



**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 CONTROL DE LA UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL CENTRÍFUGO MULTI-ETAPA NÚMERO DOS DE REINYECCIÓN DE AGUA DE TAPI A.
Línea de Investigación:
Ciencias de la ingeniería aplicadas a la producción, sociedad y desarrollo sustentable
Campo amplio de conocimiento:
Ingeniería, industria y construcción
Autor/a:
Maricela de Lourdes Garcés Guerrero
Tutor/a:
MG. Wilmer Albarracín

Quito – Ecuador

2023

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, Wilmer Fabian Albarracin Guarochico con C.I: 1713341152 en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: **AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL CENTRÍFUGO MULTI-ETAPA NÚMERO DOS DE REINYECCIÓN DE AGUA DE TAPI A.**

Elaborado por: **Maricela de Lourdes Garcés Guerrero**, de C.I: 1803690880, 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., 31 de agosto de 2023

Firma

DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, Maricela de Lourdes Garcés Guerrero con C.I: 1803690880, autor/a del proyecto de titulación denominado: **AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL CENTRÍFUGO MULTI-ETAPA NÚMERO DOS DE REINYECCIÓN DE AGUA DE TAPI A.** Previo a la obtención del título de Magister en Electrónica y Automatización, mención en 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., 31 de agosto de 2023

Firma

Tabla de contenidos

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE	iii
Indice de tablas	v
INFORMACIÓN GENERAL	7
Contextualización del tema	7
Problema de investigación	10
Objetivo general	10
Objetivos específicos	11
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	13
1.1. Contextualización general del estado del arte	13
1.2. Proceso investigativo metodológico	13
1.2.1 Tipo de investigación aplicado	13
1.2.2 Métodos teóricos y prácticos que se aplicaron	14
1.2.3 Técnicas para recolección de datos	14
1.2.4 Fases de desarrollo	14
CAPÍTULO II: PROPUESTA	16
2.1 Introducción	16
2.2 Fundamentos teóricos aplicados	16
2.1.1. Sistema de reinyección de Agua	16
2.1.2. Bomba centrífuga multi-etapas y sus componentes	16
2.3 Descripción de la propuesta	20
2.3.1 Estructura general	21
2.3.1.1 Explicación <i>del aporte</i>	22
2.1.1 Estrategias y/o técnicas	34
2.2 Validación de la propuesta	36
2.3 Matriz de articulación de la propuesta	37
2.4 Análisis de resultados, presentación y discusión	38
CONCLUSIONES	40
RECOMENDACIONES	41
BIBLIOGRAFÍA	42
ANEXOS	44

Indice de tablas

Tabla 1	<i>Lista de equipos instalados en el Sistema de reinyección de agua de Tapi A</i>	9
Tabla 2	<i>Capacidades de las unidades de bombeo</i>	9
Tabla 3	<i>Verificación del transmisor de presión de baja succión</i>	33
Tabla 4	<i>Verificación del transmisor de presión de alta descarga</i>	33
Tabla 5	<i>Resultados sensor de temperatura Murphy TA-96084B-SP</i>	34
Tabla 6	<i>Datos del validador</i>	36
Tabla 7	<i>Matriz de articulación</i>	37
Tabla 8	<i>Parámetros medidos en campo</i>	39

Índice de figuras

Figura 1 <i>Diagrama de bloque., proceso extracción del petróleo</i>	7
Figura 2 <i>Diagrama Sistema de Reinyección de Agua de Tapi A</i>	8
Figura 3 <i>Unidad de bombeo Horizontal</i>	17
Figura 4 <i>Elementos de un sensor de presión</i>	18
Figura 5 <i>Sensor de temperatura PT100</i>	18
Figura 6 <i>Sensor de Vibración modelo ST5484E</i>	18
Figura 7 <i>Diagrama del PLC Micrologix 1100, Allen Bradley</i>	19
Figura 8 <i>Panel View</i>	20
Figura 9 <i>Diagrama del proceso</i>	21
Figura 10 <i>Componentes principales de una bomba horizontal HPS Schlumberger REDA</i>	23
Figura 11 <i>PLC Allen Bradley Micrologix 1100</i>	24
Figura 12 <i>PanelView Plus 600</i>	25
Figura 13 <i>Software RSLogix Micro Starter Lite</i>	26
Figura 14 <i>Pantalla inicial RS Micro Starter Lite</i>	27
Figura 15 <i>Nuevo proyecto en RS Micro Starter Lite</i>	27
Figura 16 <i>Pantalla para programación PLC MicroLogix 1100</i>	28
Figura 18 <i>PanelView 600 de Allen Bradley</i>	29
Figura 19 <i>Pantalla principal de la interfaz – usuario</i>	30
Figura 20 <i>Pantalla principal interfaz</i>	31
Figura 21 <i>Pantalla de la interfaz, parámetros de presión</i>	31
Figura 22 <i>Pantalla de la interfaz, parámetros de temperatura</i>	32
Figura 23 <i>Transmisor para baja succión Rosemount 3051</i>	32
Figura 24 <i>Transmisor para alta descarga Rosemount 3051</i>	33
Figura 25 <i>Ejemplos del sensor de temperatura Murphy TA-96084B-SP</i>	34
Figura 26 <i>Monitoreo en línea por medio de la plataforma Plant Information</i>	39

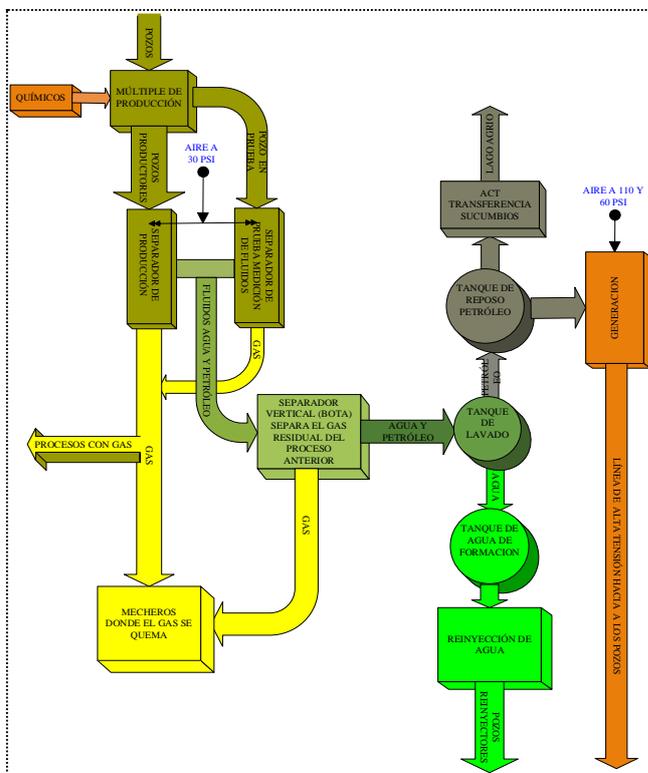
INFORMACIÓN GENERAL

Contextualización del tema

A partir de contar con el yacimiento en la etapa de extracción del fluido se obtiene crudo, gas y agua de formación, por algún tipo de bombeo (electro sumergible, bombeo hidráulico, bombeo mecánico) y es enviado a través de una línea de flujo hacia el manifold, el fluido es direccionado hacia los separadores (prueba, producción), con la finalidad de que el fluido sea separado, para mejorar dicho proceso de separación el fluido es también tratado con químicos dosificados.

Figura 1

Diagrama de bloque., proceso extracción del petróleo



Fuente: Elaboración Propia

Del proceso de separación se obtiene, gas que es enviado a través de una línea de flujo hacia los mecheros o al calentador de agua para su operación y agua que por sus niveles de sales tóxicas, y con la finalidad de proteger el medio ambiente es importante regresarle al subsuelo en pozos bandonados, a dicho proceso se denomina reinyección de agua. Para reinyectar el agua de formación es necesario contar con unidades de bombeo horizontal centrífugo multi-etapa.

Un sistema de bombeo horizontal centrífugo multi-etapa, está conformado de los siguientes equipos:

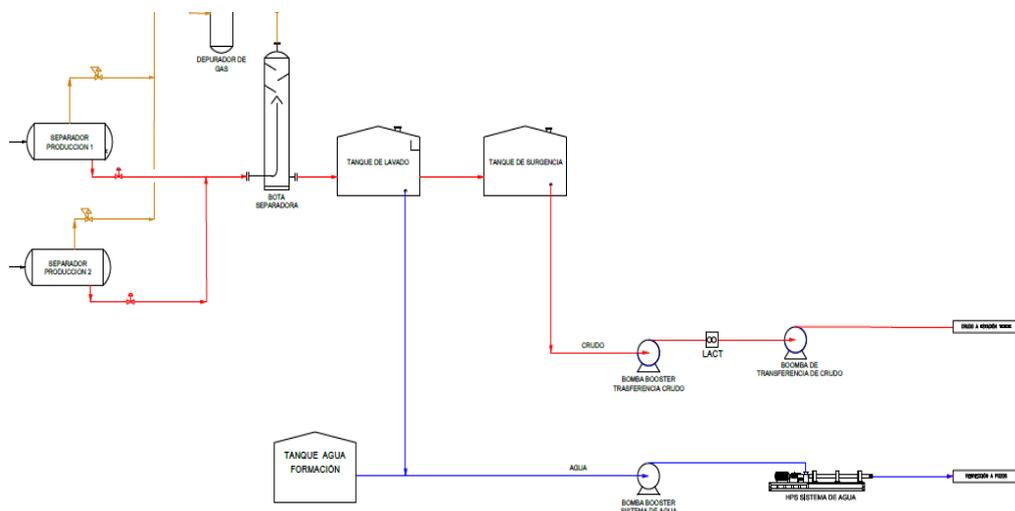
- Motor eléctrico.
- Acople entre el motor
- Cámara de empuje.
- Bomba centrífuga multi-etapa.
- Variador de frecuencia.
- Sistema de control y protección.
- Bombas booster, para la succión.

En el PAD del TAPI A se maneja una rata de 11.812 barriles por día de agua de formación, la misma que es generada en el tanque de lavado y separadores; pasa por un proceso químico, para ser reinyectada al Pozo Tapi 2.

El sistema de reinyección de agua Tapi A, está conformado por dos (2) unidades de bombeo horizontal centrífugo multi-etapa y dos (2) unidades booster para la succión, el agua de formación es reinyectada a los Pozo Tapi 2. (Fig. 3).

Figura 2

Diagrama Sistema de Reinyección de Agua de Tapi A



Fuente: Elaboración propia.

Las unidades de bombeo de Tapi A están compuestas por los equipos que se describen en la Tabla 1.

Tabla 1*Lista de equipos instalados*

ESTACIÓN	SISTEMA	EQUIPO	DESCRIPCIÓN
TAPI A	HPS 2	MEL-0156	MOTOR ELÉCTRICO
TAPI A	HPS 2	TCH-0116	CÁMARA DE EMPUJE
TAPI A	HPS 2	PCF-1618	BOMBA CENTRIFUGA HPS
TAPI A	HPS 2	PCF-1619	BOMBA CENTRIFUGA HPS
TAPI A	HPS 2	VSD-5840	VARIADOR
TAPI A	HPS 1	MEL-5759	MOTOR ELÉCTRICO
TAPI A	HPS 1	TCH-0228	CÁMARA DE EMPUJE
TAPI A	HPS 1	PCF-1794	BOMBA CENTRIFUGA HPS
TAPI A	HPS 1	PCF-1880	BOMBA CENTRIFUGA HPS
TAPI A	HPS 1	VSD-0040	VARIADOR

Fuente: Elaboración Propia

Para tener la capacidad operativa de manejo de agua las unidades de bombeo horizontal centrífugo multi-etapa, operan alternadamente, funcionando una de las dos. No pueden funcionar las dos unidades a la vez; las unidades de bombeo horizontal centrífugo multi-etapa 1 y 2 son de la misma capacidad, se describe en la Tabla 2.

Tabla 2*Capacidades de las unidades de bombeo.*

UNIDAD	CAUDAL	CAUDA	PRESIÓN	PRESIÓN	POZO
	ACTUAL (BPD)	L OPTIMO (BPD)	ACTUAL (PSI)	OPTIMA (PSI)	
HPS 02	11812 / 52HZ	12656	2300	2875	TAPI 2

Fuente: Elaboración Propia.

Para garantizar la operatividad y disponibilidad de agua de Tapi A, es necesario contar con un sistema de control con la finalidad de proteger la unidad de bombeo horizontal centrífugo multi-etapa, las variables que es indispensable controlar es: presión y temperatura.

El no disponer de capacidad suficiente para el manejo de agua de formación, implicaría apagar pozos y esto generaría pérdidas de producción, por tal motivo el sistema de reinyección de agua es crítico para la operación de Tapi A.

Con respecto, a la unidad de bombeo horizontal centrífugo multi-etapa número dos de la Tapi A cuenta con instrumentos de protección de señales digitales de cada una de sus variables de operación (presión, temperatura y vibración), lo que no le permite contar con un monitoreo continuo y por ende

el registro de las variables monitoreadas, imposibilitando contar con un registro de las variables medidas, para un análisis del estado de los equipos rotativos, razón por la que no se puede tomar acciones oportunas enfocadas a aumentar efectivamente el tiempo medio entre fallos de los equipos.

Con la actualización del sistema de control se podría contar con un registro del comportamiento de la máquina, que bajo un análisis se podría implementar y/o optimizar el mantenimiento preventivo, con la finalidad de reducir las fallas y costos el tiempo medio entre fallos de los equipos rotativos, reducción de costos.

Para ellos se requiere instalar transmisores de 4-20 mA, tipo hard, controlados por un PLC MicroLogix 1100 el mismo que enviaría a apagar la unidad de bombeo (HPS) por medio del variador de frecuencia. Además, transmitirá los datos de las variables medidas 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

Actualmente, no cuenta con un sistema de control automatizado, debido a que los instrumentos instalados son de señales digitales para medición de presión, temperatura y vibración, que son las variables indispensables que permiten proteger los equipos rotativos (motor, cámara y bomba), dichas señales están conectadas en las entradas digitales del controlador del variador; ante cualquier eventualidad en las variables medidas el VSD envía a apagar la unidad de bombeo HPS, para evitar un fallo funcional del sistema de reinyección de agua.

No contar con un sistema automatizado limita al monitoreo del comportamiento de la unidad en línea, el análisis del registro de históricos de las variables medidas, no permite la optimización de costos por mantenimiento, aumenta el tiempo indirecto del personal de operaciones y mantenimiento.

Implementar un sistema de control automatizado con transmisores de 4-20 mA para el control del lazo de presión de succión, presión de descarga, presión del enfriador de aceite, temperatura de la cámara de empuje y temperatura del motor, permitiría mantener a la máquina monitoreada en tiempo real.

Objetivo general

- Automatizar el sistema de control de la unidad de bombeo horizontal centrífugo multi-etapa número dos de reinyección de agua de TAPI A.

Objetivos específicos

Los objetivos específicos de la presente investigación son:

- Dimensionar la instrumentación requerida, para el sistema de control y protección de las variables de presión y temperatura.
- Diseñar el sistema de control para automatizar la unidad de bombeo horizontal centrífugo multi-etapa número dos de reinyección de agua de Tapi A en función del PLC (MicroLogix 1100).
- Programar el PLC y HMI, para el sistema de control de la unidad de bombeo horizontal centrífugo multi-etapa número dos de reinyección de agua en TAPI A.

Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:

El presente proyecto de investigación se realiza con el fin de actualizar la tecnología en los sistemas de control, optimizar costos por operación y mantenimiento, reducir tiempos del personal en toma de parámetros de operación y mitigar fallos que causen un impacto ambiental.

La implementación del presente proyecto permitirá analizar que la migración de tecnología en sistemas de control reduce las horas hombre indirectas en la operación, las fallas pueden ser analizadas de una manera más eficaz, por ende se puede implementar estrategias de mantenimiento que permitan aumentar la vida útil del equipo, reducción de pérdidas de producción por fallos imprevistos, debido a que si no se cuenta con la capacidad necesaria para el manejo de agua, se elevan los niveles en el tanque de lavado y se procede al apagado de los pozos.

El instalar un PLC MicroLogix 1100, permite tener monitoreada a la unidad a través del Plant Information de EP Petroecuador el personal puede verificar el estado de la unidad en tiempo real, y realizar las proyecciones de intervenciones en los pozos, ya que se puede hacer el cálculo de manejo de agua y el estado de las unidades.

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.

Contar con el histórico de las presiones, permite evaluar el estado de los pozos, debido a que cuando los mismos ya no admiten, la presión de descarga se va incrementado aun cuando la

frecuencia del VSD se mantiene, evaluar taponamientos en la línea de descarga, el mantener las variables monitoreadas y las mismas pueden ser visualizadas desde un computador optimiza el tiempo del personal que analiza las variables para toma de decisiones.

Los beneficiarios directos del presente proyecto serán usuarios internos y externos que operan en Tapi A, analizan el comportamiento de los pozos, evalúan el estado de los equipos, ya que se contaría con monitoreo en tiempo real, base de datos confiable de las variables medidas a través del tiempo. Por otra parte, los beneficiarios indirectos serán los estudiantes, de carreras afines que pueden contar con material para investigar e implementar proyectos.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Contextualización general del estado del arte

La unidad HPS está instrumentada con switches para las variables de presión, temperatura y vibración, el contar solo con señales digitales que pueden proporcionar dos estados lógicos 0 y 1 por lo que no es factible representar, transmitir o almacenar información binaria; para contar con monitoreo en línea y registro de los históricos de las variables de presión y temperatura, lo que facilitaría en el análisis y toma de decisiones para el buen funcionamiento de la unidad HPS. Para contar con un sistema de control automatizado de una tecnología medianamente moderna, se verifica en fuentes de investigación tales como: libros, manuales, catálogos, artículos científicos, manuales y tesis, que traten sobre automatización e instrumentación con la finalidad de sustentar el desarrollo del presente proyecto.

Con la finalidad de realizar las tareas automáticamente en vez de seguirlas haciendo manualmente la automatización industrial permite realizar dicho proceso, por medio de controladores lógicos programables, sistemas de distribución y sistemas de supervisión y adquisición de datos. El realizar dicha migración permite mejorar la eficiencia del sistema de reinyección de agua, la seguridad, permite realizar análisis avanzados para evaluación y monitoreo de la unidad, facilitando la toma de decisiones y la optimización de costos de operación y mantenimiento. (IEBS)

1.2. Proceso investigativo metodológico

Con el propósito de obtener resultados confiables en el desarrollo del presente proyecto AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL CENTRÍFUGO MULTI-ETAPA NÚMERO DOS DE REINYECCIÓN DE AGUA DE TAPI A, se establece una metodología sistemática y objetiva.

1.2.1 Tipo de investigación aplicado

Para la ejecución del presente proyecto se utiliza una investigación teórica para obtener el principio de funcionamiento de cada uno de los componentes, instrumentos y equipos del sistema de reinyección de agua. Adicional, se ha implementado una investigación de campo que nos permitió seleccionar los instrumentos en función a los parámetros de operación del sistema y determinar los límites del presente proyecto.

Para seleccionar el modelo de los componentes, instrumentos y equipos a utilizarse en el presente proyecto, se hace uso de la investigación científica que permite seleccionar en base a los parámetros operativos de la unidad de bombeo HPS.

1.2.2 Métodos teóricos y prácticos que se aplicaron

Para diseñar el presente se utilizó el método científico, el mismo que permitió observar el área en la que se desarrolló, experimentar las hipótesis planteadas y concluir las mejores prácticas para la ejecución del presente proyecto.

1.2.3 Técnicas para recolección de datos

Las técnicas utilizadas para la recolección de datos fueron la observación que permitió evaluar el funcionamiento del sistema, el análisis de texto con la finalidad de sustentar las actividades ejecutadas e investigar otros puntos de vista que permitan desarrollar el presente documento.

1.2.4 Fases de desarrollo

A continuación, se describe el desarrollo del presente proyecto:

Levantamiento del sistema de reinyección de agua: En esta fase se verificó el principio de funcionamiento del sistema de reinyección de agua, la capacidad de la unidad dos centrífuga multi-etapas que opera en Tapi A, las características técnicas de la bomba y motor.

Diseño de planos del sistema de control: Para continuar con el desarrollo del proyecto se realizó los planos del sistema de control en función a las características técnicas de los equipos y recomendaciones de los fabricantes.

Selección de instrumentos, equipos y materiales.

Se selecciona transmisores para medición de presión y sensores de temperatura. En función a las siguientes consideraciones:

- Que sean apropiados para trabajar en ambientes altamente corrosivos e intemperie, ya que tienen contacto con el agua de formación.
- Tener inmunidad a la interferencia causada por campo electromagnético y radio frecuencia, debido a que una radio portátil podría provocar una falsa alarma.
- Los rangos estén en función a los parámetros de operación de la unidad.

Adicional, se seleccionan los equipos: computador lógico programable, HMI, módulos de ampliación, fuente y materiales tales como: cable, borneras, terminales, conectores, capilar, conectores.

Montaje del sistema de control en la unidad de bombeo de TAPI A: En esta fase se realizó el montaje de instrumentos, el cableado de los transmisores hacia el tablero del PLC y la comunicación hacia el HMI.

Programación del PLC y HMI y pruebas de lazos de control: Se procedió con la programación del PLC y la comunicación hacia el HMI, para continuar con las pruebas de los lazos de control de presión y temperatura.

Pruebas de funcionamiento de la unidad de bombeo de TAPI A con carga: En la fase final se puso en operación el sistema, con la finalidad de probar el sistema de control y dar el seguimiento de la funcionalidad del sistema.

CAPÍTULO II: PROPUESTA

2.1 Introducción

Automatizar una unidad centrífuga multi-etapa del sistema de reinyección de agua de Tapi A es avanzar hacia la tecnología, lo que garantiza controlar los parámetros principales de presión y temperatura a la que opera la unidad en tiempo real.

Registrar continuamente los parámetros de operación permite tomar acciones oportunas antes de que la unidad llegue a su fallo funcional, ya que las mismas pueden ser detectadas en el fallo potencial. Lo que reduciría costos por reparación de equipos rotativos.

2.2 Fundamentos teóricos aplicados

Es importante saber sobre conceptos fundamentales que permitan desarrollar el presente proyecto

2.1.1. *Sistema de reinyección de Agua*

Un sistema de reinyección de agua está diseñado para evitar que el agua de formación vaya al medio ambiente y contamine. El agua que es separada en el proceso de exploración y producción de crudo, es enviada hacia el subsuelo por bombas de alta presión.

2.1.2. *Bomba centrífuga multi-etapas y sus componentes*

Están integradas por los siguientes componentes:

Bomba con multi etapas de tipo centrífuga: Una etapa consta de un impulsor que es el componente móvil mediante la rotación axial efectuada por la flecha y un difusor que es la parte fija. El número de etapas depende de la necesidad de la operación.

Motor Eléctrico: Está compuesto de un rotor y un estator e impulsan el funcionamiento de la máquina. Suministra la energía para rotar el eje de la bomba centrífuga multi-etapa.

Acoplamiento mecánico: Une el motor y la cámara de empuje para transmitir el torque y rotación entre el motor y la bomba, absorción de carga y los esfuerzos axiales que se generan.

Es un elemento que está diseñado para ser retirado fácilmente y permitir el cambio del sello mecánico sin desacoplar los equipos principales.

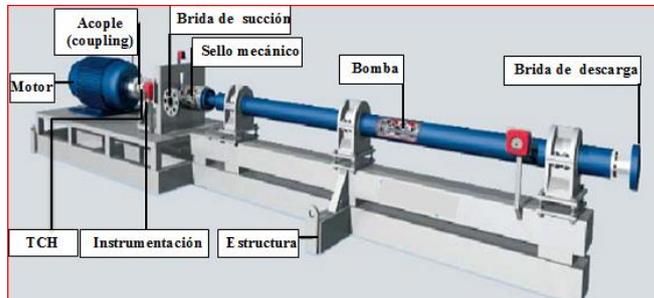
Cámara de empuje: Está diseñada para el soporte de los sellos mecánicos e incrementar la confiabilidad de la unidad.

Sello Mecánico: Es un componente que protege a la unidad de las fugas de fluido

Variador de Frecuencia: Es el componente que regula la velocidad del motor

Figura 3

Unidad de bombeo Horizontal



Fuente: (Schlumberger, 2020).

Sistema de Control: Un sistema de control se caracteriza por contar con una serie de elementos que permiten tomar acciones sobre un sistema, liberando así de que las personas ejerzan acciones directas en el funcionamiento de un sistema.

Los lazos abiertos no tienen control sobre la salida, no así el lazo cerrado que compara el valor medido con el valor deseado y realiza una acción para evitar fallos. (Creus, 2011).

Sensores: Son elementos primarios, ya que están en contacto directo con la variable medida que captan el valor de una variable y emite una señal de salida predeterminada, el mismo puede ser conectado a un transmisor u operar solo, es decir que convierte una variable física a una variable eléctrica.

Una de sus clasificaciones es por el tipo de señal eléctrica en analógicos y digitales (Areny, 2003).

Sensores analógicos: Es aquel que, como salida, emite una señal eléctrica denominada analógica de 4 a 20 mA y son directamente proporcional a los efectos que se está midiendo (Thomazini & Albuquerque, 2020).

También son clasificados por el tipo de variable medida:

- Sensores de temperaturas
- Sensores de vibración
- Sensores de presión
- Sensores de distancia

Sensores de velocidad: Se especifica sobre los sensores analógicos de presión, temperatura y vibración.

Sensor de presión analógico: Una de sus características es la precisión de sus lecturas en tiempo real. (Thomazini & Albuquerque, 2020)

Figura 4

Elementos de un sensor de presión



Fuente: (Thomazini & Albuquerque, 2020)

Sensores analógicos de temperatura: Permite medir temperatura los mismos vienen con una calibración de fábrica, los rangos de medición vienen predeterminados, el mismo está formado de un alambre de platino que a 0°C tiene 100 ohms (Creus, 2011).

Figura 5

Sensor de temperatura PT100



Fuente: (SRC especialistas en regularización y control de temperatura, 2023)

Sensores analógicos de vibración: Los sensores de vibración se utilizan para medir la velocidad, la aceleración o el desplazamiento; viene con:

- Un acelerómetro piezoeléctrico
- Integrador de señal
- Detector de pico RMS
- Acondicionador de señal de 4 mA a 20 mA

Son útiles para monitorear el comportamiento de equipos rotativos que tienen rodamientos. (Metrixvibration, 2023)

Figura 6

Sensor de Vibración modelo ST5484E



Fuente: (Metrixvibration, 2023)

Controlador lógico programable (PLC): Un controlador lógico programable, que en el mundo se le conoce como PLC, es un equipo electrónico programable que se utiliza para el control de los diferentes procesos de la industria.

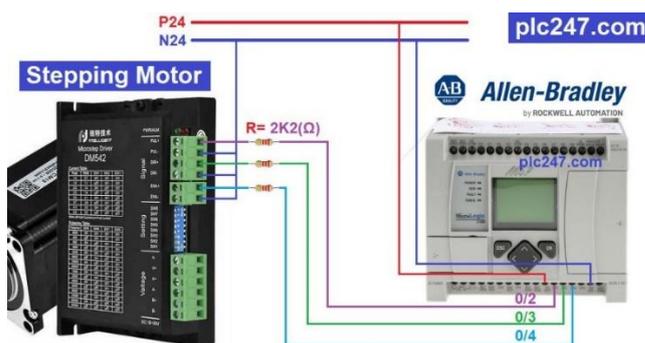
También se puede decir que es un dispositivo de estado sólido que realiza una lógica discreta o secuencial.

El PLC tiene como función automatizar y optimizar funciones de los diferentes sistemas de la industria.

Para entender el funcionamiento de un PLC, hay que iniciar explicando que a las entradas del PLC van conectados los sensores, interruptores u otro elemento primario.

Figura 7

Diagrama del PLC Micrologix 1100, Allen Bradley



Fuente: (Zhang, 2019).

Panel View: Es un equipo que permite visualizar las variables medidas en un proceso, lo que permite al operario realizar el monitoreo de los parámetros de operación de las máquinas.

Dispone de una pantalla con una interfaz para comunicarse con un PLC, facilitando la interacción con datos, entradas, salidas y procesos (Grosso Barrera, 2020), tienen las siguientes características:

- La velocidad del procesador oscila entre 350 MHz y 1 GHz (Grosso Barrera, 2020).
- Las transiciones de pantalla son un 70 % más rápidas (Grosso Barrera, 2020).
- Amplia gama de RAM del sistema, desde 64 MB hasta 256 MB (Grosso Barrera, 2020).
- Capacidad flash de 64 MB a 512 MB (Grosso Barrera, 2020).
- Contiene 80 MB de memoria no volátil para la aplicación (Grosso Barrera, 2020).
- El brillo de la pantalla de luz LED es mayor (Grosso Barrera, 2020).
- Conexión mejorada a diversos accesorios como impresoras, ratones y teclados (Grosso Barrera, 2020).
- Compatibilidad con controles ActiveX® (Grosso Barrera, 2020).
- Integre con software de terceros como Internet Explorer® y Microsoft Office Viewer (Grosso Barrera, 2020).
- Aceptar conexiones remotas (VNC y FTP) (Grosso Barrera, 2020).
- Proporcionar funciones de copia de seguridad y restauración (Grosso Barrera, 2020).
- Proporciona prescripción remota y gestión de datos a través de archivos CSV. (Grosso Barrera, 2020).
- Utilice gráficos vectoriales de Symbol Factory (Grosso Barrera, 2020).
- Incluye un visor de archivos PDF para soporte al operador sensible al contexto (Grosso Barrera, 2020).
- Acepta registros y tendencias de DataStore Plus, excepto el límite de 300.000 puntos de datos (Grosso Barrera, 2020).

Figura 8

Panel View



2.3 Descripción de la propuesta

La propuesta del presente proyecto está enfocada a la optimización de la operación y mantenimiento de la unidad centrífuga multi etapas número 2 de Tapi A del sistema de reinyección de agua, por medio de la automatización del sistema de control. Se ha detectado que la toma de parámetros manuales conlleva mayor tiempo y un porcentaje mayor de error, lo que implica mayores

costos en mano de obra y no contar con un registro de datos reales para el análisis y toma de decisiones.

Para la implementación del sistema de control en la unidad centrífuga multi etapas número 2 del sistema de reinyección en Tapi A, se requiere diferentes tipos de sensores; los mismos que permitan mejorar la medición de las variables en tiempo real y así controlar automáticamente la unidad de bombeo.

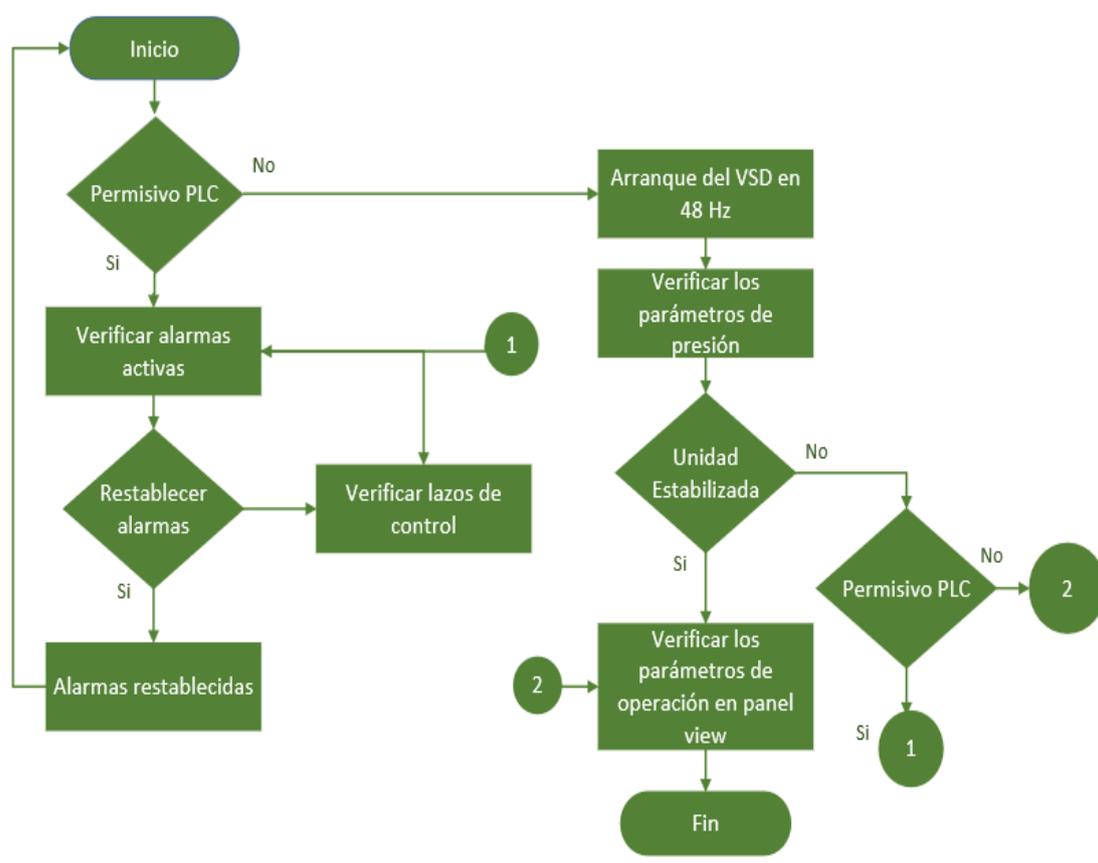
Adicional, las variables medidas podrán ser controladas desde el HMI y remotamente desde el PI (Plant Informetion), garantizando la disminución de fallos funcionales del sistema.

2.3.1 Estructura general

La estructura se detalla en la figura 9.

Figura 9

Diagrama del proceso



Fuente: Elaboración Propia

Por medio del diagrama de procesos se puede establecer el sistema de control que se necesita para el arranque de la unidad de bombeo horizontal centrífugo multi-etapa número dos de Tapi A, el PLC realiza el análisis de las variables de presión de succión, temperatura de la cámara de empuje,

temperatura de los rodamientos, temperatura de los devanados del motor y vibración; una vez que no se detecta ningún parámetro fuera de rango el PLC da el permisivo de arranque de la unidad. Por medio del HMI se puede visualizar la operación del sistema y parámetros de operación. Adicional, se puede verificar los sets establecidos para cada una de las variables

2.3.1.1 Explicación del aporte

Los componentes e instrumentos instalados son importantes e indispensables para la medición de las diferentes variables y la automatización del sistema de control de la unidad de bombeo número 2 de Tapi A.

Sistema de reinyección de agua: El sistema de reinyección de agua de TAPI A, está formado por dos unidades de bombeo centrífugas multi-etapas, que son alimentadas con un generador eléctrico de 800 kW marca Caterpillar.

Unidad de bombeo horizontal (HPS) Schlumberger REDA: Una bomba centrífuga multi-etapas está diseñada para operar con presiones altas, las mismas que permiten reinyectar el agua de formación a los pozos que cumplen las condiciones para dicho proceso.

Componentes principales de una bomba horizontal HPS

- **Motor eléctrico:** Permite el movimiento de la bomba.
- **Coupling:** Está diseñado para ser desmontado y facilite el cambio del sello mecánico.
- **Cámara de empuje:** Protege a la unidad de sobre esfuerzos.
- **Bomba:** Es una Reda 675 J350N, conformada por 2 cuerpos, 68 etapas.
- **Cooler cámara de empuje:** Mantener lubricado y en temperatura adecuada el sello mecánico de la cámara de empuje.
- **Línea de Succión:** El fluido que viene del sistema booster, y pasa por los cuerpos de las bombas.
- **Línea de Descarga:** Salida de fluido a presiones altas, para ser reinyectado en el Tapi 2.
- **Válvula check de descarga:** Evitar que retorne fluido presurizado y evitar que dañe el sello mecánico e instrumentos de la línea de succión.
- **Sistema de control:** Monitoreo y protección de la unidad centrífuga multietapas.
- **Válvula de seguridad PSV:** Recircular el fluido de la HPS en caso de una sobre presión en la línea de descarga.

Figura 10

Componentes principales de una bomba horizontal HPS Schlumberger REDA



Fuente: Elaboración Propia.

PLC Allen Bradley Micrologix 1100: Las características de un Micrologix 1100 se caracteriza por tener un puerto EtherNet/IP™ de 10/100 MBps, tiene una memoria de 8 KB, permite la edición en línea, contiene dos entradas analógicas integradas, con 10 entradas digitales y 6 salidas digitales. Facilita la entrada, la supervisión y la configuración a través de cualquier conexión de red Ethernet. (Interiano, 2023).

Figura 11

PLC Allen Bradley Micrologix 1100



Fuente: (Interiano, 2023).

El PLC cuenta con los siguientes beneficios MicroLogix 1100 incluyen:

- Memoria ampliable de 8K (4K para software y 4K para información del usuario) para adaptarse a una amplia gama de aplicaciones (Interiano, 2023).
- Cambio de velocidad/control remoto/programación (Interiano, 2023).
- Se pueden utilizar cuatro entradas de alta velocidad (solo 1763-L16BWA y 1763-L16BBB) como entradas de enclavamiento (para capturar pulsos), interrupciones de eventos o en combinación con ocho módulos de función como contadores de alta velocidad de 20 kHz (Interiano, 2023).
- Tiene dos entradas analógicas integradas de 0 a 10 V CC (no aisladas) con resolución de 10 bits (Interiano, 2023).
- Dos salidas de alta velocidad aceptan configuraciones como salidas de modulación de ancho de pulso (PWM) (sólo 1763-L16BBB) o como 20 kHz o PTO (salida de pulso) (Interiano, 2023).
- Los dispositivos de entrada múltiple convencionales permiten utilizar controladores para alimentar o alimentar dispositivos de entrada, mientras que los dispositivos de salida múltiple convencionales brindan un aislamiento excepcional en aplicaciones con múltiples voltajes de salida (Interiano, 2023).
- El intervalo seleccionable (STI) es 1 ms (Interiano, 2023).

- Temporizador de 1 ms de alta resolución (Interiano, 2023).
- El canal de comunicación 0 proporciona afinidad eléctrica independiente a RS-232 o RS-485 (seleccionando el cable de transmisión) (Interiano, 2023).

PanelView Allen Bradley Plus 600: Las características del PanelView Plus 600 de Allen Bradley son las siguientes:

- Tiene un procesador con una velocidad que oscila de 350 MHz a 1 GHz (Interiano, 2023).
- La pantalla tiene una transición hasta un 70% más rápida (Interiano, 2023).
- Memoria RAM del sistema de 64 MB hasta 256 MB y Memoria de guardado flash de 64 MB hasta 512 MB (Interiano, 2023).
- Contiene 80 MB de memoria no volátil para la aplicación (Interiano, 2023).
- Mayor iluminación de las pantallas de iluminación LED (Interiano, 2023).

Figura 12

PanelView Plus 600



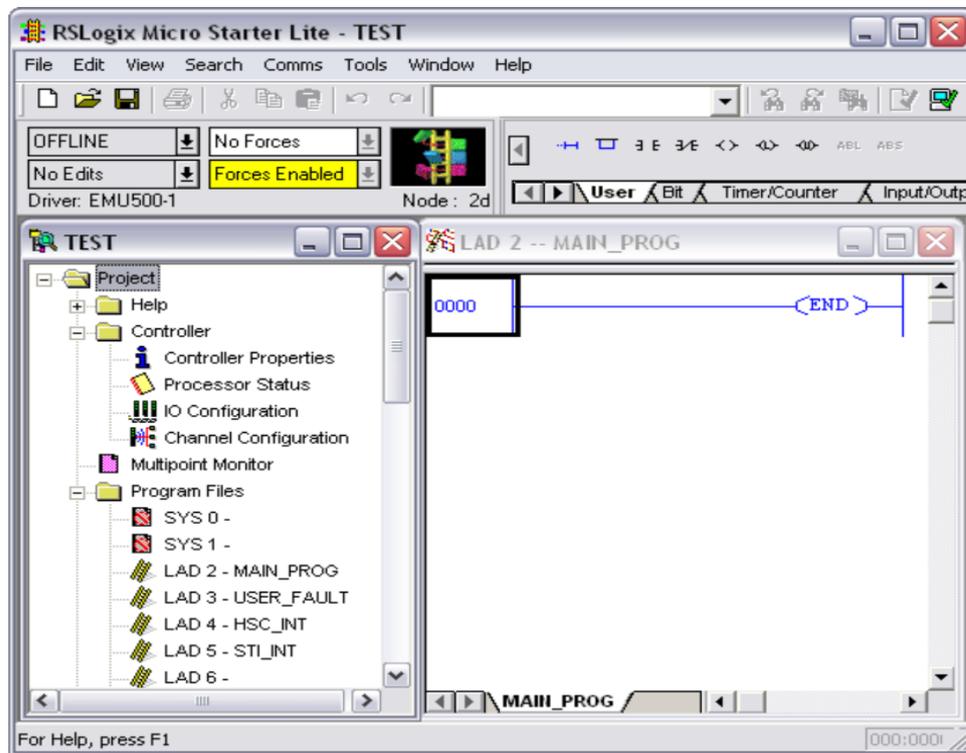
Fuente: (Grosso Barrera, 2020)

RSLogix Micro Starter Lite: RSLogix Micro es un software de Rockwell Automation que permite la programación de los PLC Rockwell Micrologix y SLC 500, es recomendado para la configuración de Micrologix 1000 y 1100, operan con un sistema operativo (XP, 2000, 7, 8 y 10), poseen una interfaz de uso sencillo y son gratuitos a través de la plataforma de Allen Bradley.

La lógica que utiliza es de escalera optimizando tiempo en el desarrollo del proyecto. (Ocaña et al., 2019).

Figura 13

Software RSLogix Micro Starter Lite



Fuente: Elaboración Propia.

El software RSLogix Micro Starter Lite permite programar y diagnosticar los PLC Rockwell Micrologix y SLC-500.

- Creación offline de aplicaciones (Ocaña et al., 2019).
- Compilación del programa offline (Usando Emulador Micrologix) (Ocaña et al., 2019).
- Almacenamiento directo del programa el disco de la PC (Ocaña et al., 2019).
- Carga y descarga de programa PLC-PC (Ocaña et al., 2019).
- Muestra fallas de los módulos PLC (Ocaña et al., 2019).

El modo de programación se realiza en modo PLC OFFLINE, se inicia seleccionando el procesador del PLC a utilizar, una vez seleccionado se mostrará la ventana principal donde se puede visualizar la parte de programación en LADDER también, al igual que en un extremo encontramos cada entrada/salida. módulo y a medida que avanzamos en cada uno de nuestros procesos, en la parte superior tenemos diferentes conectores para nuestras líneas de código, en caso de líneas de código largas, podemos desplazarnos hacia los lados con barras de desplazamiento (Ocaña et al., 2019).

Figura 14

Pantalla inicial RS Micro Starter Lite

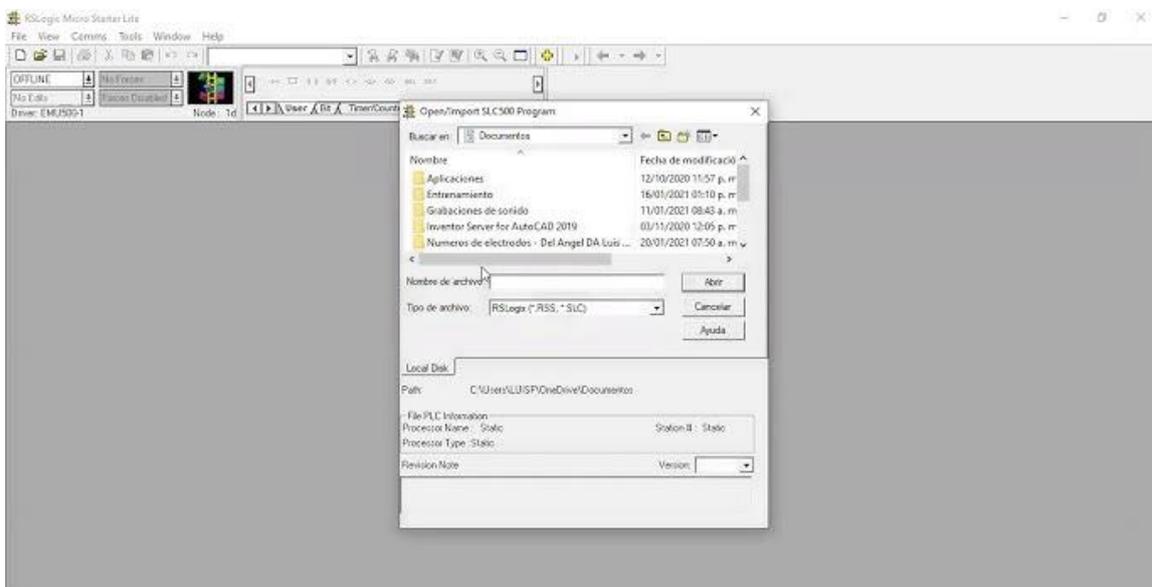


Fuente: Elaboración Propia.

Para iniciar el proyecto, seleccione el icono Nuevo o la opción Archivo y luego en el menú desplegable.

Figura 15

Nuevo proyecto en RS Micro Starter Lite

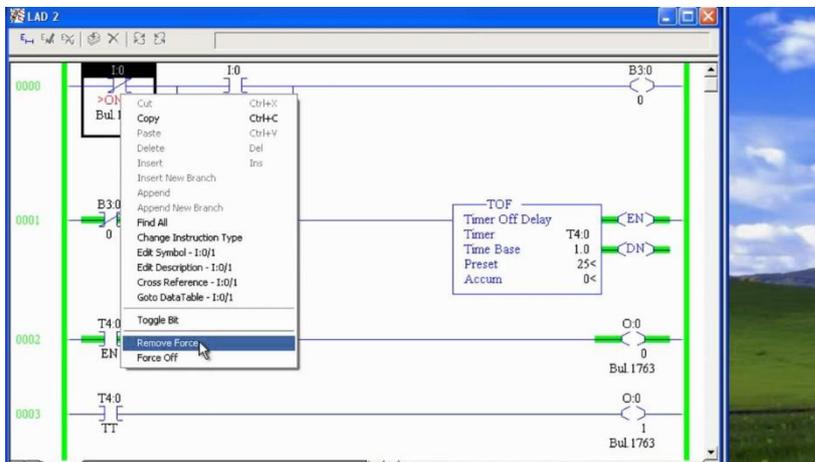


Fuente: Elaboración Propia.

Elegimos el procesador MicroLogix serie A 1100. Allí se inicia la aplicación con cada una de las subrutinas necesarias para controlar cada lazo de control.

Figura 16

Pantalla para programación PLC MicroLogix 1100

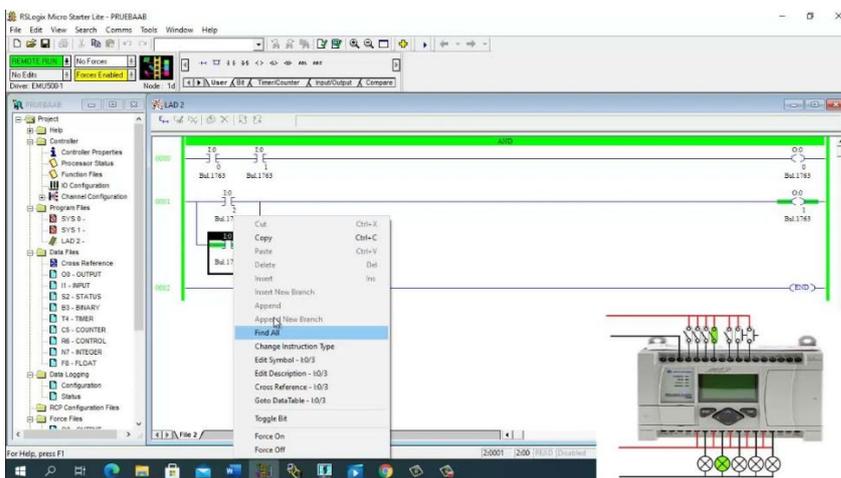


Fuente: Elaboración Propia.

Con la información de los instrumentos de cada variable se realiza el escalado de la señal durante la programación de cada lazo de control.

Figura 17.

Programación RS Micro Starter Lite.



Fuente: Elaboración Propia.

Con la finalidad de contar con los parámetros de operación de la unidad centrífuga multi-etapas número 2 de Tapi A en las aplicaciones del Interfaz Hombre Máquina (HMI) y en la Información de Planta (PI) de EP PETROECUADOR, se desarrolló la automatización del sistema de control.

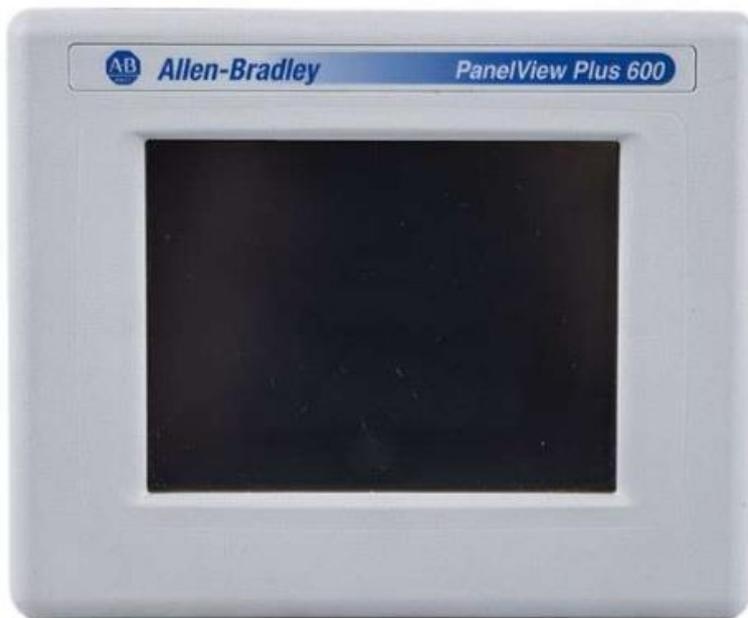
Interfaz Hombre Máquina (HMI), Local PanelView 600

Se implementó una HMI para monitorear localmente el funcionamiento de la unidad centrífuga multi-etapas número 2 de Tapi A y un PanelView 600 con pantalla de 7 pulgadas proporcionó las funciones requeridas para la aplicación, junto con comunicaciones Ethernet y USB (Huamani Condori, 2021). Sus principales características son:

- Compatibilidad con controles ActiveX® (Huamani Condori, 2021).
- Integre con software de terceros como Microsoft® Internet Explorer® y Microsoft Office Viewer (Huamani Condori, 2021).
- Aceptar conexiones remotas (VNC y FTP) (Huamani Condori, 2021).
- Proporciona funcionalidad de copia de seguridad y restauración (Huamani Condori, 2021).
- Utilice gráficos vectoriales de Symbol Factory (Huamani Condori, 2021).

Figura 18

PanelView 600 de Allen Bradley



Fuente: (Huamani Condori, 2021)

FactoryTalk View ME, Rockwell Automation

El software FactoryTalk® View Machine Edition es una innovadora aplicación de interfaz hombre-máquina (HMI) que proporciona una solución potente y diseñada específicamente para módulos de interfaz de operador a nivel de máquina. Utilice la versión v6.11.00 (Cedeño Nuñez, 2022).

FactoryTalk View Studio es una aplicación HMI para administrar aplicaciones de servidor de monitoreo. Proporciona una imagen completa y precisa de las operaciones y satisface las necesidades de diversas partes interesadas, incluidos mantenimiento, ingeniería, operaciones, fabricación y tecnología de la información (TI) (Cedeño Nuñez, 2022).

FactoryTalk View se proporciona una funcionalidad potente y confiable en un solo paquete que puede escalar desde un sistema HMI independiente hasta una aplicación de visualización compartida. Como muchos usuarios han experimentado durante la última década, FactoryTalk View SE admite la virtualización y otras tecnologías emergentes para resolver los problemas de los operadores en cualquier momento y en cualquier lugar en aplicaciones de misión crítica y por lotes discretos (Cedeño Nuñez, 2022).

FactoryTalk View Site Edition proporciona el máximo control al desarrollar e implementar aplicaciones independientes y multiservidor/multicliente. Además, es una aplicación de software HMI que se utiliza en todas las actividades de fabricación de una organización (Cedeño Nuñez, 2022).

Figura 19

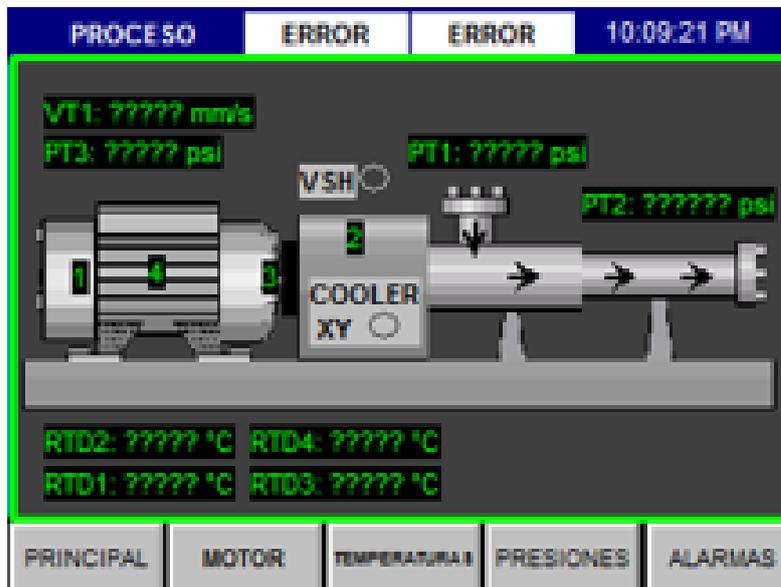
Pantalla principal de la interfaz – usuario



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 20

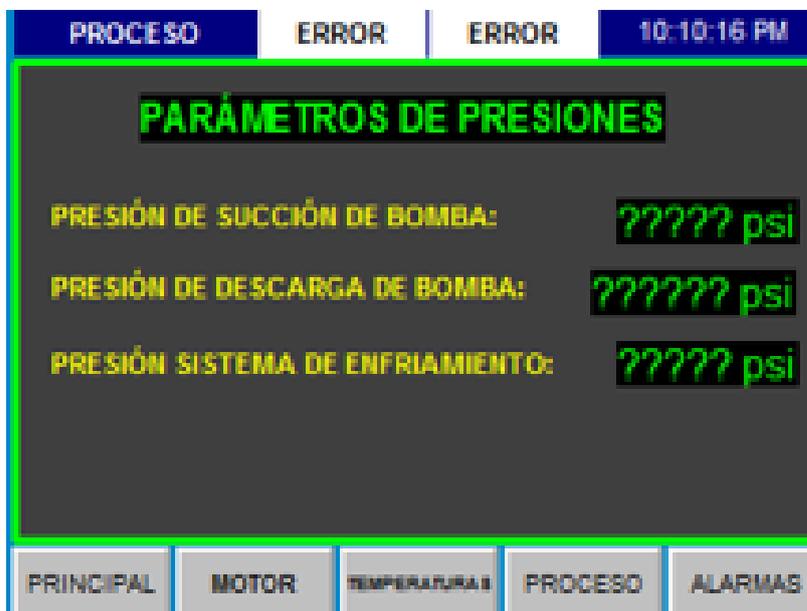
Pantalla principal interfaz



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 21

Pantalla de la interfaz, parámetros de presión



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 22

Pantalla de la interfaz, parámetros de temperatura



Fuente: Elaboración Propia.

Transmisor de presión Rosemount: Para monitorear la presión de succión y descarga se realizó el montaje de transmisores de presión con protocolo de comunicación HART de 4-20 mA tipo hart, acero inoxidable. (Emerson, 2023)

Transmisor de presión con un rango de 0 a 300 PSI, para el lazo de control de presión de succión.

Figura 23

Transmisor para baja succión Rosemount 3051



Fuente: Elaboración Propia.

Transmisor de presión con un rango de 0 a 5000 PSI, para el lazo de control de presión de descarga.

Figura 24

Transmisor para alta descarga Rosemount 3051



Fuente: Elaboración Propia.

Los mismos que fueron verificados en laboratorio teniendo como resultado.

Tabla 3

Verificación del transmisor de presión de baja succión

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

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4

Verificación del transmisor de presión de alta descarga

Peso Muerto (PSI)	Corriente (mA)	Estado
0	4	Ok
1250	8	Ok
2500	12	Ok
5000	20	Ok

Fuente: Elaboración Propia.

Sensor de Temperatura RTD Murphy TA-96084B-SP: Son detectores de temperatura resistivos, requieren de una termocupla para ser instalados, su carcasa es Nema 4 de acero inoxidable, la RTD es de 100 ohm a 0 °C, con elemento de platino.

Figura 25

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



Fuente: (Murphy, 2023)

La verificación se realiza en la mufla, la temperatura está basada en la resistencia y se contrasta con la corriente.

Tabla 5

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.

2.1.1 Estrategias y/o técnicas

A continuación, se detalla las estrategias utilizadas.

2.1.1.1 Fases de desarrollo

Se detalla las fases utilizadas para desarrollar este proyecto:

1. Análisis de la operación del sistema de reinyección de agua de Tapia A.

Previo a seleccionar la instrumentación y los equipos a utilizarse, se realiza un análisis y levantamiento en Tapi A, con la finalidad de establecer los parámetros de operación de la unidad centrífuga multi-etapas, verificar las facilidades disponibles, dimensionar los trabajos a ejecutarse para el montaje del sistema de control en función a las distancias entre equipos.

Con la información levantada en campo se realiza el diagrama del sistema de control.

2. Selección de instrumentos, equipos y materiales necesarios

Una vez que se cuenta con el diagrama del sistema de control, se selecciona los instrumentos adecuados, el controlador lógico programable PLC en función a las variables medidas y la disponibilidad en stock, fuente de 110-24 V, PanelView, módulos de entradas analógicas y materiales como capilar 3/8 de acero inoxidable, conectores 3/8; válvulas de aguja, cable, conectores TMCX.

3. Montaje del sistema de control en Tapi A

Se realiza el montaje de la instrumentación, la conexión de capilares, cableado desde la caja de conexión a cada uno de los instrumentos, se realiza zanja para la camisa del cableado de control desde la caja de conexión de la bomba hacia el tablero de control, la conexión del PLC hacia el VSD.

4. Programación del PLC y HMI

En esta etapa se realiza la programación del PLC MicroLogix 1100, la configuración y comunicación con el HMI PanelView.

5. Punch List

Previo a la puesta en operación se realizó la inspección del sistema con el objeto de que no haya algún elemento que no esté conectado o se requiera reajustar.

6. Pruebas de Funcionamiento

Se energiza el sistema de control, para verificar los lazos de control de:

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

- Presión de succión.

- Presión de descarga.
- Temperatura cámara de empuje.
- Temperatura de bobinados y rodamientos del motor.
- Operación de la parada de emergencia.

Posterior a la verificación de lazos de control se coordina con Operador para alinear unidad de bombeo centrífuga multi-etapas número 2 de Tapi A, se verifican los parámetros de operación y se arranca la unidad desde el VSD a una frecuencia de 48 Hz con una rampa de 2 minutos hasta 54 Hz, una vez que el sistema se estabiliza se verifica los parámetros de operación.

- Presión de Succión (91.5 PSI)
- Presión de Descarga (2289 PSI)
- Temperatura de la cámara de empuje (154 °F)

Luego se realiza pruebas de alarmas, simulando con el calibrador de procesos:

- Baja presión de succión
- Alta presión de Descarga.
- Alta temperatura de la cámara de empuje.
- Parada de Emergencia.

La acción ante la presencia de alarmas mencionadas es que la máquina se apaga inmediatamente, la única alarma que tiene un tiempo para accionarse es la de la baja succión con la finalidad que permita el arranque.

2.2 Validación de la propuesta

Tabla 6

Datos del validador

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Roberto Fabricio Chaquina Cortes	15	Mg. Gestión en Mantenimiento Industrial	Ingeniero Automatización y Control EP Petroecuador
Manuel Agustín Asimbaya Cancino	13	Mg. Gestión en Mantenimiento Industrial	Intendente de Mantenimiento EP Petroecuador

Ricardo Mauricio Carrasco Mayorga	12	Mg. Electrónica y Automatización	Supervisor de Instrumentación EP Petroecuador
-----------------------------------	----	----------------------------------	---

Fuente: *Elaboración Propia.*

2.3 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 7.

Tabla 7

Matriz de articulación

Ítem	Componentes o elementos clave del proyecto.	Breve descripción de los resultados de cada parte	Fundamento teórico utilizado en la elaboración del proyecto.	Metodologías, instrumentos técnicos y tecnologías utilizadas.
1	Diseño de la automatización del sistema de control de la unidad centrífuga multi-etaps número 2 de Tapi A	Para controlar y monitorear la unidad 2 del sistema de reinyección de agua de Tapi A, se instalaron elementos primarios como sensores de	Matemáticas Aplicadas	Investigación de cómo opera el sistema de reinyección de agua y las características técnicas de la bomba, para determinar los rangos de trabajo de la unidad 2 de Tapi A.
	Determinación de variables análogas de presión y temperatura.	temperatura, transmisores de presión analógicos de 4 a 20	Electrónica	Cálculo matemático para el escalamiento de las señales analógicas AI
	Determinación de digitales como Start-Stop, parada de emergencia, reconocimiento de alarmas (RESET).	mA, se establece los sets de cada una de las variables, con la finalidad de proteger la unidad.	Instrumentación	Montaje de sensores y transmisores
2	Programación del PLC – Micro Logix 1100	El PLC MicroLogix 1100 se lo programó con el software RS MicroLogix Starter Lite, para ello se utilizó LADDER la cual consta de	Programación de PLC.	Softwares de Allen Bradley

		temporizadores, AI, DI, AO y DO.		
	Programación del interfaz usuario HMI PanelView Plus 600	En el PanelView 600 se programan tres pantallas, una para visualizar el proceso de la unidad 2, en la segunda las variables de presión y temperatura y en la tercera los eventos registrados por paradas de la unidad.	Programación del HMI	
3	Montaje del tablero de control para el PLC e instrumentos.	Montaje y cableado de los instrumentos hacia el PLC	Cableado estructurado	Conectores, cable, borneras, cajas de conexión, capilar 3/8" acero inoxidable, conectores de 3/8".
		Montaje del PLC	Instalaciones eléctricas industriales Protocolos de comunicación industrial PLC – HMI	Diseño del circuito de control

Fuente: *Elaboración Propia.*

2.4 Análisis de resultados, presentación y discusión.

El haber realizado la automatización del sistema de control de la unidad de bombeo centrífuga multi-etapas número 2 de Tapi A, se cuenta ya con un registro de las variables medidas lo que permite tomar acciones tempranas para evitar los fallos funcionales, con lo que permite mejorar la disponibilidad y confiabilidad del sistema.

Este proyecto ha facilitado la aplicación de las habilidades aprendidas durante la carrera para implementar el sistema de control de la segunda unidad del sistema de reinyección de agua en Tapi A.

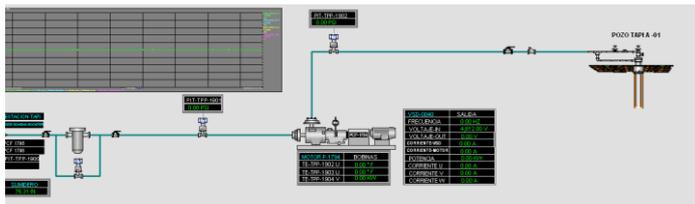
Hacer uso de la tecnología permite reducir los tiempos en toma de parámetros de operación contar con monitoreo en línea, facilitando la toma de decisiones y controlar con una sola persona desde la Estación Tapi. El no tener monitoreo imposibilitaba que el personal de operaciones tome acciones inmediatas ante el fallo de la unidad, ya que, al estar en una locación lejana, se podía dar cuenta

cuando los niveles del tanque de lavado subían, esto implicaba apagado de pozos para solventar el manejo de agua.

Con la implementación este proyecto se puede corroborar hay un mejor control del sistema, debido a que las variables medidas se puede verificar en tiempo real desde cualquier computador asociado a la red a través del Plant Information (PI).

Figura 26

Monitoreo en línea por medio de la plataforma Plant Information



Fuente: Elaboración Propia.

Se toma valores de las variables en campo, los que indican los instrumentos de medición análogos y los instrumentos electrónicos.

Tabla 8

Parámetros medidos en campo

Lazo de Control	Lectura en HMI	Lectura en Instrumento
Presión de Succión	91.5 PSI	PI 93 PSI
Presión de Descarga	2289 PSI	PI 2290 PSI
Temperatura de la cámara de empuje	154 °F	NA
RTD motor	103 °F	NA

Fuente: Elaboración Propia.

En base de datos obtenidos en de las variables medidas se puede verificar que el porcentaje de error en la lectura es menor en los instrumentos electrónicos.

CONCLUSIONES

- Tener claro el proceso permitió definir las condiciones de operación y las variables a ser controladas, para el buen funcionamiento de la unidad 2 del sistema de reinyección de agua.
- Contar con sistemas de control automatizados reduce el tiempo invertido en la operación de la unidad de bombeo número 2 del sistema de reinyección de agua, ya que se cuenta con la medición de las variables en línea.
- Tener los registros en el HMI PanelView Plus 600, permite que personal de Mantenimiento determine la causa de un fallo, lo que evita que vuelva a presentarse el mismo fallo.
- Mantener la unidad monitoreada ha permitido tener una reducción de costos por mantenimiento y operación de la unidad de bombeo.
- Que la toma de datos sea automática y no manual reduce el porcentaje de error.

RECOMENDACIONES

- Realizar la migración de los sistemas de control a tecnologías modernas, debido a que optimiza el tiempo de la operación del sistema, optimiza costos por mantenimiento, mitiga el apagado de los sistemas por fallas funcionales que pudieron ser corregidas a tiempo.
- Capacitar al personal en el uso e implementación de sistemas automatizados.
- Que el personal de Confiabilidad y Gestión de activos, podrían hacer uso de la base de datos para optimizar el mantenimiento de la unidad.
- Ingresar en el sistema de gestión de mantenimiento los nuevos equipos para que sean contemplados en la planificación y programación de mantenimiento.
- Mantener en stock los materiales necesarios para mantener el sistema disponible.

BIBLIOGRAFÍA

- Calle Álvarez, G. O., Narváez Zurita, I., & Erazo Álvarez, J. C. (2020). Sistema de control interno como herramienta de optimización de los procesos financieros de la empresa Austroseguridad Cía. Ltda. *Dominio de las Ciencias*, 6(1), 429-465.
- Cedeño Nuñez, Víctor E. (2022). *Dspace en ESPOL: Automatización de sistema de bombeo para transferencia de crudo en el campo Shushufindi bloque 57*. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57432>
- Escobar, M. G. B. (2019). *Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica*.
- Grosso Barrera, R. U. (2020). *Implementación de la comunicación por estándar OPC entre los equipos Allen Bradley ubicados en el Laboratorio de Automatización Industrial y los equipos ABB ubicados en el Laboratorio de Sistemas Inteligentes Robotizados pertenecientes a redes LAN diferentes*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79344>
- Huamani Condori, L. Y. (2021). Diseño e implementación de un sistema de control y supervisión automático para el proceso de esterilizado en la autoclave a vapor CISA 4210HB del hospital ESSALUD Moquegua. *Universidad Privada de Tacna*. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2107>
- Interiano, M. A. V. (2023). Automatización de sistema de limpieza ALCIP en planta de yogurt Lactosa. *Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC*. <https://repositorio.unitec.edu/xmlui/handle/123456789/9713>
- Muñoz, R. A. C., & Ronceros, E. D. (2022). Aplicación de un controlador Proporcional, Integral y Derivativo en el sistema de producción de la empresa Azucarera Andahuasi. *Big Bang Faustiano*, 11(02), Article 02. <https://doi.org/10.51431/bbf.v11i02.768>
- Ocaña, W. S., Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ID: 60104598, Sangolquí, Ecuador;; Proaño, S., Departamento de Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ID: 60104598, Sangolquí, Ecuador; , Salazar, P., Departamento de Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ID: 60104598, Sangolquí, Ecuador;; Salazar, E., Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ID: 60104598, Sangolquí, Ecuador;; Loza, W., Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ID: 60104598, Sangolquí, Ecuador;; Sánchez, J. E., & Facultad de Ciencias de la Salud,

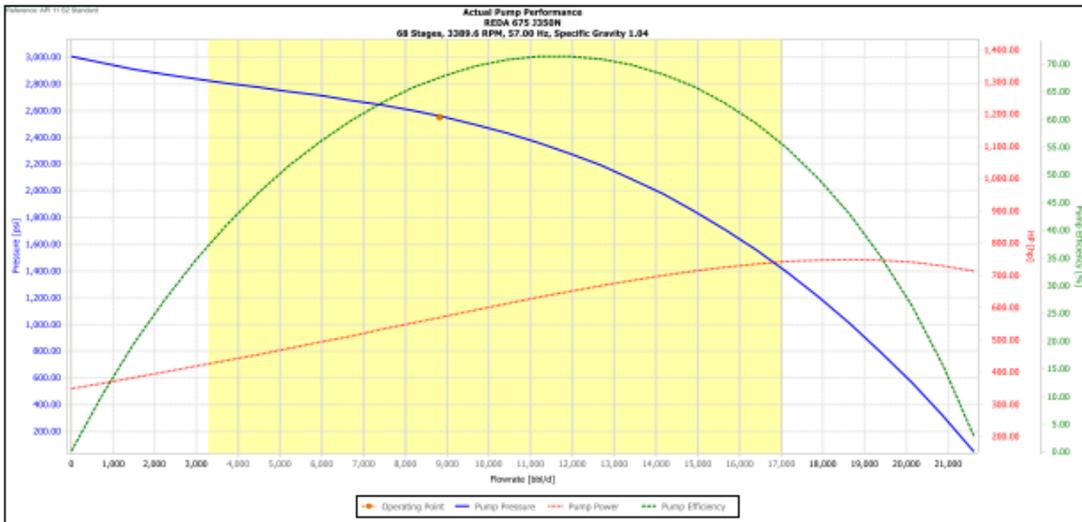
- Universidad de las Américas, Quito, Ecuador; (2019). Distributed system SCADA using multiple industrial communication protocols on Allen Bradley equipment. *Indian Journal of Science and Technology*, 14(12), 1-6. <https://doi.org/10.17485/ijst/2019/v12i14/130477>
- Quispe Poma, R. D. (2019). *Mantenimiento del sistema de control y sistema eléctrico de la Planta de Gas Sirari* [Thesis]. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/28014>
- THOMAZINI, D., & ALBUQUERQUE, P. U. B. D. (2020). *Sensores industriais: Fundamentos e aplicações*. Saraiva Educação S.A.
- Villacorta-Calvo, J.-J., & Izquierdo-Fuente, A. (2019). *Amémosme: Diseño e implementación de un sistema de medida basado en acelerómetros MEMS para el análisis de los modos de vibración de una estructura de madera*.
- Zhang, L. (2019). *A SCADA system implemented with PLC Controllers and LabVIEW*. <https://scholarworks.bridgeport.edu/xmlui/handle/123456789/4109>

ANEXOS

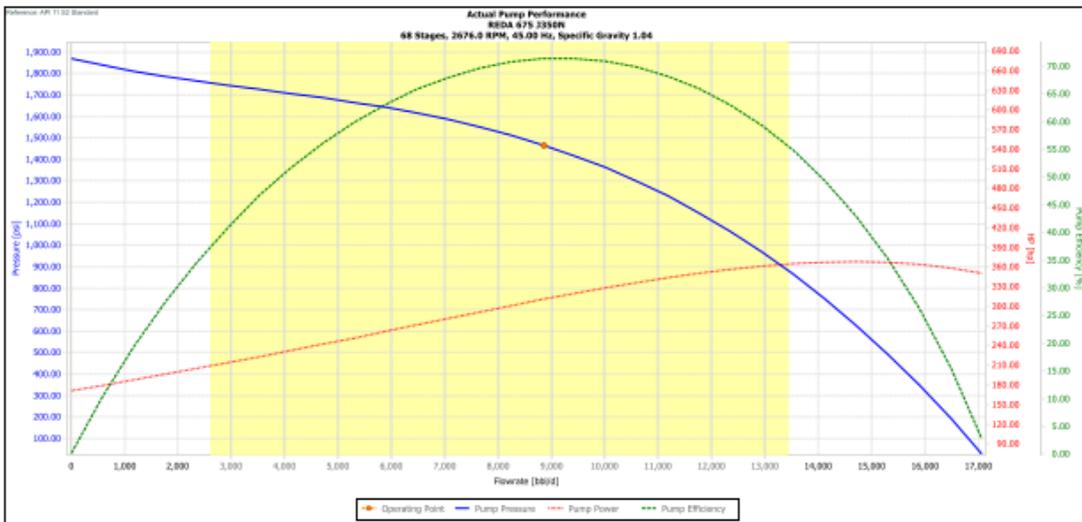
ANEXO 1

CURVAS DE LA BOMBA CENTRIFUGA DE TAPI A

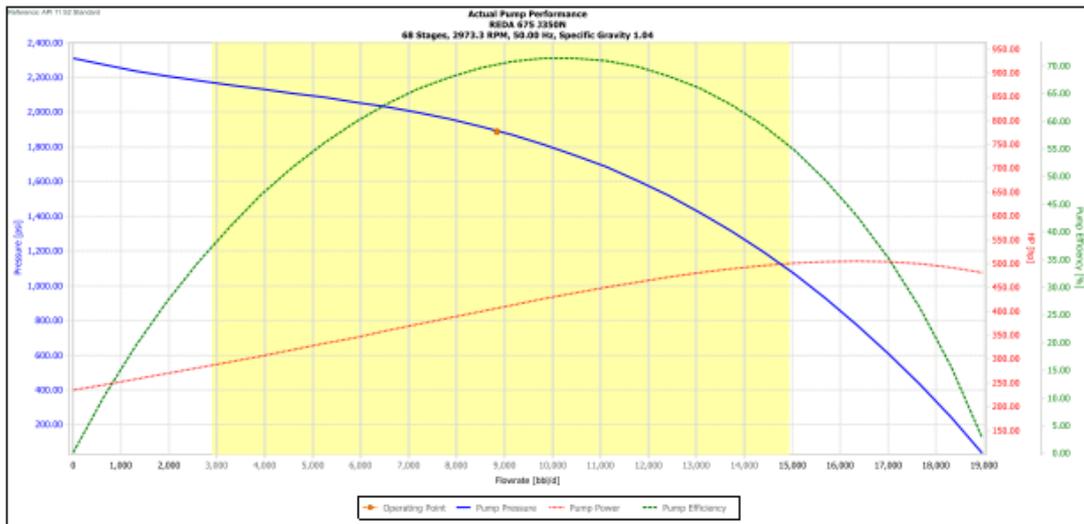
Actual Pump Curve @ 57 Hz (Operacion Actual)



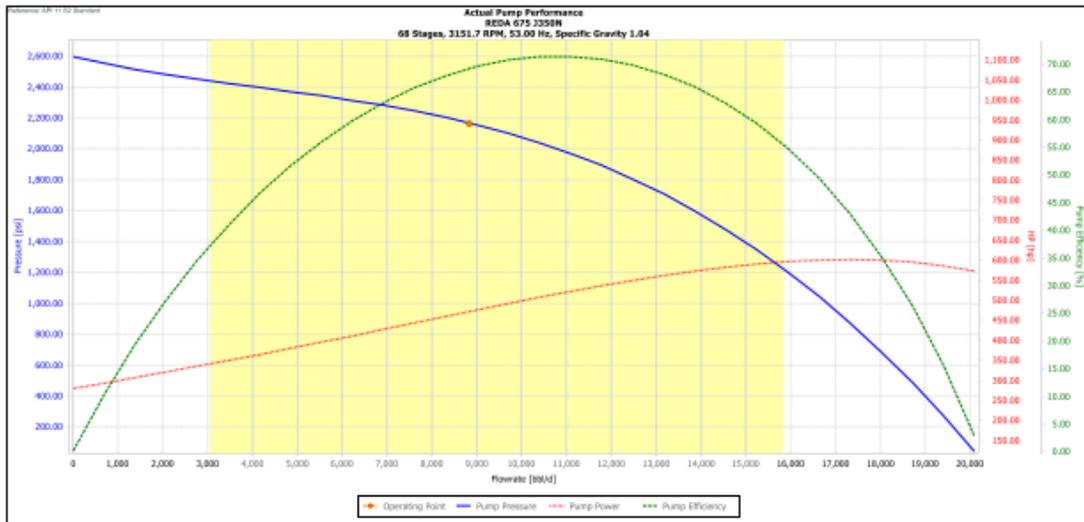
Actual Pump Curve @45 Hz



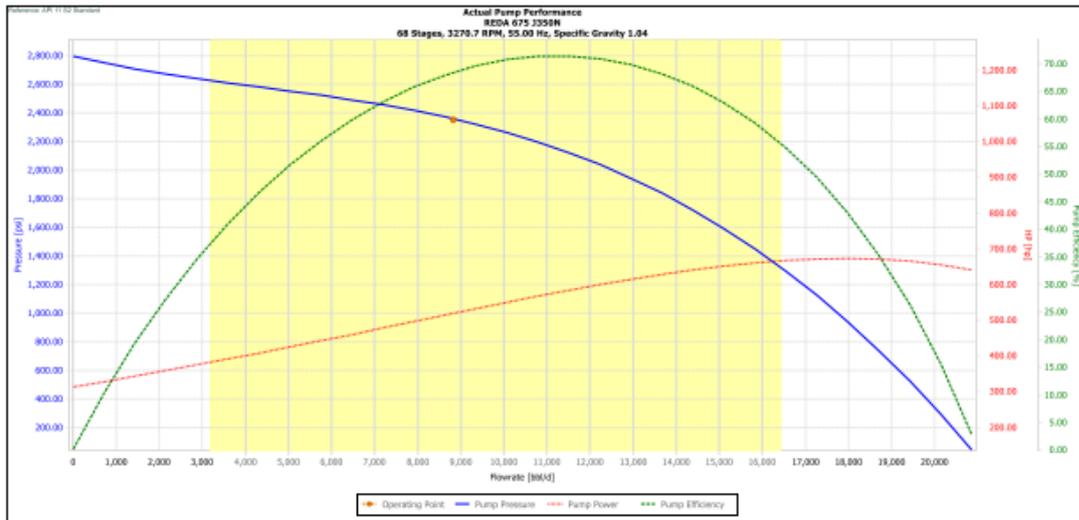
Actual Pump Curve @50 Hz



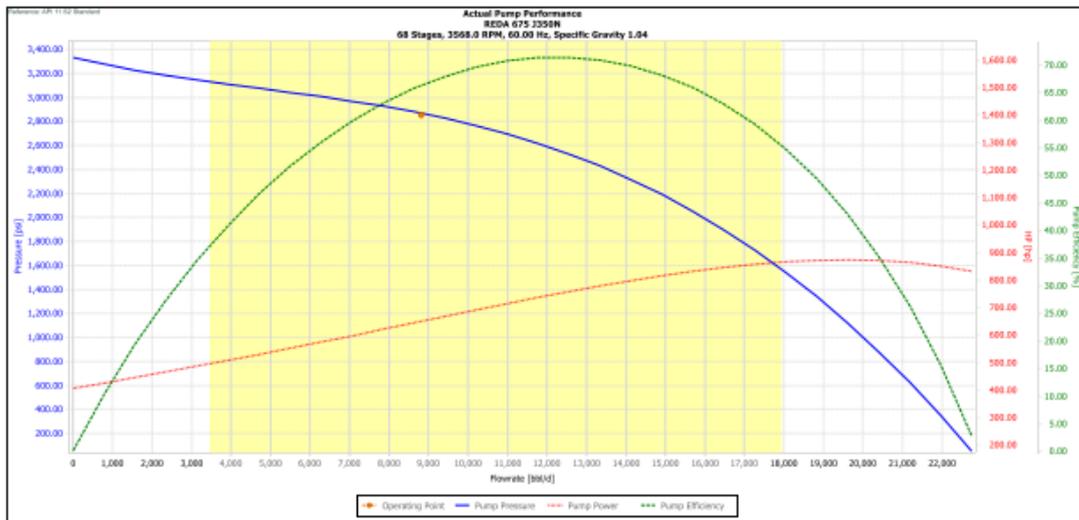
Actual Pump Curve @53 Hz



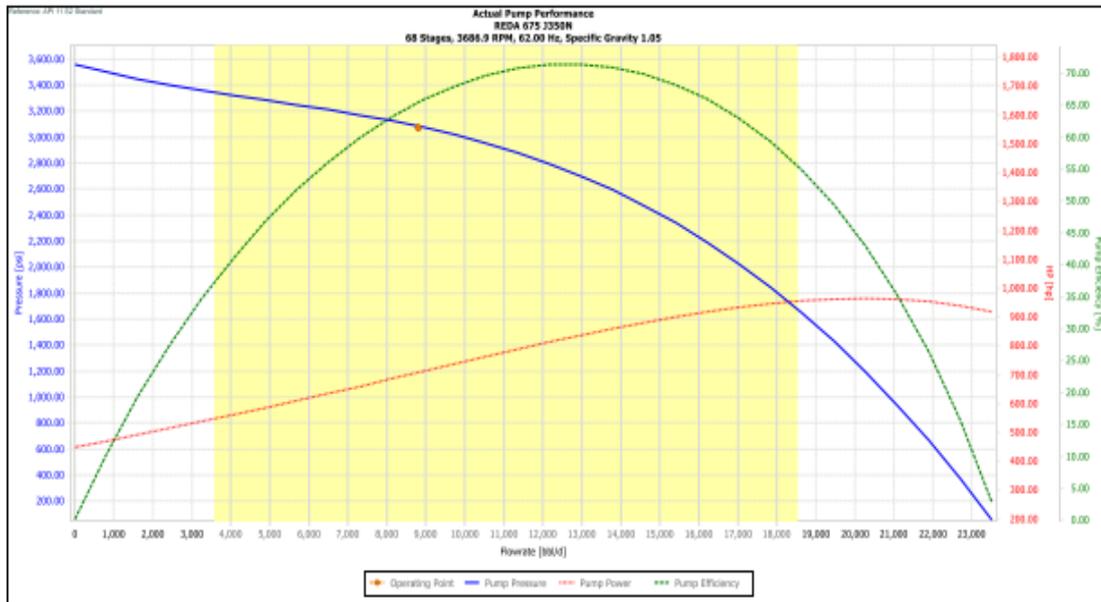
Actual Pump Curve @55 Hz



Actual Pump Curve @60 Hz

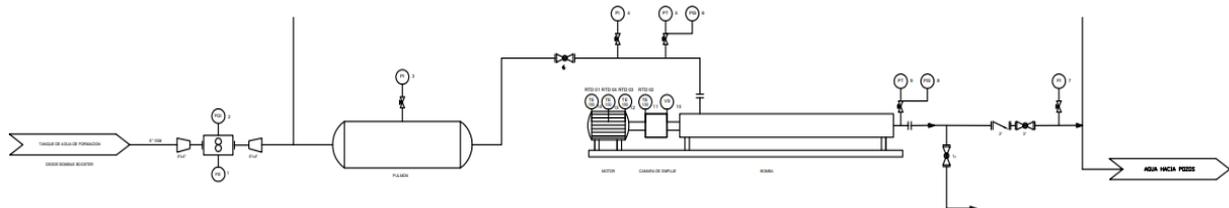
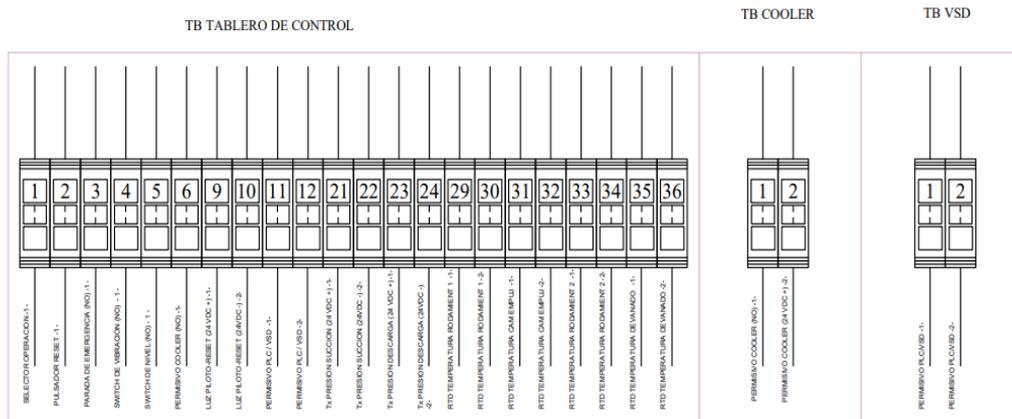


Actual Pump Curve @62 Hz



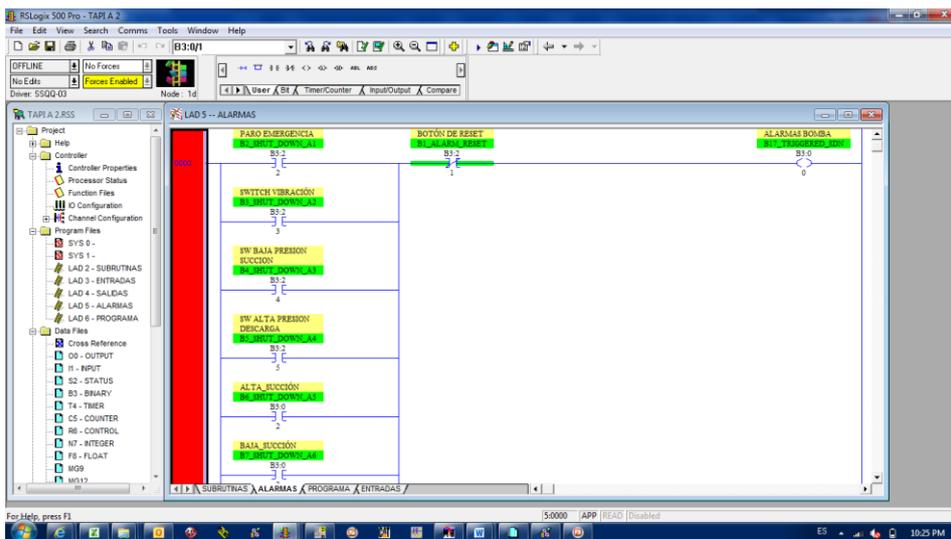
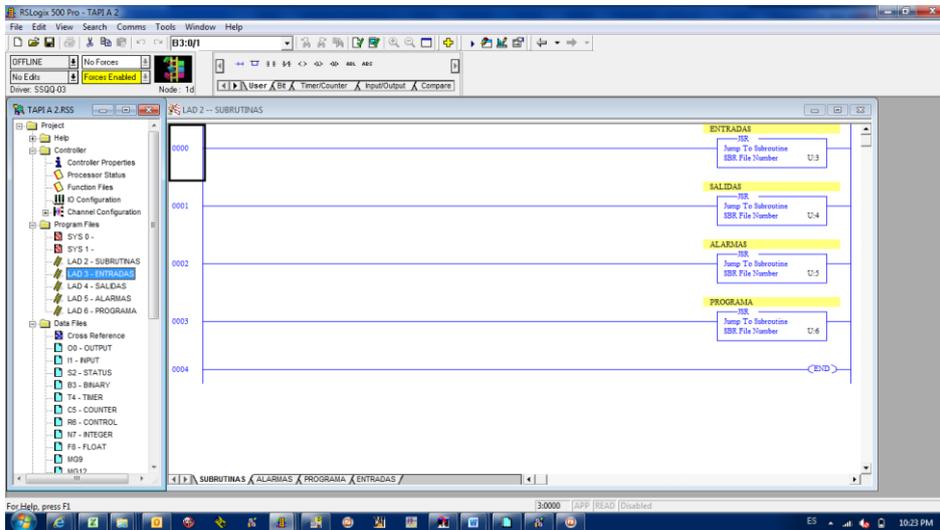
ANEXO 2

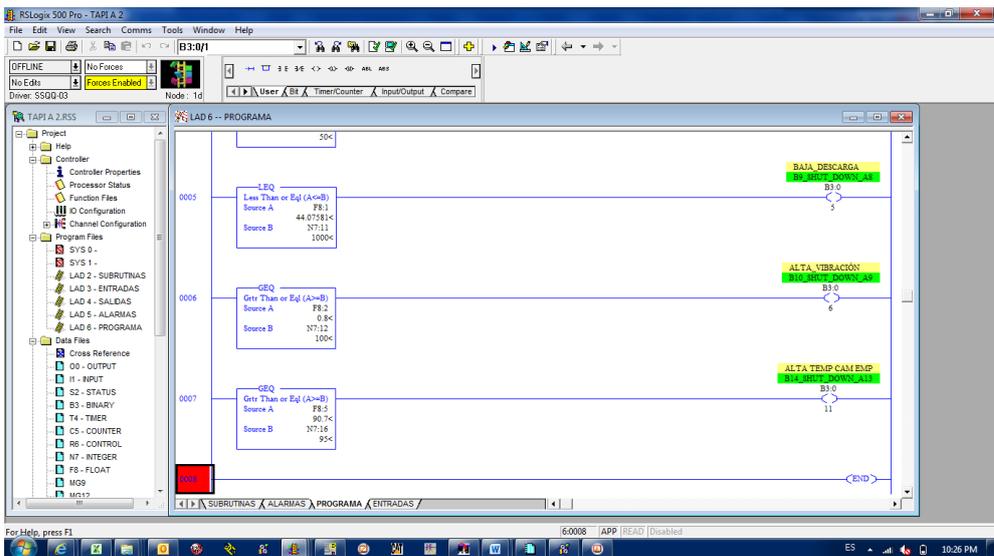
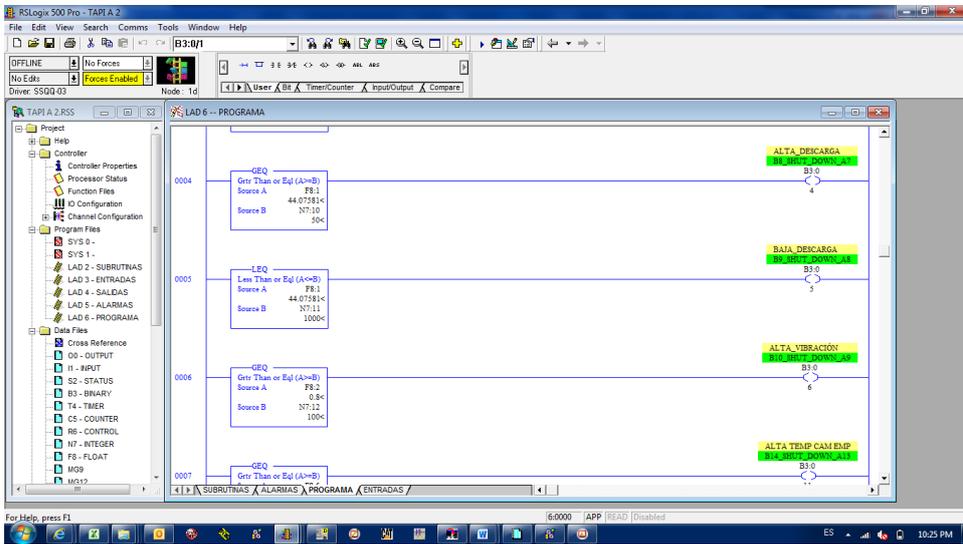
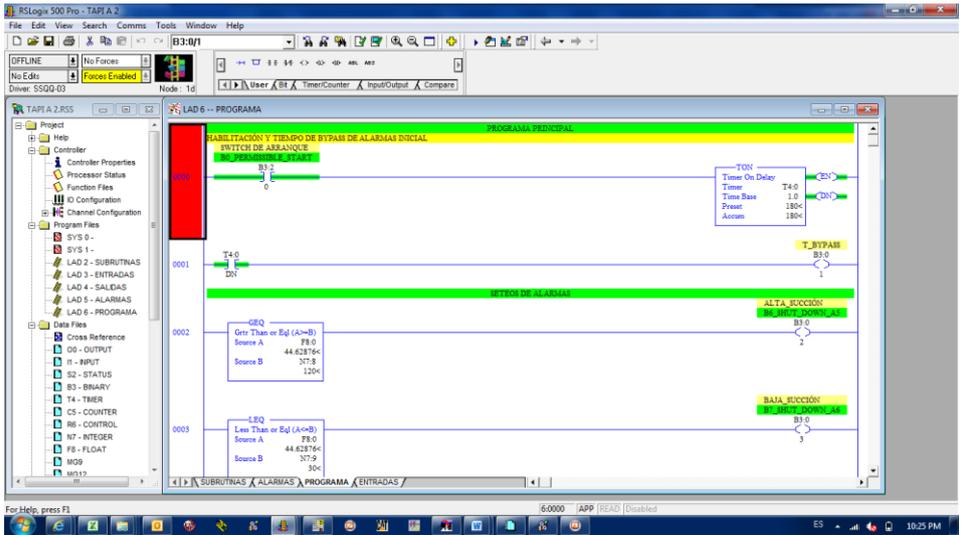
DIAGRAMA DEL DETALLE DE BORNERAS

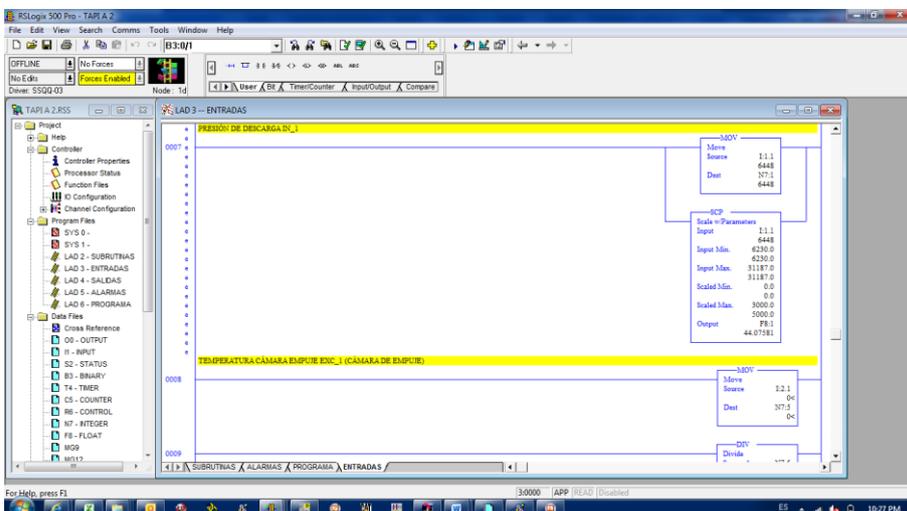
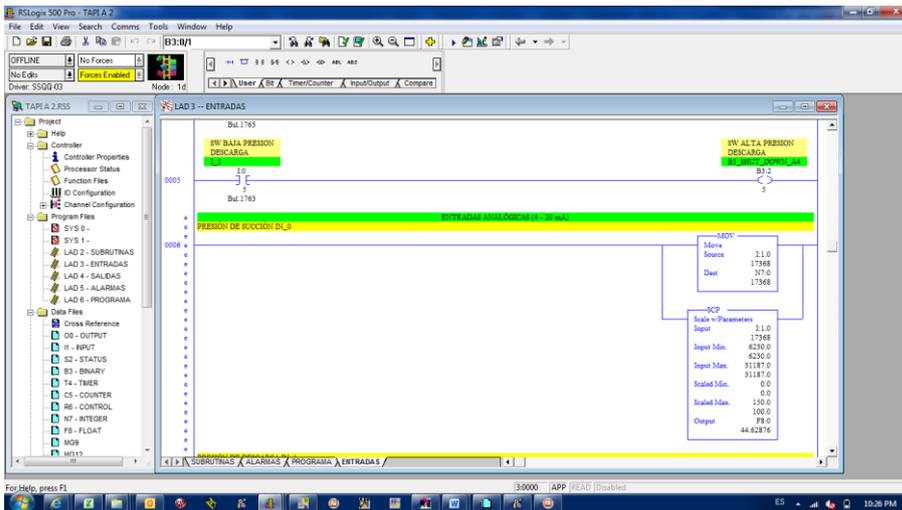
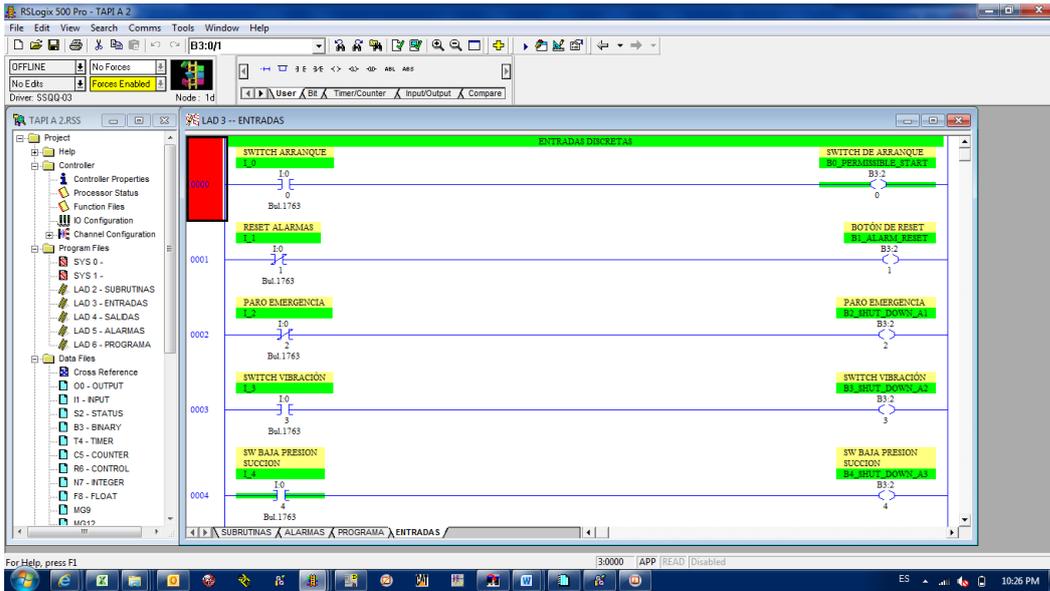


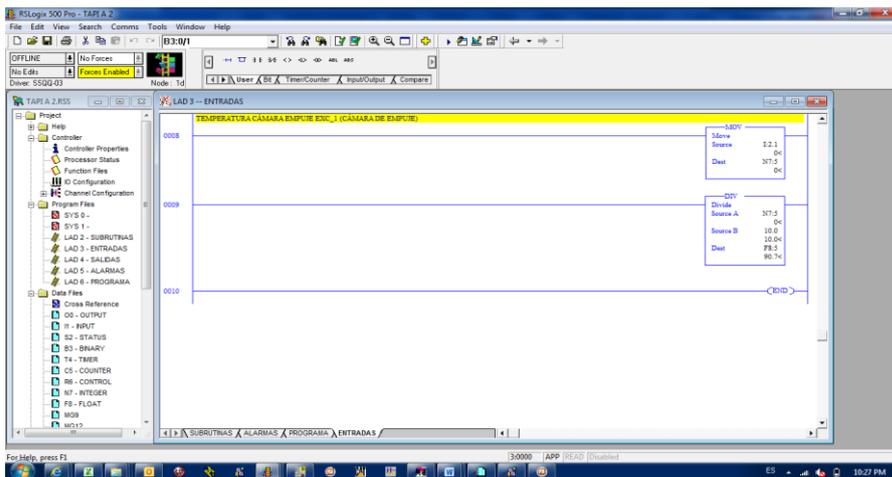
ANEXO 3

PROGRAMACIÓN DEL PLC EN LADDER









ANEXO 5

TAGS DE TAPI A UNIDAD 2

192.168.5.128	UNIDADES	descriptor	pointtypex	scan	span/rango total	step	typicalvalue	zero	trend
	PSI	TAPA_RYA_2_PRESION_SUCCION	float32	10s	600	1	350		SI
	PSI	TAPA_RYA_2_PRESION_DESCARGA	float32	10s	5000	1	2500		SI
	° F	TAPA_RYA_2_TEMPERATURA_MOTOR_1	float32	10s	200	1	120		SI
	° F	TAPA_RYA_2_TEMPERATURA_MOTOR_2	float32	10s	200	1	120		SI
	A	TAPA_RYA_2_CORRIENTE_FASE_A	float32	10s	800	1	700		SI
	A	TAPA_RYA_2_CORRIENTE_FASE_A	float32	10s	800	1	700		SI
	A	TAPA_RYA_2_CORRIENTE_FASE_A	float32	10s	800	1	700		SI
	HZ	TAPA_RYA_2_FRECUENCIA	float32	10s	65	1	58		SI
	V	TAPA_RYA_2_VOLTAJE_IN	float32	10s	600	1	480		SI
	V	TAPA_RYA_2_VOLTAJE_OUT	float32	10s	600	1	480		SI
		TAPA_RYA_2_VSD_DRIVE	float32	10s	1000	1	1000		SI
	A	TAPA_RYA_2_CORRIENTE_OUT	float32	10s	800	1	800		SI
	A	TAPA_RYA_2_CORRIENTE_MOTOR	float32	10s	800	1	800		SI
	KW	TAPA_RYA_2_POTENCIA_IN	float32	10s	1000	1	950		SI
	KW	TAPA_RYA_2_POTENCIA_OUT	float32	10s	1000	1	950		SI

Server	Point	Point Source	Point Type	Point Class	Descriptor	P
uiowhpi5	TAPA_HPS02_VSD_DRIVE	OPC	Float32	classic	TAPA_RYA_2_VSD_DRIVE / LIB	p
uiowhpi5	TAPA_HPS02_VOUT	OPC	Float32	classic	TAPA_RYA_2_VOLTAJE_OUT / LIB	p
uiowhpi5	TAPA_HPS02_VIN	OPC	Float32	classic	TAPA_RYA_2_VOLTAJE_IN / LIB	p
uiowhpi5	TAPA_HPS02_TE-02	OPC	Float32	classic	TAPA_RYA_2_TEMPERATURA_MOTOR_2 / LIB	p
uiowhpi5	TAPA_HPS02_TE-01	OPC	Float32	classic	TAPA_RYA_2_TEMPERATURA_MOTOR_1 / LIB	p
uiowhpi5	TAPA_HPS02_PIT_2	OPC	Float32	classic	TAPA_RYA_2_PRESION_DESCARGA / LIB	p
uiowhpi5	TAPA_HPS02_PIT_1	OPC	Float32	classic	TAPA_RYA_2_PRESION_SUCCION / LIB	p
uiowhpi5	TAPA_HPS02_P_OUT	OPC	Float32	classic	TAPA_RYA_2_POTENCIA_OUT / LIB	p
uiowhpi5	TAPA_HPS02_P_IN	OPC	Float32	classic	TAPA_RYA_2_POTENCIA_IN / LIB	p
uiowhpi5	TAPA_HPS02_IC	OPC	Float32	classic	TAPA_RYA_2_CORRIENTE_FASE_A / LIB	p
uiowhpi5	TAPA_HPS02_IB	OPC	Float32	classic	TAPA_RYA_2_CORRIENTE_FASE_A / LIB	p
uiowhpi5	TAPA_HPS02_IA	OPC	Float32	classic	TAPA_RYA_2_CORRIENTE_FASE_A / LIB	p
uiowhpi5	TAPA_HPS02_I_MOTOR	OPC	Float32	classic	TAPA_RYA_2_CORRIENTE_MOTOR / LIB	p
uiowhpi5	TAPA_HPS02_I_OUT	OPC	Float32	classic	TAPA_RYA_2_CORRIENTE_OUT / LIB	p
uiowhpi5	TAPA_HPS02_FREQ	OPC	Float32	classic	TAPA_RYA_2_FRECUENCIA / LIB	p

Browser window showing a SharePoint page titled "Iny. Tapi A Bomba 2 RYA". The page displays a schematic diagram of a water injection system labeled "LIBERTADOR - INYECTOR TAPI A-RYA02".

The diagram includes the following components and data:

- POZO TAPI A-01**: The water source well.
- FT-TTP-016**: A flow transmitter with a value of 0.00 m³/h.
- FT-TTP-018**: A flow transmitter with a value of 0.00 m³/h.
- MOTOR-016**: A motor with a value of 0.00 Hz.
- BOBINAS**: Solenoid valves with a value of 0.00 V.
- TS-TTP-016 V**: A temperature sensor with a value of 0.00 °F.
- TS-TTP-018 U**: A temperature sensor with a value of 0.00 °F.
- VALVULAS**: Valves with a value of 0.00 V.
- PCP 016**: A control panel.
- PCP 018**: A control panel.
- RT-TTP-1900**: A pressure transmitter.
- SUMIDERO**: A sink or collection point.

On the right side of the diagram, there is a data table for the motor:

VIS-006	SALIDA
FRECUENCIA	0.00 Hz
VOLTAJE-IN	0.00 V
VOLTAJE-OUT	0.00 V
CORRIENTE-OUT	0.00 A
POTENCIA	0.00 kW

The page also features a navigation menu on the left with various system components and a search bar at the top right.

ANEXO 6

VALIDACIÓN



Yo, **Roberto Fabricio Chaquina Cortes**, con C.I **1803274321**, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL CENTRÍFUGO MULTI-ETAPA NÚMERO DOS DE REINYECCIÓN DE AGUA DE TAPI A.**

Elaborado por el Ing. **Maricela de Lourdes Garcés Guerrero**, con C.I **1803690880**, estudiante de la Maestría en Electrónica y 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., 29 de agosto de 2023



Roberto Fabricio Chaquina Cortes

C.I 1803274321

Registro SENESCYT 1002-2018-1987628



Instrumento de Validación:

AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL CENTRÍFUGO MULTI-ETAPA NÚMERO DOS DE REINYECCIÓN DE AGUA DE TAPI A.

Datos del validador

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Roberto Fabricio Chaquina Cortes	15	Mg. Gestión en Mantenimiento Industrial	Ingeniero Automatización y Control EP Petroecuador

Tabla
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.

Tabla
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	

Fuente: UISRAEL

Elaborada por: El Investigador



Yo, **Manuel Agustín Asimbaya Cancino**, con C.I **1712874252**, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL CENTRÍFUGO MULTI-ETAPA NÚMERO DOS DE REINYECCIÓN DE AGUA DE TAPI A.**

Elaborado por el Ing. **Maricela de Lourdes Garcés Guerrero**, con C.I **1803690880**, estudiante de la Maestría en Electrónica y 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., 29 de agosto de 2023



Firmado electrónicamente por:
MANUEL AGUSTIN
ASIMBAYA CANCINO

Manuel Agustín Asimbaya Cancino

C.I 1712874252

Registro SENESCYT 1001-06-712736



Instrumento de Validación:

AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL CENTRÍFUGO MULTI-ETAPA NÚMERO DOS DE REINYECCIÓN DE AGUA DE TAPI A.

Datos del validador

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Manuel Agustín Asimbaya Cancino	13	Ing. Mecánico	Intendente de Mantenimiento EP Petroecuador

Tabla
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.

Tabla
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	

Fuente: UISRAEL

Elaborada por: El Investigador



Yo, **Ricardo Mauricio Carrasco Mayorga**, con C.I **1803961752**, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL CENTRÍFUGO MULTI-ETAPA NÚMERO DOS DE REINYECCIÓN DE AGUA DE TAPI A.**

Elaborado por el Ing. **Maricela de Lourdes Garcés Guerrero**, con C.I **1803690880**, estudiante de la Maestría en Electrónica y 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., 29 de agosto de 2023



Firmado electrónicamente por:
**RICARDO MAURICIO
CARRASCO MAYORGA**

Ricardo Mauricio Carrasco Mayorga

C.I 1803961752

Registro SENESCYT 1051-2023-2656972



Instrumento de Validación:

AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL CENTRÍFUGO MULTI-ETAPA NÚMERO DOS DE REINYECCIÓN DE AGUA DE TAPI A.

Datos del validador

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Ricardo Mauricio Carrasco Mayorga	12	Mg. Electrónica y Automatización	Supervisor de Instrumentación EP Petroecuador

Tabla
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.

Tabla
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	

Fuente: UISRAEL

Elaborada por: El Investigador