

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Diseño y simulación de un sistema automatizado de monitoreo y control
para la optimización de pozos de agua en zonas rurales

INGE-2638

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniera en Electrónica y Automatización

Presentado por:

Danna Nayeli Castillo Caicedo

David Alejandro Navas Cordova

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

A Dios, por ser mi guía constante y por colmar mi vida de bendiciones, iluminando cada paso de este camino.

A Victor Castillo, quien desde pequeña me enseñó a no temerle a los retos y a creer en mis capacidades. A Karina Caicedo, por su fe inquebrantable en mí, por recordarme siempre que lo que deseo con el corazón puedo lograrlo.

A Doddy Castillo, mi inspiración para dar este gran paso de ingresar a la universidad, por ser un ejemplo y un motivo para superarme cada día.

A John Torres, por ser mi compañero en este camino, por su amor incondicional, su paciencia y por estar a mi lado en los momentos de desafío y de alegría.

Danna Nayeli Castillo Caicedo

Dedicatoria

A Dios, quien ha sido mi fortaleza y mi guía en los momentos más difíciles. Toda la gloria y honra a Él, por ser mi inspiración y respaldo para alcanzar esta meta.

A mis padres, Carlos Navas y Susana Córdova, por su amor, apoyo y ejemplo inquebrantable. A mi padre, por ser mi fuerza emocional, enseñándome a creer en mí mismo y en mis capacidades, y dándome ánimo para continuar en los momentos más complicados. A mi madre, por mostrarme el valor del trabajo duro y la importancia de mantener la cabeza en alto frente a las adversidades.

A mis hermanas, Danna Navas, cuyo ejemplo de superación profesional es una fuente constante de inspiración, y Ariana Navas, mi motivo para enfrentar cada nuevo reto con determinación y entusiasmo.

A mis abuelos, quienes han sido un pilar esencial en mi vida. Su amor incondicional y apoyo constante me dieron la fuerza necesaria para cumplir con mi carrera profesional.

David Alejandro Navas Cordova

Agradecimientos

A Dios, por no abandonarme nunca y ser mi fortaleza en cada momento de este camino, guiándome y llenándome de esperanza.

A mis padres, cuyo esfuerzo y sacrificio hicieron posible que recibiera una educación, y por estar siempre presentes para brindarme su ayuda y apoyo en cualquier momento de mi vida.

A mi tía Silvia, por darme lo que ella no tuvo y por ser un pilar constante de apoyo y cariño incondicional.

A mi pareja, por escucharme en mis días difíciles, por su paciencia infinita y por sus sabios consejos, que siempre me ayudaron a encontrar claridad y motivación.

A mis amigos, por compartir conmigo sus conocimientos.

A todos ustedes, gracias por ser parte de este logro y por formar parte de mi vida.

Danna Nayeli Castillo Caicedo

Agradecimientos

A mis padres, Carlos Navas y Susana Córdova, por su amor infinito y ejemplo de vida. Papá, gracias por enseñarme a confiar en mí mismo y demostrarme que no hay límites cuando uno cree en sus propias capacidades. Mamá, gracias por tu valentía, por mostrarme que las adversidades se enfrentan con fortaleza y con la frente en alto.

A mis hermanas, Danna y Ariana Navas, por ser mi motivo de inspiración diaria y un modelo para seguir.

A mis abuelos, por su amor constante y su confianza en mí. Su apoyo ha sido fundamental para que pueda llegar hasta aquí.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de alguna forma, han contribuido a mi formación. Cada palabra de aliento, consejo y aprendizaje dejó en mí una marca valiosa que hoy celebro con gratitud.

David Alejandro Navas Cordova

Declaración Expresa

Nosotros David Alejandro Navas Córdova, Danna Nayeli Castillo Caicedo acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

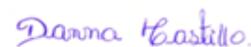
La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 16 de Octubre del 2024.



Autor 1



Autor 2

EVALUADORES

Mgtr. Dennys Cortez Alvarez
Profesor de Materia

Msc. Victor Arce Domínguez
Tutor de proyecto

Resumen

Este proyecto se enfoca en el diseño y simulación de una solución automatizada para el manejo de pozos de agua que abastecen a un reservorio principal en la región de Valdivia, con el objetivo de mejorar la eficiencia y confiabilidad del sistema hídrico local.

La solución propuesta incluye la integración de sensores tales como: nivel, presión y corriente, controladores y un sistema de supervisión y control (SCADA) diseñado para monitorizar y regular los niveles de agua de los pozos de manera remota. Utilizando un PLC programado en LOGO! Soft Comfort de Siemens, el sistema permite la automatización del encendido y apagado de las bombas de acuerdo con las necesidades del reservorio. A través del sistema SCADA, los operadores podrán supervisar el funcionamiento en tiempo real, detectar fallos y optimizar el mantenimiento de los equipos, mejorando así la eficiencia operativa y la distribución de agua hacia las comunidades de Carrizal, Sinchal, Barcelona, San Pedro y Valdivia.

Esta investigación proporciona un modelo escalable y sostenible de automatización para sistemas hídricos, potenciando la gestión autónoma de los recursos hídricos de la región y asegurando un abastecimiento continuo a las poblaciones beneficiarias.

Palabras Clave: Automatización de pozos, sistema de monitoreo, control de nivel.

Abstract

This project focuses on the design and simulation of an automated solution for managing water wells that supply a main reservoir in the Valdivia region, aiming to enhance the efficiency and reliability of the local water system.

The proposed solution includes the integration of sensors such as level, pressure, and current, along with controllers and a supervisory control and data acquisition (SCADA) system designed to monitor and regulate the water levels of the wells remotely. Using a PLC programmed with Siemens LOGO! Soft Comfort, the system automates the turning on and off of pumps according to the reservoir's requirements. Through the SCADA system, operators can monitor operations in real-time, detect failures, and optimize equipment maintenance, thereby improving operational efficiency and water distribution to the communities of Carrizal, Sinchal, Barcelona, San Pedro, and Valdivia.

This research provides a scalable and sustainable automation model for water systems, enhancing the autonomous management of the region's water resources and ensuring continuous supply to the beneficiary populations.

Keywords: *Well automation, monitoring system, level control.*

Índice General

Resumen.....	viii
<i>Abstract</i>	ix
Índice General.....	x
Abreviaturas.....	xii
Índice de ilustraciones	xiii
Índice de tablas	xv
Índice de planos	xvi
Índice de programación.....	xvi
Capítulo 1.....	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del problema	3
1.3 Justificación del problema	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 <i>Objetivo general:</i>	5
1.4.2 <i>Objetivos específicos:</i>	5
1.5 Marco teórico	6
1.5.1 <i>Pirámide de automatización:</i>	6
1.5.2 <i>Sistema de bombeo</i>	8
1.5.3 <i>Sensores</i>	10
1.5.4 <i>Comunicación</i>	12
1.5.5 <i>Controladores Lógicos Programables</i>	15
1.5.6 <i>Ignition</i>	16
Capítulo 2.....	17
2. Metodología.....	18
2.1 Descripción del entorno.....	18
2.1.1 <i>Distancias entre localizaciones clave del proyecto</i>	18
2.1.2 <i>Especificaciones del sistema actual</i>	20
2.2 Diseño de solución.....	21
2.2.1 <i>Selección y datos técnicos de los equipos para la automatización del sistema</i> ... 23	
2.2.2 <i>Descripción de elementos del tablero eléctrico</i>	26
2.2.3 <i>Selección y descripción de los elementos para la comunicación</i>	27
2.3 Diagrama de flujo del sistema.....	35
2.4 Programación del PLC.....	37
2.5 Diseño y programación de la interfaz gráfica	41
Capítulo 3.....	42

3. Resultados y análisis	43
3.1 Pruebas realizadas	43
3.1.1 Pruebas de funcionamiento de la programación del sistema en simulación	43
3.1.2 Comparación entre el sistema manual y el sistema automatizado	48
3.1.3 Análisis de costos	48
Capítulo 4	51
4. Conclusiones y recomendaciones	52
4.1 Conclusiones	52
4.2 Recomendaciones	53
Referencias	54
Apéndice	58

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
E/S	Entradas/Salidas
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
I/O	Input/Output
SCADA	Supervisión, Control y Adquisición de Datos.
PLC	Control Lógico Programable
DCS	Sistema de Control Distribuido
MES	Sistema de Ejecución de Manufactura
ERP	Planificación de Recursos Empresariales
CPE	Customer Premises Equipment
ISP	Proveedores de Servicios de Internet
TI	Tecnología de la Información
DI	Digital Input
DO	Digital output
DC	Corriente Directa
AP	Punto de Acceso

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Pirámide de automatización [2].....	7
Ilustración 2 Grupo motor – bomba [4].....	8
<i>Ilustración 3 Bomba centrífuga [6].....</i>	9
Ilustración 4 Bomba sumergible [7].....	10
Ilustración 5 HPT604[8].....	10
Ilustración 6 SEN-86/SEN-87 KOBOLD[9].....	11
Ilustración 7 Sensor de corriente CR4320[10].....	11
Ilustración 8 Antena CPE Wi-Fi[11].....	12
Ilustración 9 Conexión punto a punto[14].....	14
Ilustración 10 Controlador LOGO v8 [17].....	16
Ilustración 11 Plataforma Ignition disponible en dispositivos electrónicos.[18].....	16
Ilustración 12 Distancia de las casetas con respecto a la sede de administración.....	18
Ilustración 13 Perfil de elevación de la ruta de comunicación.....	19
Ilustración 14 Tuberías que alimentan al reservorio correspondientes al pozo #2 y #1.....	20
Ilustración 15 Tablero de control del pozo # 3.....	22
Ilustración 16 Registro de los datos de Amperaje.....	22
Ilustración 17 Manómetro correspondiente al pozo # 4.....	22
Ilustración 18 Ubicación de las antenas por caseta.....	29
Ilustración 19 Esquema de conexión de las antenas en las casetas cuando son el punto emisor y receptor.[19].....	30
Ilustración 20 Línea de vista de las antenas.[19].....	31
Ilustración 21 Conexión de la primera Antena.[19].....	31
Ilustración 22 Interfaz gráfica para la configuración de la antena en modo AP[19].....	32
Ilustración 23 Quick Setup de la configuración de la Antena.....	32
Ilustración 24 Configuración de nombre de punto de acceso y contraseña.....	32
Ilustración 25 Antena receptora[19].....	33
Ilustración 26 Interfaz gráfica para la configuración de la antena en modo cliente.....	33
Ilustración 27 Quick Setup para configuración en modo cliente[19].....	34
Ilustración 28 Ejemplos de acces point[19].....	34
Ilustración 29 Diagrama de flujo del sistema en modo manual.....	35
Ilustración 30 Diagrama de flujo del sistema en modo automático.....	36
Ilustración 31 programación en Logo Confort.....	37
Ilustración 32 Entradas digitales y de red.....	38
Ilustración 33 Programación del sistema de control.....	38

Ilustración 34 Entradas analógicas del sistema	39
Ilustración 35 Marcas de verificación del estado de ciertas señales del sistema.....	40
Ilustración 36 Interfaz gráfica del SCADA	41
Ilustración 37 Simulación de la programación en modo Manual.....	44
Ilustración 38 Visualización del estado operativo de los motores en la interfaz de monitoreo del SCADA	44
Ilustración 39 ventana emergente del sistema que muestra los valores de los sensores	45
Ilustración 40 Pantalla de alarmas actuales del sistema	46
<i>Ilustración 41 Registro de alarmas previamente corregidas</i>	<i>46</i>
Ilustración 42 Variación de los niveles de agua del pozo	47
Ilustración 43 Pantalla de control del sistema Scada	47

Índice de tablas

<i>Tabla 1 Referencia de Distancias Geográficas en la Zona de Estudio.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 2 Referencia de los relieves Geográficos en la Zona de Estudio.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 3 Diámetro de tuberías que se encuentran en el reservorio</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 4 Especificaciones de profundidad, presión, y potencia de cada pozo.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 5 Elementos que conforman los tableros activos de los pozos</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 6 Datos técnicos de los equipos para la automatización del sistema</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 7 Elementos del tablero eléctrico.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 8 Equipos para la comunicación</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 9 Altura aproximada de los pilares en los puntos establecidos para la comunicación.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 10 Costos aproximados de los equipos seleccionados para la automatización</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 11 Costos aproximados de los elementos seleccionados</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 12 Costos aproximados para los equipos de comunicación</i>	<i>50</i>

Índice de planos

Plano 1 Conexiones eléctricas para la caseta # 3	58
Plano 2 Conexiones eléctricas para la caseta # 4	59
Plano 3 Conexiones eléctricas para la caseta #5	60

Índice de programación

<i>Programación 1 Caseta # 5 pozo # 5</i>	<i>61</i>
<i>Programación 2 Caseta # 3 pozo # 1</i>	<i>62</i>
<i>Programación 3 Caseta # 3 pozo # 2</i>	<i>63</i>
<i>Programación 4 Caseta # 3 pozo # 3</i>	<i>64</i>
<i>Programación 5 Caseta # 4 pozo # 6</i>	<i>65</i>
<i>Programación 6 Caseta # 4 pozo #4</i>	<i>66</i>

Capítulo 1

1.1 Introducción

El agua es un recurso esencial para el desarrollo y bienestar de las comunidades. Sin embargo, en muchas regiones, la administración y distribución de este recurso enfrenta desafíos significativos debido a la distancia entre los puntos de extracción, el reservorio y las áreas de consumo. Esto plantea la necesidad de implementar sistemas que optimicen la gestión y minimicen la intervención manual en estos procesos. La automatización es una solución clave para garantizar un flujo constante y seguro de agua hacia el reservorio, maximizando la eficiencia operativa y permitiendo un control a distancia.

Este proyecto tiene como objetivo diseñar y simular una solución automatizada para el llenado de un reservorio a partir de múltiples pozos de agua, mediante la implementación de un sistema SCADA. El sistema propuesto se desarrollará con la plataforma Ignition para permitir la supervisión y el control remoto, y empleará un controlador lógico programable (PLC) LOGO de Siemens junto con módulos de expansión Point I/O para la recopilación de datos en tiempo real. Además, se utilizará el protocolo de comunicación EtherNet/IP, asegurando una transmisión de datos confiable entre los distintos elementos del sistema.

1.2 Descripción del problema

La Junta Administrativa de Agua Potable Regional Valdivia administra un sistema de suministro de agua que abastece a varias comunidades mediante la extracción y transporte de agua desde pozos hacia un reservorio central. Este sistema enfrenta desafíos técnicos y operativos debido a la falta de automatización en el control y monitoreo.

Actualmente, la operación se realiza de forma manual, lo que implica inspecciones constantes y ajustes en los pozos, en su mayoría debido a fluctuaciones de nivel, y a la falta de automatización en el encendido y apagado de las bombas de extracción. Además, el mantenimiento de las instalaciones es intensivo en mano de obra y requiere desplazamientos frecuentes para verificar el estado de los pozos y el nivel de agua en el reservorio. Esta situación conlleva altos costos de operación y tiempo, y no garantiza una respuesta oportuna ante fallas en el sistema o problemas en el suministro de agua.

Para abordar estos problemas, es necesario diseñar una solución automatizada que permita controlar y monitorear el llenado del reservorio a través de un sistema SCADA basado en Ignition, que funcione en conjunto con un PLC LOGO y módulos de expansión para el control en tiempo real de las bombas y sensores de nivel, presión, y corriente en cada pozo. Asimismo, se requiere implementar un protocolo de comunicación, para asegurar una transmisión de datos robusta y confiable entre los equipos de campo y la interfaz SCADA. Este proyecto mejorará la eficiencia operativa, optimizará el consumo energético y permitirá una gestión proactiva del sistema hídrico, asegurando un suministro continuo y confiable de agua a las comunidades de la región.

1.3 Justificación del problema

La gestión de los pozos de abastecimiento de agua presenta actualmente importantes limitaciones debido a la falta de sistemas automáticos de monitoreo y control. Actualmente, los operadores dependen de métodos manuales para evaluar el rendimiento del motor del pozo, utilizando amperímetros como sustituto para identificar problemas potenciales como niveles bajos de agua. Sin embargo, esta práctica no sólo es ineficiente, sino que también crea un alto riesgo de error humano, retraso en la toma de decisiones y posibles daños al equipo debido a fallas prolongadas.

Además, la falta de un sistema SCADA que permita el monitoreo en tiempo real limitan la capacidad de optimizar el uso de recursos, identificar anomalías de manera proactiva y garantizar un suministro continuo y seguro de recursos hídricos. Esta situación afecta directamente la sostenibilidad de los sistemas de suministro de agua y la calidad del servicio a las comunidades a las que sirven.

La implementación de un sistema de automatización basado en un PLC programado mediante herramientas como LOGO Soft comfort y combinado con un sistema SCADA permitirá:

- Optimizar el monitoreo y control de los pozos.
- Evitar fallas en el motor asegurando el encendido y apagado de manera automáticas basado en el nivel del agua del pozo.
- Reducir los costos operativos al no tener intervención manual.

Así, el proyecto no sólo eliminará las deficiencias de la operación actual, sino que también promoverá la modernización de la infraestructura hídrica de acuerdo con las necesidades del desarrollo sostenible y la gestión eficaz de los recursos de la región.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general:*

Diseñar un sistema automatizado utilizando PLC que permita controlar el encendido y apagado de los motores de los pozos de agua en función del nivel disponible, integrando un sistema SCADA basado en Ignition, para optimizar la gestión y uso eficiente del recurso hídrico.

1.4.2 *Objetivos específicos:*

- 1) Diseñar una interfaz gráfica de la pantalla de monitoreo en Ignition SCADA, utilizando el módulo perspective, para visualizar en tiempo real los datos de los sensores de nivel del agua y el encendido de los motores.
- 2) Diseñar un sistema automatizado de bombeo utilizando PLC que integre sensores tales como: nivel, presión y corriente, con el propósito de optimizar el funcionamiento y la eficiencia en el abastecimiento de agua.
- 3) Configurar alarmas automáticas que se activen cuando los sensores detecten valores fuera de los rangos establecidos, con el propósito de alertar a los operadores y facilitar una respuesta rápida.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Pirámide de automatización:

La Pirámide de Automatización proporciona un diagrama muy visual para comprender mejor cómo se integran los sistemas de control y automatización en una empresa industrial. Se presenta mediante una estructura jerárquica donde cada nivel tiene su propia función y ayuda a mejorar la eficiencia, seguridad y productividad en un entorno industrial. La comunicación y transferencia de datos entre estos niveles es esencial para el correcto funcionamiento de los equipos industriales. [1]

En el campo de la automatización de pozos de agua, es absolutamente necesario y útil aplicar el concepto de pirámide de automatización, porque permite diseñar y gestionar eficazmente varias capas involucradas en la operación y control del sistema. A continuación, se describen cómo se aplica cada nivel de la pirámide en el contexto específico de la automatización de pozos de agua:

- **Nivel 0 - campo (sensores y actuadores):** Este nivel incluye sensor de nivel de agua, sensor de presión, sensor de corriente, y actuadores como bombas y motores. Estos dispositivos recopilan datos importantes sobre las condiciones del pozo y permiten acciones automatizadas, como encender o apagar bombas según los niveles de agua, presión y corriente.
- **Nivel 1 - control (PLC, DCS):** Los PLC desempeñan aquí un papel crucial. Estos dispositivos reciben información de sensores y realizan lógica de control, como el encendido o apagado de bombas, según las condiciones detectadas del pozo. También se puede utilizar un sistema DCS si tiene un sistema grande con múltiples pozos que requieren control coordinado.

- **Nivel 2 - monitoreo (SCADA, HMI):** Este nivel incluye un sistema SCADA para monitoreo y control remoto de pozos. Utilizando la interfaz HMI, los operadores pueden ver parámetros clave como el nivel del agua, la presión de la tubería, el consumo de energía y cualquier alarma o anomalía detectada.
- **Nivel 3 - gestión de la producción (MES):** En el lado del pozo, los sistemas MES se pueden utilizar para la planificación y optimización de bombas, el mantenimiento preventivo de equipos de monitoreo y la gestión eficiente del agua. Esto permite integrar datos históricos para mejorar la eficiencia energética y optimizar el tiempo de actividad.
- **Nivel 4 - planificación (ERP):** A nivel de planificación, los sistemas ERP gestionan aspectos administrativos como presupuestos operativos, planificación de recursos (personas y materiales), costos operativos y gestión de inventario de repuestos. Este nivel asegura que las operaciones del pozo estén alineadas con los objetivos estratégicos de la empresa o unidad de gestión.



Ilustración 1 Pirámide de automatización [2]

1.5.2 Sistema de bombeo

Un sistema de bombeo es un conjunto de equipos que se utilizan para transportar líquidos (como agua u otros líquidos) a través de tuberías, proporcionando el caudal y la presión necesarios.

La estructura consta de dos componentes principales: la bomba y el accionador. Este último puede ser un motor eléctrico o uno de combustión interna, entre otras opciones. El funcionamiento es simple: al activar el accionador, la energía mecánica se transforma en energía cinética. Esto genera un movimiento de arrastre que, influenciado por factores como la posición, la presión y la velocidad, permite el desplazamiento del fluido.[3]



Ilustración 2 Grupo motor – bomba [4]

Tipos de sistemas de bombeo

Las bombas más comunes en los sistemas de abastecimiento de agua incluyen las centrífugas, tanto horizontales como verticales, así como las sumergibles.

Sistemas de bombeo centrífugo: Los sistemas de bombeo centrífugo forman parte del grupo de bombas hidráulicas, dispositivos diseñados para transformar energía mecánica en energía cinética o hidráulica, aplicando presión a un líquido en movimiento. Estas bombas aumentan la velocidad de los fluidos, permitiendo su transporte a largas distancias.[5]



Ilustración 3 Bomba centrífuga [6]

Sistemas de bombeo sumergibles: Una bomba sumergible está diseñada para operar con su conjunto completo, compuesto por la bomba y el motor, completamente inmersos en el líquido o medio a procesar. Este tipo de bomba cuenta con un motor herméticamente sellado, que se encuentra estrechamente integrado al cuerpo de la bomba. La carcasa que protege al motor suele estar llena de aceite, lo que evita la entrada de líquidos que puedan causar un cortocircuito y protege al motor de posibles daños.[7]

Al estar sumergida, la bomba se beneficia de la presión positiva del fluido en la entrada, lo que aumenta su eficiencia al requerir menos energía para mover el líquido a través de su trayectoria. A diferencia de otros tipos de bombas, una bomba sumergible funciona empujando el líquido en lugar de succionarlo, lo que resulta en un proceso más eficiente, ya que utiliza la presión del líquido circundante para operar sin necesidad de

atraerlo hacia la bomba. Además, el líquido que la rodea actúa como un sistema de enfriamiento natural para el motor, evitando el riesgo de sobrecalentamiento.[7]



Ilustración 4 Bomba sumergible [7]

1.5.3 Sensores

Sensor de nivel hidrostático HPT604A-28-E5-S11-CW-N1-02

La sonda de nivel de agua sumergible mide el nivel, presión y nivel hidrostático de agua, con diseño de acero inoxidable 316SS totalmente sellado para una vida útil superior a 10 años bajo agua. Aplicaciones: monitoreo de pozos, aguas subterráneas, agua de mar y estaciones de bombeo. Compatible con interfaces 4-20 mA, RS-485, Modbus y HART, es sumergible (IP68) y adecuada para rangos de nivel de 0 m a 500 m.[8]



Ilustración 5 HPT604[8]

Sensor de presión SEN-86/SEN-87

Los sensores de presión SEN-86/SEN-87 de KOBOLD son dispositivos compactos, precisos y de bajo costo, diseñados para integrarse en sistemas. Incorporan tecnología cerámica, siendo especialmente adecuados para sistemas hidráulicos con rápidos picos de presión. Su rango de presión va de -1 a 800 bar, con una precisión del 0.5% y estabilidad a largo plazo del 0.2%. Están diseñados para operar entre 0 °C y 125 °C.[9]



Ilustración 6 SEN-86/SEN-87 KOBOLD[9]

Sensor de corriente CR4320

El sensor de corriente de la serie CR4320, tiene un transmisor de corriente de lazo alimentado de 2 hilos produce una corriente de salida calibrada de 4-20 mA CC directamente proporcional al valor promedio RMS de la corriente alterna de entrada. La salida de corriente controlada no se ve afectada por variaciones en el voltaje de alimentación, la interconexión o la impedancia de carga (dentro de los límites especificados), proporcionando un medio altamente preciso para monitorear corriente alterna a largas distancias.[10]



Ilustración 7 Sensor de corriente CR4320[10]

1.5.4 Comunicación

Antena CPE

La antena Wi-Fi ofrece un alcance de hasta 25 kilómetros gracias a su diseño parabólico y ganancia de 23 dBi, lo que concentra la señal y aumenta su potencia. Opera en la banda de 5 GHz, reduciendo interferencias y siendo adecuada para aplicaciones como streaming de video, descargas pesadas, videoconferencias y juegos en línea. Soporta IEEE802.11AC a 867 Mbps, proporcionando alta velocidad de transferencia de datos. Ofrece versatilidad con modos de operación como AP, Cliente, Repetidor, WISP, P2MP y Router. Su estructura de plástico y plato parabólico mejoran la eficiencia de señal, y su protección IP65 la hace ideal para uso exterior, resistiendo polvo y lluvia. Compatible con PoE y tecnología MU-MIMO, permite la conexión simultánea de múltiples dispositivos sin pérdida de velocidad.[11]



Ilustración 8 Antena CPE Wi-Fi[11]

Ethernet /IP

Ethernet/IP es un protocolo de comunicación industrial ampliamente compatible que permite que diversos dispositivos se conecten y se comuniquen fácilmente, facilitando la construcción de sistemas de automatización flexibles y expansibles. Su adopción generalizada en la industria permite elegir los mejores componentes de múltiples fabricantes y simplifica futuras ampliaciones, como la adición de sensores remotos o E/S digitales. Además, Ethernet/IP ayuda a reducir costos y tiempo en el diseño de sistemas al requerir solo cables Ethernet para la comunicación, optimizando así el cableado y la mano de obra. También permite recopilar información de dispositivos, como el uso de energía y la temperatura, para diagnóstico y mantenimiento predictivo, mejorando la eficiencia y reduciendo costos operativos.[12]

Conexión punto a punto

Una conexión punto a punto (P2P) establece un enlace directo entre dos dispositivos para que se comuniquen de manera exclusiva, utilizando medios como cables Ethernet, fibra óptica o tecnologías inalámbricas como Wi-Fi y Bluetooth. A diferencia de las redes compartidas, la ruta P2P está dedicada solo a la comunicación entre los dos puntos. Para configurarla, ambos dispositivos deben ajustar sus interfaces, protocolos y posibles medidas de cifrado para garantizar la seguridad. Las conexiones P2P son útiles para transferencias de archivos simples o enlaces de telecomunicaciones complejos, pero solo permiten la interacción entre dos entidades, limitando su uso en escenarios con múltiples nodos.[13]

Las conexiones punto a punto se utilizan para comunicación directa y dedicada entre dos nodos en varios escenarios. Son comunes en telecomunicaciones para transmitir datos, voz y vídeo de forma segura y confiable entre ubicaciones, y en transferencias de datos para intercambiar archivos grandes rápidamente sin congestión de red. Los ISP usan conexiones P2P para conectar hogares u oficinas a la red, y también se utilizan en la infraestructura de red para unir segmentos importantes y facilitar la transmisión de datos a larga distancia. Además, en entornos industriales, permiten el control y monitoreo de sistemas con baja latencia, y en redes inalámbricas, unen ubicaciones distantes mediante microondas o radiofrecuencias.[13]



Ilustración 9 Conexión punto a punto[14]

Modbus TCP

Modbus/TCP es un protocolo de comunicación desarrollado para facilitar la interacción entre equipos industriales como Controladores Lógicos Programables (PLC), computadoras, controladores de motores y otros dispositivos físicos de entrada y salida en una red. Este protocolo, introducido por Schneider Automation, es una variante de la familia de protocolos MODBUS, ampliamente empleada en la supervisión y control de equipos de automatización. Modbus/TCP define específicamente el uso de mensajes MODBUS en redes intranet o internet a través de los protocolos TCP/IP.[15]

1.5.5 Controladores Lógicos Programables

Un PLC, cuyas siglas en inglés significan "Controlador Lógico Programable", también conocido como autómata programable, es un sistema electrónico de funcionamiento digital diseñado para entornos industriales. Este dispositivo cuenta con una memoria programable que permite almacenar internamente instrucciones de control personalizadas por el usuario. Dichas instrucciones están destinadas a ejecutar funciones específicas, como el control lógico, la gestión de secuencias, la temporización, el conteo y operaciones aritméticas, facilitando el control de diversos tipos de máquinas y procesos mediante señales de entrada y salida, tanto digitales como analógicas. En esencia, un controlador lógico programable es comparable a un PC diseñado para realizar tareas de control. Gracias a los sensores y actuadores, los autómatas programables tienen la capacidad de gestionar máquinas y sistemas de forma eficiente. En resumen, un PLC integra entradas, salidas, un sistema operativo y una interfaz que permite cargar un programa de usuario, es decir, el software operativo necesario para su funcionamiento.[16]

LOGO V8

Los módulos lógicos LOGO! 8 están diseñados para resolver tareas de automatización sencillas en diversas aplicaciones, incluyendo el control de pozos de agua. Este dispositivo ofrece amplias capacidades de comunicación, soportando protocolos como Ethernet, Modbus TCP/IP, GPRS y KNX, lo que permite una integración eficiente con sistemas HMI y SCADA. La capacidad de expansión del LOGO! 8 permite manejar hasta 24 entradas digitales, 20 salidas digitales y 8 entradas/salidas analógicas, con la opción de añadir módulos de expansión adicionales. ¡El sistema se programa mediante el software LOGO! Soft Comfort, que facilita la creación y simulación de programas antes de su implementación.[17]

Capítulo 2

Este mapa resulta esencial para comprender la disposición geográfica de los pozos y su interconexión. Así mismo, se recopiló información detallada sobre las distancias entre los puntos clave y los perfiles de relieve de la zona, los cuales se presentan a continuación (ver imagen de perfiles de relieve). Estos datos fueron fundamentales para llevar a cabo un análisis exhaustivo que permitió diseñar un sistema de comunicación inalámbrica mediante antenas CPE de largo alcance, optimizado para las condiciones geográficas y de distancia características de la región.



Ilustración 13 Perfil de elevación de la ruta de comunicación

Distancias entre localizaciones clave del Proyecto

Punto de referencia	Destino	Distancia [m]
Junta de Agua	Caseta 5	780
Caseta 5	Pozo 5	3
Caseta 5	Puente de conexión 1	1770
Puente de conexión 1	Caseta 3	1490
Caseta 3	Bomba 1	20
Caseta 3	Bomba 2	30
Caseta 3	Bomba 3	2
Caseta 3	Caseta 4	450
Caseta 4	Bomba 4	60
Caseta 4	Bomba 6	70

Tabla 1 Referencia de Distancias Geográficas en la Zona de Estudio

Relieves entre localizaciones Clave para la comunicación del Proyecto

Punto de referencia	[m]	Destino	[m]	Relieve [m]
Junta de Agua	19	Caseta 5	19	0
Caseta 5	19	Puente de conexión 1	29	10
Puente de conexión 1	29	Caseta 3	38	9
Caseta 3	38	Caseta 4	39	1

Tabla 2 Referencia de los relieves Geográficos en la Zona de Estudio

2.1.2 Especificaciones del sistema actual

Dimensiones de Tuberías de Alimentación y distribución

Tubería	Diámetro [pulgada]
Tubería de distribución Principal	12
Tubería de alimentación bomba #1	6
Tubería de alimentación bomba #2	4
Tubería de alimentación bomba#3	4
Tubería de alimentación Bomba #4	4

Tabla 3 Diámetro de tuberías que se encuentran en el reservorio



Ilustración 14 Tuberías que alimentan al reservorio correspondientes al pozo #2 y #1

Características de los Pozos

Pozo	Profundidad [m]	Presión de descarga a nivel de la superficie del pozo [psi]	Potencia de la bomba sumergible [hp]	Alimentan al reservorio
Pozo #1	21	131	15	Sí
Pozo#2	17	133	15	Sí
Pozo#3	21	132	15	Sí
Pozo#4	20	130	15	Sí
Pozo#5	15	54	7.5	No
Pozo #6	13	52	7.5	No

Tabla 4 Especificaciones de profundidad, presión, y potencia de cada pozo

Elementos de los Tableros Activos

Tablero	Protector de fase Trifásico	Contactador	Relé de Sobrecarga	Interruptor automático	Base Fusible	Disyuntor sobrepuesto
1	ICM401C	3RT1044-1A siemens	3RU1146-4JB0	3VT1708-2DC36-0AA0	RT18-32A	THQC 1 polo – 20 A o
2	ICM401C	3RT1044-1A siemens	3RU1146-4JB0	3VT1708-2DC36-0AA0	RT18-32A	THQC 1 polo – 20 A o
3	ICM401C	3RT1044-1A siemens	3RU1146-4JB0	3VT1708-2DC36-0AA0	RT18-32A	THQC 1 polo – 20 A o
4	ICM401C	3RT1044-1A siemens	3RU1146-4JB0	3VT1708-2DC36-0AA0	RT18-32A	THQC 1 polo – 20 A o

Tabla 5 Elementos que conforman los tableros activos de los pozos

2.2 Diseño de solución

Se realizaron visitas técnicas con el objetivo de comprender el funcionamiento del sistema hídrico de la Junta Administrativa de Agua Potable Regional Valdivia y evaluar la infraestructura existente. Estas visitas permitieron recopilar información clave para desarrollar un diseño óptimo como propuesta de solución al proyecto. Anteriormente, el monitoreo del nivel de agua en los pozos no se realizaba de manera efectiva, lo que ocasionaba que algunas bombas sumergibles se dañaran debido a que operaban en condiciones incorrectas, como al succionar lodo o aire. Esto perjudicaba su desempeño y provocaba fallas anticipadas.

El encendido de los pozos también se realizaba manualmente, de forma diaria, por un operador que debía trasladarse hasta cada uno para activar los tableros eléctricos correspondientes. La presión del sistema se verificaba mediante un manómetro instalado en el lugar, y su lectura se contrastaba con una bitácora de mediciones históricas, lo que generaba incertidumbre debido a la falta de datos actualizados en tiempo real.

Además, los pozos están ubicados en una zona rural donde no hay acceso a señal de telefonía móvil ni a internet, lo que representaba un desafío adicional para la operación y monitoreo eficiente del sistema hídrico. Este contexto destacó la necesidad de un sistema automatizado y centralizado que garantice un control confiable y continuo.



Ilustración 15 Tablero de control del pozo # 3 Amperaje

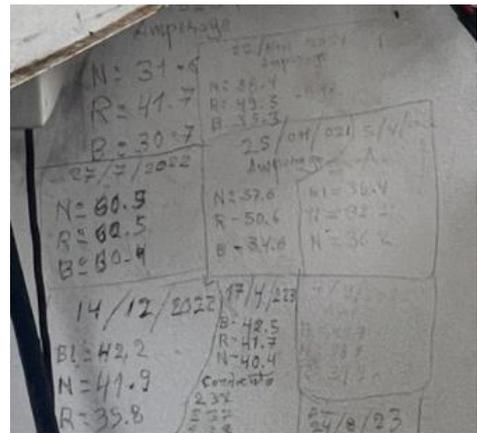


Ilustración 16 Registro de los datos de



Ilustración 17 Manómetro correspondiente al pozo # 4

La solución propuesta en este proyecto se centra en la simulación y diseño de un sistema automatizado para el monitoreo y control del sistema hídrico de la Junta Administrativa de Agua Potable Regional Valdivia, integrando sensores de nivel, presión y corriente. Considerando el contexto rural, caracterizado por la falta de señal y acceso a internet, se ha diseñado una solución integral que incluye la instalación de un sistema de internet de largo alcance utilizando antenas CPE, garantizando así la conectividad necesaria para el funcionamiento eficiente del sistema.

Los sensores estarán integrados al PLC LOGO! 8, el cual procesará los datos recolectados de manera eficiente. Este controlador estará conectado a las antenas CPE configuradas para operar en un esquema de comunicación punto a punto, permitiendo la transmisión de la información hacia un servidor central. Una vez en el servidor, los datos serán gestionados por el software Ignition, donde se centralizarán y se presentarán en tiempo real a través de una interfaz gráfica intuitiva, facilitando su análisis y monitoreo.

Esta solución proporciona un control eficiente y continuo, superando los desafíos propios del entorno rural. La incorporación de antenas CPE garantiza una conexión estable y de largo alcance, mientras que el uso del software Ignition permite gestionar alarmas, realizar análisis detallados y supervisar el sistema de manera remota. Esto asegura la optimización del manejo del recurso hídrico y facilita la detección temprana de fallas o anomalías en el sistema, mejorando su fiabilidad y eficiencia operativa.

2.2.1 Selección y datos técnicos de los equipos para la automatización del sistema

Para el diseño de este proyecto, se llevó a cabo una cuidadosa selección de los equipos necesarios para el proceso, con el objetivo de automatizar y monitorear de forma eficiente las bombas de agua de los pozos. La elección de estos equipos resultó clave para

garantizar un control eficiente del sistema. A continuación, se presenta una tabla que detalla las especificaciones técnicas de cada componente.

Producto	Descripción
LOGO 8! 24CE	Controlador lógico compacto diseñado para proyectos de automatización pequeños. Dispone de 8 DI, de las cuales 4 pueden configurarse como entradas analógicas, y 4 DO. Este modelo permite la conexión de módulos de expansión. Funciona con una alimentación de 12/24 V DC.
LOGO! DM8 24 Exp. mod., 4DI/4DO	Módulo de expansión, ofrece 4 DI y 4 DO. Funciona con una alimentación de 24 V DC,
LOGO! AM2 AQ, 2AQ	Módulo de expansión analógico, cuenta con 2 salidas analógicas que soportan señales de 0-10 V y 0/4-20 mA.
HPT604	Sonda de nivel de agua con diseño de acero inoxidable 316SS totalmente sellado para una vida útil superior a 10 años bajo agua. Compatible con interfaces 4-20 mA, RS-485, Modbus y HART, es sumergible (IP68) y adecuada para rangos de nivel de 0 m a 500 m.
SEN-86/SEN-87	Sensores de presión, su rango de presión va de -1 a 800 bar, con una precisión del 0.5% y estabilidad a largo plazo del 0.2%. Están diseñados para operar entre 0 °C y 125 °C. Tiene una salida que va de 4-20 mA.
CR4320	Tiene un transmisor de corriente de lazo alimentado de 2 hilos produce una corriente de salida calibrada de 4-20 mA CC directamente proporcional al valor promedio RMS de la corriente alterna de entrada.
HW-685	Módulo convertidor de corriente (4 a 20 mA) a voltaje (0-10V). Voltaje de Alimentación: 7 a 36V , alta inmunidad al ruido.

Tabla 6 Datos técnicos de los equipos para la automatización del sistema

Primero, se seleccionó el PLC LOGO 8 24 CE debido a sus múltiples ventajas. Este dispositivo destaca por su diseño compacto y su capacidad para gestionar hasta 8 entradas digitales, de las cuales 4 pueden configurarse como analógicas, brindando flexibilidad en diversas aplicaciones. Además, cuenta con un puerto Ethernet integrado que facilita la comunicación con otros equipos y sistemas, asegurando una integración eficiente en redes de automatización. También ofrece compatibilidad con módulos de expansión, lo que permite ampliar sus capacidades según las necesidades del proyecto. Por último, su software de programación, ¡LOGO! Soft Comfort, se caracteriza por ser altamente intuitivo, simplificando el desarrollo y la simulación de programas.

La incorporación de módulos de expansión resulta esencial para gestionar adecuadamente las entradas digitales, como las provenientes de selectores, así como las entradas analógicas utilizadas por los sensores.

Se seleccionó la sonda de nivel de agua sumergible debido a su diseño optimizado, que previene el riesgo de atascos dentro del pozo, asegurando un funcionamiento continuo y sin interrupciones. Fabricada en acero inoxidable 316SS y completamente sellada, ofrece una resistencia excepcional a la corrosión y una vida útil superior a 10 años en entornos sumergidos, lo que garantiza una alta confiabilidad a largo plazo. La sonda es compatible con protocolos de comunicación estándar como 4-20 mA, RS-485, Modbus y HART, lo que facilita su integración en sistemas de automatización y monitoreo remoto, permitiendo una gestión eficiente de los recursos hídricos. Su certificación IP68 asegura su resistencia en entornos exigentes, mientras que su rango operativo de más de 30 metros de profundidad la hace ideal para pozos de diversas dimensiones y configuraciones.

El sensor de presión SEN-86/SEN-87 fue seleccionado para la automatización de pozos de agua por su diseño compacto, que facilita la instalación, y su capacidad para operar en un amplio rango de presión de -1 a 800 bar. Este dispositivo destaca por su alta precisión del 0.5% y una estabilidad a largo plazo del 0.2%, asegurando mediciones confiables y consistentes. Su display integrado permite visualizar los valores de presión en tiempo real, mientras que su tecnología cerámica proporciona resistencia y durabilidad frente a rápidos picos de presión. Además, su relación costo-rendimiento lo convierte en una solución eficiente y accesible, ideal para proyectos de monitoreo y control en entornos exigentes.

Para garantizar que el motor se encuentre en óptimas condiciones de consumo de corriente, se ha considerado necesario añadir al sistema el sensor de corriente CR4320. Este sensor fue seleccionado debido a su salida de corriente de 4-20 mA, que es lineal y

proporcional al valor promedio RMS de la corriente alterna, lo que permite obtener mediciones precisas y estables. Su inmunidad a las variaciones de voltaje y carga asegura un rendimiento confiable incluso en condiciones eléctricas cambiantes.

Dado que en algunas casetas hay más pozos de agua que en otras, se eligió el módulo HW-685 para integrarlo al PLC en lugar de adquirir otro módulo de expansión. Este módulo convierte una señal de corriente de 4-20 mA a un rango de voltaje de 0-10V, lo cual es útil para conectar sensores industriales o sistemas de medición que requieren señales de voltaje. Además, su amplio rango de voltaje de alimentación (7-36V) ofrece flexibilidad para adaptarse a diferentes entornos, mientras que su alta inmunidad al ruido garantiza un funcionamiento estable incluso en aplicaciones industriales con interferencias electromagnéticas.

2.2.2 Descripción de elementos del tablero eléctrico

Para la parte de fuerza, los elementos utilizados en el diseño fueron tomados del tablero actual, ya que se encuentran en óptimas condiciones y pueden integrarse al nuevo sistema sin ningún inconveniente.

Producto	Descripción
3RT1044-1A	Es un contactor trifásico con clasificación IEC, diseñado para el control de motores eléctricos. Su potencia nominal es de 25 HP a 230V y 50 HP a 460V.
3RU1146-4JB0	Es un relé de sobrecarga térmica con clasificación IEC, diseñado para proteger motores trifásicos. Los relés de sobrecarga SIRIUS ofrecen una protección confiable contra sobrecargas, asimetrías de fase y fallos de fase, asegurando el correcto funcionamiento y la durabilidad de las cargas.
3VT1708-2DC36-0AA0	Es un interruptor de protección termomagnético para protección de circuitos eléctricos, utilizado para evitar daños por sobrecargas y cortocircuitos en sistemas de distribución eléctrica.
Riel DIN	Riel para instalación del plc logo y los módulos de expansión
Canaleta	Conducto de cables con tapa, PVC rígido auto extingible, Longitud: 2m, ranura: 4mm
Borneras	Borne de paso para las conexiones eléctricas en tableros de distribución y control.

Pulsadores	Para el botón de confirmación de inicio manual y de los paros de emergencias
Selectora 2 vías	Para seleccionar si el sistema iniciar en automático y manual
Base Fusibles RT18-32A	Encargado de la protección de los componentes
Luces piloto	Indican en estado de operación de la Bomba
Protector Trifásico ICM	Monitor de línea trifásico que protege contra la pérdida de fase, reversión de fase y desbalance de fase.
Cables de Alimentación la Bomba	Cable de cobre AWG #8
Cables de sistema de control	Cable de cobre AWG #14
Cable de Tierra	Cable de cobre AWG #10

Tabla 7 Elementos del tablero eléctrico

El 3RT1044-1A es un contactor de potencia utilizado para abrir o cerrar el circuito de alimentación del motor. Los contactores son dispositivos electromagnéticos que pueden ser controlados mediante señales de baja potencia, como las proporcionadas por un PLC. A través de estas señales, el PLC puede activar o desactivar el contactor, lo que permite controlar el encendido o apagado del motor de manera precisa y eficiente.

El 3RU1146-4JB0 es un relé térmico diseñado para proteger el motor contra sobrecargas. Si el motor excede la corriente para la que ha sido diseñado, el relé térmico detecta el exceso de temperatura y desconecta el circuito, evitando así posibles daños al motor debido al sobrecalentamiento.

El 3VT1708-2DC36-0AA0 se emplea para proteger el sistema contra cortocircuitos y sobrecargas graves. Se instala como protección principal al inicio del circuito, antes que los demás componentes. En caso de un cortocircuito o una sobrecarga crítica, este interruptor desconectará el circuito de manera inmediata, evitando daños mayores en el sistema.

2.2.3 Selección y descripción de los elementos para la comunicación

Dado que este proyecto se encuentra en una zona rural y los pozos están distantes de la sede de administración, se implementarán antenas de internet y un switch para poder

obtener datos en tiempo real de los pozos sin necesidad de desplazarse hasta el sitio. Esto permitirá una supervisión remota eficiente y continua de las condiciones de los pozos.

Producto	Descripción
Antena CPE	Su diseño parabólico y una ganancia de 23 dB permiten transmitir la señal hasta una distancia de 25 km. Además, incluye múltiples modos de configuración y cuenta con un grado de protección IP65, lo que lo hace ideal para su uso en exteriores, resistiendo condiciones climáticas adversas.
Switch TP-Link LS105G serie LiteWave	Capacidad de conmutación de 10 Gbps, con 5 puertos RJ-45 incluidos.
Postes en fibra de vidrio	Permitirán establecer una línea de visión clara entre las antenas, asegurando una comunicación efectiva.
Breaker de Alimentación 2P-15A	Habilita la alimentación para el sistema de antenas
Tomacorriente	Punto de conexión para las antenas
Caja Para Breaker Nb1 De 2 Polos	Protección de los breakers de alimentación
Cables eléctricos	THHN/THW-LS, calibre 14 AWG (longitud 10 metros)
Cables de red	STP Cat6 Outdoor, longitud 15 metros
Tubería PVC	Diámetro 3/4" , longitud 12 metros (enterrada y subida al poste).
Reductores reversibles	Evita entrada de agua en los extremos del tubo.
Abrazaderas	UV resistentes, mínimo 8 unidades (para fijar la tubería al poste)
Supresor de picos Forza	Protección para los equipos contra picos de voltaje en la línea de alimentación.

Tabla 8 Equipos para la comunicación

La elección de esta antena Wi-Fi se fundamenta en su capacidad para cubrir hasta 25 kilómetros, gracias a su diseño parabólico y una ganancia de 23 dBi, lo que permite concentrar la señal y optimizar su potencia. Al operar en la banda de 5 GHz, minimiza las interferencias, lo que la hace ideal para las actividades del proyecto. Además, soporta IEEE 802.11ac a 867 Mbps, lo que asegura una alta velocidad de transferencia de datos. Se utilizará una configuración punto a punto para transmitir la señal de internet desde la sede hacia las casetas que albergan los pozos. Una vez que se establezca la conexión en las casetas, será necesario incorporar un switch para poder conectar la antena al PLC y

garantizar la conectividad en esas ubicaciones. A continuación, se muestra la ubicación de las antenas por caseta y la altura aproximada de cada pilar para cada punto.

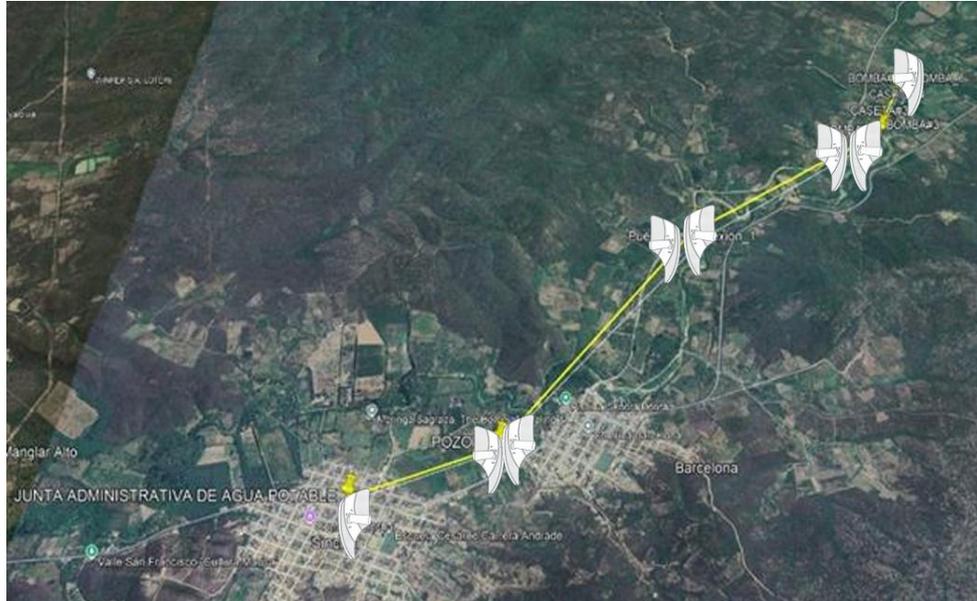


Ilustración 18 Ubicación de las antenas por caseta

Punto de referencia	Altura aprox. del pilar en [m]
Junta de Agua	8
Caseta 5	8
Punto de conexión 1	8
Caseta 3	12
Caseta 4	8

Tabla 9 Altura aproximada de los pilares en los puntos establecidos para la comunicación

En primer lugar, la antena emisora ubicada en la sede de administración es responsable de enviar la señal al siguiente punto, la caseta 5, donde se instala una antena receptora. Esta antena receptora se conecta a un switch, el cual también conecta una segunda antena configurada como emisora para retransmitir la señal. Debido a un relieve que impide la comunicación directa con la caseta 3, se emplea un punto intermedio para mantener la continuidad de la señal. En la caseta 3, se instala nuevamente una antena receptora y una emisora. Finalmente, la antena emisora en la caseta 3 transmite la señal al último punto,

la caseta 4, donde se encuentran dos motores. Este diseño asegura una conexión continua, estable y eficiente entre todos los puntos del sistema.

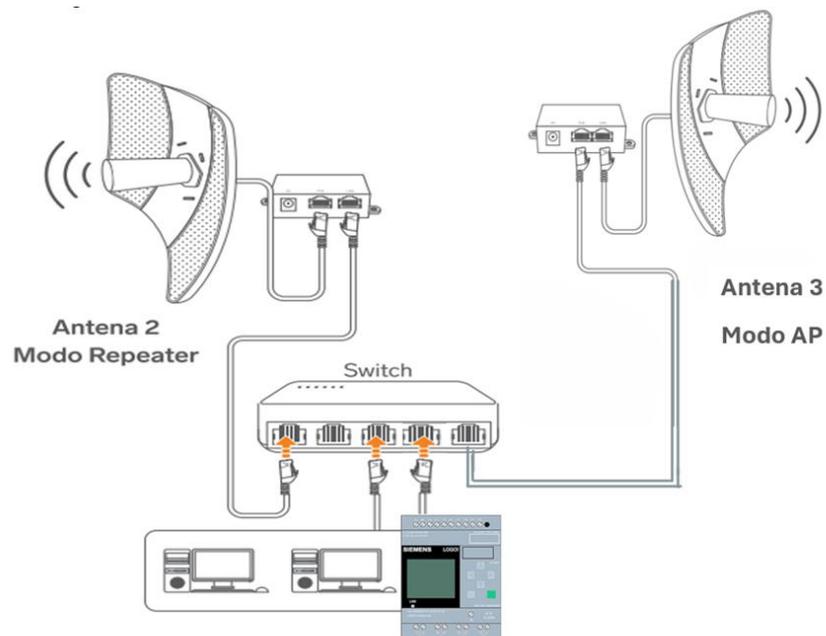


Ilustración 19 Esquema de conexión de las antenas en las casetas cuando son el punto emisor y receptor.[19]

Configuración de las antenas en modo Ap + Cliente

1. Se deben configurar dos equipos con los ajustes de fábrica, asegurándose de que estén direccionados entre sí y alineados con línea de vista directa en los lugares donde serán instalados.

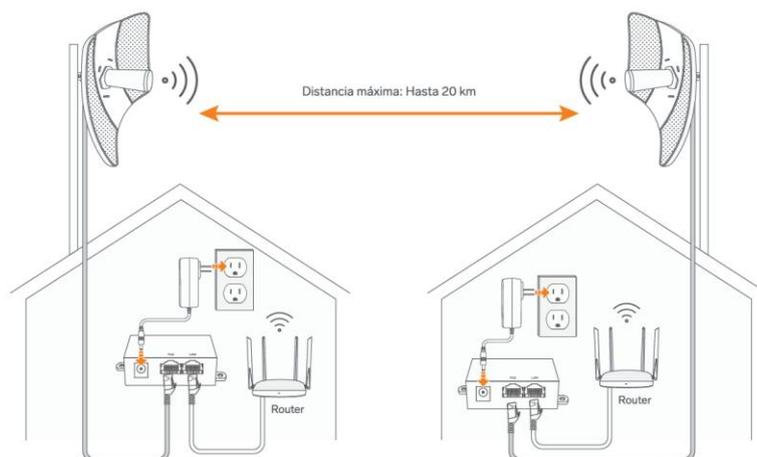


Ilustración 20 Línea de vista de las antenas.[19]

2. La antena repetidora ubicada en la sede de administración debe estar conectada al switch, el cual, a su vez, debe tener el módem con acceso a internet conectado al mismo switch para garantizar la comunicación adecuada.

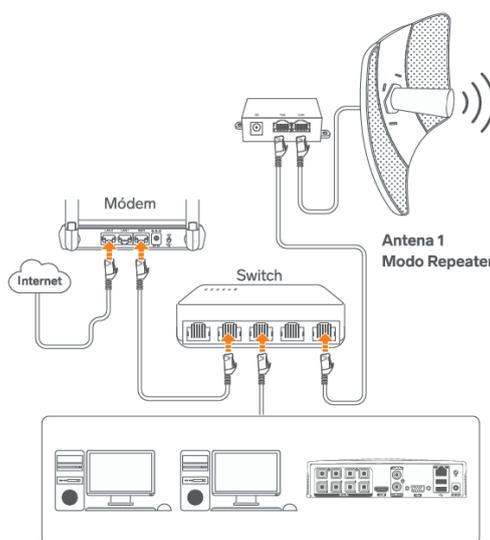


Ilustración 21 Conexión de la primera Antena.[19]

3. Es necesario acceder a la interfaz de configuración ingresando la dirección IP (por ejemplo, 192.168.2.1) en un navegador web. La dirección IP específica de cada antena se encuentra detallada en las instrucciones incluidas en su embalaje.

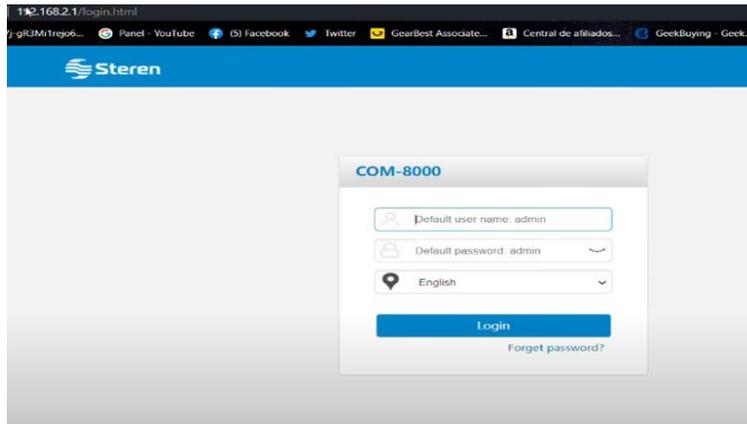


Ilustración 22 Interfaz gráfica para la configuración de la antena en modo AP[19]

4. Ingrese el nombre de usuario y la contraseña predeterminados, generalmente configurados como "admin".
5. Seleccione el modo de operación AP.

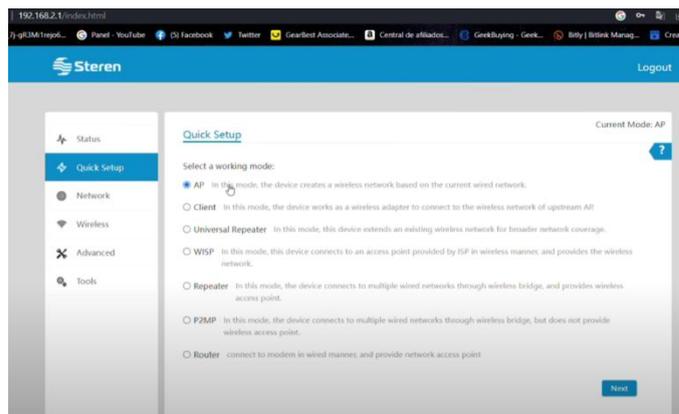


Ilustración 23 Quick Setup de la configuración de la Antena.

6. A continuación, se realiza la configuración de red.

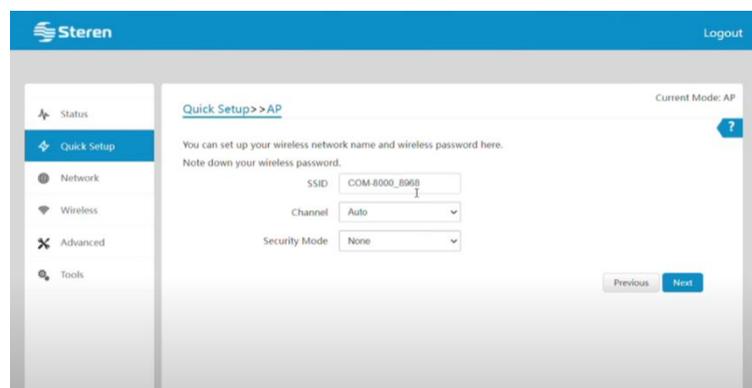


Ilustración 24 Configuración de nombre de punto de acceso y contraseña

7. Para la antena receptora, es necesario realizar la configuración inicial utilizando una computadora para establecer la conexión en modo cliente. Luego, se debe conectar la antena a un switch Ethernet, que permitirá la comunicación con el PLC LOGO, tal como se muestra en la siguiente imagen.

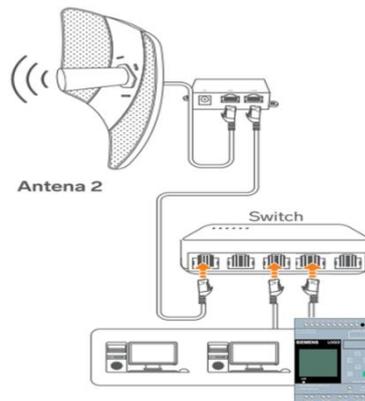


Ilustración 25 Antena receptora[19]

8. Una vez realizada la conexión, se conecta una computadora al switch de la antena #2 y se accede a la dirección IP 192.168.2.1.

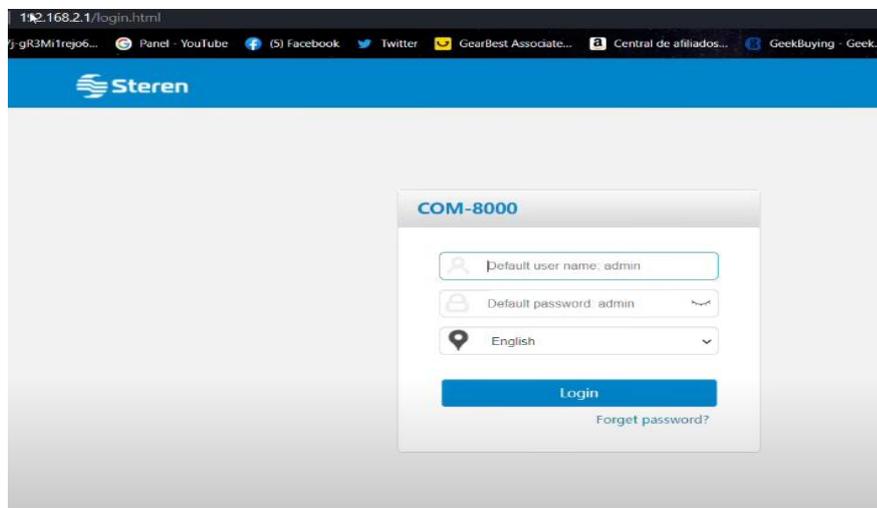


Ilustración 26 Interfaz gráfica para la configuración de la antena en modo cliente

9. Seleccionar: Cliente

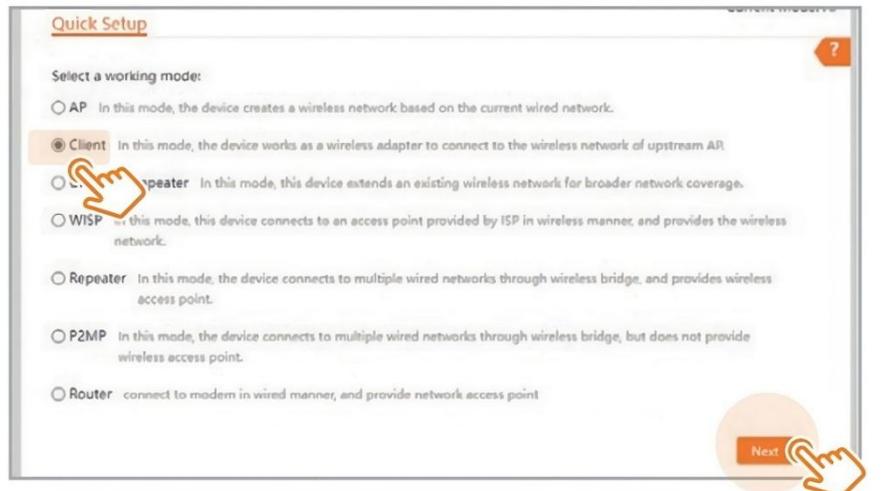


Ilustración 27 Quick Setup para configuración en modo cliente[19]

10. Seleccione el Acces Point de la Antena

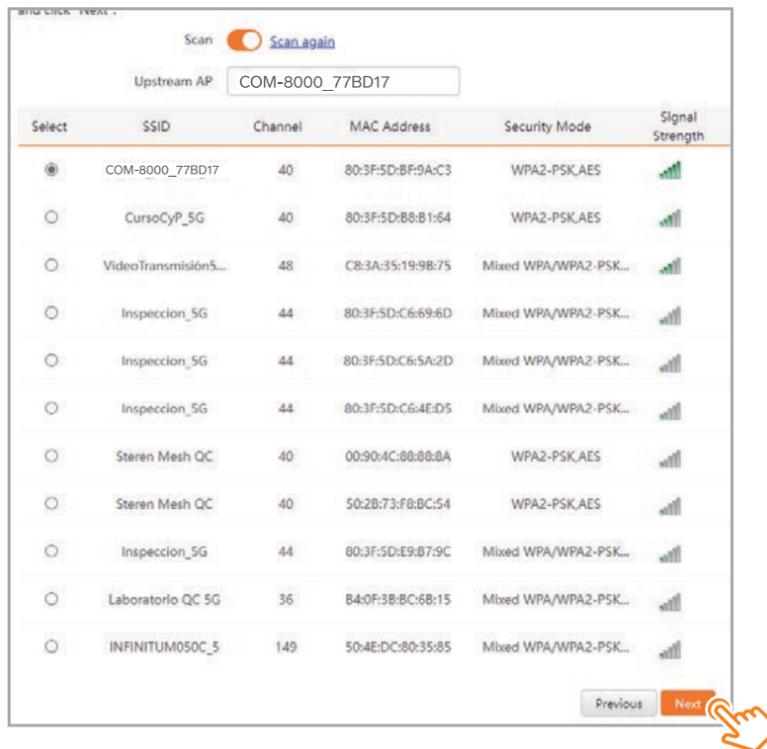


Ilustración 28 Ejemplos de acces point[19]

2.3 Diagrama de flujo del sistema

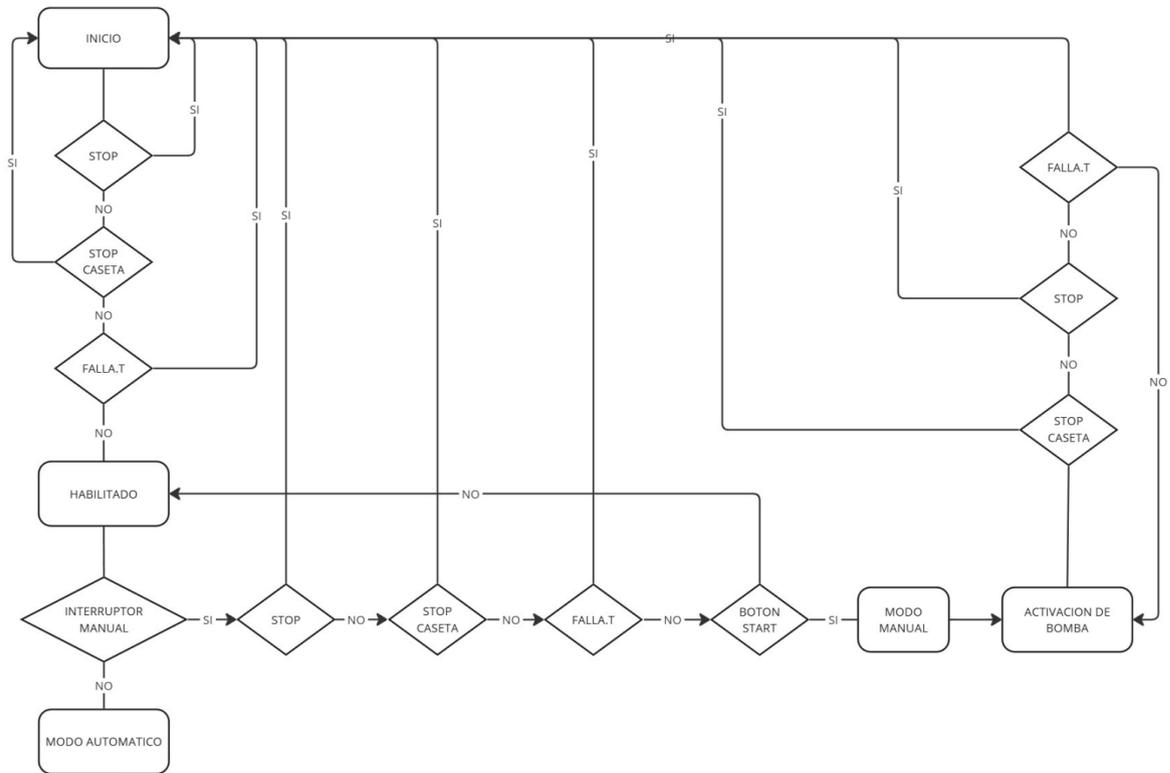


Ilustración 29 Diagrama de flujo del sistema en modo manual

La ilustración anterior muestra el funcionamiento del sistema en modo manual. Cada caseta está equipada con un botón de paro de emergencia que detiene simultáneamente todas las bombas, además de botones de parada individual para cada motor, lo que permite su desactivación específica durante tareas de mantenimiento. Cuando no hay un paro de emergencia activado ni una falla térmica en el motor, el sistema está listo para iniciar. Posteriormente, se verifica la posición del selector de modo. En el modo manual, el sistema requiere que se accione el botón de confirmación para encender el motor y enviar agua al reservorio.

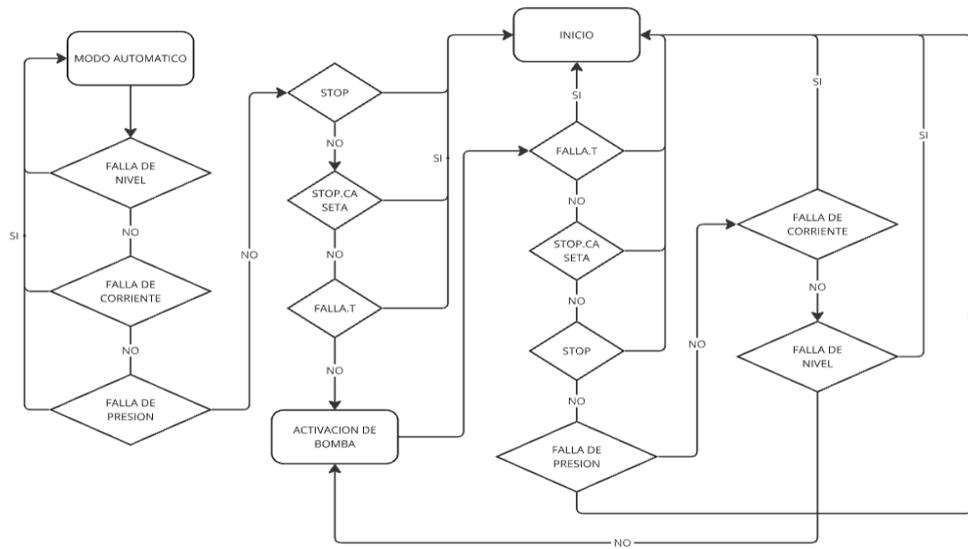


Ilustración 30 Diagrama de flujo del sistema en modo automático

Si el interruptor no está en modo manual, el sistema pasará al modo automático. En este estado, el motor se controla según el nivel de agua, corriente y presión. Si los niveles caen por debajo del límite establecido, el motor se apagará, y cuando se restablezca a un valor óptimo, se encenderá automáticamente. Este diseño garantiza un control seguro, eficiente y supervisado de manera remota a través del sistema SCADA.

2.4 Programación del PLC

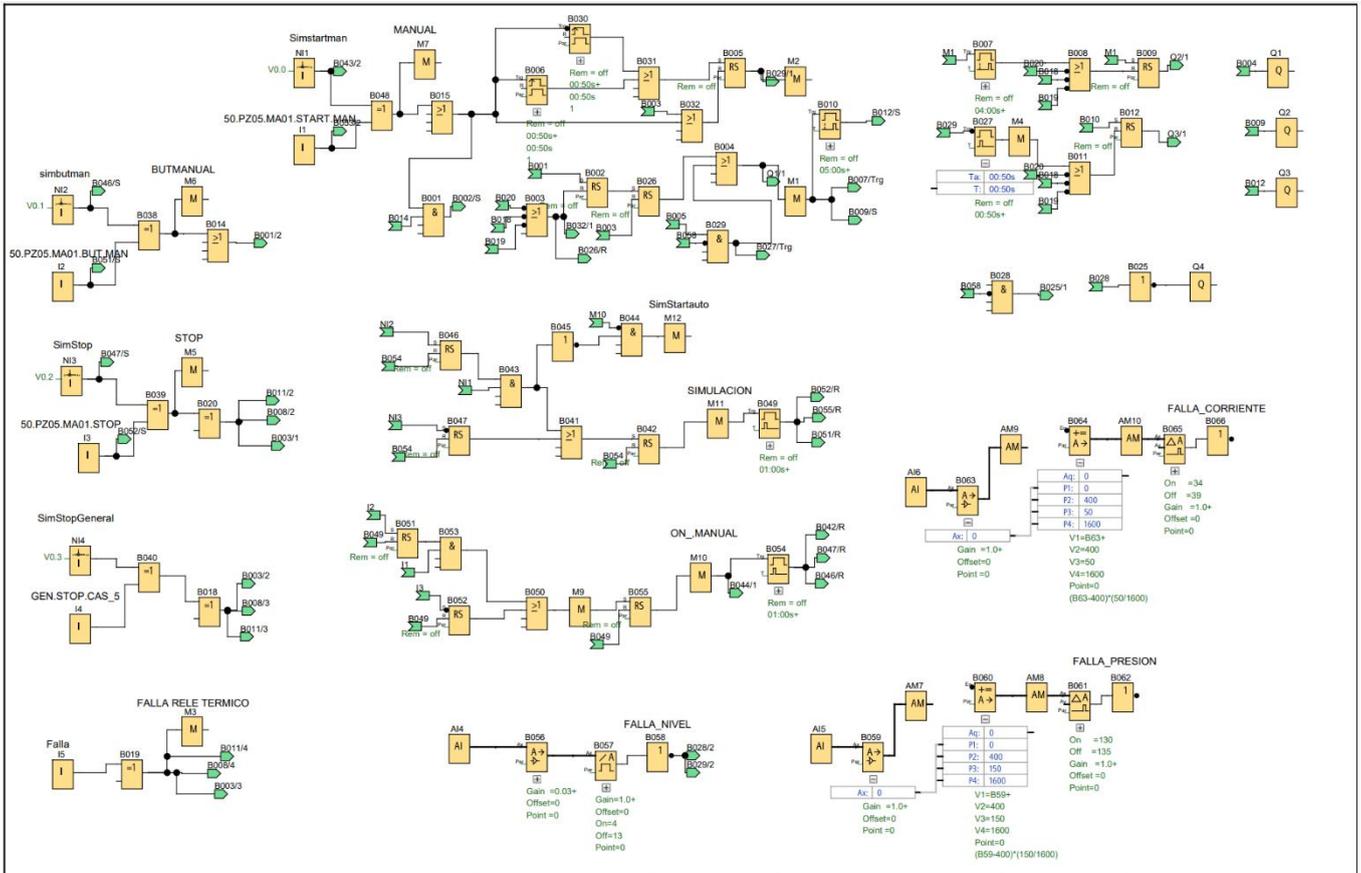


Ilustración 31 programación en Logo Confort

Se usó una combinación de bloques lógicos, temporizadores y comparadores para implementar el control automático y manual de un sistema. Incluye entradas físicas conectadas directamente a sensores y dispositivos en campo, así como entradas de red que permiten la comunicación con un sistema SCADA para el monitoreo y supervisión remota. En el modo manual, los operadores pueden iniciar y detener el sistema mediante pulsadores específicos, mientras que, en el modo automático, el sistema sigue una secuencia predefinida utilizando temporizadores y señales de entrada. Además, se han implementado lógicas de seguridad que detectan fallos térmicos, de nivel, de corriente y de presión, activando alarmas o deteniendo el sistema en caso de anomalías. Las señales provenientes de las entradas físicas y de red permiten registrar y monitorear las

condiciones del proceso en tiempo real a través del SCADA, asegurando una operación segura y eficiente. Asimismo, el diseño incluye funciones de simulación para pruebas y diagnóstico del sistema sin interferir en su operación normal, proporcionando un control robusto y flexible.

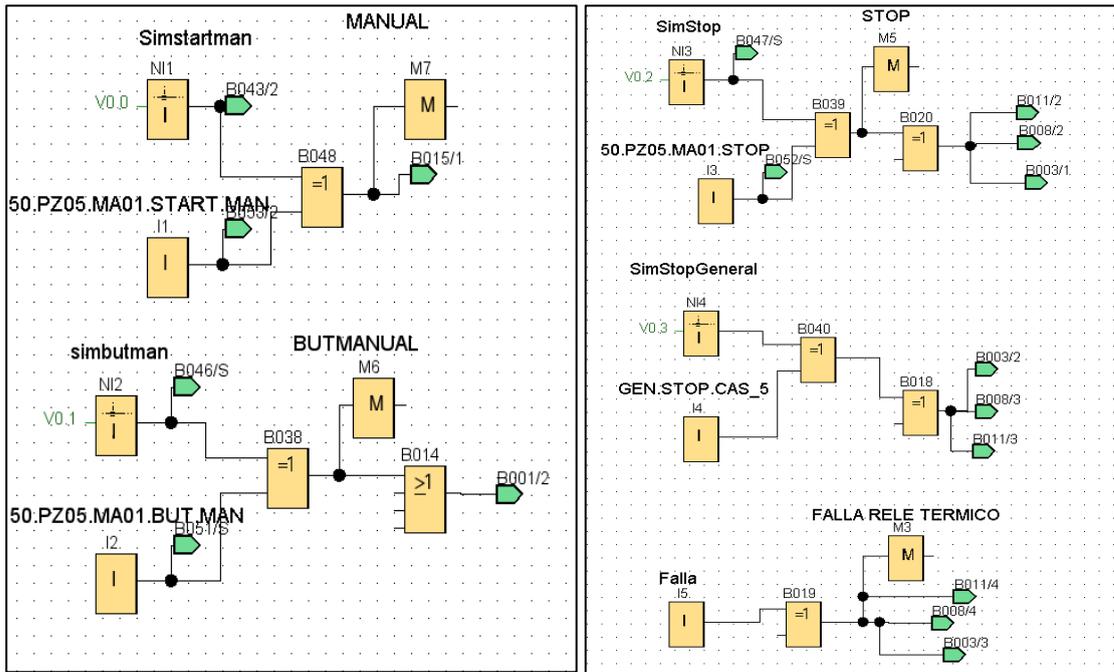


Ilustración 32 Entradas digitales y de red

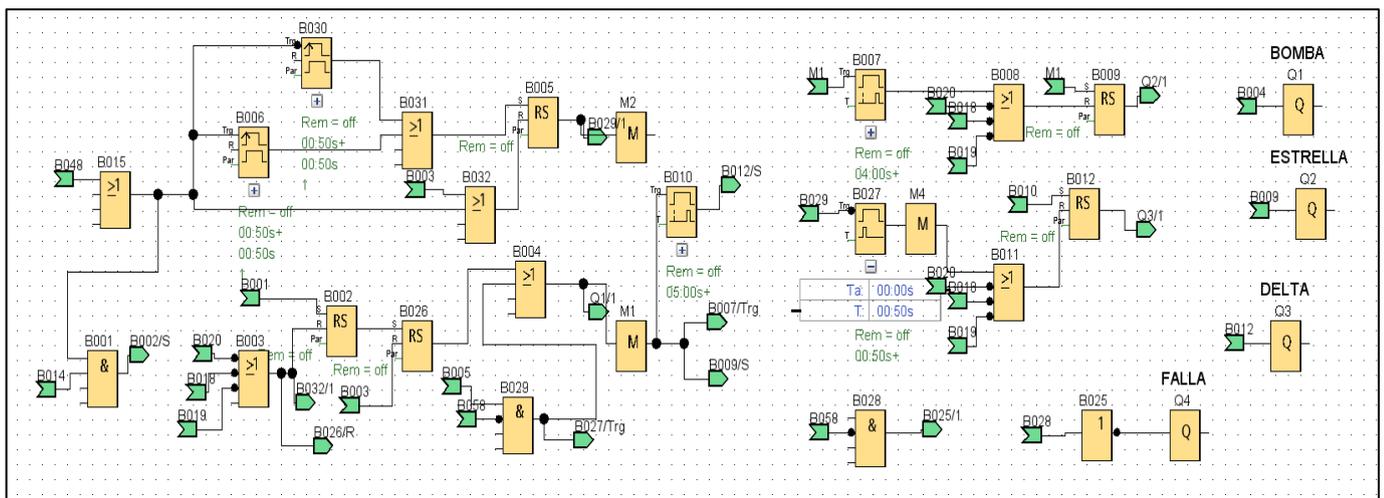


Ilustración 33 Programación del sistema de control

Este circuito gestiona los modos manual y automático para la operación de un motor con una secuencia estrella-delta controlada mediante temporizadores. En el modo manual, la activación se realiza a través de una botonera, manteniéndose activa mientras el modo manual está seleccionado. En el modo automático, el sistema se activa automáticamente siempre que el modo manual esté desactivado. En ambos casos, la secuencia de arranque estrella-delta se ejecuta mediante temporizadores preconfigurados. Además, el sistema incluye lógica de protección que detiene ambos modos si se detectan valores fuera de rango en las entradas configuradas, garantizando la seguridad y estabilidad del proceso.

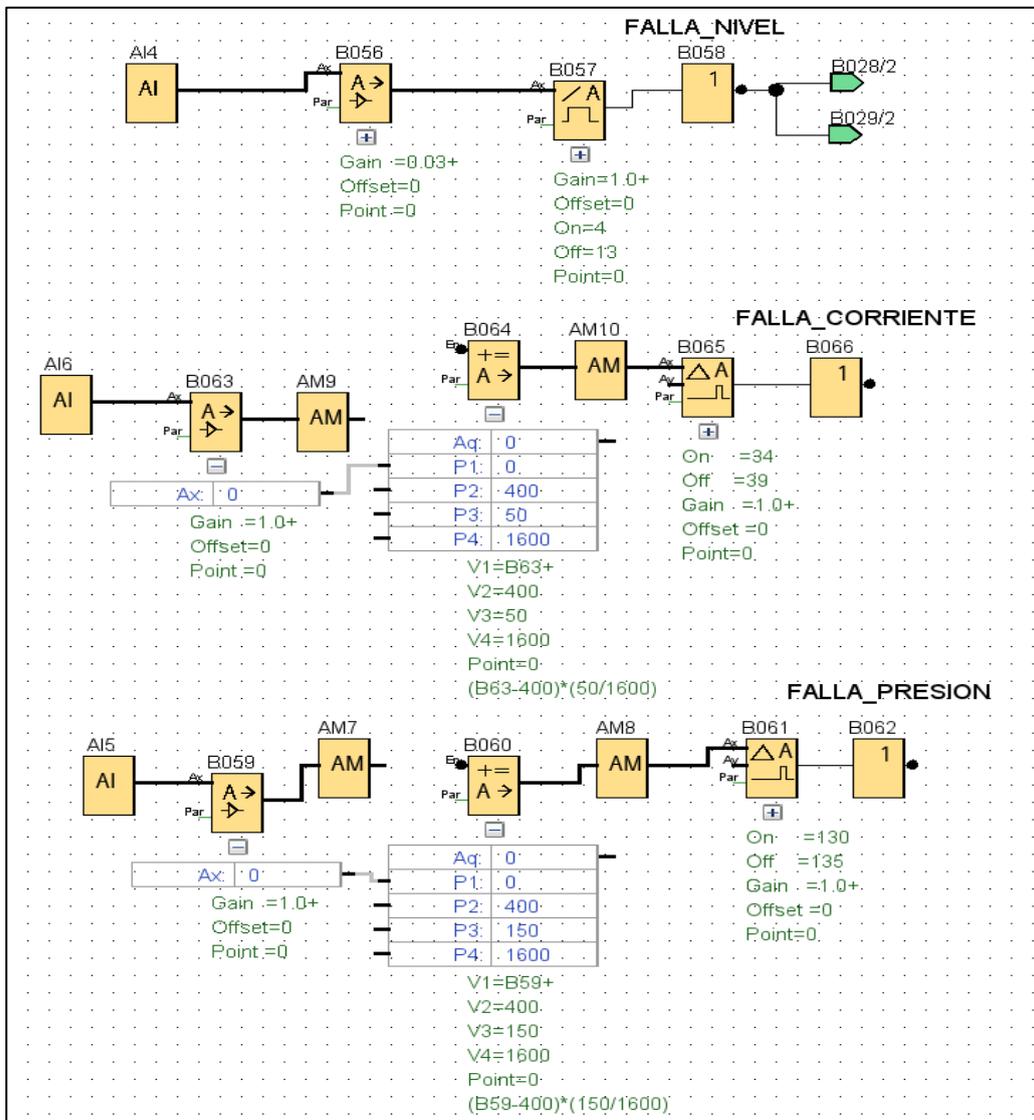


Ilustración 34 Entradas analógicas del sistema

Las salidas (Q1, Q2, y Q3) controlan la bomba, el arranque en estrella y el cambio a delta, respectivamente.

El programa controla fallas basadas en señales analógicas provenientes de sensores: el nivel (AI4) es una entrada de 0-10V, mientras que la corriente (AI6) y la presión (AI5) son entradas de 4-20mA. Cada sección ajusta y escala las señales según los rangos definidos mediante bloques de ganancia y límites de comparación, transformándolas en señales digitales que determinan si se genera una alarma por exceder los valores establecidos. Las salidas digitales activan indicadores o alarmas cuando las condiciones de nivel, corriente o presión están fuera de los límites permitidos.

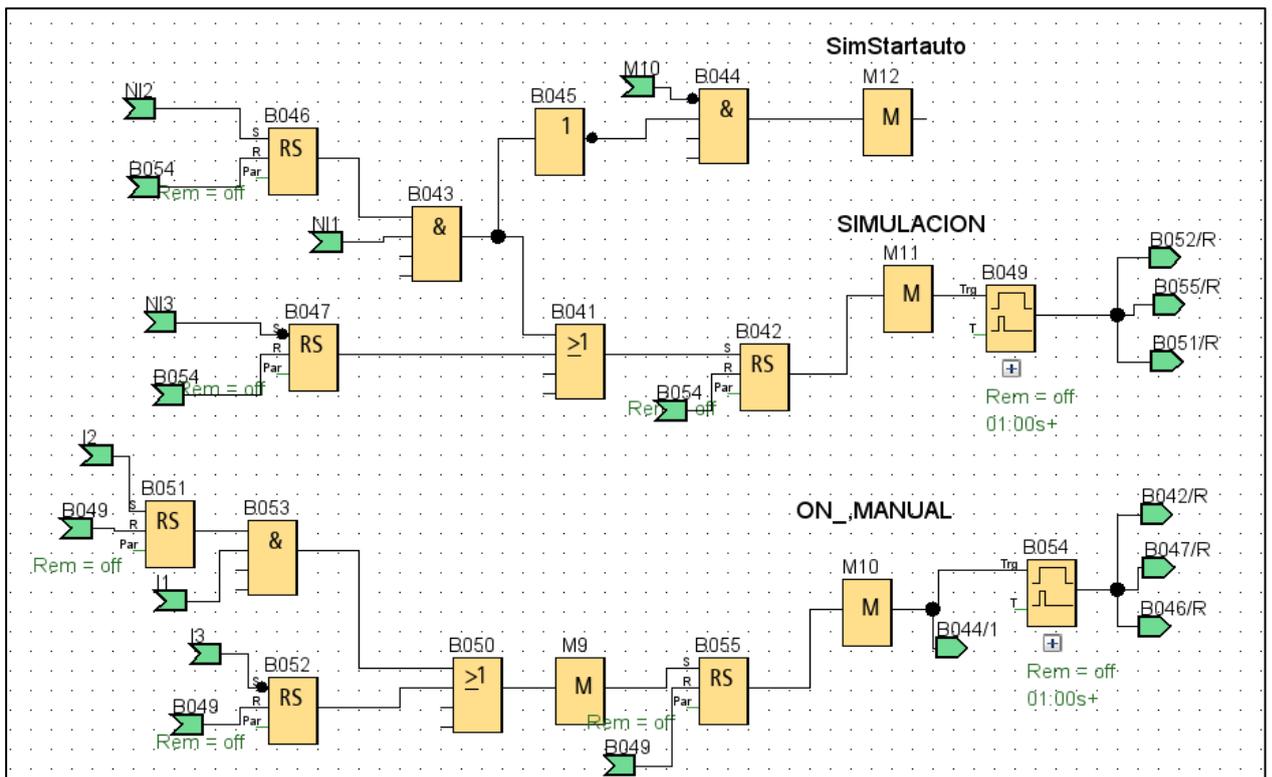


Ilustración 35 Marcas de verificación del estado de ciertas señales del sistema

Este bloque de programación organiza las marcas que indican el modo de operación de una bomba, diferenciando entre manual y automático, y entre simulación o estado físico. Utiliza bloques RS (Set-Reset), compuertas lógicas y generadores de impulsos para

realizar los resets necesarios. En el modo automático, activa la marca correspondiente cuando se cumplen las condiciones de operación en simulación o físico.

En el modo de simulación, una marca específica indica que el sistema está siendo controlado desde las botoneras del SCADA, sin intervención física directa en el equipo.

Por último, en el modo manual, se activa una marca que determina si el funcionamiento es físico o simulado, permitiendo identificar claramente el estado operativo de la bomba en todo momento.

2.5 Diseño y programación de la interfaz gráfica

La interfaz gráfica comienza con una ventana de inicio que lleva el nombre de la Junta Administrativa de Agua Potable. En la parte superior, se encuentra una pequeña ventana que muestra las alarmas activas, así como la fecha y la hora actuales. En el lado izquierdo, se presenta un índice que permite acceder a diferentes pantallas. Una de ellas es la sección de gestión de sistemas, donde se puede monitorear o controlar remotamente los pozos de agua. A continuación, se encuentra la sección de gráficos, donde se visualizan las gráficas de niveles de agua, presión y corriente de cada pozo. Además, hay una sección de gráficas generales, que permite hacer un seguimiento histórico de las variables, con la opción de filtrar por horas, días, semanas, etc. Por último, se incluye una pestaña de alarmas, que muestra tanto las alarmas actuales como las desactivadas.



Ilustración 36 Interfaz gráfica del SCADA

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

En este proyecto se ha desarrollado un diseño integral para el sistema de monitoreo y control de pozos de agua, que combina la programación en LOGO! Soft Comfort como el cerebro del sistema. Este controlador se encarga de gestionar el encendido y apagado de las bombas, así como de detectar y manejar las fallas presentes en el sistema. Además, se han diseñado interfaces interactivas que proporcionan información clave para el monitoreo, control, generación de alarmas y visualización de gráficos, facilitando el análisis detallado cuando sea necesario. Este capítulo detalla las simulaciones realizadas para verificar el correcto funcionamiento del sistema, incluyendo un análisis de los resultados obtenidos. También se presentan comparaciones con el sistema manual previamente utilizado por la empresa, resaltando las mejoras logradas en términos de eficiencia y precisión.

3.1 Pruebas realizadas

3.1.1 Pruebas de funcionamiento de la programación del sistema en simulación

Se tomará como referencia el Pozo 3. Al iniciar el sistema, los bloques de programación activos se visualizarán en color rojo, mientras que los bloques inactivos aparecerán en color azul, indicando que aún no están ejecutando ninguna función en el sistema. Como se observa, el sistema comienza en modo manual, operando de forma local y no remota. En la pantalla del SCADA, dentro de la sección de monitoreo, se mostrará claramente el estado actual del motor, que en este caso corresponde al modo manual.

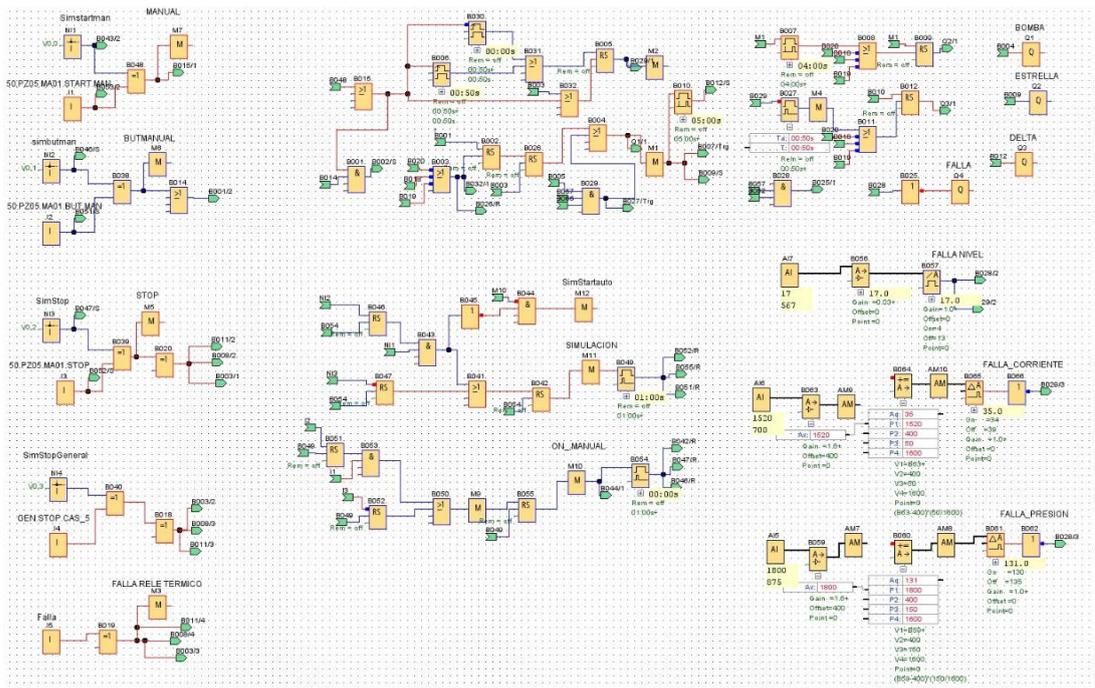


Ilustración 37 Simulación de la programación en modo Manual

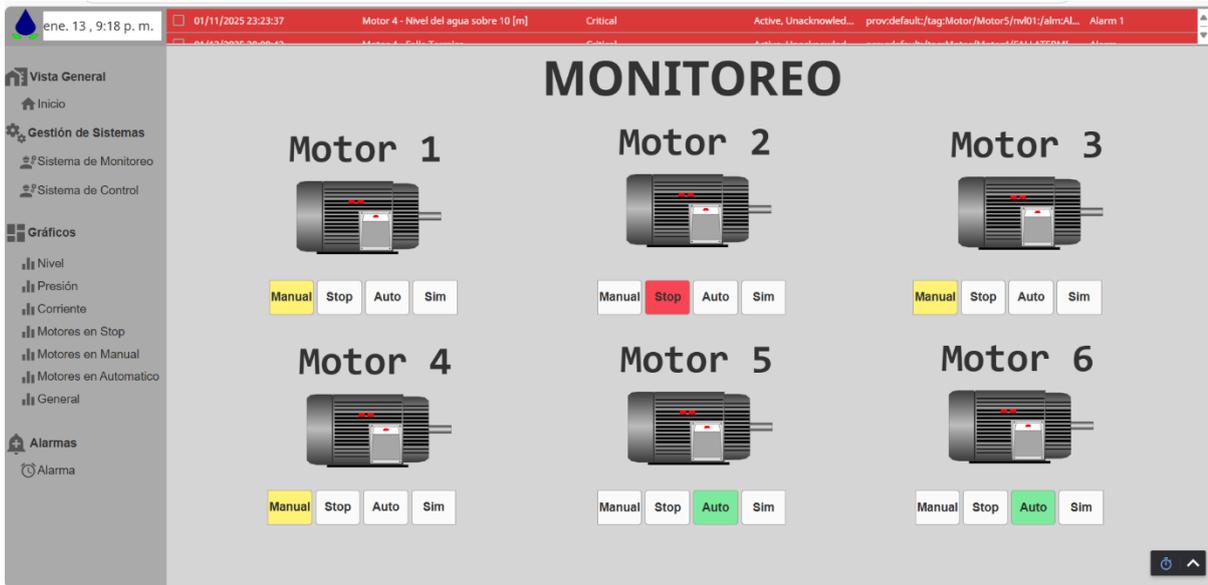


Ilustración 38 Visualización del estado operativo de los motores en la interfaz de monitoreo del SCADA

Para visualizar los valores registrados por los sensores de presión, corriente o nivel de agua, simplemente se debe hacer clic sobre el motor correspondiente en la interfaz. Esto abrirá un popup que mostrará información detallada, incluyendo los datos de los sensores y a qué caseta pertenece el motor, proporcionando un acceso rápido y claro a la información relevante.

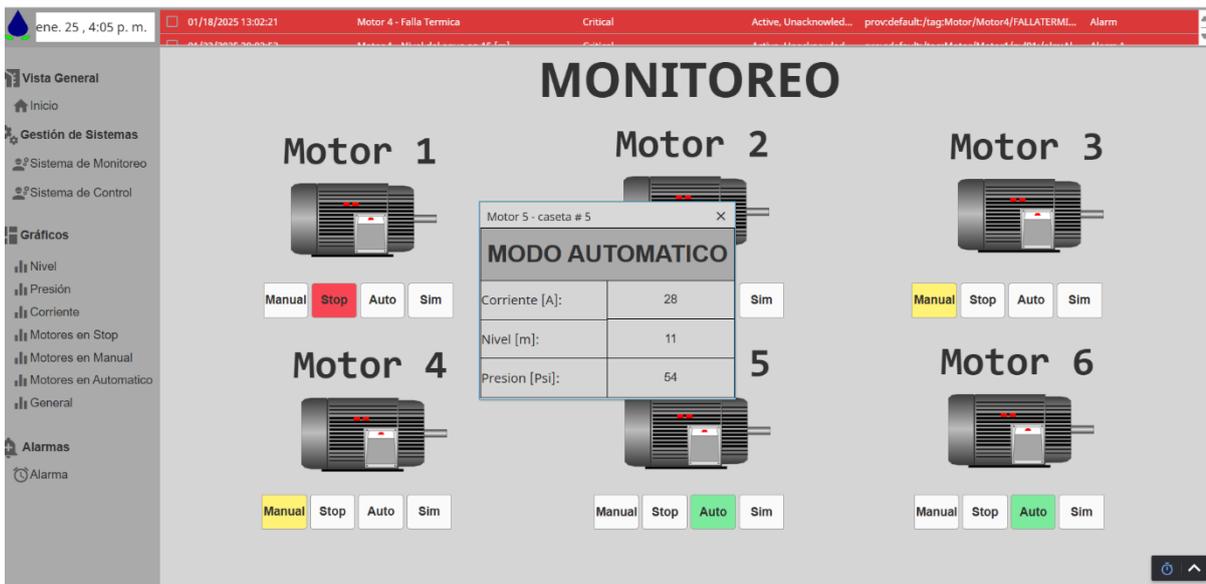


Ilustración 39 ventana emergente del sistema que muestra los valores de los sensores

En modo manual, el sistema no regula automáticamente el encendido o apagado de la bomba en función del nivel de agua. Sin embargo, si el nivel de agua se encuentra fuera del rango establecido, se genera una alerta que es enviada al SCADA. Esto permite que el operador tome medidas correctivas, ya sea activando o desactivando la bomba de forma remota desde el SCADA o directamente de manera manual en el sitio, según sea necesario. En este caso, el PLC envió una alerta indicando un nivel de agua de 15 metros, lo que significa que la bomba está apagada y no ha enviado agua al reservorio, provocando que este no se llene. Ante esta situación, el operador deberá encender la bomba de manera remota o de manera manual para restablecer el suministro.

Active Time	Display Path	Priority	State	Source	Name
01/11/2025 23:23:37	Motor 4 - Nivel del agua sobre 10 [m]	Critical	Active, Unacknowledged...	prov.default:/tag/Motor/Motor5/nv01:/alm:Ala...	Alarm 1
01/13/2025 21:28:07	Motor 1 - Nivel del agua en 15 [m]	Critical	Active, Unacknowledged...	prov.default:/tag/Motor/Motor1/nv01:/alm:Ala...	Alarm 1
01/13/2025 21:28:07	Motor 1 - Presión Baja [Psi]	Critical	Active, Unacknowledged...	prov.default:/tag/Motor/Motor1/ps01:/alm:Ala...	Alarm 1
01/13/2025 20:08:42	Motor 4 - Falla Termica	Critical	Active, Unacknowledged...	prov.default:/tag/Motor/Motor4/FALLATERMIC...	Alarm
01/11/2025 23:23:37	Motor 2 - Presión Baja [Psi]	Critical	Active, Unacknowledged...	prov.default:/tag/Motor/Motor2/ps01:/alm:Ala...	Alarm
01/11/2025 23:23:37	Motor 2 - Presión Alta [Psi]	Critical	Active, Unacknowledged...	prov.default:/tag/Motor/Motor2/ps01:/alm:Ala...	Alarm 1
01/11/2025 23:23:37	Motor 6 - Nivel del agua sobre 10 [m]	Critical	Active, Unacknowledged...	prov.default:/tag/Motor/Motor6/nv01:/alm:Ala...	Alarm 1
01/11/2025 23:23:37	Motor 3 - Presión Baja [Psi]	Critical	Active, Unacknowledged...	prov.default:/tag/Motor/Motor3/ps01:/alm:Ala...	Alarm
01/11/2025 23:23:37	Motor 3 - Nivel del agua en 16[m]	Critical	Active, Unacknowledged...	prov.default:/tag/Motor/Motor3/nv01:/alm:Ala...	Alarm 1
01/11/2025 23:23:37	Motor 4 - Presión Baja [Psi]	Critical	Active, Unacknowledged...	prov.default:/tag/Motor/Motor5/ps01:/alm:Ala...	Alarm

Ilustración 40 Pantalla de alarmas actuales del sistema

Cuando una alarma ha sido reconocida o corregida, cambia a un color gris. En esta pantalla de alarmas, también es posible visualizar las alarmas generadas previamente en el sistema.

Active Time	Display Path	Priority	State	Source	Name
01/11/2025 23:23:37	Motor 4 - Nivel del agua debajo de 3 [m]	Critical	Cleared, Acknowl...	prov.default:/tag/Motor/Motor4/nv01:...	Alarm
01/11/2025 23:23:37	Motor 2 - Presión Alta [Psi]	Critical	Cleared, Acknowl...	prov.default:/tag/Motor/Motor2/ps01:/...	Alarm 1
01/11/2025 23:23:37	Motor 2 - Nivel de agua en 13 [m]	Critical	Cleared, Acknowl...	prov.default:/tag/Motor/Motor2/nv01:...	Alarm 1
01/11/2025 23:23:37	Motor 2 - Nivel de agua en 3 [m]	Critical	Cleared, Acknowl...	prov.default:/tag/Motor/Motor2/nv01:...	Alarm
01/11/2025 23:23:37	Motor 1 - Falla Termica	Critical	Cleared, Acknowl...	prov.default:/tag/Motor/Motor1/FALLA...	Alarm
01/11/2025 23:23:37	Motor 1 - Presión en 133 [psi]	Critical	Cleared, Acknowl...	prov.default:/tag/Motor/Motor1/ps01:/...	Alarm 1
01/11/2025 23:23:37	Motor 6 - Falla Termica	Critical	Cleared, Acknowl...	prov.default:/tag/Motor/Motor6/FALLA...	Alarm
01/11/2025 23:23:37	Motor 6 - Presión Baja [Psi]	Critical	Cleared, Acknowl...	prov.default:/tag/Motor/Motor6/ps01:/...	Alarm
01/11/2025 23:23:37	Motor 6 - Nivel del agua debajo de 3 [m]	Critical	Cleared, Acknowl...	prov.default:/tag/Motor/Motor6/nv01:...	Alarm
01/11/2025 23:23:37	Motor 3 - Falla Termica	Critical	Cleared, Acknowl...	prov.default:/tag/Motor/Motor3/FALLA...	Alarm
01/11/2025 23:23:37	Motor 3 - Presión Alta [Psi]	Critical	Cleared, Acknowl...	prov.default:/tag/Motor/Motor3/ps01:/...	Alarm 1
01/11/2025 23:23:37	Motor 3 - Nivel del agua en 3[m]	Critical	Cleared, Acknowl...	prov.default:/tag/Motor/Motor3/nv01:...	Alarm
01/11/2025 23:23:37	Motor 4 - Presión Alta [Psi]	Critical	Cleared, Acknowl...	prov.default:/tag/Motor/Motor5/ps01:/...	Alarm 1
01/11/2025 23:23:37	Motor 5 - Nivel del agua debajo de 3 [m]	Critical	Cleared, Acknowl...	prov.default:/tag/Motor/Motor5/nv01:...	Alarm
01/11/2025 23:23:37	Motor 4 - Presión Baja [psi]	Critical	Cleared, Acknowl...	prov.default:/tag/Motor/Motor4/ps01:/...	Alarm 1
01/11/2025 23:23:37	Motor 4 - Presión Baja [psi]	Critical	Cleared, Acknowl...	prov.default:/tag/Motor/Motor4/ps01:/...	Alarm

Ilustración 41 Registro de alarmas previamente corregidas

Además, nuestro sistema permite monitorear diversos parámetros, como el consumo de corriente del motor, la presión, los niveles de agua del pozo e incluso el tiempo que el motor ha estado en funcionamiento, ya sea en modo automático, manual o detenido. Estos datos pueden configurarse para ser registrados y visualizados en intervalos de tiempo personalizados, como semanal, por hora o por minuto. En la imagen siguiente, se presenta

un gráfico de los niveles de agua por pozo. En particular, el pozo tres, representado en color rojo, muestra un nivel inicial de 24, que luego comienza a disminuir, lo cual indica que el motor está operando y enviando agua al reservorio.



Ilustración 42 Variación de los niveles de agua del pozo

Una de las ventajas de nuestro sistema es que permite el control a distancia, eliminando la necesidad de que el operador esté presente físicamente para encender el motor de forma manual. Solo se requiere seleccionar la opción "Manual", confirmar la acción mediante el botón correspondiente, y el sistema comenzará a operar en modo manual de manera inmediata.

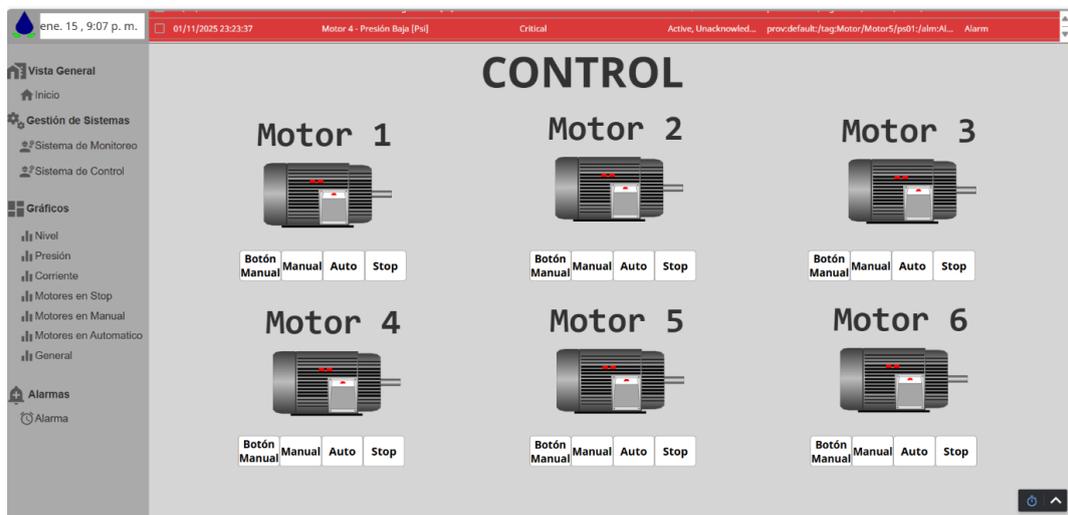


Ilustración 43 Pantalla de control del sistema Scada

3.1.2 Comparación entre el sistema manual y el sistema automatizado

El sistema actual del cliente requiere inspecciones constantes en cada pozo para medir la corriente y determinar si aún hay agua disponible para enviarla al reservorio o si es necesario apagar el motor para evitar daños por falta de agua. Además, el cliente debe verificar pozo por pozo que la presión esté dentro del rango adecuado para identificar posibles fugas en el sistema, repitiendo este proceso varias veces al día.

Con nuestro sistema, estas tareas manuales se eliminan, ya que desde una computadora el cliente puede monitorear en tiempo real los datos de los sensores, como niveles de agua y presión. Gracias al sensor de nivel, el encendido y apagado del motor se automatiza, optimizando su funcionamiento. Adicionalmente, el sistema genera alertas en caso de fallas, como niveles fuera de rango o problemas térmicos. También incluye una pestaña llamada "General," donde se pueden consultar los registros históricos de los motores, facilitando la supervisión y el mantenimiento del sistema.

3.1.3 Análisis de costos

En las secciones 2.2.1, 2.2.2 y 2.2.3 se describieron los equipos y elementos eléctricos necesarios para el diseño del proyecto. En esta sección, se presenta un análisis detallado de los costos asociados a la adquisición del hardware, con el objetivo de evaluar la viabilidad del sistema para su desarrollo.

Las cotizaciones fueron analizadas minuciosamente para identificar diferencias de precios entre los proveedores y seleccionar las opciones que ofrecieran la mejor relación costo-beneficio.

Cabe destacar que algunos elementos ya habían sido adquiridos e instalados previamente. Esto no solo ayudó a disminuir los costos adicionales relacionados con la contratación de servicios externos, sino que también facilitó un mayor entendimiento del sistema y una integración más fluida con las operaciones actuales.

Producto	Cantidad	Costo unidad	Costo total
LOGO 8! 24CE	3	\$170	\$510
LOGO! DM8 24 Exp. mod., 4DI/4DO	3	\$110	\$330
LOGO! AM2 AQ, 2AQ	6	\$210	\$1260
Sensor HPT604	6	\$130	\$780
SEN-86/SEN-87	6	\$135	\$810
Sensor CR4320	5	\$100	\$500
ModuloHW-685	5	\$10	\$50

Tabla 10 Costos aproximados de los equipos seleccionados para la automatización

Producto	Cantidad	Costo unidad	Costo total
3RT1044-1A	18	\$250	\$4500
3RU1146-4JB0	6	\$160	\$960
3VT1708-2DC36-0AA0	6	\$50	\$300
Riel DIN	8	\$6,5	\$52
Canaleta	15	\$10	\$150
Borneras	12	\$14	\$210
Pulsadores	3	\$15	\$45
Selectora 2 vías	6	\$6.85	\$41.10
Luces Piloto	12	2.53	\$30.36

Tabla 11 Costos aproximados de los elementos seleccionados

Producto	Cantidad	Costo unidad o m	Costo total
Antena CPE	8	\$77	\$616
Switch TP-Link LS105G serie LiteWave	4	\$25	\$100
Postes en fibra de vidrio	3	\$400	\$1200
Breaker de Alimentación 2P-15A	4	\$12	\$48
Tomacorriente	4	\$2.50	\$10
Caja Para Breaker Nb1 De 2 Polos	5	\$6.50	\$32.50
Cables eléctricos Rollo de 100m	10	\$3.60	\$36
Cables de red Cat6 15m	6	\$10	\$60
Tubería PVC-6m	6	\$13.87	\$83.22
Reductores reversibles	6	\$0.90	\$5.40
Abrazaderas Abrazadera Acero Inoxidable 304 Sin Fin 25cm Diámetro para Poste	24	\$3.52	\$84
Supresor de picos Forza	4	\$9.99	\$40
MAKERELE Caja eléctrica exterior Caja de plástico IP67	4	\$30	\$120

Tabla 12 Costos aproximados para los equipos de comunicación

Capítulo 4

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

El diseño del sistema para la automatización de los pozos de agua desarrollado en este proyecto permitió llegar a las siguientes conclusiones:

- Se logró diseñar una interfaz gráfica intuitiva y funcional mediante el módulo Perspective de Ignition SCADA, permitiendo a los operadores monitorear en tiempo real los niveles de agua, el estado de los motores, y otros datos críticos de los sensores. Esto mejoró significativamente la supervisión y el control del sistema de bombeo.
- La integración de un PLC con sensores de nivel, presión y corriente permitió automatizar el encendido y apagado de los motores, optimizando la gestión del recurso hídrico. El sistema garantiza un funcionamiento eficiente y minimiza el desgaste de los equipos al evitar operaciones innecesarias.
- Se implementaron alarmas automáticas que se activan cuando los valores de los sensores exceden los rangos establecidos. Esto proporciona alertas en tiempo real a los operadores, facilitando una respuesta oportuna ante fallas, como bajos niveles de agua, sobrepresión o problemas térmicos en los motores, lo que incrementa la seguridad y la confiabilidad del sistema.

4.2 Recomendaciones

Tras la ejecución del presente proyecto, se proponen las siguientes recomendaciones:

- El uso de antenas para garantizar la conectividad a internet en las casetas es una opción viable, ya que la instalación de cables de internet puede resultar problemática debido a la ubicación remota de estas casetas, alejadas de la sede administrativa. Además, el acceso a ellas frecuentemente implica atravesar terrenos cultivados, lo que hace inviable la instalación de cables subterráneos, ya que podrían dañarse por actividades agrícolas, como el arado de la tierra.
- Considerando el uso de Ignition Perspective, sería beneficioso habilitar la visualización de las pantallas tanto en computadoras como en dispositivos móviles. Esto permitiría a los operadores acceder a la información y monitorear el sistema desde cualquier lugar, mejorando la accesibilidad y flexibilidad en el control y supervisión del sistema automatizado de los pozos de agua.
- Integrar un sistema de reportes automáticos dentro de Ignition SCADA permitiría generar y enviar informes periódicos sobre el estado de los pozos, el rendimiento de los motores y las alarmas activadas. Estos reportes podrían enviarse por correo electrónico a los operadores o encargados del sistema, facilitando la toma de decisiones y mejorando la capacidad de respuesta ante cualquier incidencia. Así, se optimiza la gestión del sistema y se asegura que la información relevante esté siempre disponible para los responsables, incluso si no están monitoreando activamente el sistema en tiempo real.

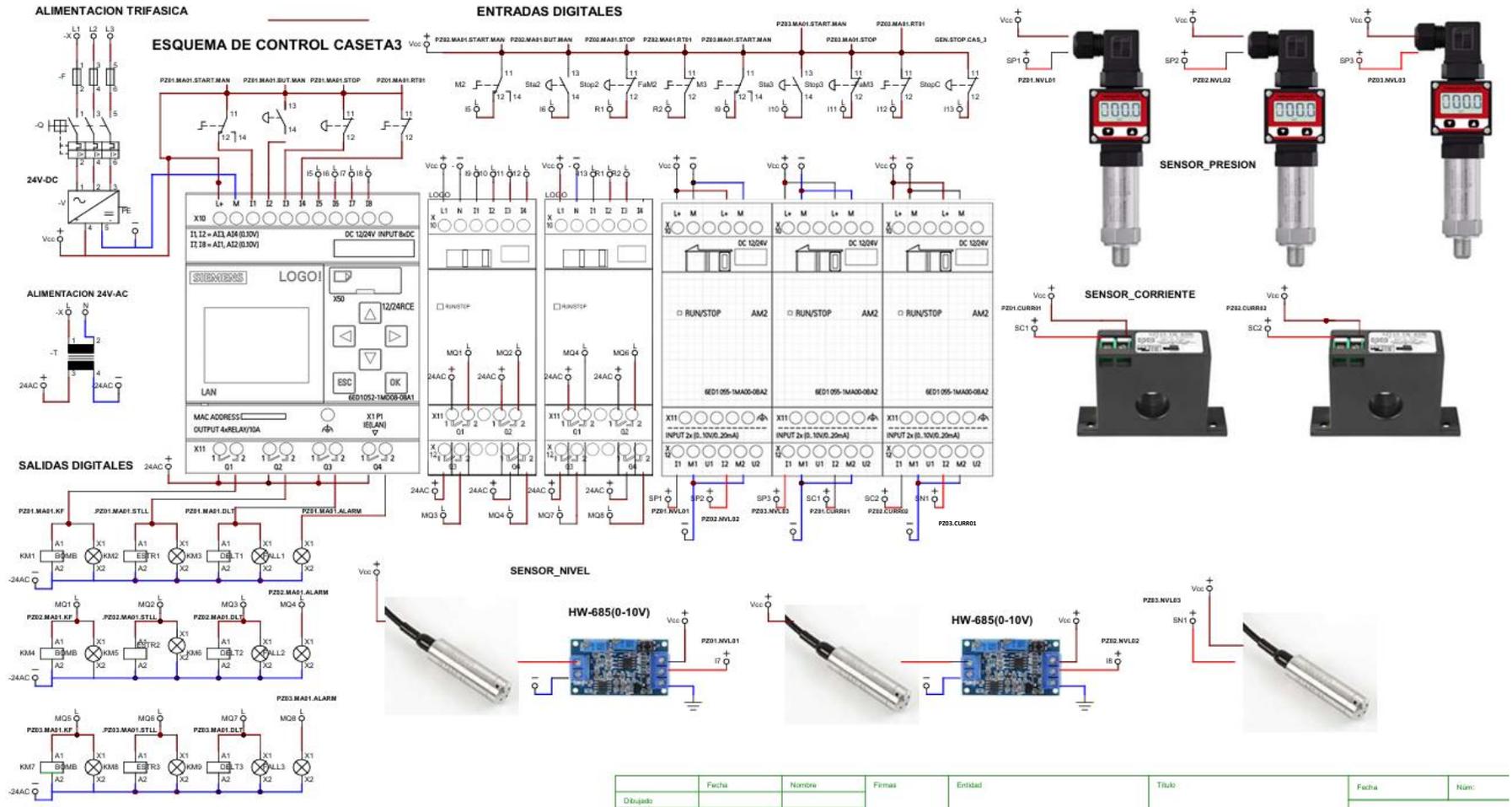
Referencias

- [1] "Pirámide de automatización [Online]. Disponible en: <https://www.smctraining.com/es/webpage/indexpage/311>
- [2] Movicontrol, "La automatización industrial," Movicontrol [Online]. Disponible en: <https://movicontrol.es/la-automatizacion-industrial/>
- [3] "Qué es un sistema de bombeo y cuáles son sus componentes"[Online]. Disponible en: <https://www.montilladigital.com/2022/07/que-es-un-sistema-de-bombeo-y-cuales.html>
- [4] "Juego de bomba de agua con motor diesel de 100 HP de succión doble centrífuga y fábrica China - Lista de precios - DEPON." [Online]. Disponible en: <https://es.dpslurrypump.com/water-pump/double-suction-water-pump/centrifugal-double-suction-100-hp-diesel.html>
- [5] admin, "Bomba centrífuga, ¿Qué es y qué ventajas tiene? - GEOHidráulica," Geohidraulica[Online]. Disponible en:<https://geohidraulica.com/bomba-centrifuga-que-es-y-que-ventajas-tiene/>
- [6] "Partes de una bomba centrífuga. ¿Cuales son? | ASIPS." [Online]. Disponible en: <https://asips.mx/partes-de-una-bomba-centrifuga-cuales-son/>
- [7] "Lo que necesita saber sobre las bombas sumergibles," EDDY Pump.[Online]. Disponible en: <https://eddyump.com/es/lo-que-necesita-saber-sobre-las-bombas-sumergibles/>
- [8] "HPT604 - Sensor de nivel hidrostático by Holykell | DirectIndustry." [Online]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/holykell/product-198557-2435083.html>
- [9] "SEN series - Sensor de presión relativa by KOBOLD Messring GmbH | DirectIndustry." [Online]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/kobold-messring-gmbh/product-9187-2471749.html>
- [10] "4320_a.pdf." Accessed: Jan. 11, 2025 [Online]. Disponible en:https://www.crmagnetics.com/Assets/ProductPDFs/4320_a.pdf?srsId=AfmBOoqACs

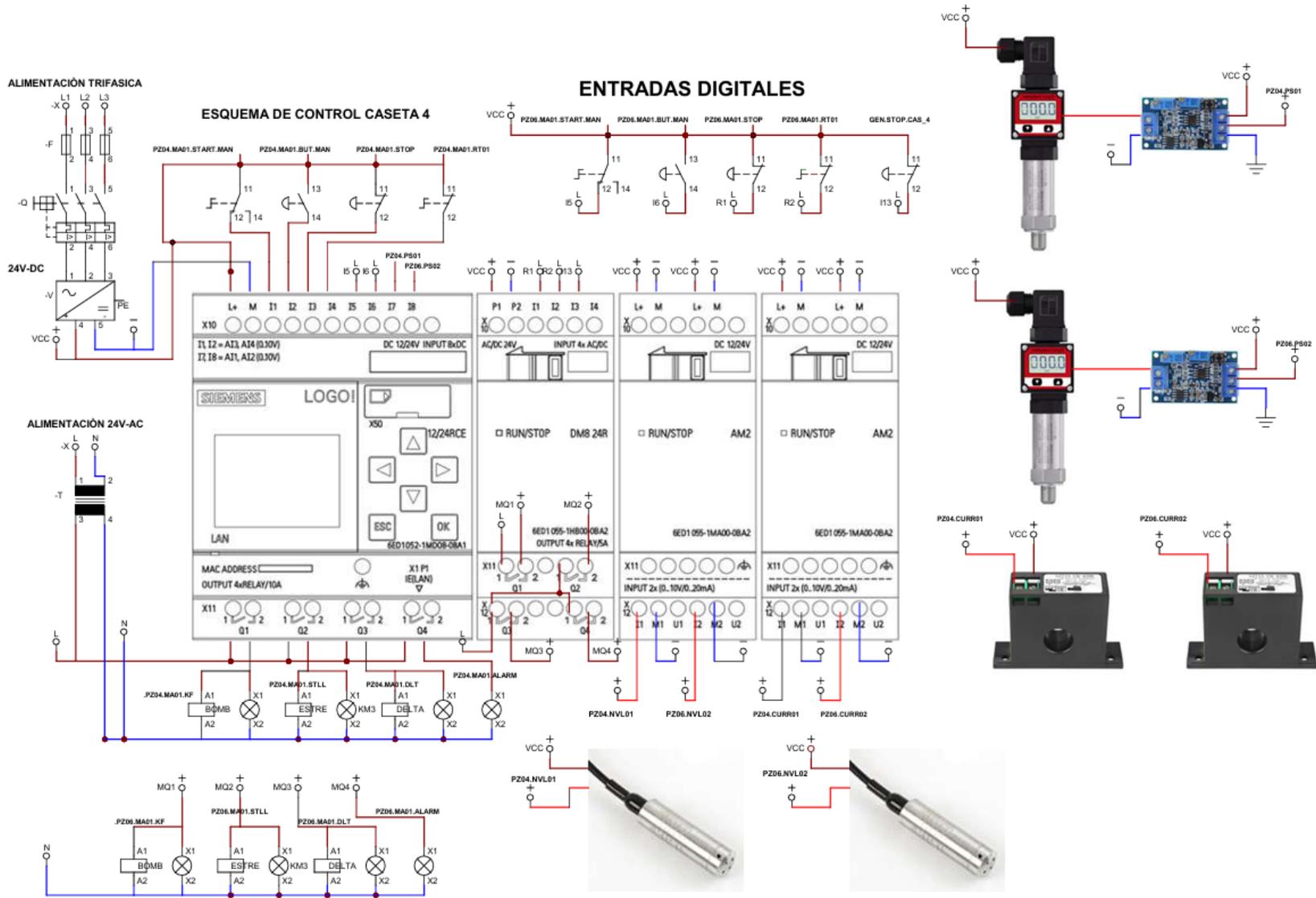
mCrOBKFAW71SLW9zjBYp2lOkmWiPzjZjfREs6mgDyjPbEN

- [11] "Antena CPE Wi-Fi de largo alcance 23 dBi 5 GHz, para ex," Electrónica Steren México[Online]. Disponible en: <https://www.steren.com.ec/antena-cpe-wi-fi-de-largo-alcance-23-dbi-5-ghz-para-exterior.html>
- [12] "EtherNet/IP: El protocolo estándar para la comunicación en redes industriales » rheonics :: viscosímetro y densímetro," rheonics :: viscometer and density meter [Online]. Disponible en:<https://es.rheonics.com/ethernet-ip-el-protocolo-est%C3%A1ndar-para-la-comunicaci%C3%B3n-en-redes-industriales/>
- [13] A. Spasojevic, "¿Qué es una conexión punto a punto? | phoenixNAP Glosario de TI," phoenixNAP IT Glossary[Online]. Disponible en: <https://phoenixnap.mx/glosario/conexi%C3%B3n-punto-a-punto>
- [14] stevensoncano, "Configurando mi primer enlace punto a punto con Ubiquiti," Ubiquiti Labs. [Online]. Disponible en: <https://www.ubiquitilabs.com/configurando-mi-primer-enlace-punto-a-punto-con-ubiquiti/>
- [15] A. F. R. Olaya, A. B. López, and F. G. G. Moreno, "Implementación de una Red MODBUS/TCP," *Ing. Compet.*, vol. 6, no. 2, Art. no. 2, Jun. 2004, doi: 10.25100/iyv.v6i2.2277.
- [16] P. Sicma21, "Qué es un PLC, cómo funciona y por qué se utilizan." [Online]. Disponible en: <https://www.sicma21.com/que-es-un-plc/>
- [17] "logo8basicointermedio.pdf." Disponible en: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:3ebdbea1-16bd-48ef-98a7-7d1bcbab94dc/logo8basicointermedio.pdf>
- [18] "IA Distributor in Central America," Inductive Automation. [Online]. Disponible en: <http://inductiveautomation.com/distributor-landing/espanol>
- [19] "COM-8000-instr.pdf." [Online]. Disponible en: <https://descargas.steren.com.mx/COM-8000-instr.pdf>

Apéndice

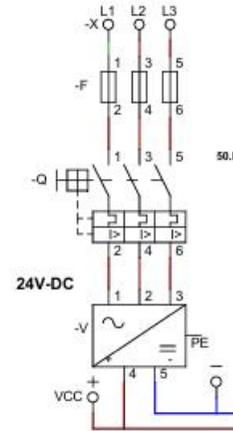


Plano 1 Conexiones eléctricas para la caseta # 3

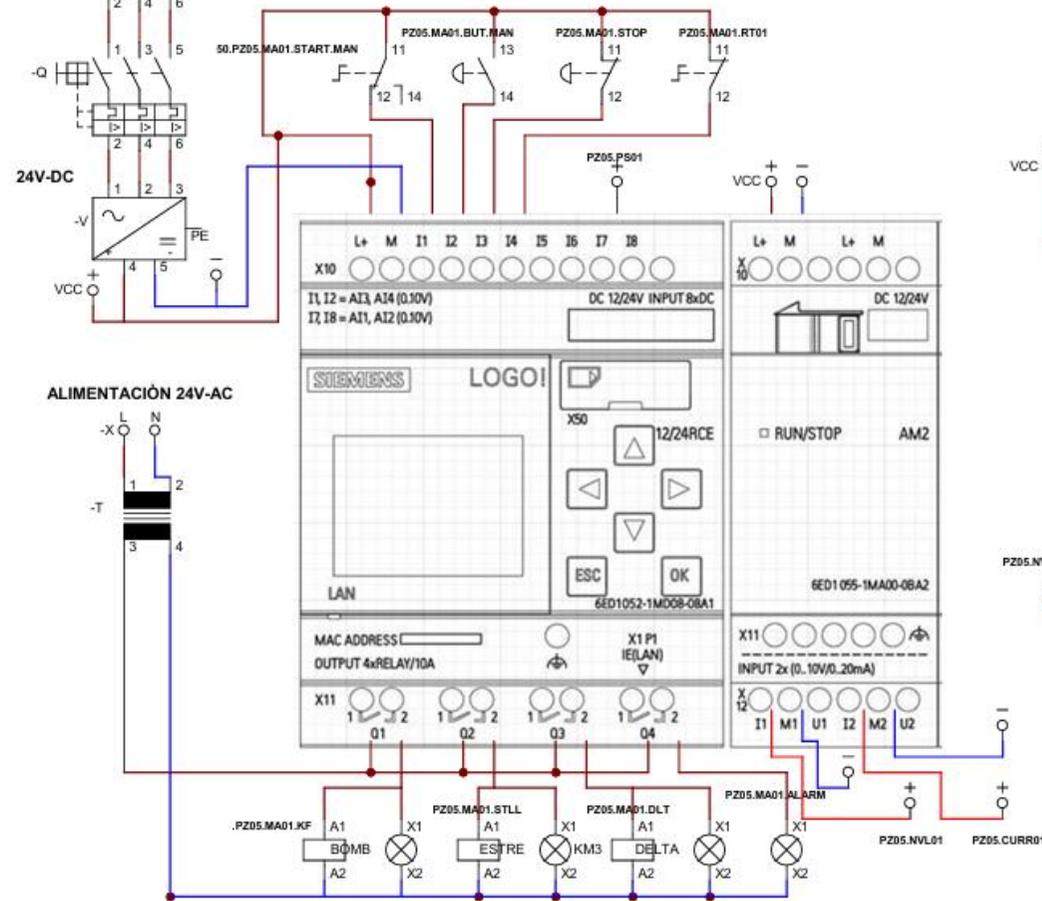


Plano 2 Conexiones eléctricas para la caseta # 4

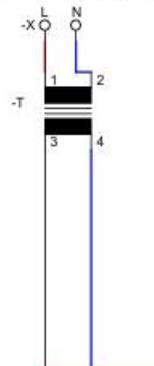
ALIMENTACIÓN TRIFASICA



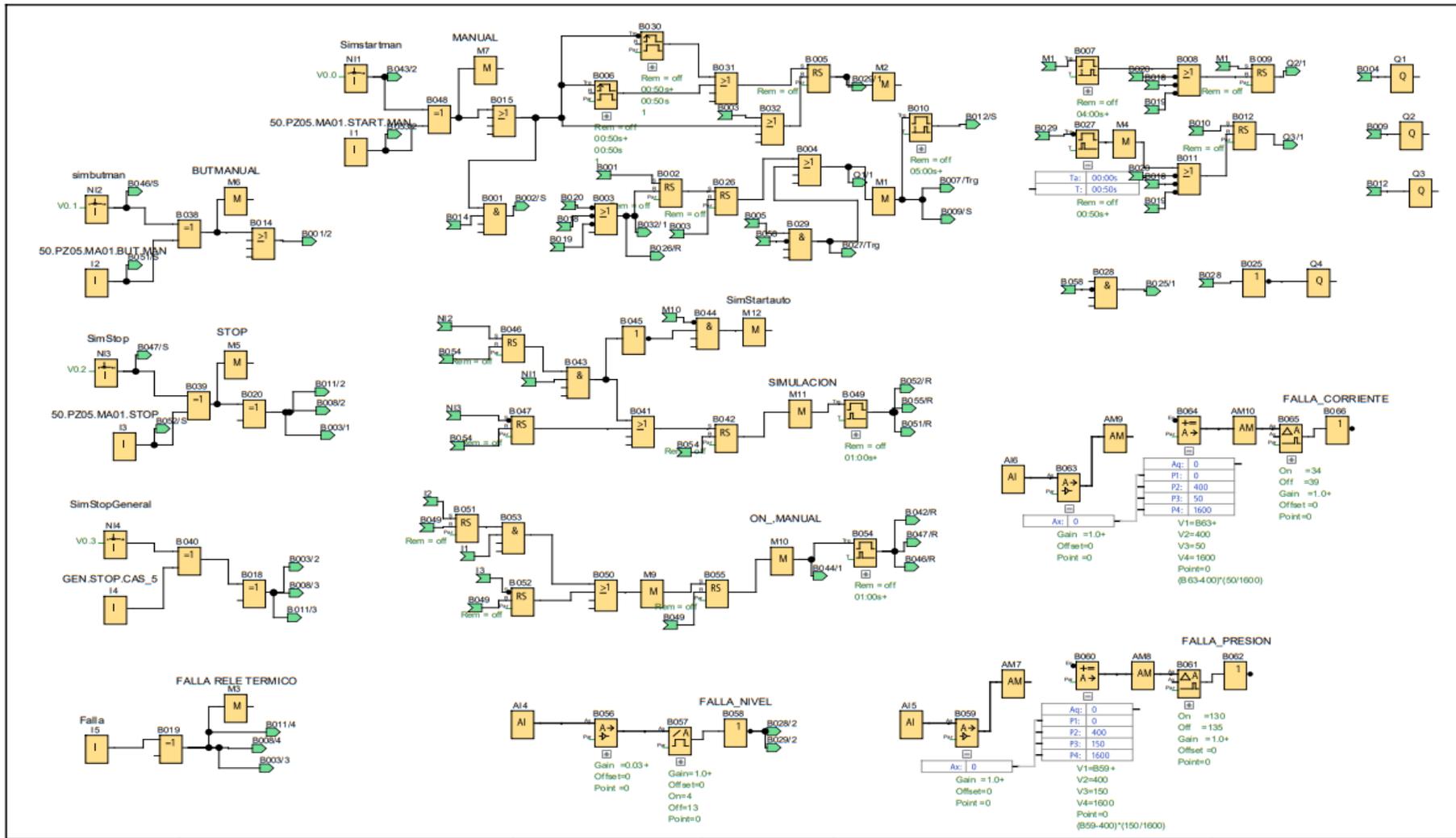
ESQUEMA DE CONTROL POZOS



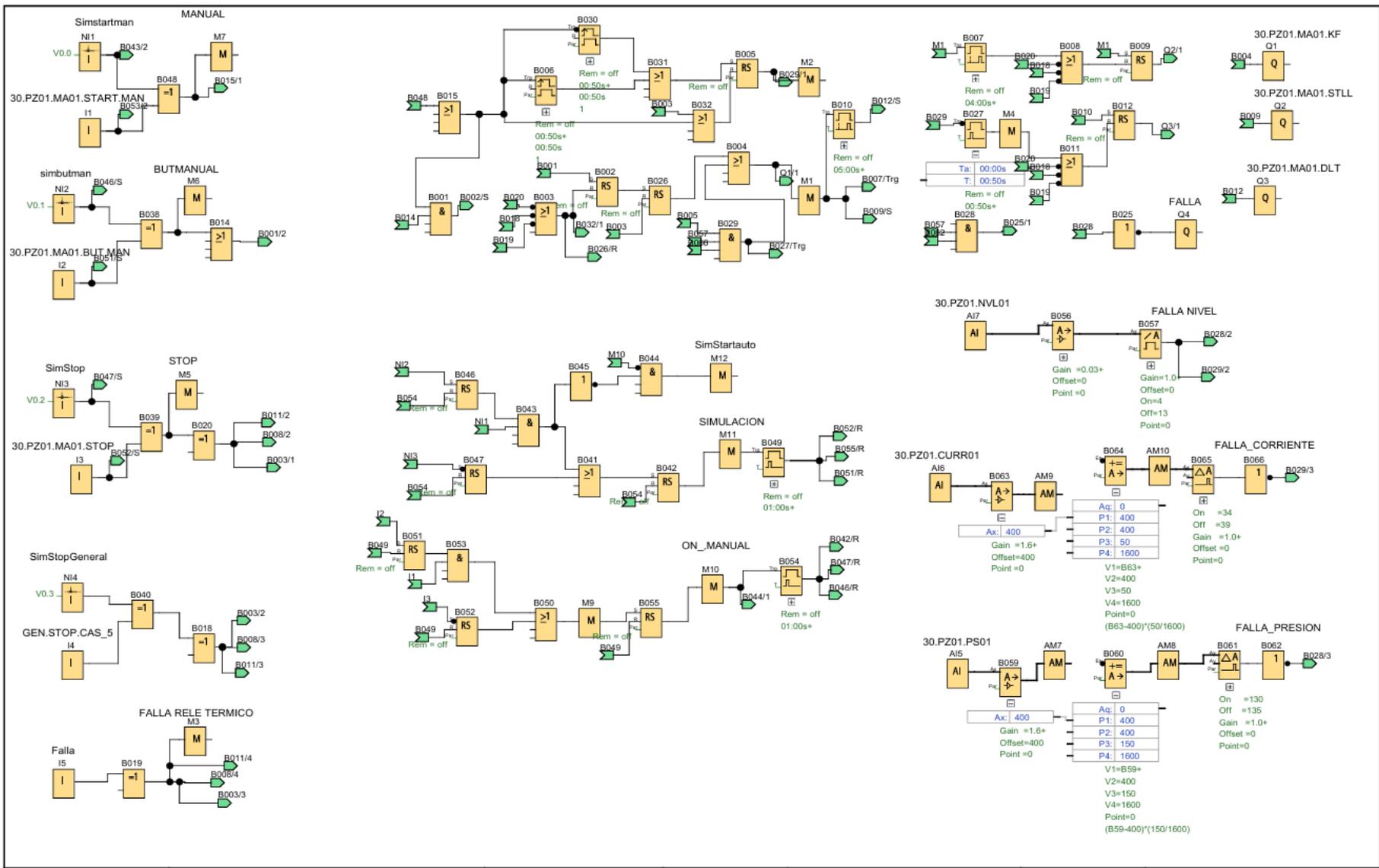
ALIMENTACIÓN 24V-AC



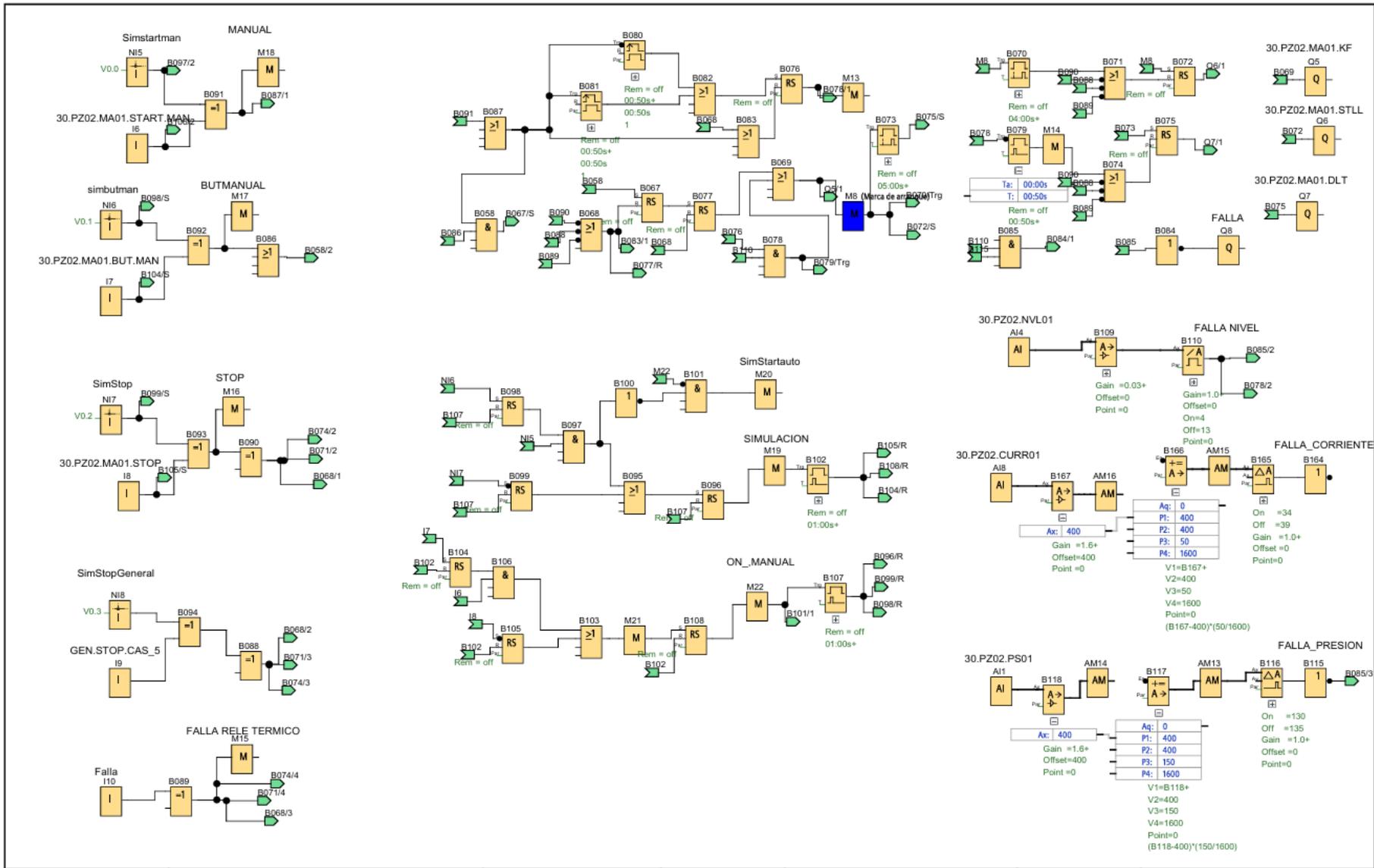
Plano 3 Conexiones eléctricas para la caseta #5



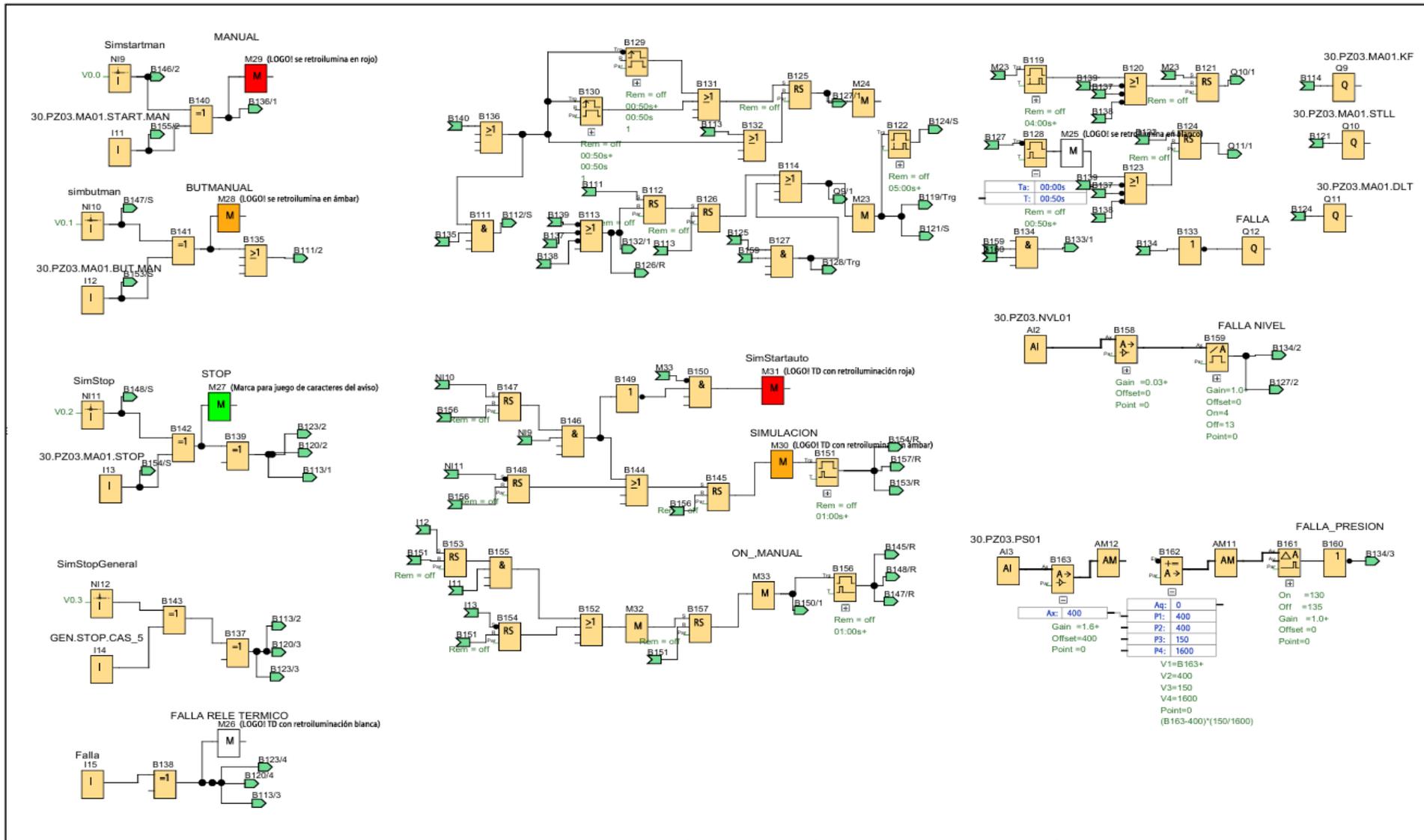
Programación Caseta # 5 pozo # 5



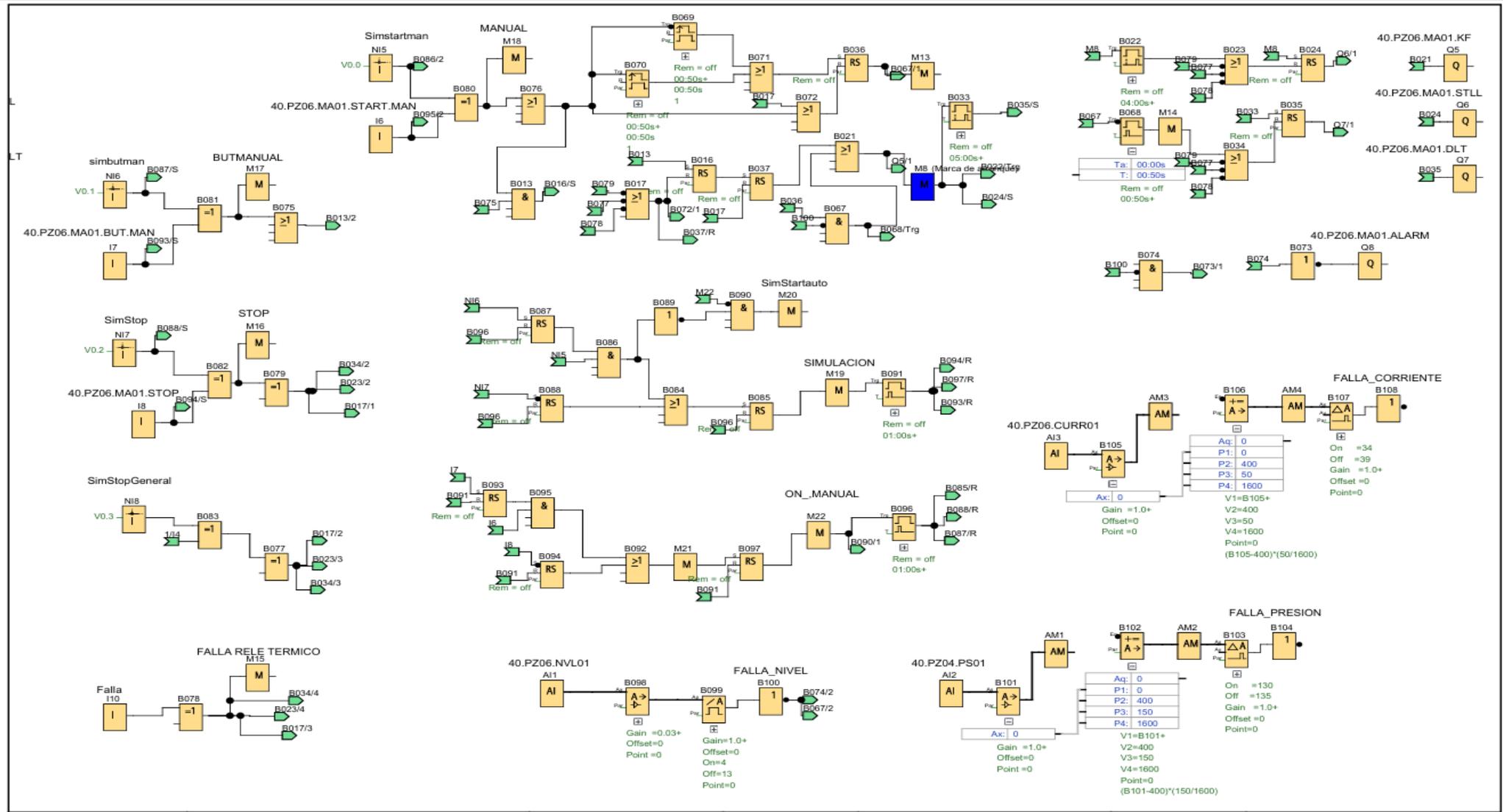
Programación Caseta # 3 pozo # 1



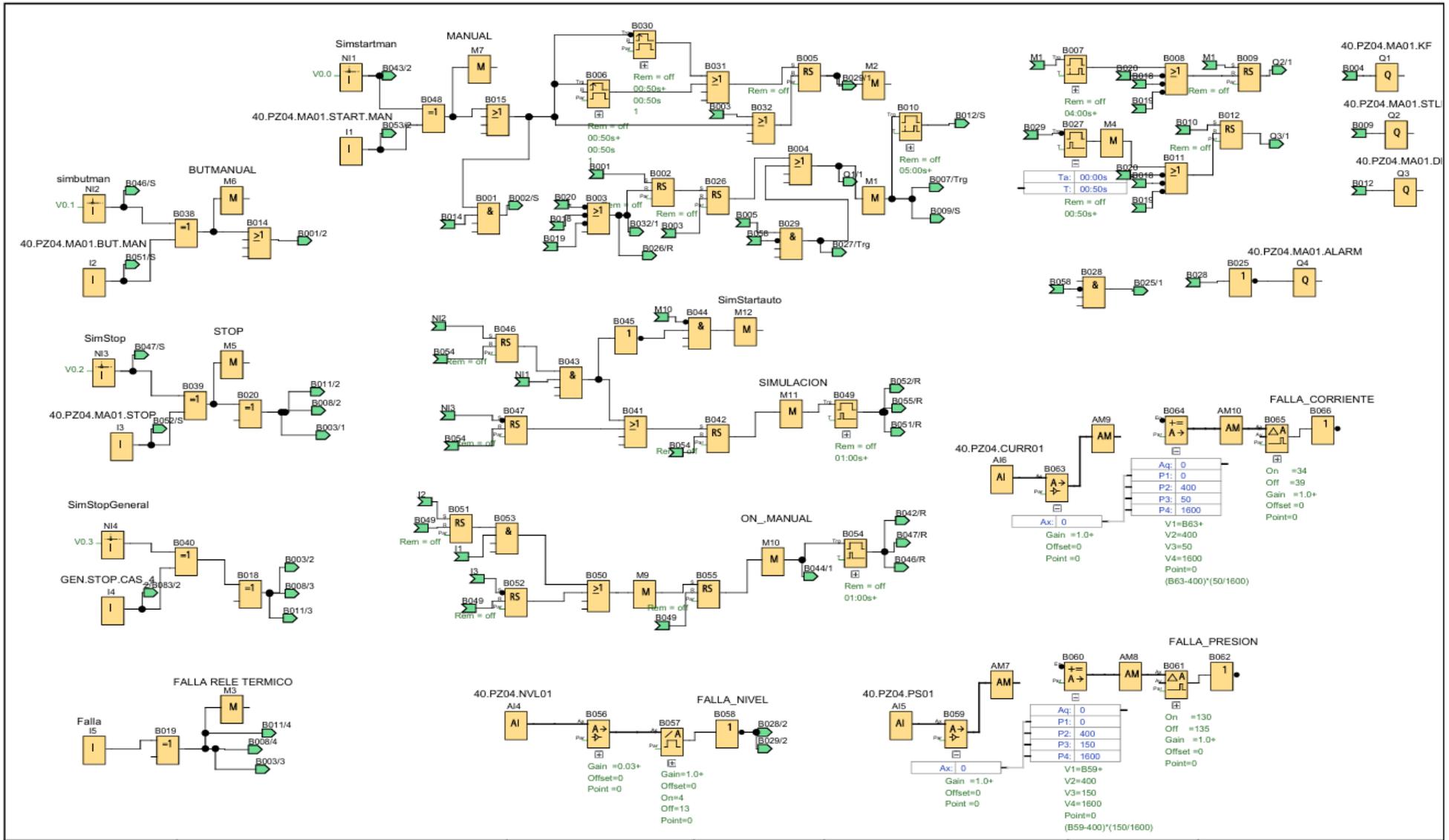
Programación Caseta # 3 pozo # 2



Programación Caseta # 3 pozo # 3



Programación Caseta # 4 pozo # 6



Programación Caseta # 4 pozo #4