Specification	300 thru 15,000 psis	< 300 or > 15,000 psis
Standard RSS	± 0.20% Full Scale Output (FSO)	± 0.25% FSO
Improved RSS (Option "DN")	± 0.15% FSO	N/A
Non-Linearity	± 0.10% FSO typical	± 0.25% FSO typical
Hysteresis	± 0.05% FSO typical	± 0.05% FSO typical
Zero Repeat	± 0.05% FSO typical	± 0.05% FSO typical
Stability	± 0.25% FSO per year	± 0.25% FSO per year
Compensated Temperature Range	0°F to 170°F (-18°C to 76°C)	0°F to 170°F (-18°C to 76°C)
Extended Temperature Range (Option "DC")	-40°F to 170°F (-40°C to 76°C)	N/A
Extended Temperature Range (Option "EH")	+70°F to 185°F (21°C to 85°C)	N/A
Operating Temperature Range	-40°F to 190°F (-40°C to 87°C)	-40°F to 190°F (-40°C to 87°C)
Temperature Effect on Zero and Span	± 0.01% per 1°F (0.56° C)	± 0.01% per 1°F (0.56° C)
Temperature Effect on Zero and Span (Option "DG")	± 0.005% per 1°F (0.56° C)	± 0.005% per 1°F (0.56° C)
Overpressure	Lessor of 1.5X FSRR or 20K PSI (1378 bar)	<300 (1.5X FSRR), >15K (1.2X FSRR)
Response Time	<2 mSec to reach 90% FSO	<2 mSec to reach 90% FSO

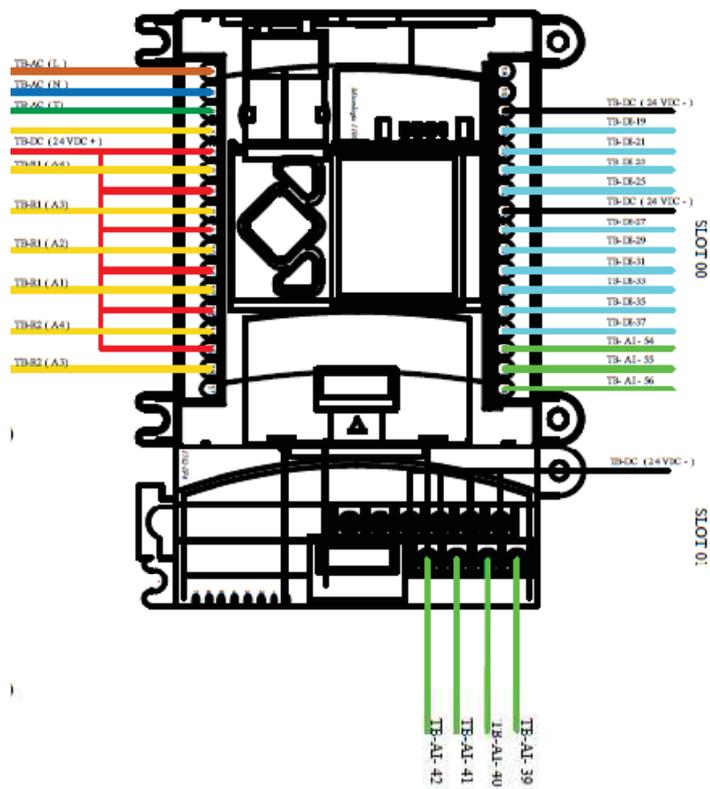
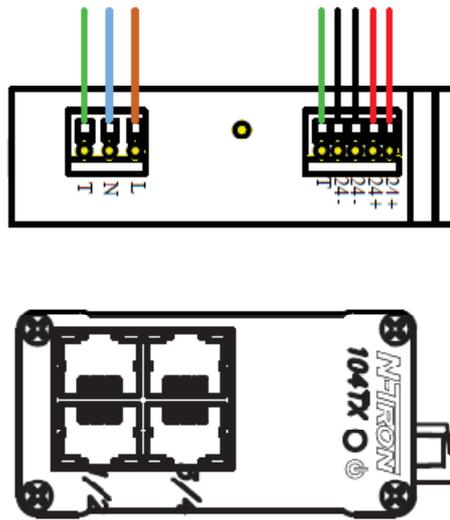
ANEXO 2

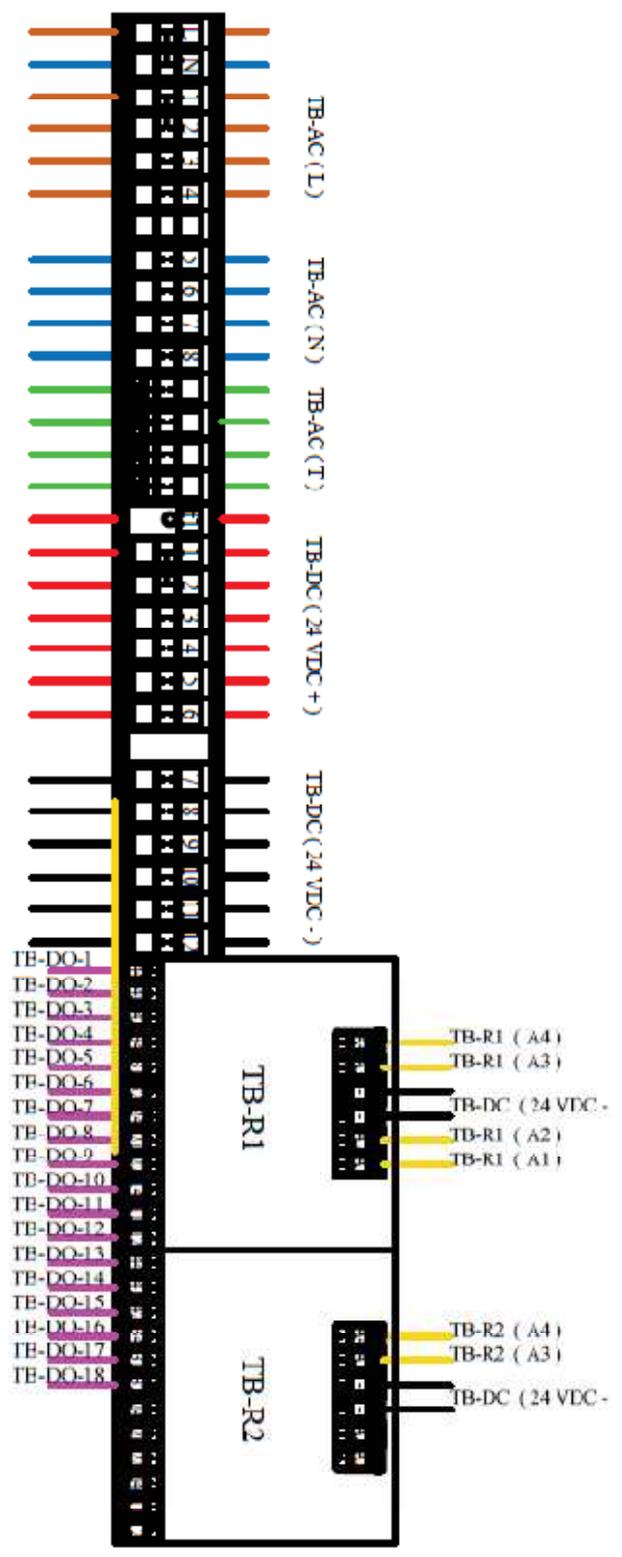
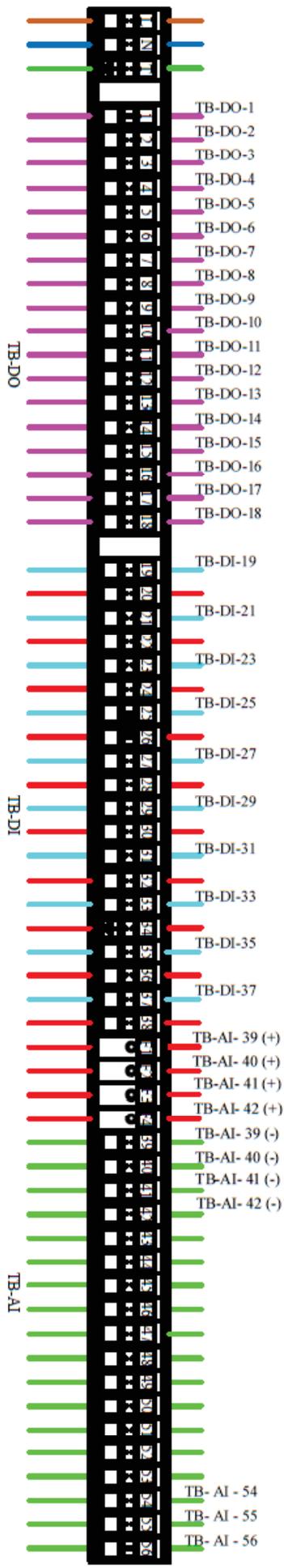
CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DE TEMPERATURA MURPHY TA-96084B-SP

Numero de Modelo	Rescudo	Medida Inserción	Tipo de Elemento Sensor	Rango del Transmisor
<i>Ensamble de Termocouple (Termopares incluidos)</i>				
TCJ-225	1/2 NPT	2-1/2 in. (63 mm)	Termocouple Desconectado Tipo J	
TCK-225	1/2 NPT	2-1/2 in. (63 mm)	Termocouple Desconectado Tipo K	
TCJ-325	3/4 NPT	2-1/2 in. (63 mm)	Termocouple Desconectado Tipo J	
TCK-325	3/4 NPT	2-1/2 in. (63 mm)	Termocouple Desconectado Tipo K	
TCJ-245	1/2 NPT	4-1/2 in. (114 mm)	Termocouple Desconectado Tipo J	
TCK-245	1/2 NPT	4-1/2 in. (114 mm)	Termocouple Desconectado Tipo K	
TCJ-345	3/4 NPT	4-1/2 in. (114 mm)	Termocouple Desconectado Tipo J	
TCK-345	3/4 NPT	4-1/2 in. (114 mm)	Termocouple Desconectado Tipo K	
TCJ-275	1/2 NPT	7-1/2 in. (191 mm)	Termocouple Desconectado Tipo J	
TCK-275	1/2 NPT	7-1/2 in. (191 mm)	Termocouple Desconectado Tipo K	
TCJ-375	3/4 NPT	7-1/2 in. (191 mm)	Termocouple Desconectado Tipo J	
TCK-375	3/4 NPT	7-1/2 in. (191 mm)	Termocouple Desconectado Tipo K	
<i>Ensamble de RTD (Termopares incluidos)</i>				
RTD-225-400-100	1/2 NPT	2-1/2 in. (63 mm)	100 ohm Pt RTD 400°F Máximo	
RTD-325-400-100	3/4 NPT	2-1/2 in. (63 mm)	100 ohm Pt RTD 400°F Máximo	
RTD-245-400-100	1/2 NPT	4-1/2 in. (114 mm)	100 ohm Pt RTD 400°F Máximo	
RTD-345-400-100	3/4 NPT	4-1/2 in. (114 mm)	100 ohm Pt RTD 400°F Máximo	
RTD-275-400-100	1/2 NPT	7-1/2 in. (191 mm)	100 ohm Pt RTD 400°F Máximo	
RTD-375-400-100	3/4 NPT	7-1/2 in. (191 mm)	100 ohm Pt RTD 400°F Máximo	
<i>Ensamble del Transmisor RTD (Termopares incluidos)</i>				
RTDT-225-400-100	1/2 NPT	2-1/2 in. (63 mm)	Transmisor 100 ohm Pt 4-20 mA RTD	0-400°F (-17.8-204°C)
RTDT-225-140-100	1/2 NPT	2-1/2 in. (63 mm)	Transmisor 100 ohm Pt 4-20 mA RTD	-60-140°F (-51.1-60°C)
RTDT-325-400-100	3/4 NPT	2-1/2 in. (63 mm)	Transmisor 100 ohm Pt 4-20 mA RTD	0-400°F (-17.8-204°C)
RTDT-325-140-100	3/4 NPT	2-1/2 in. (63 mm)	Transmisor 100 ohm Pt 4-20 mA RTD	-60-140°F (-51.1-60°C)
RTDT-245-400-100	1/2 NPT	4-1/2 in. (114 mm)	Transmisor 100 ohm Pt 4-20 mA RTD	0-400°F (-17.8-204°C)
RTDT-245-140-100	1/2 NPT	4-1/2 in. (114 mm)	Transmisor 100 ohm Pt 4-20 mA RTD	-60-140°F (-51.1-60°C)
RTDT-345-400-100	3/4 NPT	4-1/2 in. (114 mm)	Transmisor 100 ohm Pt 4-20 mA RTD	0-400°F (-17.8-204°C)
RTDT-345-140-100	3/4 NPT	4-1/2 in. (114 mm)	Transmisor 100 ohm Pt 4-20 mA RTD	-60-140°F (-51.1-60°C)
RTDT-275-400-100	1/2 NPT	7-1/2 in. (191 mm)	Transmisor 100 ohm Pt 4-20 mA RTD	0-400°F (-17.8-204°C)
RTDT-275-140-100	1/2 NPT	7-1/2 in. (191 mm)	Transmisor 100 ohm Pt 4-20 mA RTD	-60-140°F (-51.1-60°C)
RTDT-375-400-100	3/4 NPT	7-1/2 in. (191 mm)	Transmisor 100 ohm Pt 4-20 mA RTD	0-400°F (-17.8-204°C)
RTDT-375-140-100	3/4 NPT	7-1/2 in. (191 mm)	Transmisor 100 ohm Pt 4-20 mA RTD	-60-140°F (-51.1-60°C)

ANEXO 3

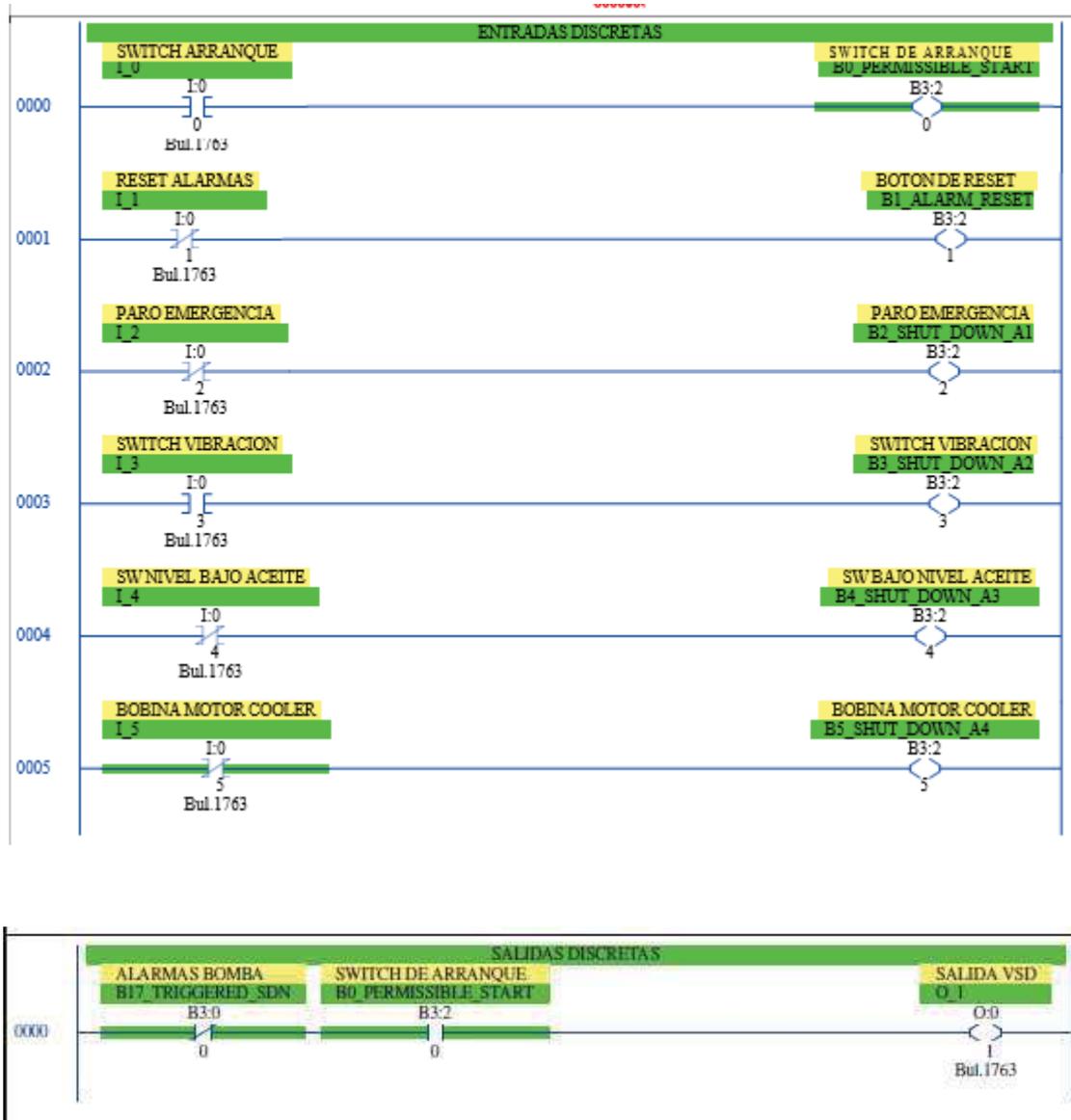
DIAGRAMA TABLERO DE CONTROL PLC

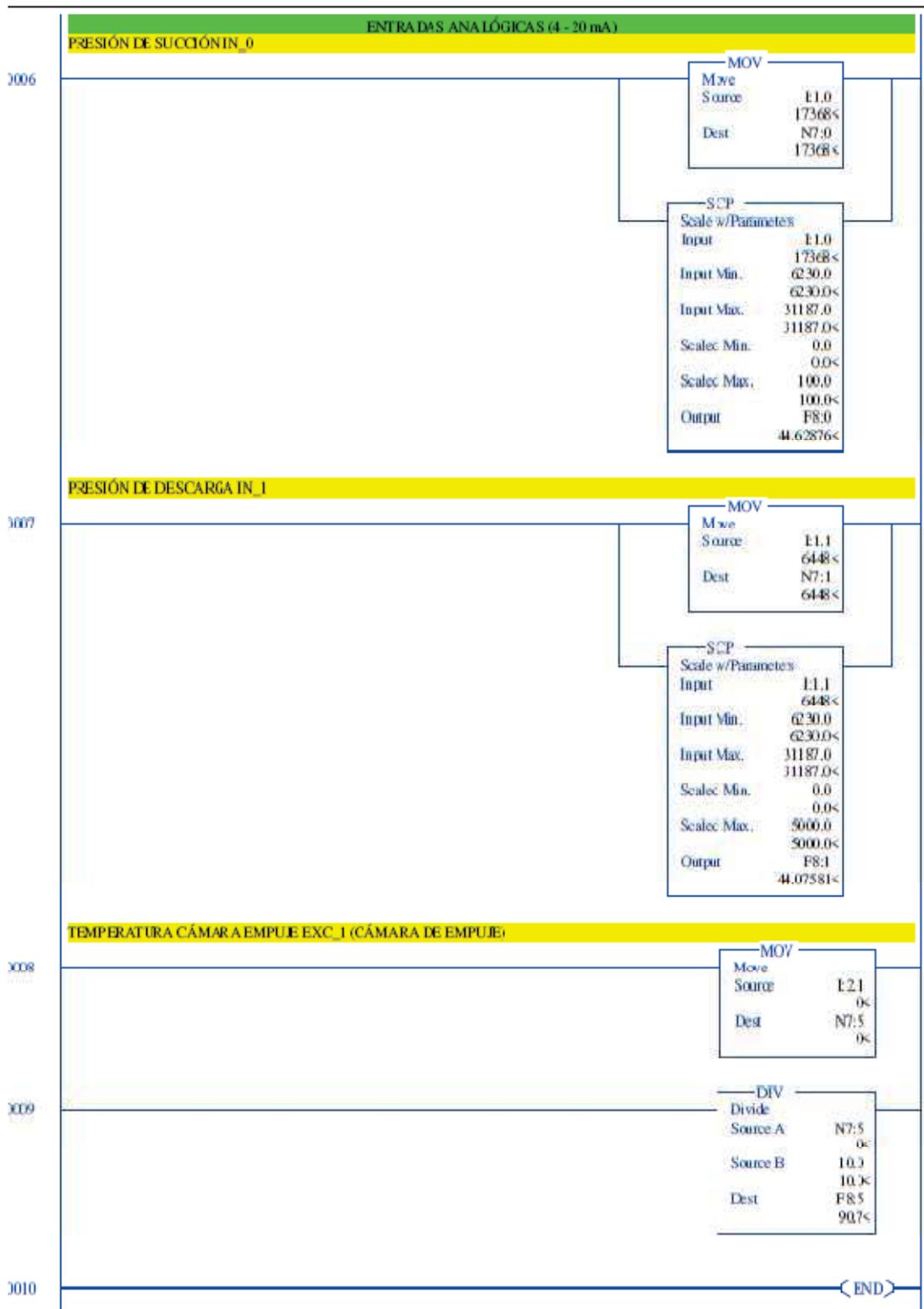


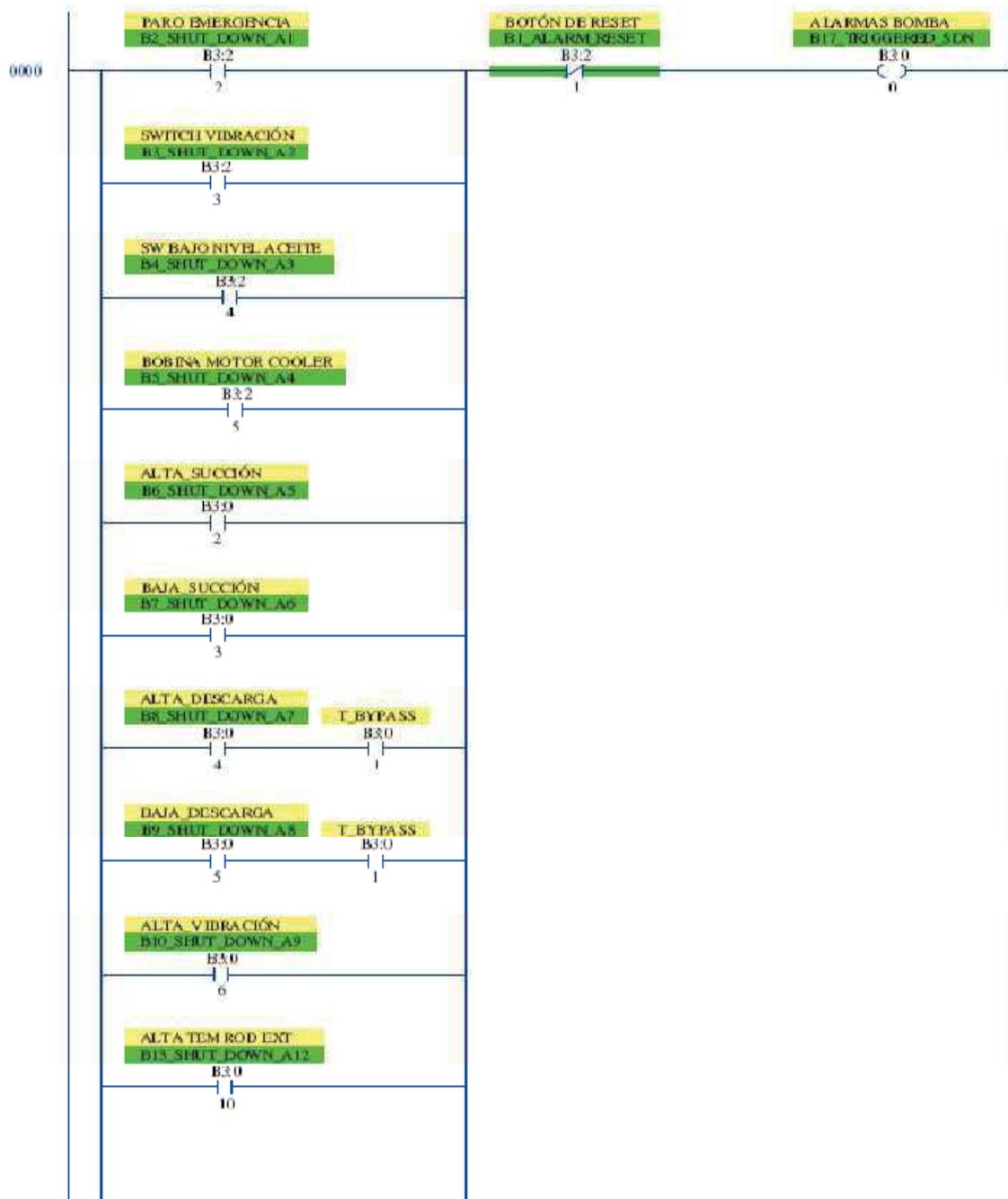


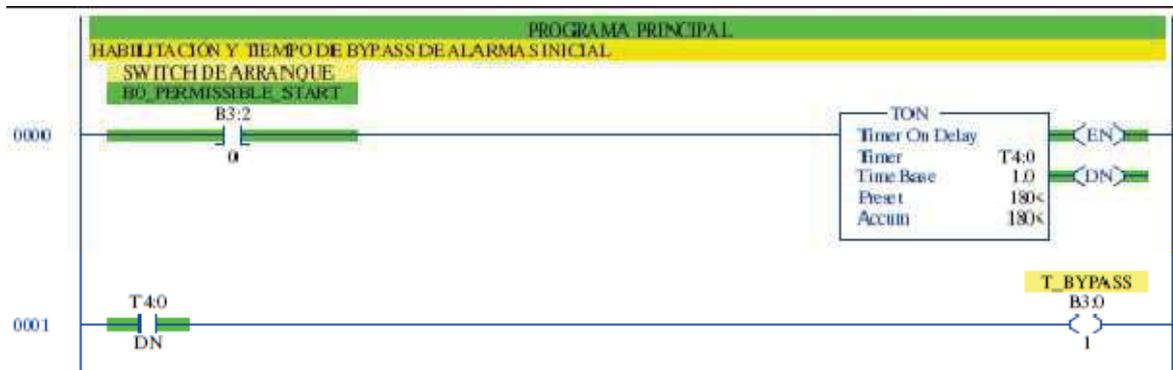
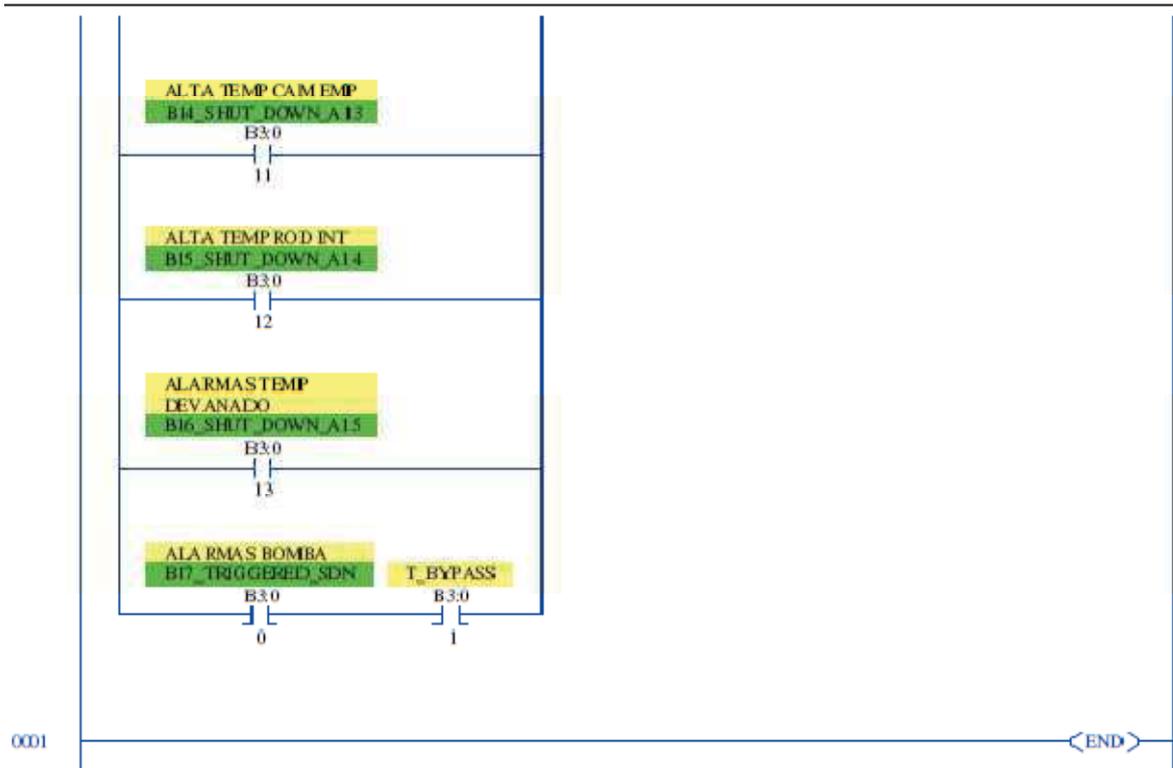
ANEXO 4

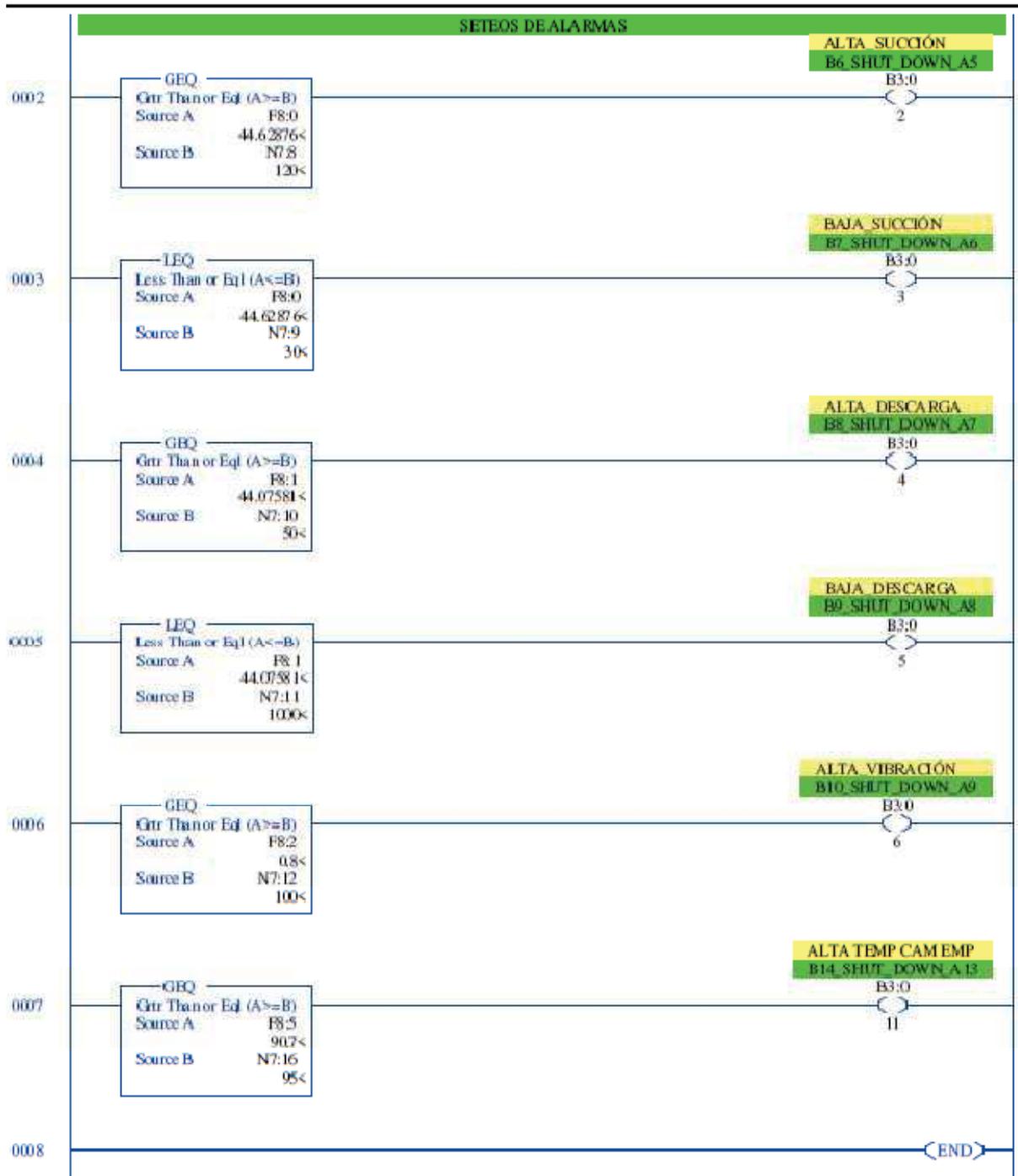
DIAGRAMA EN LADDER PROGRAMACION PLC











ANEXO 5

VALIDACIONES



Yo, **Edison Ernesto Mancero Orozco**, con C.I **0602085748**, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO HORIZONTAL HPS #1 DEL POZO INYECTOR SHUSHUQUI 3 DEL CAMPO LIBERTADOR DE EP PETROECUADOR.**

Elaborado por el Ing. **Ricardo Mauricio Carrasco Mayorga**, con C.I **1803961752**, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización, mención Automatización de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 17 de marzo de 2023



Firmado electrónicamente por:
**EDISON ERNESTO
MANCERO OROZCO**

Edison Ernesto Mancero Orozco

C.I: 0602085748

Registro SENESCYT



Instrumento de Validación:
AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO HORIZONTAL HPS #1 DEL POZO INYECTOR SHUSHUQUI 3 DEL CAMPO LIBERTADOR DE EP PETROECUADOR

Datos del validador:

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Edison Ernesto Mancero Orozco	25	Magister en Gestión del Mantenimiento Industrial	Intendente de Mantenimiento EP Petroecuador

Criterios de Evaluación_

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.

Escala de evaluación de criterios

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	

Elaborada por: El Investigador



Yo, **Roberto Fabricio Chaquina Cortes**, con C.I **1803274321**, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO HORIZONTAL HPS #1 DEL POZO INYECTOR SHUSHUQUI 3 DEL CAMPO LIBERTADOR DE EP PETROECUADOR.**

Elaborado por el Ing. **Ricardo Mauricio Carrasco Mayorga**, con C.I **1803961752**, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización, mención Automatización de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 16 de marzo de 2023



Firmado electrónicamente por:
**ROBERTO FABRICIO
CHAQUINGA CORTES**

Roberto Fabricio Chaquina Cortes

C.I: 1803274321

Registro SENESCYT



Instrumento de Validación:
AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO HORIZONTAL HPS #1 DEL POZO INYECTOR SHUSHUQUI 3 DEL CAMPO LIBERTADOR DE EP PETROECUADOR

Datos del validador:

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Roberto Fabricio Chaquina Cortes	17	Magister en Gestión del Mantenimiento Industrial	Ingeniero de Automatización y Control EP Petroecuador

Criterios de Evaluación_

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.

Escala de evaluación de criterios

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

Elaborada por: El Investigador



Yo, **Maricela de Lourdes Garces Guerrero**, con C.I **1803690880**, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO HORIZONTAL HPS #1 DEL POZO INYECTOR SHUSHUQUI 3 DEL CAMPO LIBERTADOR DE EP PETROECUADOR.**

Elaborado por el Ing. **Ricardo Mauricio Carrasco Mayorga**, con C.I **1803961752**, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización, mención Automatización de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 16 de marzo de 2023



Firmado electrónicamente por:
**MARICELA DE LOURDES
GARCES GUERRERO**

Maricela de Lourdes Garces Guerrero

C.I: 1803690880

Registro SENESCYT



Instrumento de Validación:

AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO HORIZONTAL HPS #1 DEL POZO INYECTOR SHUSHUQUI 3 DEL CAMPO LIBERTADOR DE EP PETROECUADOR

Datos del validador:

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Maricela de Lourdes Garces Guerrero	13	Ingeniera de Mantenimiento	Supervisor de Instrumentación y Control EP Petroecuador

Criterios de Evaluación_

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.

Escala de evaluación de criterios

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

Elaborada por: El Investigador