



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA DE MONITOREO Y CONTROL
UTILIZANDO LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DEL PLC IOT A8-E DE
HAIWELL EN EL CONTEXTO DE LA INDUSTRIA 4.0

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero en Electrónica

AUTORES: GABRIEL ALEJANDRO JARA RODAS

ADRIANA CAROLINA MARTÍNEZ MUÑOZ

TUTOR: ING. JULIO CESAR ZAMBRANO ABAD, PhD.

Cuenca – Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Gabriel Alejandro Jara Rodas con documento de identificación N° 0105484364 y Adriana Carolina Martínez Muñoz con documento de identificación N° 0106274673; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 2 de agosto de 2024

Atentamente,



Gabriel Alejandro Jara Rodas

0105484364



Adriana Carolina Martínez Muñoz

0106274673

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Gabriel Alejandro Jara Rodas con documento de identificación N° 0105484364 y Adriana Carolina Martínez Muñoz con documento de identificación N° 0106274673, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Desarrollo de una plataforma de monitoreo y control utilizando los sistemas de comunicación del PLC IoT A8-E de Haiwell en el contexto de la Industria 4.0” el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 2 de agosto de 2024

Atentamente,



Gabriel Alejandro Jara Rodas

0105484364



Adriana Carolina Martínez Muñoz

0106274673

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Julio Cesar Zambrano Abad con documento de identificación N° 0301489696, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA DE MONITOREO Y CONTROL UTILIZANDO LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DEL PLC IOT A8-E DE HAIWELL EN EL CONTEXTO DE LA INDUSTRIA 4.0, realizado por Gabriel Alejandro Jara Rodas con documento de identificación N° 0105484364 y Adriana Carolina Martínez Muñoz con documento de identificación N° 0106274673, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 2 de agosto de 2024

Atentamente,



Julio Cesar Zambrano Abad Ing./Ph.D/Mst.

0301489696

AGRADECIMIENTOS

Al llegar al fin de esta etapa, quiero agradecer a las personas que han confiado en mí y han sido un gran apoyo para poder llegar a la meta. Quiero agradecer especialmente a mis padres, Gabriel y Carolina, que son un pilar fundamental en mi vida. A mi enamorada Paulina, quien fue un soporte en todo este proceso. A mis mascotas, que siempre han sido mis fieles acompañantes. También un especial agradecimiento a mis profesores, Julio Zambrano y René Ávila, quienes siempre insistieron en la superación personal y en el amor por la carrera. A mi familia y a mi familia política, que siempre me apoyaron. Para terminar quiero agradecer a los compañeros y amigos que conocí en este recorrido.

Gabriel Alejandro Jara Rodas

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han apoyado y guiado a lo largo de este proceso.

En primer lugar, quiero agradecer al director de este proyecto de titulación el Ing. Julio Zambrano por su valiosa orientación. Su experiencia y conocimiento fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

A mis padres, David y Susana, quienes siempre me brindaron su amor incondicional, apoyo moral y económico, y me enseñaron el valor del esfuerzo y la perseverancia. De la misma manera a mis hermanas Paula y Emilia, por su cariño, compañía y comprensión.

Finalmente a mi compañero Michael, por su dedicación, trabajo en equipo y amistad durante todo este tiempo.

Adriana Carolina Martínez Muñoz

DEDICATORIAS

Dedicatoria de Gabriel Alejandro Jara Rodas

Mi trabajo de titulación se lo dedico a mis padres, Gabriel y Carolina, con su gran esfuerzo para sacar adelante a su familia permiten este logro. A mi familia y a mi enamorada, por su preocupación e impulso para que llegue a la meta. Por último, se lo dedico a mi familia política, por su cariño, a mis amigos, por su apoyo y a los buenos docentes de la institución. Todos fueron de ayuda para culminar esta etapa.

Dedicatoria de Adriana Carolina Martínez Muñoz

Dedico este proyecto de titulación a mis padres, que siempre me brindaron su apoyo y amor incondicional para cumplir todas mis metas, a mis hermanas que me acompañaron en cada paso de mi carrera profesional, a mis compañeros y profesores de quienes he aprendido mucho más que conocimientos académicos. Gracias por las experiencias compartidas, las lecciones de vida y por haber contribuido de manera significativa a mi formación integral.

Índice general

Agradecimientos	I
Dedicatorias	III
Índice General	IV
Índice de figuras	VIII
Índice de tablas	IX
Resumen	X
Abstract	XI
Antecedentes	1
Justificación	5
Objetivos	6
Introducción	7
1. Arquitectura y tecnología vinculada al proyecto	9
1.1. Arquitectura del sistema	9
1.2. Tecnología vinculada al proyecto	11
1.2.1. PLC IoT A8-E (Haiwell)	11
1.2.2. Módulo analógico A08XA (Haiwell)	14
1.2.3. HMI B7H-W (Haiwell)	17

1.2.4. Montaje y Conexión de los Equipos	21
2. Interfaces de comunicación	24
2.1. Comunicación WiFi	24
2.2. MQTT	27
2.3. Ethernet	36
3. Control y monitoreo del proceso y desarrollo de la plataforma en línea	44
3.1. Proceso para el control y monitoreo	44
3.2. Desarrollo de la aplicación Web	51
3.2.1. Nuevo dispositivo	51
3.2.2. Creación del Dashboard	54
3.3. Widgets para el dashboard	56
3.4. Interfaz de Usuario y Control con el HMI	60
3.5. Resultados de la implementación	63
4. Conclusiones y Trabajos Futuros	68
Glosario	72
Referencias	75

Índice de figuras

1.	Arquitectura IoT.	2
2.	Arquitectura MQTT.	3
1.1.	Arquitectura del sistema.	10
1.2.	Elementos PLC IoT A8-E.	11
1.3.	Medidas PLC IoT A8-E.	12
1.4.	Medidas PLC IoT A8-E.	14
1.5.	Medidas módulo A08XA [13].	14
1.6.	Diagrama de cableado de las entradas analógicas [13].	15
1.7.	Diagrama de cableado de las salidas analógicas [13].	16
1.8.	Diagrama de terminales de módulo analógico A08XA [13].	16
1.9.	Montaje módulo analógico A08XA [13].	17
1.10.	HMI B7H-W [15].	17
1.11.	Estructura HMI [14].	18
1.12.	Puertos HMI [16].	20
1.13.	Diseño del Tablero.	21
1.14.	Frente tablero.	21
1.15.	Interior del tablero.	22
1.16.	Lateral del tablero.	22
1.17.	Alimentación de la Fuente y del PLC.	23
2.1.	Configuraciones del PLC.	25
2.2.	Configuraciones de red del PLC.	26
2.3.	Conexión del PLC a la red WiFi.	26
2.4.	Crear un nuevo proyecto.	27

2.5. Selección de equipo a programar.	28
2.6. Crear servidor MQTT.	29
2.7. Parámetros de configuración para conexión con Ubidots.	30
2.8. Ventana para ingreso de datos de broker MQTT.	31
2.9. Ventana para agregar variables del equipo.	32
2.10. Crear grupo de datos a transmitir.	33
2.11. Ingresar variables al grupo de datos a transmitir.	34
2.12. Configuración de variables a transmitir.	34
2.13. Variable a enviar creada.	35
2.14. Grupo de datos creado en el servidor MQTT.	35
2.15. Esquema de Conexión ente el PLC y la pantalla HMI.	36
2.16. Procedimiento para crear un nuevo proyecto.	37
2.17. Ventana para agregar un dispositivo.	37
2.18. Proceso para configurar un dispositivo agregado.	38
2.19. Abrir variables de dispositivo agregado.	39
2.20. Agregar Variables del PLC.	39
2.21. Configuración para Lectura de variables.	40
2.22. Configuración de variables de lectura y escritura.	41
2.23. Ventana para configuración del display del HMI.	41
2.24. Cuadro de diálogo para agregar una variable a un objeto del HMI.	42
2.25. Ventana para selección de variables.	43
2.26. Configuración de una variable para escritura.	43
3.1. Diagrama P&ID del proceso.	45
3.2. Vista panorámica del proceso.	45
3.3. Caudalímetro Burkert [17]	47
3.4. Liquiphant T FTL20 [18]	48
3.5. Positioner SideControl NAMUR [19]	48
3.6. Cerabar PMP51 [20]	49
3.7. Esquema de Conexión con la Planta.	50
3.8. Conexión real con la planta.	50
3.9. Agregar Dispositivo.	51

3.10. Crear nuevo dispositivo.	52
3.11. Ventana en Ubidots para agregar un dispositivo.	53
3.12. Pantalla principal de configuración.	53
3.13. Lectura de Variables de Ubidots.	54
3.14. Ruta para añadir un dashboard.	54
3.15. Proceso para crear un dashboard.	55
3.16. Configuración del Dashboard.	55
3.17. Configuración Estética del Dashboard.	56
3.18. Agregar un nuevo widget.	57
3.19. Opciones de widgets.	57
3.20. Ventana para vincular una variable a un widget.	58
3.21. Selección de variable a vincular.	58
3.22. Apariencia del widget.	59
3.23. Widgets de la aplicación de monitoreo.	59
3.24. Visualización de displays.	60
3.25. Ventana principal.	61
3.26. Ventana de monitoreo y control.	61
3.27. Librería de gráficos.	62
3.28. Configuración para salto entre ventanas.	62
3.29. Herramienta para seleccionar ventanas.	63
3.30. Interfaz HMI.	64
3.31. Interfaz HMI en funcionamiento.	64
3.32. Interfaz en Ubidots.	65
3.33. Aplicación en tiempo real.	65
3.34. Curva de datos recopilados.	67

Índice de tablas

1.1.	Características y prestaciones del PLC IoT A8-E de Haiwell [12].	13
1.2.	Especificaciones de entradas analógicas [13].	15
1.3.	Especificaciones de las salidas analógicas [13].	15
1.4.	Característica HMI [15].	17
1.5.	Especificaciones HMI [14].	20
3.1.	Conexión entre el tablero del PLC y el tablero de control del proceso. . .	51
3.2.	Variables vinculadas a cada widget.	59
3.3.	Parámetros para la primera recopilación de datos.	66
3.4.	Resultados primera recopilación de datos.	66
3.5.	Parámetros para la segunda recopilación de datos.	67

Resumen

El documento presenta los hallazgos de un estudio y recopilación de manuales de usuario, para el PLC IoT A8-E y el HMI B7H de Haiwell. Se ofrece una descripción detallada de las características y prestaciones más destacadas de estos dispositivos, así como de los procesos de montaje, instalación y conexión necesarios.

Además, se aborda la arquitectura de un sistema de control y monitoreo, que emplea diversos protocolos de comunicación, como Ethernet y [MQTT](#), detallando su implementación práctica. Se explica a detalle el proceso necesario para la programación y configuración de cada protocolo, dentro de la aplicación Haiwell Cloud SCADA. De la misma manera, se describe el desarrollo de una interfaz gráfica destinada al control del sistema en el [HMI](#), destacando su importancia para la interacción intuitiva y eficiente con los dispositivos y datos del sistema.

En complemento a lo anterior, se explora el desarrollo de una aplicación en la nube basada en la arquitectura previamente mencionada. Esta aplicación permite monitorear una planta desde cualquier lugar del mundo, haciendo uso únicamente de una conexión a internet estable y que los equipos se encuentren en línea. Para la plataforma se utiliza Ubidots, que facilita la creación gratuita de interfaces de usuario y posee un broker integrado, que simplifica la transmisión de datos a través del protocolo [MQTT](#), garantizando una comunicación eficiente y segura entre los equipos y la nube.

Palabras clave: Control; Ethernet; HMI; IoT; Monitoreo; MQTT; Nube; PLC; Broker.

Abstract

The document presents the findings of a study and compilation of user manuals for the Haiwell IoT A8-E PLC and B7H HMI. A detailed description of the salient features and performance of these devices, as well as the necessary assembly, installation and connection processes, is provided.

In addition, the architecture of a control and monitoring system, which uses various communication protocols such as Ethernet and MQTT, is discussed, detailing its practical implementation. The necessary process for the programming and configuration of each protocol within the Haiwell Cloud SCADA application is explained in detail. In the same way, the development of a graphical interface for system control in the HMI is described, highlighting its importance for the intuitive and efficient interaction with the devices and system data.

In complement to the above, the development of a cloud application based on the previously mentioned architecture is explored. This application allows monitoring a plant from anywhere in the world, using only a stable internet connection and that the equipment is online. Ubidots is used for the platform, which facilitates the free creation of user interfaces and has an integrated broker, which simplifies data transmission through the MQTT protocol, ensuring efficient and secure communication between the equipment and the cloud.

Keywords: Cloud; Control; Ethernet; HMI; IoT; Monitoring; MQTT; PLC.

Antecedentes

Las comunicaciones en el ámbito industrial han experimentado un proceso de evolución. En la actualidad, se pueden encontrar diversos estándares que se reflejan en los PLC's, como por ejemplo, el protocolo Ethernet. Este último ha ganado prominencia debido a su velocidad, confiabilidad y versatilidad en la transmisión de datos en entornos industriales [1].

La importancia de las comunicaciones se ha incrementado con el inicio de la cuarta revolución industrial, denominada también Industria 4.0. Este cambio de paradigma requiere la aplicación del Internet de las Cosas (IoT), el cual se caracteriza por una arquitectura estándar que facilita una estructura organizativa y funcional. Esta arquitectura permite la conexión, comunicación y gestión eficiente de los dispositivos físicos y objetos conectados a través de internet [2].

El Internet de las Cosas se distingue por su arquitectura en capas, detallada en la Figura 1, que ofrece una organización estructurada para mejorar la comunicación entre dispositivos en entornos IoT. Entre los múltiples protocolos de comunicación presentes, destaca MQTT, el cual facilita la conexión de varios dispositivos [3].

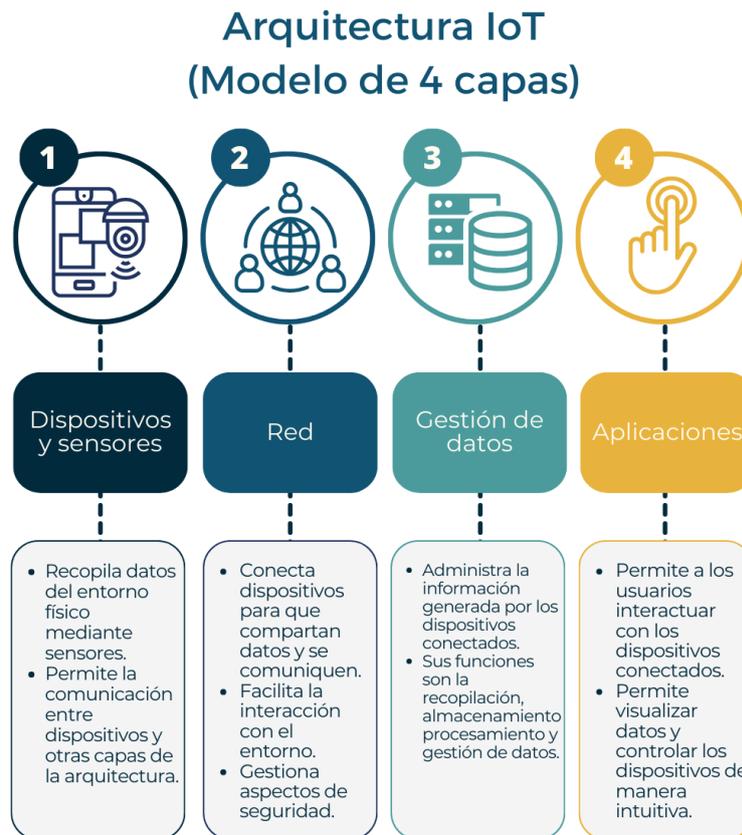


Figura 1: Arquitectura IoT.

El PLC IoT A8-E, que será empleado en el proyecto, está equipado con las siguientes tecnologías de comunicación:

- Ethernet: Ofrece capacidades de monitoreo, configuración remota y transmisión de datos en varios entornos, incluidos los industriales.
- Protocolos de comunicación estándar (MQTT): Es un protocolo publicador/suscriptor que facilita la conexión de múltiples dispositivos [3]. Permite la conexión a servidores de bases de datos/ERP/MES. Reporta activamente, admite millones de conexiones de terminales concurrentes en la red, puede superar fácilmente y reemplazar equipos DTU.

En la Figura 2, se representa la relación entre el publicador y el suscriptor mediante el broker que posee este protocolo.

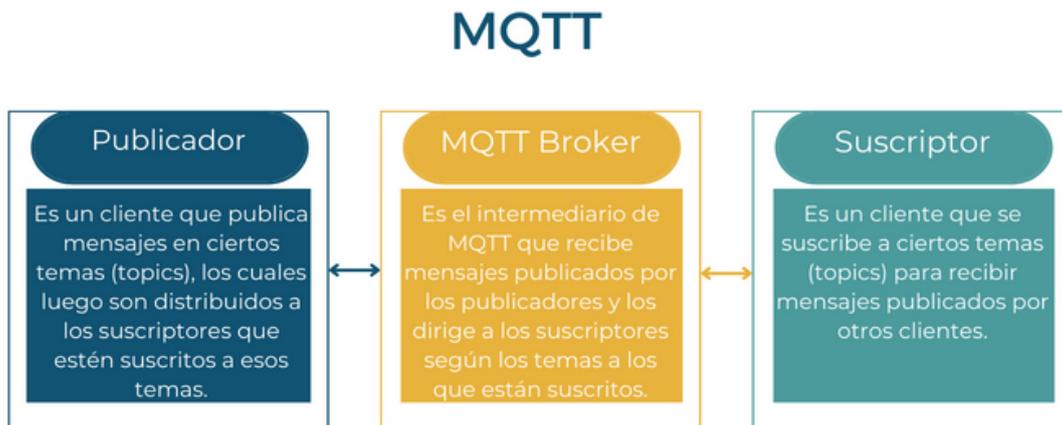


Figura 2: Arquitectura MQTT.

- Wi-Fi: Proporciona conectividad inalámbrica, acceso remoto, integración con la nube y compatibilidad con protocolos de comunicación estándar, lo que aumenta su versatilidad y utilidad en aplicaciones industriales y de automatización [4].
- 4G: Permite la comunicación de forma inalámbrica a través de redes móviles de alta velocidad [5].

La implementación del Internet de las Cosas ha tenido un impacto significativo en diversos sectores, no solo en la industria. Por ejemplo, en un estudio llevado a cabo en Malasia, se desarrolló un sistema de control y monitoreo para invernaderos utilizando tecnología IoT. El objetivo de este sistema es ayudar a los agricultores locales a controlar sus invernaderos de manera automatizada. Para recopilar datos, se utilizan múltiples sensores para medir los parámetros de la condición de las plantas de Chile. Estos datos se envían a la nube de Ubidots a través de un microcontrolador con el propósito de seguimiento [6].

En un marco similar, el artículo «Application Modernization Strategies for AWS Cloud» presenta un enfoque de fábrica inteligente que integra una red industrial, la nube y varios terminales de control con piezas de trabajo. Utiliza el "Controllino

mega", un controlador compatible con [IoT](#) Arduino y de código abierto, para controlar toda la producción, permitiendo la conectividad en la nube. Este dispositivo [PLC](#) posibilita la comunicación entre diferentes partes de la línea de producción, lo que facilita el control y monitoreo en tiempo real del proceso de fabricación. La comunicación inalámbrica emplea sensores inteligentes, demostrando que dispositivos como sensores y actuadores pueden funcionar de manera autónoma sin depender del centro de control principal. Además, gracias a los dispositivos [IoT](#), los encargados pueden recibir notificaciones directas sobre cualquier defecto en el sistema [7].

En el contexto de la Industria 4.0 y las tecnologías [IoT](#), las aplicaciones en la nube juegan un papel fundamental en el manejo de datos y la transformación digital de aplicaciones. Para este propósito, la nube [AWS](#) es una gran opción para aplicaciones que incluyen migración a la base de datos, con despliegue de automatización de la nube de [AWS](#) utilizando herramientas [DevOps](#) [8].

Considerando la importancia actual del desarrollo de tecnologías [IoT](#) y procesos de automatización más avanzados, se propone investigar los sistemas de comunicación asociados al PLC [IoT](#) A8-E de Haiwell. Este dispositivo cuenta con numerosas características que lo hacen adecuado para implementar sistemas eficientes en la industria. El objetivo es desarrollar una aplicación de control y monitoreo en el contexto de la Industria 4.0. Para ello, la universidad proporcionará los equipos necesarios y los laboratorios universitarios servirán como espacio de desarrollo.

Justificación

La Industria 4.0 es un concepto que describe la integración de tecnologías avanzadas en la manufactura, a través de la digitalización, la interconexión de sistemas y dispositivos y el uso del IoT, la inteligencia artificial (IA), big data y computación en la nube [9].

En el Ecuador existen varias organizaciones encargadas de que la industria se encuentre al margen de la innovación, como Siemens, Allen-Bradley (Rockwell Automation), Mitsubishi Electric, Schneider Electric. Sin embargo, pueden llegar a tener costos muy elevados para la pequeña y mediana empresa en general.

Haiwell es una empresa china que se especializa en la fabricación de productos para automatización industrial. Cuenta con precios accesibles en comparación con marcas establecidas en el mercado ecuatoriano, ofreciendo un software de libre acceso. Sus productos brindan características distintivas que le otorgan una posición competitiva en la industria.

El PLC IoT A8-E de Haiwell es un equipo robusto que cumple con los requisitos de la Industria 4.0 al proporcionar conectividad avanzada, capacidades de IoT, herramientas de programación versátiles y funciones de seguridad y diagnóstico. Su capacidad para integrarse con servicios en la nube y aprovechar tecnologías emergentes, respalda su relevancia en entornos industriales modernos y orientados hacia el futuro. No obstante, la tecnología que posee este elemento es relativamente nueva en la industria Ecuatoriana, por lo tanto en este Proyecto de Titulación se investigarán las herramientas de comunicación que ofrece el equipo y se desarrollará de una aplicación de monitoreo y control donde se demuestre la funcionalidad de este PLC, creando un proyecto guía para la utilización del mismo.

Objetivos

Objetivo General

- Desarrollar una plataforma de monitoreo y control utilizando los sistemas de comunicación del PLC IoT A8-E de Haiwell en el contexto de la industria 4.0.

Objetivos específicos:

- Identificar las características y capacidades de los sistemas de comunicación del PLC IoT A8-E de Haiwell, considerando protocolos, estándares y tecnologías relevantes en el contexto de la industria 4.0.
- Diseñar la arquitectura de la plataforma de monitoreo y control, definiendo los componentes, protocolos de comunicación y métodos de integración con el PLC IoT A8-E de Haiwell.
- Evaluar mediante pruebas de campo experimentales la funcionalidad de la plataforma de monitoreo y control considerando la compatibilidad de los sistemas de comunicación del PLC.

Introducción

El presente proyecto de titulación se enfoca en desarrollar una plataforma de monitoreo y control utilizando los sistemas de comunicación del PLC IoT A8-E de Haiwell, en el contexto de la Industria 4.0. El propósito es proporcionar una solución accesible y eficiente para la supervisión y el control de procesos industriales, permitiendo decisiones basadas en información y optimización de recursos.

La importancia de nuevas tecnologías radica en la mejora de producción y calidad. Como Wang concluye, la Industria 4.0 se centra en el uso de tecnologías emergentes para integrar a fondo los procesos empresariales y de ingeniería, logrando una producción adaptable, eficiente, sostenible y constantemente de alta calidad a bajo costo. [10]. Citando estudios anteriores a nivel local, considerando la aplicación de Industria 4.0 en Ecuador, se señala que adoptar las tendencias 4.0 facilita la mejora continua en las empresas manufactureras, transformando la gestión de las líneas de producción. Los factores clave para implementar estas tendencias son: 1) Inversión en tecnología. 2) Gestión y almacenamiento de datos cruciales. 3) Capacitación y actualización del personal. 4) Desarrollo y adaptación de nuevos productos [11].

Sin embargo, en Ecuador, la adopción de tecnologías avanzadas en la industria se enfrenta a desafíos significativos, especialmente para las pequeñas y medianas empresas. Según datos presentados en el Instituto Nacional de Estadística y Censos, las PYMEs representan el 90% del total de empresas en el país y son responsables del 60% del empleo formal. Sin embargo, su capacidad de inversión en tecnología es limitada debido a los altos costos asociados con productos de marcas reconocidas tales como Siemens y Allen-Bradley (Rockwell Automation), Mitsubishi Electric y Schneider Electric .

Haiwell, una empresa china especializada en automatización industrial, ofrece

una alternativa competitiva con productos accesibles y software de libre acceso. El PLC IoT A8-E de Haiwell es un dispositivo robusto que cumple con los requisitos de la Industria 4.0. Este equipo con sus características avanzadas y precios accesibles, ofrece una solución viable para estas industrias.

El objetivo principal es desarrollar una aplicación de monitoreo y control en el que se demuestre la funcionalidad y calidad de los equipos Haiwell(PLC y HMI). De esta manera, se busca crear un proyecto guía para la utilización del PLC IoT A8-E de Haiwell, facilitando su adopción en el sector industrial ecuatoriano.

Este trabajo de titulación enfrenta varias limitaciones, el tiempo corto para la realización del proyecto puede afectar la profundidad de las evaluaciones y el análisis de los resultados.

Otra limitación importante es la posible resistencia al cambio por parte de las industrias locales. La adopción de nuevas tecnologías a menudo requiere capacitación adicional para el personal y ajustes en los procesos industriales existentes, lo que puede generar resistencia y demoras en la implementación.

A pesar de estas limitaciones, este proyecto tiene el potencial de servir como un punto de referencia para la adopción de tecnologías avanzadas en la industria ecuatoriana. La demostración de la funcionalidad y eficiencia del PLC IoT A8-E de Haiwell puede fomentar un ambiente de innovación y mejora continua, contribuyendo al desarrollo económico y tecnológico del país.

Capítulo 1

Arquitectura y tecnología vinculada al proyecto

En el capítulo se realiza una descripción detallada de las prestaciones y características de la tecnología que se utilizará en el desarrollo del sistema de control y monitoreo, al igual que la arquitectura del mismo. Se analizarán minuciosamente las especificaciones técnicas, las funcionalidades clave y las ventajas de cada dispositivo. Asimismo, se evaluará su capacidad de integración y compatibilidad con el sistema global, asegurando que cada componente contribuya de manera óptima al rendimiento y eficiencia del sistema. Esta evaluación permitirá una comprensión clara y precisa de cómo cada equipo contribuye al objetivo final del proyecto, garantizando su éxito y fiabilidad a largo plazo.

1.1. Arquitectura del sistema

La Figura 1.1 muestra la estructura del sistema de control y monitoreo. En el primer nivel se encuentran los sensores y actuadores del proceso. En este caso se trata de sensores de caudal, detectores de nivel, una válvula y una bomba que se utilizan para controlar el flujo y el nivel de agua de un proceso hidráulico. Los datos de estos dispositivos serán gestionados por el PLC a través de sus entradas y salidas tanto digitales como analógicas.

En el segundo nivel de la arquitectura se encuentra el controlador, que en este

caso es el PLC IoT A8-E de Haiwell. Este controlador envía los datos recolectados de los sensores y actuadores a un broker MQTT, que se encarga de la transmisión de los datos. Además, se incluye el HMI, que maneja ciertas variables de control del PLC. La comunicación entre el PLC y el HMI se realiza a través de Ethernet.

En el siguiente nivel se encuentra el broker MQTT, en este caso el propio de Ubidots. Posteriormente, se encuentra la aplicación web en la nube de Ubidots, donde se llevará a cabo la aplicación de control y monitoreo.

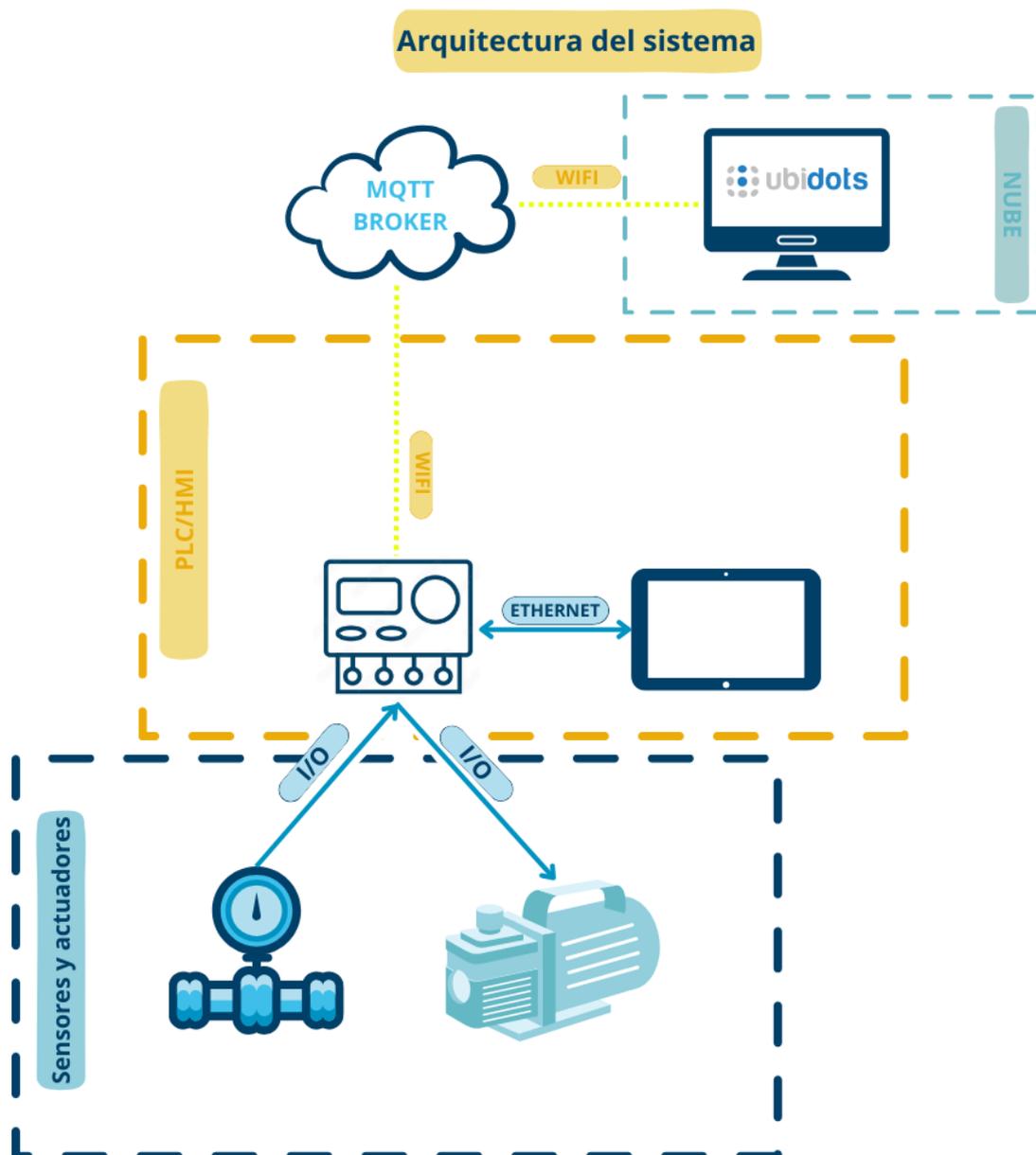


Figura 1.1: Arquitectura del sistema.

1.2. Tecnología vinculada al proyecto

1.2.1. PLC IoT A8-E (Haiwell)

El PLC Haiwell A8 SmartLink ofrece una funcionalidad completa tanto de PLC como de gateway simultáneamente. Cuenta con un almacenamiento de 4GB más 512MB, y es capaz de expandirse hasta con 15 módulos adicionales. Este equipo incluye 8 entradas digitales y dispone de un puerto LAN y un puerto COM con protocolo RS485. Además posee conectividad WiFi y 4G [12]. La Figura 1.2 muestra dónde se encuentran estos elementos en el PLC.

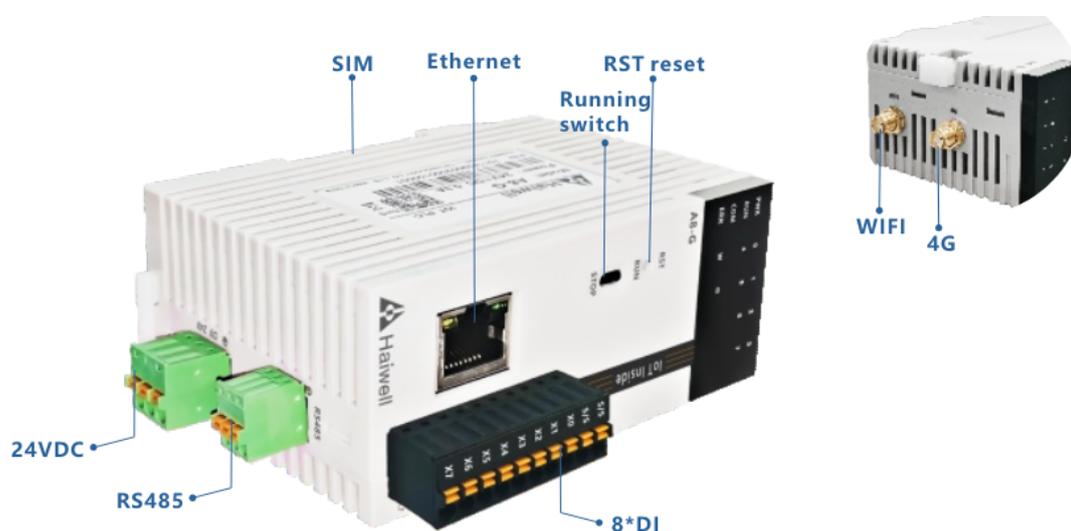


Figura 1.2: Elementos PLC IoT A8-E.

El sistema en general facilita una conexión sencilla entre el gateway, HMI, teléfono móvil, tableta, computadora, televisor y cámara en la red de área local. Además, permite el acceso remoto para múltiples usuarios concurrentes sin necesidad de SCADA en la nube o conexión VNC. Asimismo, integra datos con ERP, MES y otras aplicaciones mediante MQTT, OPC UA, HTTP y TCP [12]. En la Figura 1.3 es posible observar las dimensiones, que son de 40x95x65(mm) de ancho, alto y profundidad respectivamente.

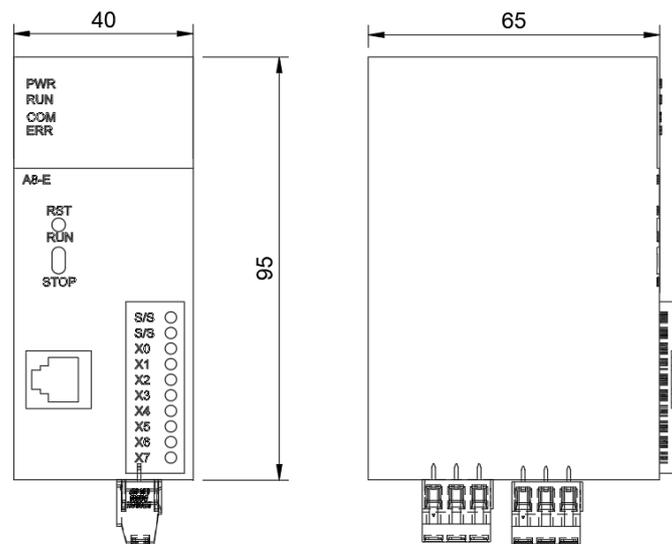


Figura 1.3: Medidas PLC IoT A8-E.

En la Tabla 1.1 se expone a detalle todas las características y prestaciones del PLC IoT A8-E de Haiwell, además de los parámetros que requiere para su correcto funcionamiento.

El PLC IoT A8 funciona a 24VDC y debe conectarse como se muestra en la Figura 1.4. También consta de un puerto S/S que determina la configuración del modo de entrada según la documentación revisada [12]:

- Modo Source (Fuente): En este modo, el PLC proporciona la tensión a los dispositivos de entrada, estos se encuentran conectados al terminal S/S para recibir tensión.
- Modo Sink (Sumidero): En este modo, el PLC recibe la corriente de los dispositivos de entrada, los mismos están conectados al terminal S/S para suministrar corriente.

Cuando el PLC está configurado en modo sink, las entradas digitales del PLC deben conectarse a 0VDC. En cambio, cuando está configurado en modo source, las entradas del PLC deben conectarse a 24VDC.

Tabla 1.1: Características y prestaciones del PLC IoT A8-E de Haiwell [12].

Software	Software de programación	HaiwellHappy
		Haiwell Cloud SCADA
Parámetros del PLC	Modo de trabajo	Escaneo cíclico periódico
	Actualización de E/S	Actualización en cada ciclo de escaneo o inmediatamente
	Velocidad de procesamiento	0,05 μ s/instrucción
	Lenguaje de programación	LD+FBD+IL
	Capacidad de programa	48K
	Almacenamiento	Almacenamiento permanente en Flash ROM sin batería
	Expansión	Soporta hasta 15 módulos
Interfaz de E/S	Almacenamiento	Flash 4GB, RAM 512MB
	Puerto Serial	Puerto RS485
	Puerto Ethernet	10/100 Base-T * 1
	Restablecimiento de fábrica	Sí
	Switch S0	Doble tiro de un solo polo
	WIFI	Sí
	4G	Global
	Puerto SIM	Puerto micro SIM
	Puerto E/S	8 entradas digitales fotoeléctricas aisladas
Fuente	Potencia de entrada nominal	24VDC \pm 20 %
	Consumo de energía	<8W
	Protección de energía	Protección contra sobretensiones
	Tensión soportada	500V AC
Ambiente	Temperatura y humedad	Temperatura de funcionamiento: -10~+60°C
		Temperatura de conservación: -20~70+°C
		Humedad relativa: 10~90 %RH
	Resistencia de vibración	10 - 57 Hz: 0,075 mm, 1 G, 10 veces en cada dirección X, Y o Z
	Resistencia al impacto	15G, 11 ms, 6 veces en cada dirección X, Y o Z
	Resistencia de aislamiento	50M Ω @500VDC
Grado de protección	Pasa la prueba de niebla salina de 48 horas	
Método de enfriamiento	Circulación de aire natural	
Estructura	Dimensiones externas	40 mm x 95 mm x 65 mm (ancho x alto x profundidad)
	Material	ABS and PC (flame-retardant)

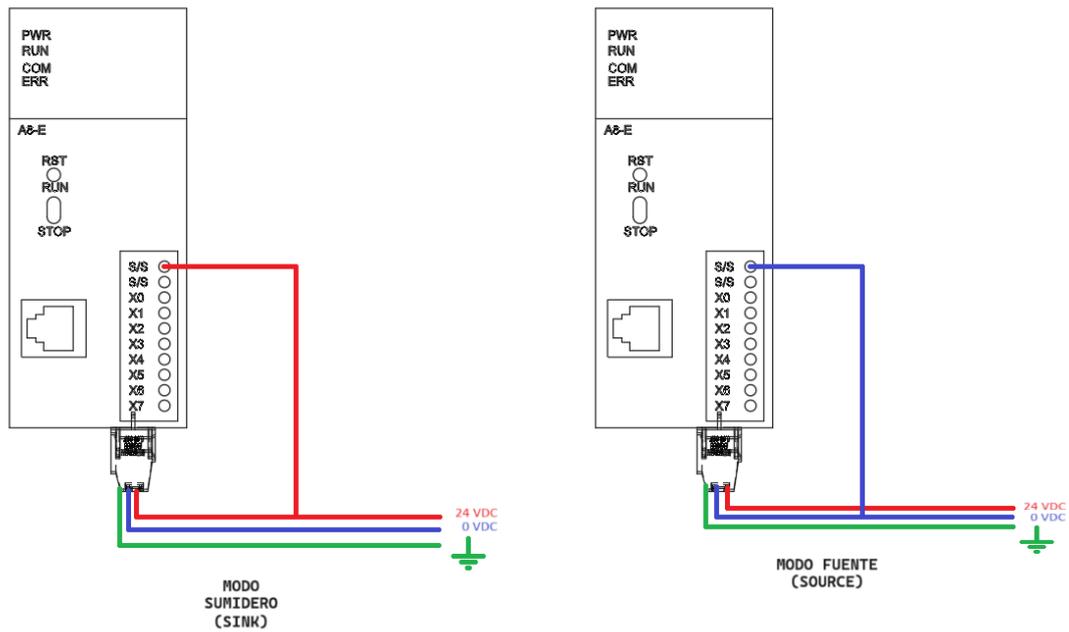


Figura 1.4: Medidas PLC IoT A8-E.

1.2.2. Módulo analógico A08XA (Haiwell)

El módulo analógico A08XA de Haiwell es un componente utilizado en sistemas de control industrial para la adquisición y el control de señales analógicas. Este módulo se puede conectar a un PLC y se utiliza para leer entradas analógicas y generar salidas analógicas.

Puede utilizarse como módulo de expansión para cualquier PLC compacto Haiwell (series AC, AT y AH) y cuenta con 4 entradas analógicas y 4 salidas analógicas. Posee dimensiones de 25x95x65(mm) de ancho, alto y profundidad respectivamente [13], que se pueden visualizar en la Figura 1.5.

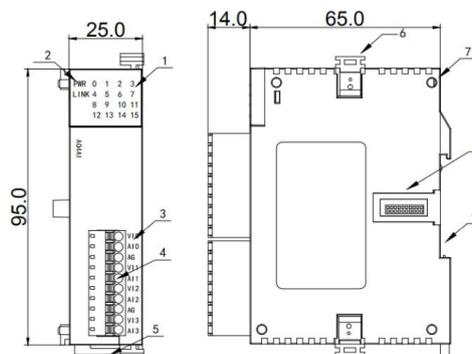


Figura 1.5: Medidas módulo A08XA [13].

Las especificaciones de las entradas analógicas del módulo se encuentran en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2: Especificaciones de entradas analógicas [13].

Propiedades	Voltaje de entrada			Corriente de entrada	
Rango de entrada	0V~+10V	0V~+5V	1V~+5V	0~20mA	4~20mA
Máxima entrada permitida	13V			30mA	
Rango de valor digital	0-32000	0-32000	0-32000	0-32000	0-32000
Impedancia de entrada	6MΩ			250Ω	
Tiempo de respuesta	2.0ms/ch				
Resolución	16 bits				
Fuente de alimentación	24VDC ±20 %, 200mA (Max.)				

Las propiedades de las salidas analógicas del módulo están detalladas en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3: Especificaciones de las salidas analógicas [13].

Propiedades	Voltaje de entrada			Corriente de entrada	
Rango de salida	0V~+10V	0V~+5V	1V~+5V	0~20mA	4~20mA
Rango del valor digital	0-32000	0-32000	0-32000	0-32000	0-32000
Impedancia de carga	1KΩ@10V	≥500Ω@ 10V		≤ 500Ω	
Tiempo de respuesta	3.0ms/ch				
Resolución	16 bits				
Fuente de alimentación	24VDC ±20 %, 200mA (Max.)				

En la Figura 1.6 se presentan los diagramas de cableado de las entradas analógicas del módulo. Así mismo en la Figura 1.7 se presentan los diagramas de cableado de las salidas analógicas del módulo.

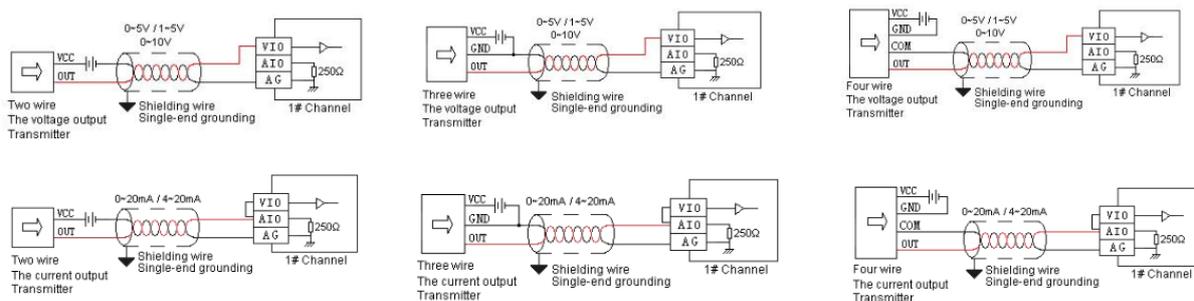


Figura 1.6: Diagrama de cableado de las entradas analógicas [13].



Figura 1.7: Diagrama de cableado de las salidas analógicas [13].

Los terminales de entradas y salidas del módulo analógico se observan en la Figura 1.8, y se presentan como VI0 la entrada de voltaje analógico y AI0 la entrada de corriente analógica, siguiendo la misma lógica para VI1, AI1, VI2, AI2, VI3 y AI3, siendo entrada para Común a AG. Para las salidas se tiene AQ0 para salida de corriente analógica y VQ0 como salida de voltaje analógico, siguiendo la misma lógica para VQ1, AQ1, VQ2, AQ2, VQ3 y AQ3, teniendo como común a AG.

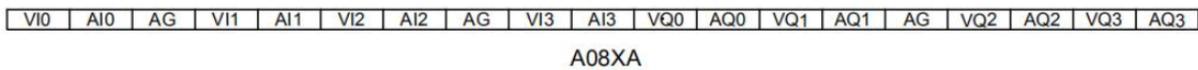


Figura 1.8: Diagrama de terminales de módulo analógico A08XA [13].

El PLC y el módulo analógico deben asegurarse a un gabinete cerrado durante el montaje, al igual que es necesario utilizar un riel estándar de 35 mm.

Tal como indica la Figura 1.9, se debe unir la interfaz paralela inferior derecha del último módulo (host o módulo de extensión) a la parte inferior derecha de la interfaz paralela del siguiente módulo y luego apretarla con dos hebillas en la parte superior e inferior. La interfaz del módulo del lado derecho se deja para la interfaz de extensión del siguiente módulo de extensión.

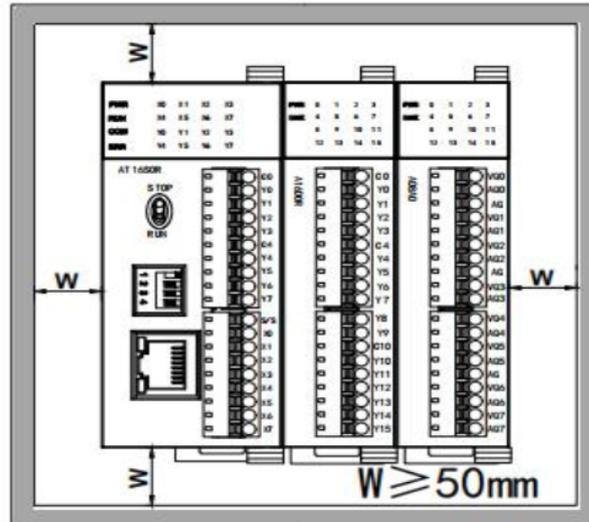


Figura 1.9: Montaje módulo analógico A08XA [13].

1.2.3. HMI B7H-W (Haiwell)

La serie de Haiwell B7H-W cuenta con pantalla TFT de 7", resolución HD de 1024x600, almacenamiento de 4GB + 512M, puertos LAN, USB y COM, capacidad de voz y opciones de WiFi [14], es posible visualizar el equipo en la Figura 1.10.



Figura 1.10: HMI B7H-W [15].

En la tabla 1.4, las características del dispositivo, como el almacenamiento, dimensiones y las entradas disponibles. También en la Figura 1.11, se observa la estructura del HMI.

Tabla 1.4: Característica HMI [15].

Modelo	Pantalla TFT	Almacenamiento	LAN+COM	USB	Voice	WiFi	Wireless	Cutout Size	Dimensión
B7H	7"1024*600 HD	4GB + 512M	1+2	2	Yes	Yes		193x139mm Chamfer: (R3.5mm)	# 200x146x37mm

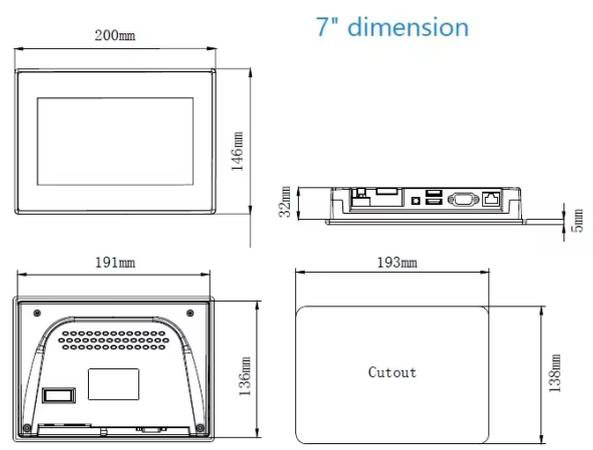


Figura 1.11: Estructura HMI [14].

En los manuales de uso del equipo se presentan los beneficios que brinda [14], cada uno de estos se detallan a continuación:

- Conexión en LAN

Todos los modelos tienen tecnología **IIoT** integrada que permite el acceso local y una interfaz abierta sin necesidad de Internet.

- Acceso Remoto

Gracias a la solución de control en tiempo real de Haiwell, los usuarios pueden acceder de manera remota al HMI desde una aplicación móvil, permitiendo usuarios concurrentes.

- Mantenimiento en la Nube

El acceso remoto es seguro y facilita la gestión de equipos por parte de los fabricantes utilizando funciones de mantenimiento remoto. Este acceso requiere identificación mediante un mecanismo de seguridad de claves A/B. El control remoto se puede configurar para ser autorizado en el HMI.

- Seguridad de Datos

Los datos del usuario no se almacenan en la nube de Haiwell. Pueden almacenarse en servidores públicos o privados designados por los usuarios.

- Protocolo MQTT

El protocolo MQTT es compatible y se utiliza para conectar con sistemas ERP,

MES y bases de datos.

- Plataforma IoT

Todos los modelos son compatibles con plataformas IoT como Alibaba Cloud IoT, AWS IoT y Google Cloud IoT Core. Los usuarios pueden obtener datos y controlar dispositivos en su propia plataforma o software mediante la [API web](#), tanto en redes locales como a través de Internet.

- Integración de Pantalla

La pantalla del HMI puede integrarse en otras aplicaciones como software, sitios web o apps para permitir el acceso remoto al HMI.

- Control Centralizado Remoto

Los datos de dispositivos remotos pueden ser recopilados mediante un broker MQTT para un control centralizado. Los usuarios no necesitan desplegar un servidor si utilizan un centro de datos en la nube.

- Transmisión de Voz

Todos los modelos pueden conectarse a un micrófono y altavoz mediante un adaptador [USB](#) a audio. Soportan funciones de texto a voz, reproducción de archivos de audio, intercomunicador de voz, transmisión de voz y intercomunicador remoto con una app.

- Escáner Móvil

El teléfono móvil puede convertirse en un escáner de códigos de barras para ingresar información en cualquier lugar, ofreciendo mayor conveniencia que un escáner externo.

- Pizarra Digital

Los datos de producción, estado de dispositivos y vigilancia por vídeo pueden visualizarse en una pantalla grande conectada mediante TVBOX, útil para visualización de datos y control centralizado.

- Autenticación Móvil

La identidad del operador puede verificarse mediante reconocimiento [NFC](#) o escaneando un código [QR](#) con el teléfono móvil.

El software de programación es Haiwell Cloud SCADA, una plataforma de monitoreo y control industrial basada en .NET Framework, creada por Xiamen Haiwell Technology Co., Ltd, para la configuración de sus HMI's. El detalle técnico, se describe en la tabla 1.5:

Tabla 1.5: Especificaciones HMI [14].

Especificaciones	Detalles
Software	Software de programación Haiwell Cloud SCADA
Pantalla	TFT de 7" Resolución de 1024x600 píxeles 16.7 millones de colores Brillo de 450 cd/m ² Ángulo de visión de 85 grados en todas las direcciones
Panel Táctil	Película resistiva analógica
Retroiluminación	LED con vida útil de 50,000 horas y función de suspensión automática
Hardware	4GB de memoria Flash 512MB de RAM Ethernet 10/100 Base-T COM1:RS232 COM2:RS485 Dos puertos USB 2.0 RTC
Alimentación	Entrada de 24V DC±20Consumo de 7W@24V DC (7") Protección contra sobretensiones y polaridad inversa
Entorno	Refrigeración por aire natural Protección IP65 en la parte frontal Protección IP20 en la parte trasera Temperatura de almacenamiento de -20 70°C Temperatura de operación de -10 60°C Humedad relativa de 10 90
Estructura	Hecho de ABS (retardante de llama) Dimensiones de 200x146x37mm (7") Corte de panel de 193x138mm (7") Peso de 0.8kg (7") Montaje en panel
Características Opcionales	WiFi (802.11b/g/n) e inalámbrico 4G

El HMI en cuestión, cuenta con puertos LAN, dos USB, una entrada COM y una entrada para antena WiFi. En la Figura 1.12 se muestran los puertos de conexión de este equipo.



Figura 1.12: Puertos HMI [16].

1.2.4. Montaje y Conexión de los Equipos

Para montar los equipos, primero fue necesario el diseño de un tablero industrial. El diseño del mismo se presenta a continuación en la Figura 1.13 y los modelos 3D del mismo se muestran en las Figuras 1.14, 1.15, 1.16.

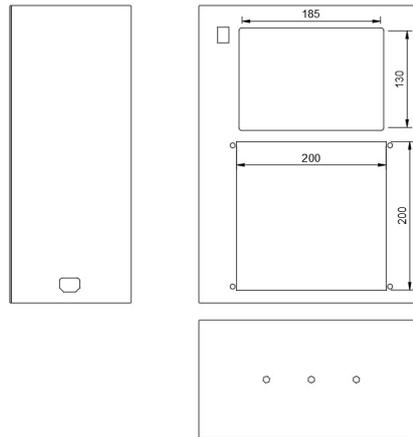


Figura 1.13: Diseño del Tablero.

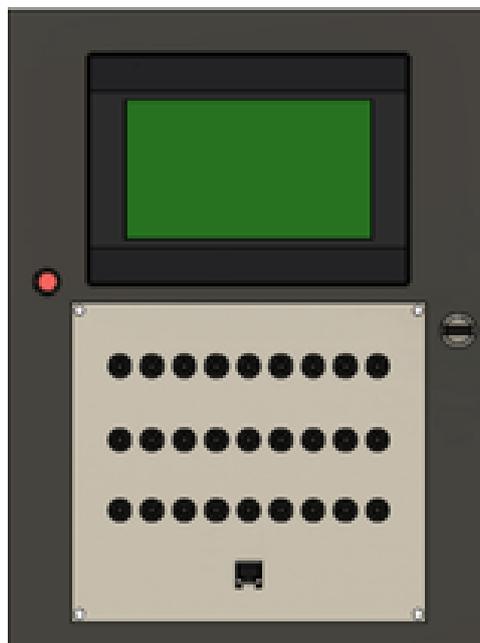


Figura 1.14: Frente tablero.

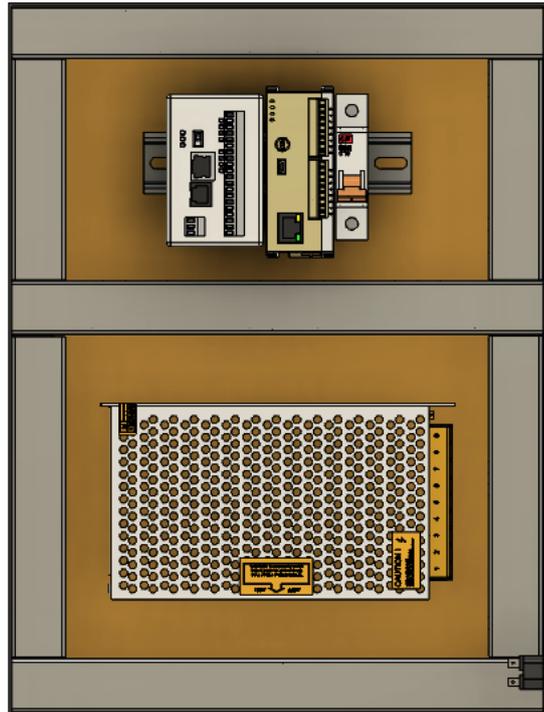


Figura 1.15: Interior del tablero.

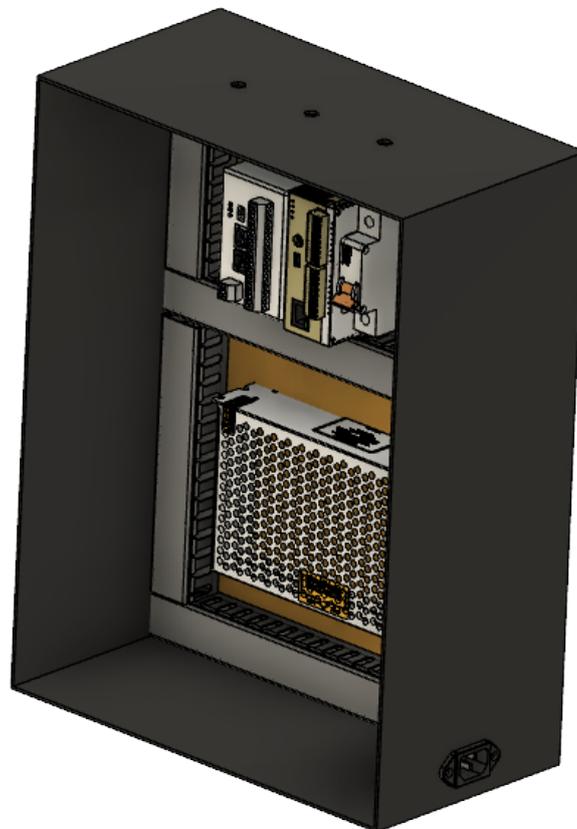


Figura 1.16: Lateral del tablero.

Para el diseño, se consideraron las medidas de los equipos. Cabe recalcar, que el diseño fue enviado a una empresa local que se encarga de este tipo de trabajos. A su vez, se guiaron del diseño y crearon el tablero. El resultado fue un tablero industrial con doble fondo y con los orificios necesarios para la interconexión de dispositivos.

El siguiente paso, fue atornillar las canaletas y rieldines necesarios. La fuente utilizada se alimenta con un cable de poder que pasa por un breaker y un switch. La fuente fue atornillada en el doble fondo del tablero.

Con los rieldines conectados, se inserta el PLC y el módulo. Además, en el primer orificio de la tapa del tablero, se coloca el HMI y en el segundo, se coloca la tapa que contiene conectores banana hembras, para las entradas y salidas analógicas del módulo, y para las entradas digitales del PLC. Por último se colocan las antenas WiFi del PLC y del HMI.

El cableado de la fuente y para la alimentación del PLC que se realiza, se puede observar en la Figura 1.17, que contiene el plano de conexión.

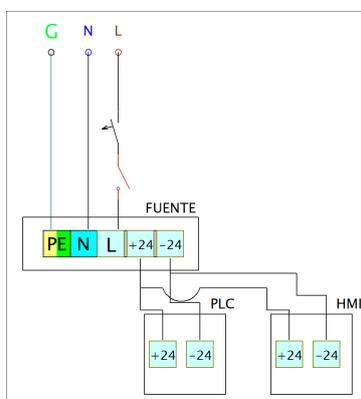


Figura 1.17: Alimentación de la Fuente y del PLC.

Para las entradas digitales y las entradas y salidas analógicas, el cableado que se realizó fue el de conectar a cada entrada de las borneras con bananas hembra especificando visualmente a que corresponde cada entrada.

Capítulo 2

Interfaces de comunicación

En este capítulo, se proporcionará una descripción detallada sobre cómo configurar las interfaces de comunicación de los equipos. Esta configuración es crucial para asegurar un envío correcto de datos a la nube de Ubidots utilizando el protocolo de comunicación MQTT. Adicionalmente se detallará la configuración de los dispositivos para una comunicación vía ethernet.

2.1. Comunicación WiFi

Cada uno de los elementos principales de este sistema está equipado con acceso a la red WiFi, lo que garantiza una conectividad continua y sin interrupciones. Esta característica permite que todos los componentes trabajen de manera coordinada y eficiente, optimizando así el rendimiento global del sistema. Además, la capacidad de acceder a la red WiFi asegura que los elementos puedan comunicarse entre sí de manera rápida y segura, facilitando la transferencia de datos y la ejecución de tareas en tiempo real. La integración de acceso a la red WiFi en cada uno de los elementos es fundamental para mantener la sincronización y la funcionalidad del sistema, ofreciendo una experiencia de usuario fluida y confiable.

Conexión

Para conectar el PLC IoT A8-E a la red WiFi, primero es necesario conectarlo a la computadora mediante un cable Ethernet. A continuación, se debe configurar el

puerto de la computadora para que esté en la misma red que el PLC, permitiendo así la conexión entre ambos dispositivos.

Para la conexión del HMI, se puede seguir un proceso similar o configurarlo directamente desde la pantalla del dispositivo. Simplemente es necesario mantener presionada la esquina superior derecha de la pantalla durante aproximadamente 3 segundos, lo que abrirá la ventana de configuraciones. Desde allí, se pueden realizar los ajustes necesarios para la conexión a la red.

Posteriormente, se debe ingresar la dirección IP/setting del PLC o el HMI en el navegador para acceder a las configuraciones del dispositivo. En la figura 2.1 se muestra cómo llevar a cabo este proceso de manera correcta.

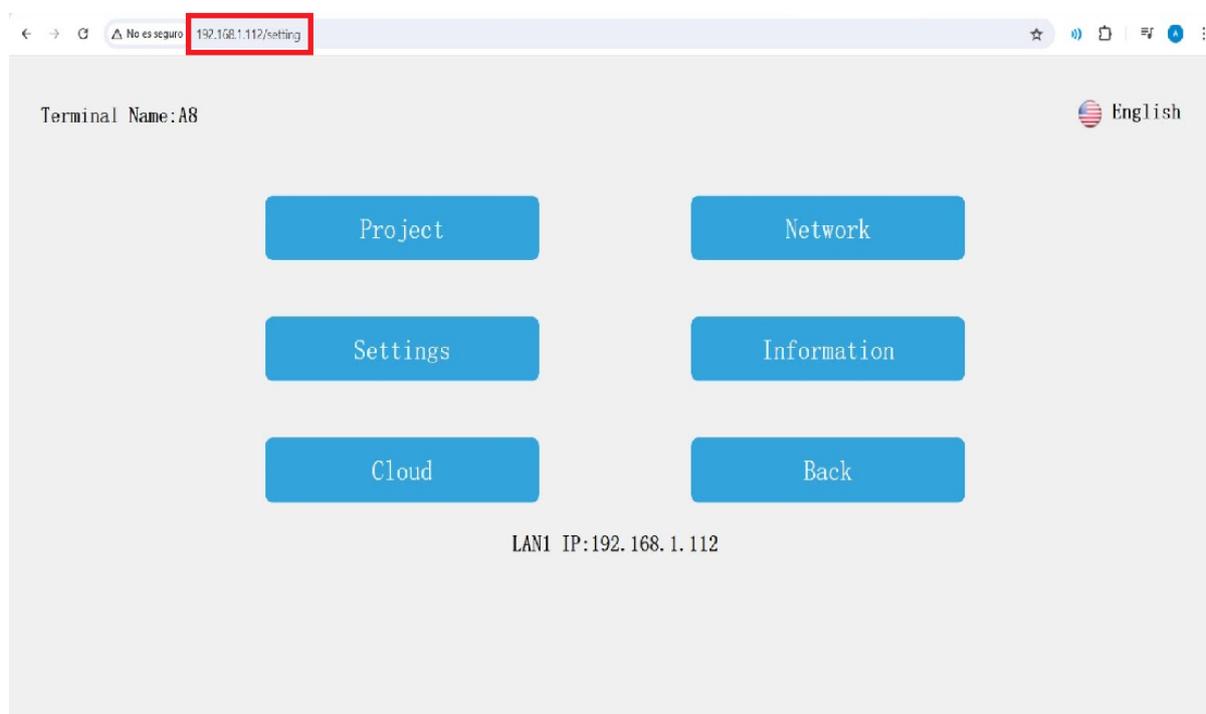


Figura 2.1: Configuraciones del PLC.

Al ingresar a la sección de *Network*, se abrirá una ventana donde es posible realizar múltiples configuraciones de red. En esta ventana, debemos seleccionar la opción *WiFi* y activar el interruptor correspondiente. Posteriormente, aparecerá una lista con todas las redes disponibles a las que es posible conectarse. Se debe elegir la red deseada e ingresar su contraseña, en caso de ser requerida. En la Figura 2.2 se muestra como llevar a cabo este proceso de la manera correcta.

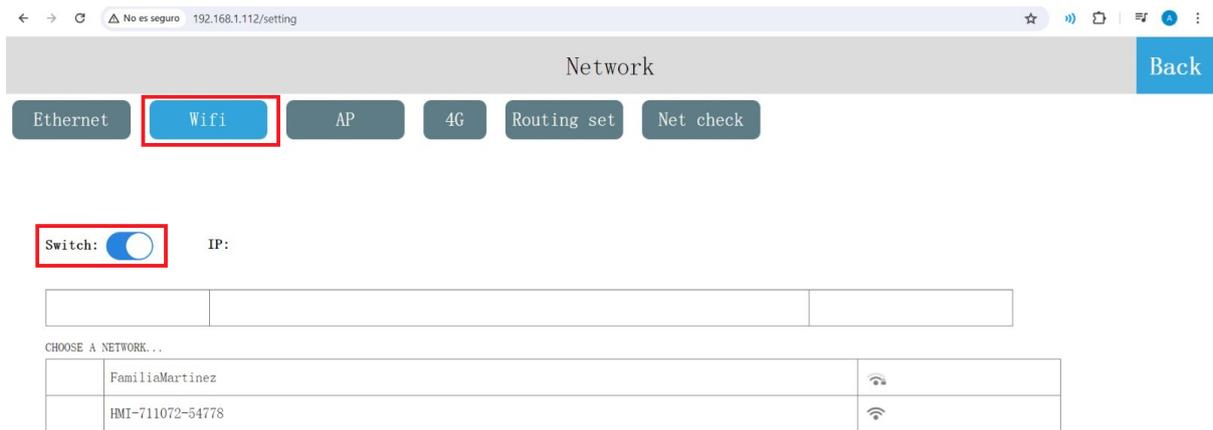


Figura 2.2: Configuraciones de red del PLC.

Una vez que el equipo esté conectado a una red WiFi, se le asignará automáticamente una dirección IP, como se observa en la Figura 2.3. Con esta dirección IP, será posible acceder al equipo sin necesidad de una conexión física, como Ethernet o puerto COM. Esto permite una mayor flexibilidad y comodidad al interactuar con el dispositivo de manera remota.

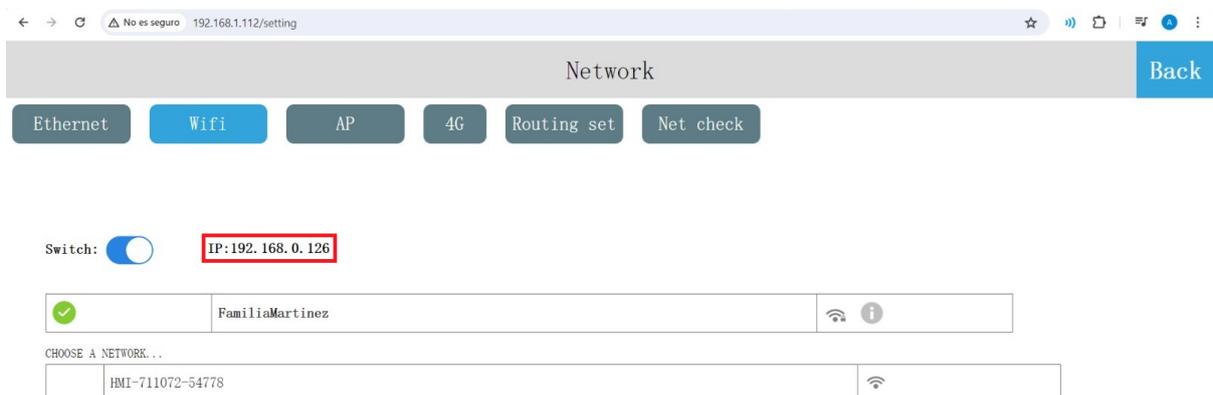


Figura 2.3: Conexión del PLC a la red WiFi.

2.2. MQTT

Tanto el PLC como el HMI cuentan con comunicación MQTT, lo que permite la interacción con múltiples dispositivos mediante este protocolo. Para establecer esta comunicación, es necesario configurar en la aplicación Haiwell Cloud SCADA Designer y luego descargar la configuración en el dispositivo. Esto facilita una integración eficiente y robusta dentro de un entorno IoT, permitiendo una comunicación rápida y segura entre todos los componentes del sistema.

Como paso previo a la configuración del protocolo MQTT se debe crear un proyecto nuevo tal como se presenta en la Figura 2.4.

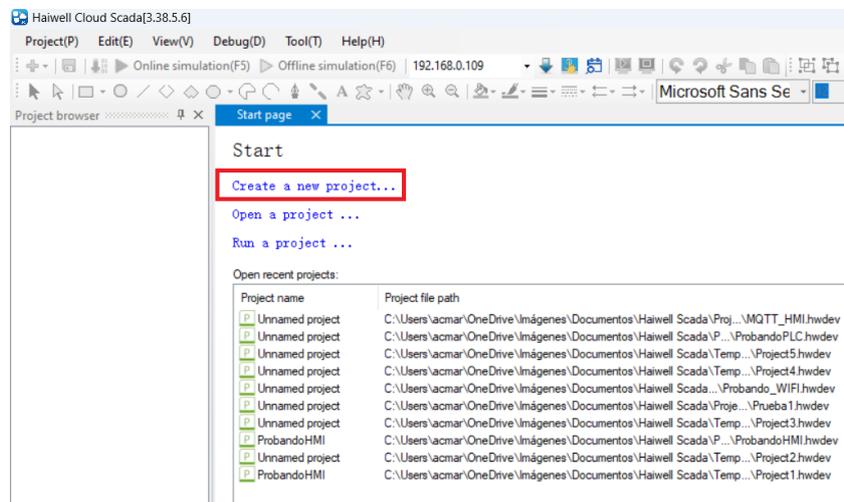


Figura 2.4: Crear un nuevo proyecto.

En la Figura 2.5 se visualiza el siguiente paso, donde se debe ingresar el nombre del proyecto y seleccionar el equipo que se va a programar.

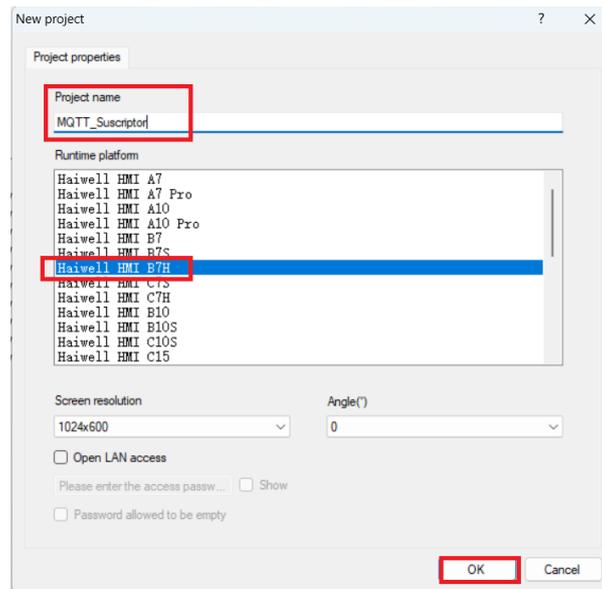


Figura 2.5: Selección de equipo a programar.

Configuración del Publicador MQTT

Para crear un publicador MQTT, es necesario vincular un broker MQTT, que se encargará de gestionar la transmisión de datos. El broker que se utiliza para este proyecto es Ubidots. En este sistema, el publicador MQTT será el PLC IoT A8-E, ya que estará conectado a los sensores y actuadores a través de sus entradas y salidas, permitiendo su control y monitoreo.

Para llevar a cabo este proceso, es necesario seguir los pasos que se detallan a continuación y se muestran en la Figura 2.6:

1. Ingresar al apartado *Data Reporting Server*.
2. Clic en *Add Server*.

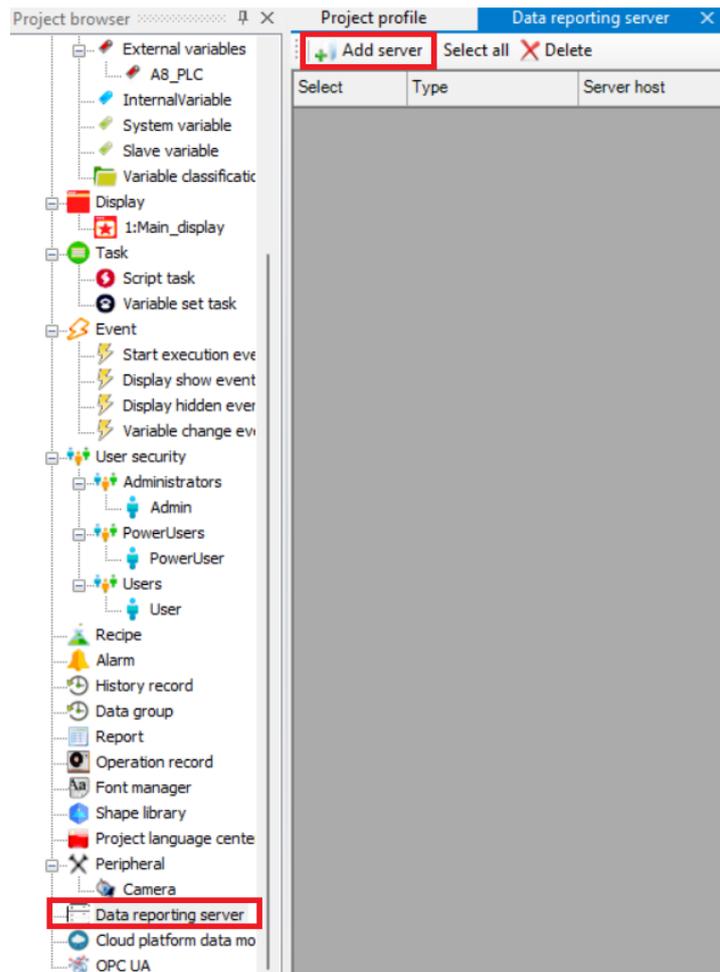


Figura 2.6: Crear servidor MQTT.

Es importante especificar que para el envío de datos se utiliza documentación que ofrece Ubidots. Esto se observa en la Figura 2.7, en la que se incluye la configuración del host, puerto y token necesarios para establecer la conexión con esta herramienta. Detalles claros y visuales sobre cómo estos parámetros son utilizados en el proceso de envío de datos, asegurando una integración efectiva y segura con la plataforma UBIDOTS para examinar y analizar datos en tiempo real.

Una vez configurado el servidor MQTT, el siguiente paso es crear el grupo de datos que se enviarán. Para ello, es necesario agregar las variables del PLC al programa, siguiendo los pasos ilustrados en la Figura 2.9, y completar los campos requeridos sobre el tipo de variable a añadir.

Topic

Publish (v1.6)

/v1.6/devices/<device_label>

Field	Value	Required
Host	industrial.api.ubidots.com	Yes
Port	1883/8883 (Non-TLS/TLS)	Yes
Username	Your Ubidots Token	Yes
Password	Any character or leave blank	No
Quality of Service	0 or 1	No

Figura 2.7: Parámetros de configuración para conexión con Ubidots.

En Haiwell Cloud Scada siguiendo los pasos anteriores, se despliega la pantalla visualizada en la Figura 2.8, donde se debe escoger los siguientes parámetros:

- Server: MQTT(Custom).
- Server Host: Opción *Fixed* y llenar el espacio con el host *industrial.api.ubidots.com*.
- Port: 1883.
- Se activa la opción *ENABLE ESCALATION VERIFICATION* y tanto como en *Username* y *Password*, escoger *Fixed* y utilizar el token de usuario que brinda Ubidots.

En la Figura 2.9 se describe el procedimiento de configuración, donde es posible especificar cada variable del PLC que se desea enviar al broker MQTT. Esto implica seleccionar el tipo de variable (como entero, flotante, booleano, etc.), asignar un nombre descriptivo y configurar otros parámetros relevantes para su correcta transmisión y recepción de datos.

Server: MQTT(Custom) Server name: BROKER_UBIDOTS

Basic Control TLS Topic

Server Information Configuration

Server desc: [Empty text box]

Server host: Fixed (selected) Custom [Empty text box]

Port: Fixed (selected) Custom [Empty text box]

industrial.api.ubidots.com 1883

Client ID: Fixed (selected) Custom [Empty text box]

7ef7210b683231fd Random

Reconnect Interval(s): 2

Enable escalation verification

User info

User name: Fixed (selected) Custom [Empty text box]

i:OF0tp97WM48BLojF7cdYyFK80cZwzk

Password: Fixed (selected) Custom [Empty text box]

..... Show

OK Cancel

Figura 2.8: Ventana para ingreso de datos de broker MQTT.

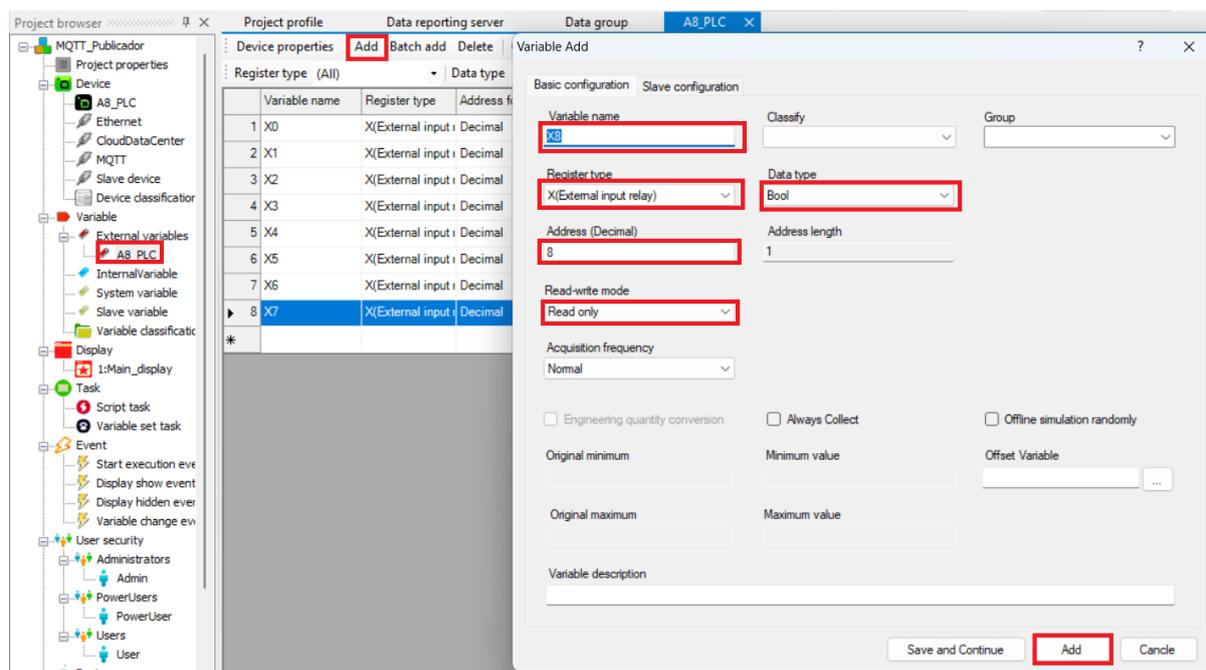


Figura 2.9: Ventana para agregar variables del equipo.

Posteriormente, es necesario crear un grupo de variables del dispositivo que serán transmitidas mediante el protocolo MQTT. Para realizar este proceso, se debe seguir los siguientes pasos:

1. Ingresar a la sección *Data Group*.
2. Luego, hacer clic en *Add Data Group*, como se muestra en la Figura 2.10.

En este proceso, se define un grupo de variables específicas del dispositivo que se desean enviar a través de MQTT. Esto implica seleccionar las variables previamente configuradas y agruparlas según sea necesario para su posterior transmisión y manejo dentro del sistema MQTT.

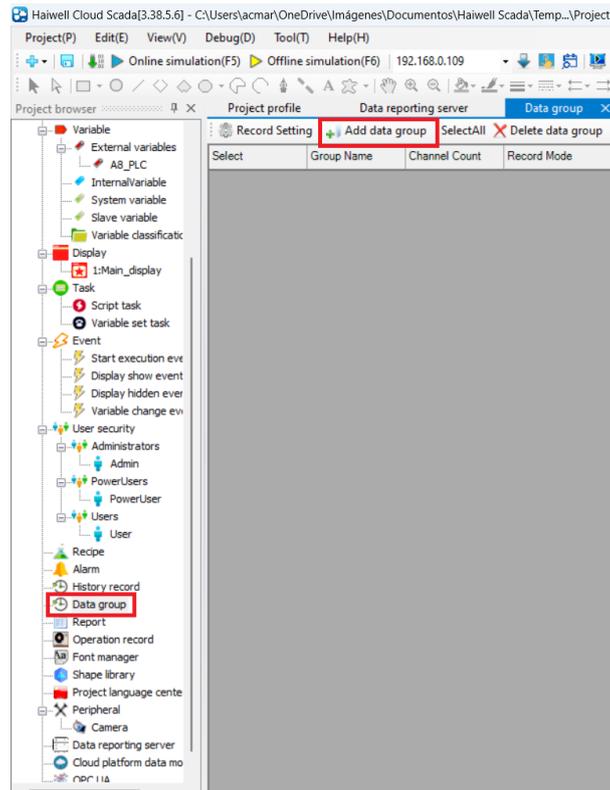


Figura 2.10: Crear grupo de datos a transmitir.

Se despliega una pantalla para configurar el envío de datos, esta pantalla se observa en el Figura 2.11. Se deben escoger las siguientes opciones:

- En la parte superior escoger *Publish Topic*, ya que se va a publicar sobre ese tópico.
- En la parte lateral izquierda, como primer punto se tiene a *Storage Mode*, donde se debe escoger *Remote Report* y escoger al servidor *MQTT(Custom)*. Luego llenar el espacio con */v1.6/devices/plc* que es donde se ingresa el nombre del tópico.
- En *Qos*, en la parte lateral media inferior se debe escoger la opción que dice *At leaste once Qos 1*, con lo que se garantiza que los datos se enviaran al menos una vez.
- En *Record Mode*, se debe escoger cada cuanto o como se desea enviar los datos. En el proyecto se utiliza *Trigger Record* e *Interval Record*, en donde se envían datos cada que la variable configurada que se visualiza en la Figura 2.11, en la parte

inferior; cambia de estado de *OFF* a *ON* ó se configura un intervalo de tiempo para el envío de datos.

- Por último, en la parte media de la pantalla se escoge *Add Value* para agregar las variables a enviar.

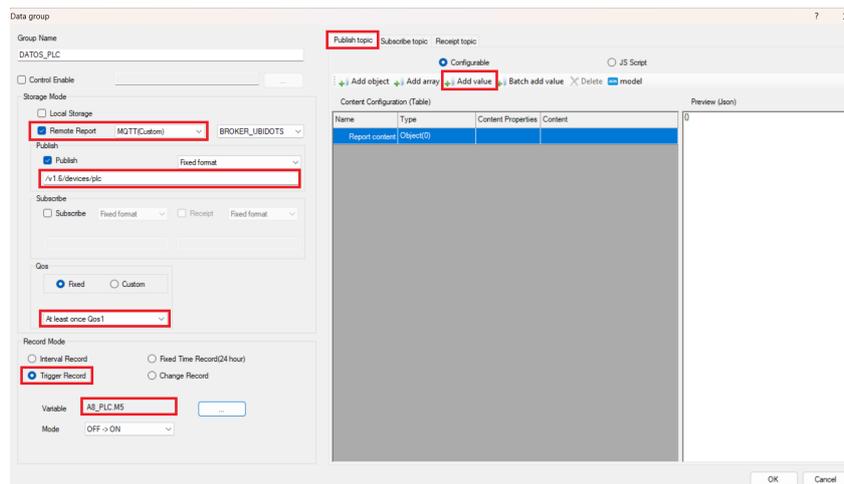


Figura 2.11: Ingresar variables al grupo de datos a transmitir.

En el menú desplegado en la Figura 2.12, se debe agregar cada variable que se necesite enviar. Para esto se debe especificar el nombre, escoger el tipo de variable y vincular con la dirección física o espacio de memoria utilizado. Luego se debe presionar en *Ok*.

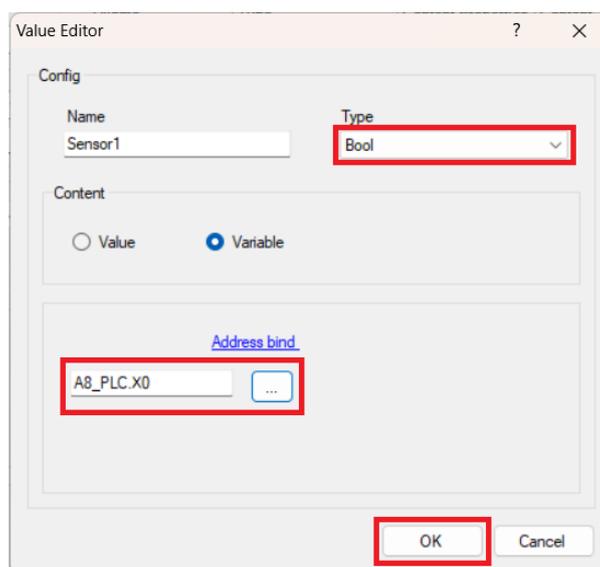


Figura 2.12: Configuración de variables a transmitir.

Cuando se agregan las variables, el software de programación muestra una vista preliminar en formato **JSON** de como se enviará el dato, en la Figura 2.13 se indica dicha vista.

Content Configuration (Table)				Preview (Json)
Name	Type	Content Properties	Content	{"Sensor1": "A8_PLC.X0"}
Report content:	Object(1)			
Sensor1	Bool	Variable	A8_PLC.X0	

Figura 2.13: Variable a enviar creada.

Una vez creado el grupo de datos que se desea enviar, con sus respectivas configuraciones, se agrega automáticamente al servidor MQTT creado con su respectivo tópico donde se publicará. Esto se ilustra en la Figura 2.14.



Figura 2.14: Grupo de datos creado en el servidor MQTT.

2.3. Ethernet

Tanto el PLC como el HMI disponen de puertos Ethernet, un protocolo de comunicación ampliamente utilizado en la industria. A través de este protocolo, se intercomunicará el PLC y el HMI, enviando y recibiendo datos de control de la planta. Para la configuración de este protocolo, se requiere del software Haiwell Cloud SCADA, es necesario programar únicamente el HMI para este proceso. Es importante destacar que los equipos deben estar dentro de la misma red.

Como punto de partida, se configuran las IPs de los equipos, recordando que deben estar dentro de una red LAN. La Figura 2.15, presenta el esquema de conexión y las direcciones IP configuradas en cada equipo.

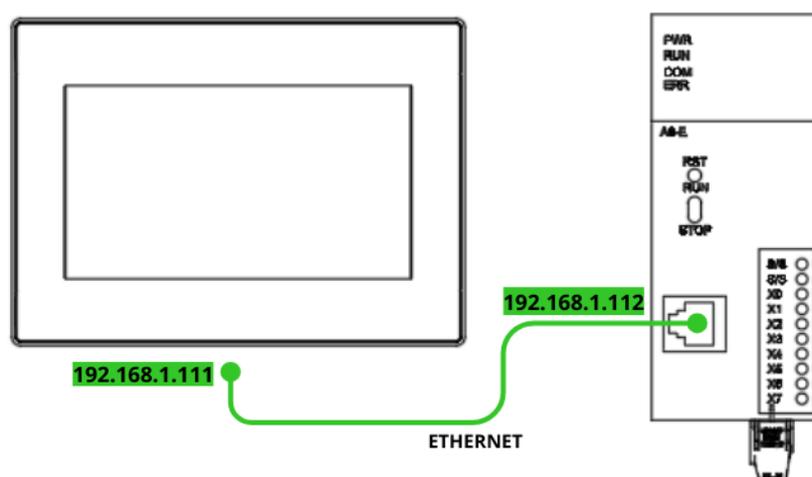


Figura 2.15: Esquema de Conexión ente el PLC y la pantalla HMI.

Posteriormente, se debe abrir el programa Haiwell Cloud Scada, donde es necesario escoger el equipo que se esta utilizando. En la Figura 2.16 se observan los pasos a seguir. Para empezar se debe *Crear Nuevo Proyecto*; luego escoger el equipo a configurar, en este caso *Haiwell HMI B7H* y por último, presionar *OK*.

Siguiendo los pasos anteriores, es posible visualizar una ventana como se observa en la Figura 2.18, donde se debe escoger la interfaz de dispositivo que en este caso es *Ethernet(TCP/IP)*. Luego en *Choose Device*, se debe escoger *Haiwell* y *Haiwell PLC*. Se debe configurar los parámetros TCP/IP ingresando la dirección en *Address* y el puerto *501*. Por último se debe presionar en *OK*.

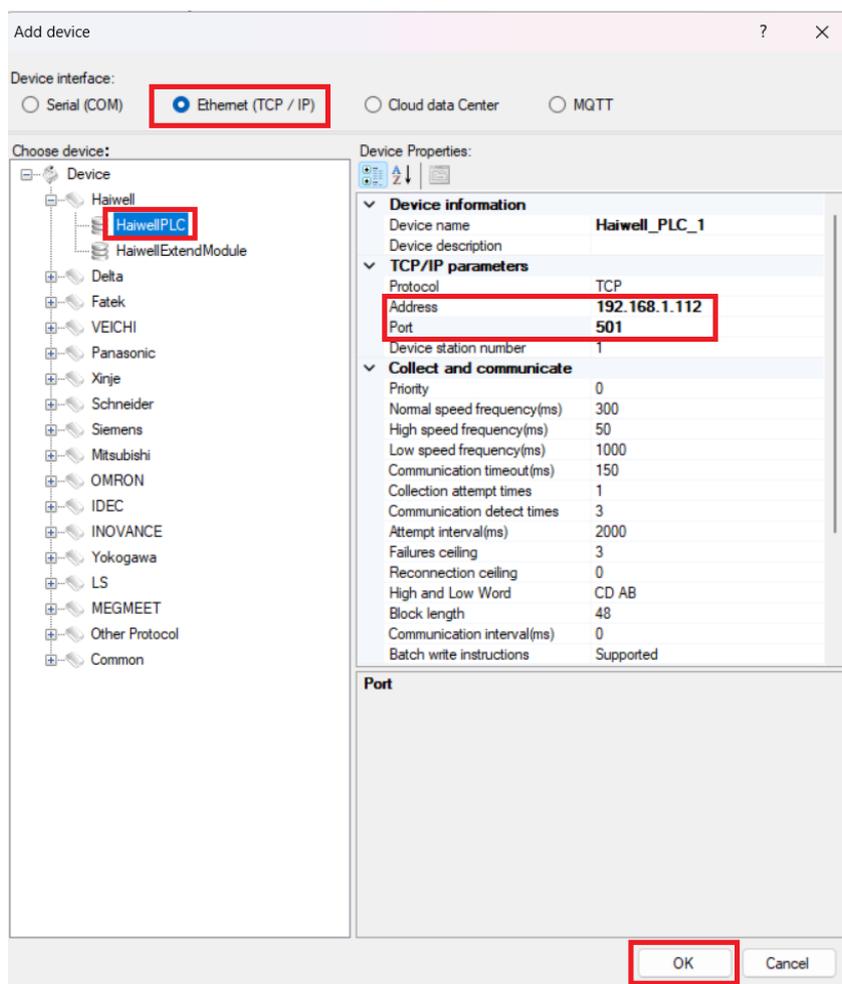


Figura 2.18: Proceso para configurar un dispositivo agregado.

A continuación, en la ventana emergente sugiere configurar las variables del nuevo dispositivo agregado. Se debe presionar *Yes*, tal como se visualiza en la Figura 2.19.

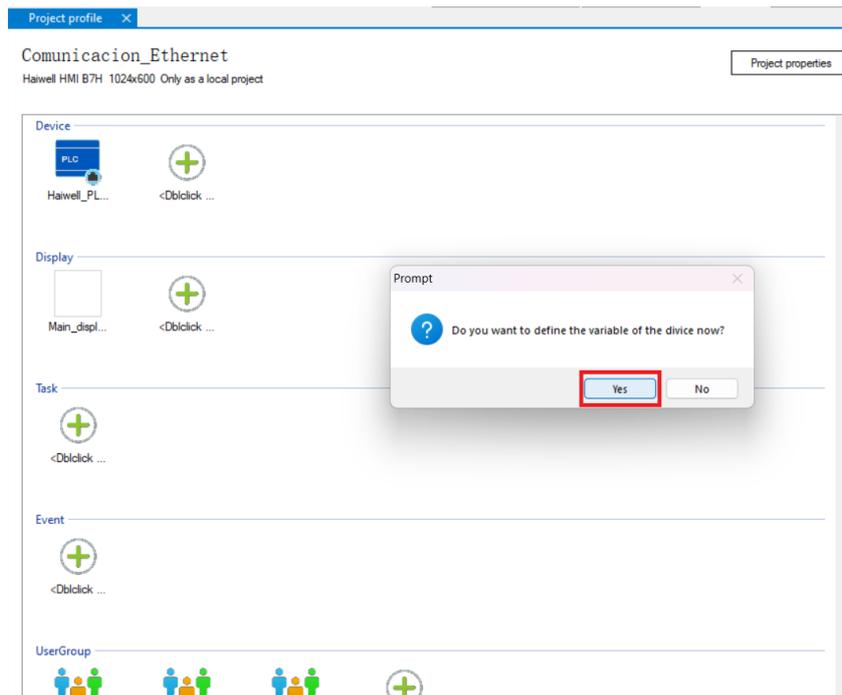


Figura 2.19: Abrir variables de dispositivo agregado.

Se desplegará la ventana que se visualiza en la Figura 2.20. Se debe presionar en *Add* para agregar y configurar una nueva variable. Es necesario agregar un nombre a la variable. Luego en *Register type* se debe escoger el tipo de variable y como esta leyendo la misma. Además, se debe especificar la dirección en decimal de la variable.

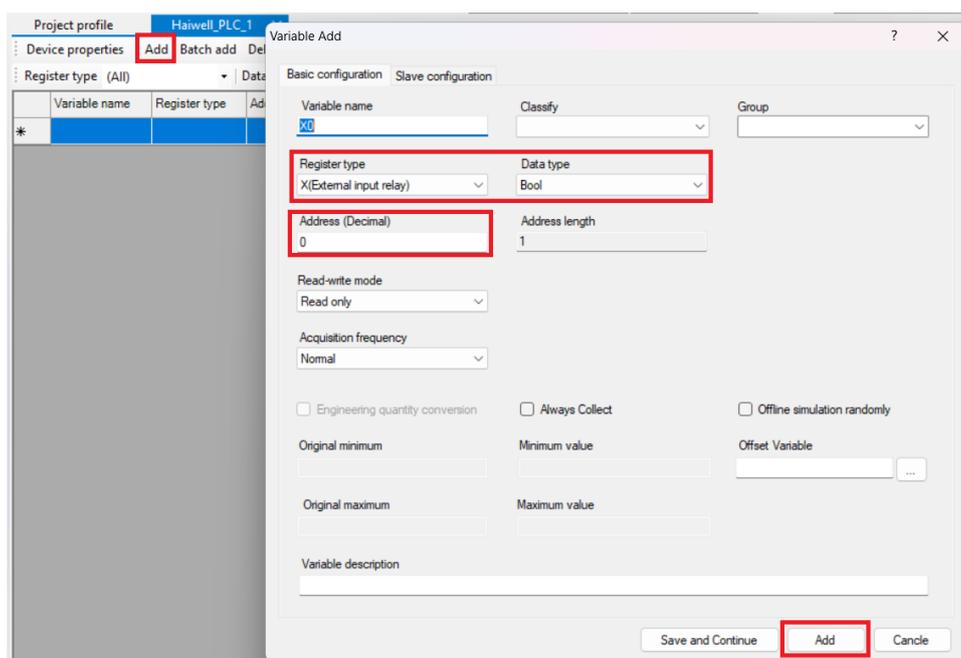


Figura 2.20: Agregar Variables del PLC.

Para iniciar, se van a configurar variables en las que solo se va a leer el estado de las mismas. Continuando con lo anterior, en la Figura 2.21, se observan los pasos a seguir, donde se debe especificar si la variable será de lectura, escrita o lectura y escritura. Por último, se debe presionar en *Add*.

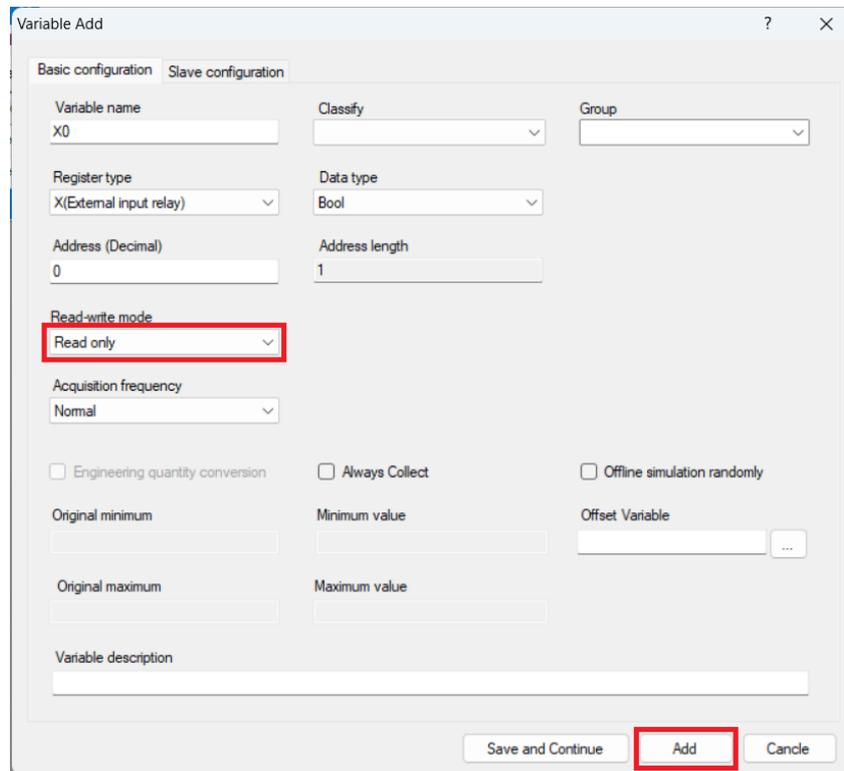


Figura 2.21: Configuración para Lectura de variables.

A continuación, en la Figura 2.22, se pueden observar los pasos para agregar una variable de lectura y escritura, para esto se utilizará una variable de memoria interna en *Register type* y en *Read-write mode* escoger *Read and write* y presionar en *Add*.

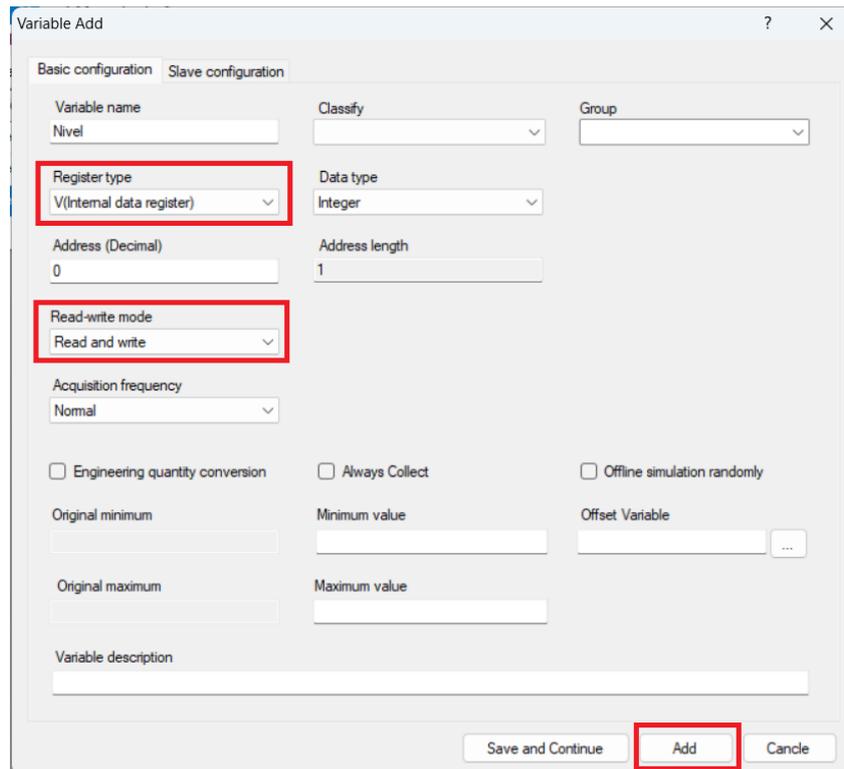


Figura 2.22: Configuración de variables de lectura y escritura.

Al terminar la configuración, se muestra como visualizar una variable de lectura en el display del HMI. Para esto en *Project browser*, en el apartado *Display* se debe escoger *Main Display*, tal como se visualiza en la Figura 2.23.

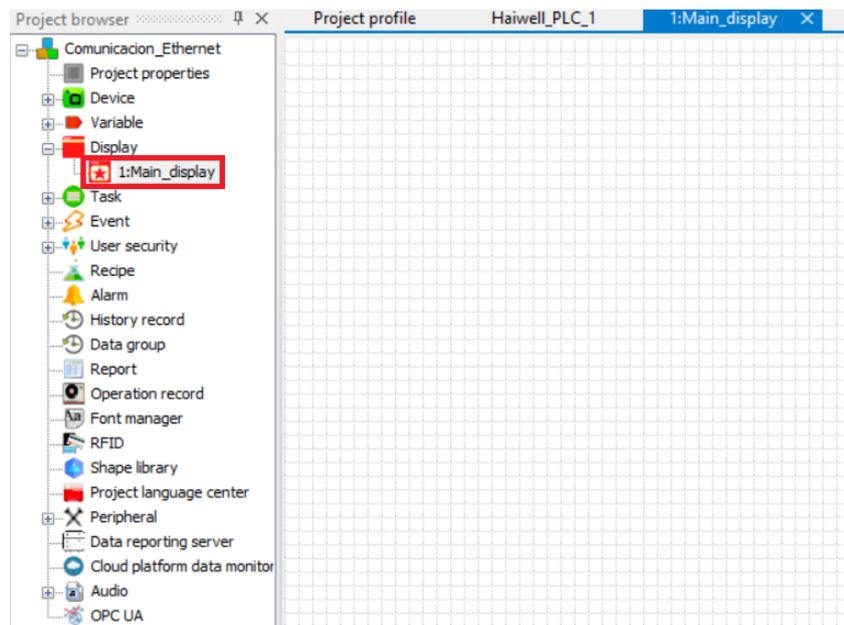


Figura 2.23: Ventana para configuración del display del HMI.

En el *main*, se pueden añadir gráficos tal como se ve en la Figura 2.24. Para vincular a un gráfico una variable de lectura, se debe dar doble click en la figura y se desplegará una ventana flotante, donde en la parte de *Setting*, se debe presionar en los tres puntos.

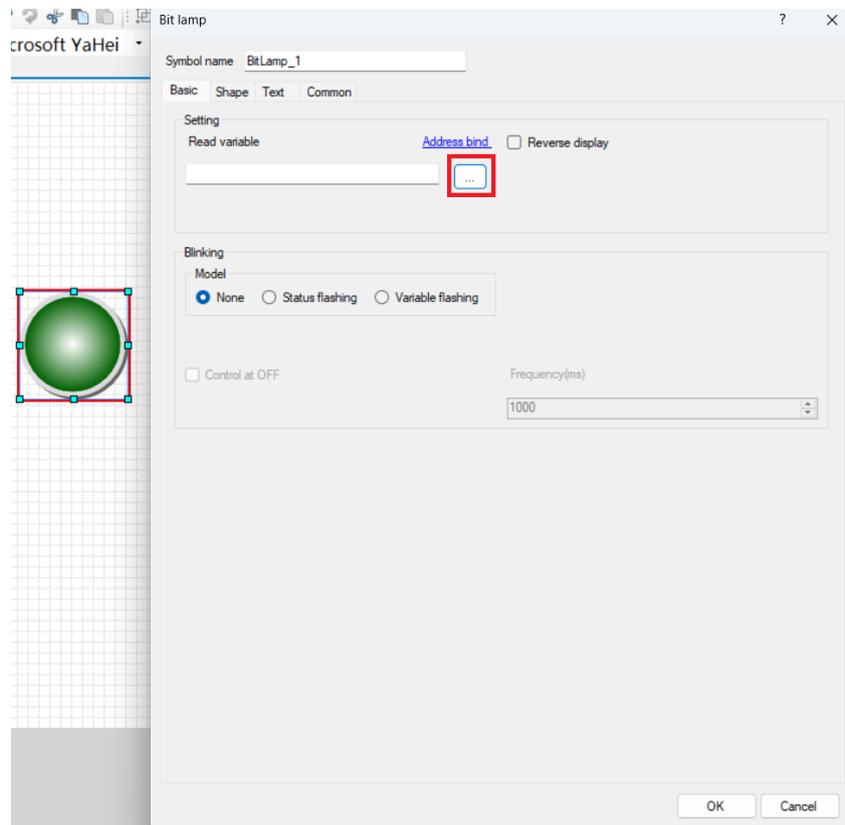


Figura 2.24: Cuadro de diálogo para agregar una variable a un objeto del HMI.

Al haber presionado en los tres puntos, se abre la ventana de *Variable Selector*, donde se debe escoger el dispositivo al que le corresponde la variable que se desea visualizar en este caso *Haiwell PLC*, se mostrarán todas las variables añadidas, se debe escoger la variable de interés y presionar en *Confirm*. Estos pasos se visualizan en la Figura 2.25.

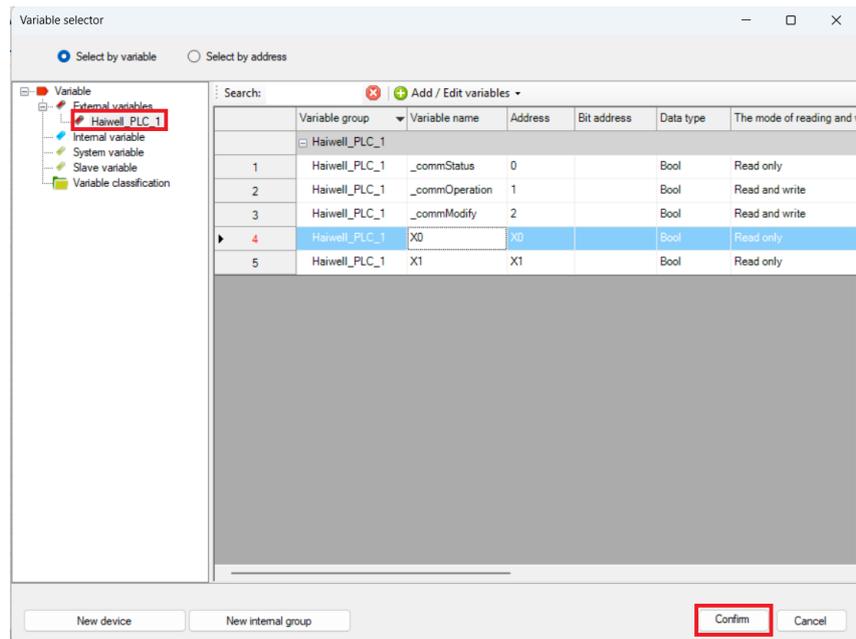


Figura 2.25: Ventana para selección de variables.

Para configurar una variable de escritura y lectura, se debe escoger el objeto y dar doble click, donde se desplegará una ventana flotante de configuración. En la parte de *Setting*, se debe escoger la variable que se va a leer y habilitar las opciones de *Input* y *Write variable is different from read variable*. En la parte de *Written variable*, se debe escoger la variable a escribir. En la parte inferior en *Actual maximum*, se debe proporcionar el intervalo de valores a ingresar como válidos y presionar en *OK*. Todo estos pasos se visualizan en la Figura 2.26.

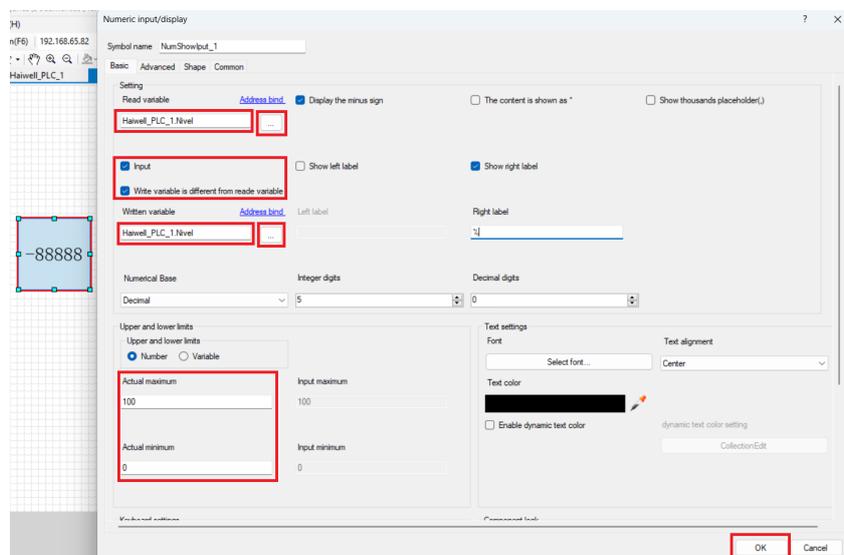


Figura 2.26: Configuración de una variable para escritura.

Capítulo 3

Control y monitoreo del proceso y desarrollo de la plataforma en línea

En este capítulo se describen los sensores y actuadores utilizados de la Planta B, que se encuentra en el laboratorio LACTI en la Universidad Politécnica Salesiana. Esta planta será utilizada para el monitoreo de variables en la plataforma en línea. También se detalla la conexión física con la planta, incluyendo los componentes electrónicos, los sensores empleados y el software necesario para la comunicación. Además, se proporciona una guía paso a paso sobre el proceso de creación de la aplicación web, empezando por la configuración inicial hasta la implementación final. También se describe la interfaz de usuario, las funcionalidades ofrecidas y cómo se integran los datos provenientes de la planta. Por último, se aborda la configuración y el despliegue del tablero de control implementado en el HMI, destacando las herramientas disponibles para la visualización e ingreso de datos.

3.1. Proceso para el control y monitoreo

La Planta B se encuentra en el LACTI de la Universidad Politécnica Salesiana. La Figura 3.1 muestra el diagrama P&ID de la planta, que incluye los elementos de medición y actuación utilizados. Por otra parte, en la Figura 3.2 se puede observar una vista panorámica planta real.

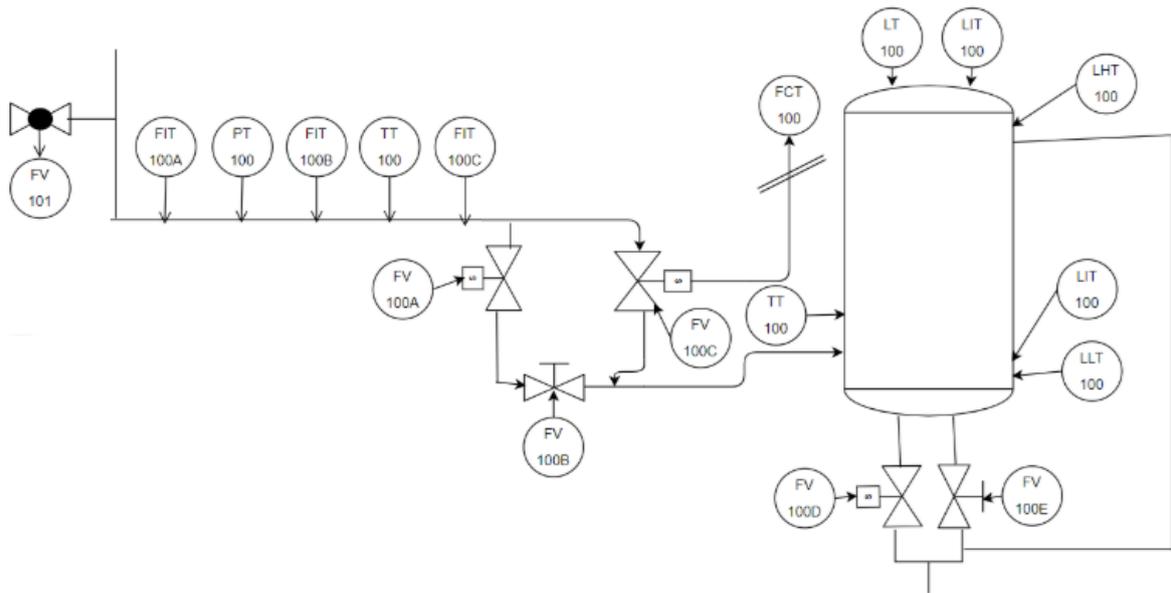


Figura 3.1: Diagrama P&ID del proceso.



Figura 3.2: Vista panorámica del proceso.

La planta se diseñó para facilitar un aprendizaje más dinámico en su manejo. Por ello, cuenta con múltiples sensores que cumplen funciones similares, como medir el caudal o el nivel, aunque de diferentes fabricantes. Para este proyecto, se han seleccionado solo algunos de los elementos disponibles en la planta, los cuales se mencionan a continuación.

El proceso cuenta con un sensor de caudal que envía mediciones de 0 a 80 litros por minuto, codificados en una señal analógica de 4 a 20 mA. También se cuenta con un transmisor de nivel (LIT100) que envía mediciones del 0 al 100 por ciento del nivel, codificadas también como una señal analógica de 4 a 20 mA. Para administrar las señales de estos dos elementos se utiliza dos entradas analógicas del PLC.

El proceso cuenta también con dos transmisores de nivel (LLT100 y LHT100) para detectar un nivel bajo y un nivel alto en el depósito. Estos detectores pueden ser utilizados para evitar que la válvula trabaje en ausencia de líquido o que haya un desborde. Para administrar las señales de los detectores se utiliza dos entradas digitales del PLC.

Por otra parte, el proceso cuenta también con una válvula y su respectivo posicionador (FVC100C). Este elemento requiere una corriente proporcional entre 4 y 20 mA para lograr una apertura o cierre porcentual de 0 al 100 %. Para manejar este elemento se utiliza una salida analógica del PLC.

A continuación, se presentan los elementos utilizados de la planta, se dan características generales y se realiza una tabla asociando a que entrada o salida del PLC se conectan.

- Caudalímetro Burkert: El transmisor de flujo digital Serie 8045 de la marca Burkert, fabricado de Francia, está diseñado para ofrecer un control preciso y eficiente en diversas aplicaciones industriales. El modelo del equipo se puede visualizar en la Figura 3.3. Funciona con una tensión de alimentación de 18 a 36 Vdc y es compatible con tuberías de diámetros entre DN 6 y 400 mm. Este sensor de flujo de estado sólido, sin piezas móviles, es capaz de medir tanto el flujo como el volumen, con una temperatura de operación que va desde -10°C hasta +60°C. El dispositivo cuenta con un funcionamiento en varios idiomas mediante menús y una opción de simulación que proporciona todas

las señales de salida para una fácil puesta en marcha. Además, permite una programación y calibración automática adaptada a aplicaciones específicas. Las salidas incluyen una señal de 4 a 20 mA, un pulso calibrado y dos relés. Las teclas de pantalla y las funciones están protegidas por una cubierta, y se ofrecen conexiones de acero inoxidable para mayor durabilidad. Este transmisor es ideal para aplicaciones como aguas residuales, tratamiento de superficies, lavanderías, industria química no peligrosa, industria alimentaria, piscinas, y algunas soluciones ácidas y alcalinas [17].



Figura 3.3: Caudalímetro Burkert [17]

- Sensor de Nivel Endress+Hauser Liquiphant T FTL20: El Liquiphant FTL20 es un detector de nivel compacto ideal para aplicaciones en almacenamiento, sistemas de limpieza y filtrado, y depósitos de refrigerante y lubricante, proporcionando prevención de sobrellenado y protección contra el funcionamiento en vacío. Utiliza el principio de medida de horquillas vibrantes, lo que asegura un funcionamiento seguro y fiable sin necesidad de calibración, mantenimiento, o preocupación por adherencias, turbulencias o burbujas. Su diseño permite pruebas externas con imanes y es adecuado para espacios pequeños. Opera en temperaturas de -40°C a 150°C y puede soportar presiones de hasta 40 bar, con una densidad mínima del medio de $0,7\text{ g/cm}^3$ [18]. En la Figura 3.4, se puede visualizar al sensor.



Figura 3.4: Liquiphant T FTL20 [18]

- Burkert Positioner SideControl NAMUR: El posicionador compacto y robusto, que se puede observar en la Figura 3.5, está diseñado para actuadores lineales y rotativos, cumpliendo con IEC 60534-6-1 y VDI/VDE 3845. Compatible con válvulas de control de Bürkert, el SideControl digital electropneumático opera con señales estándar de corriente y voltaje, y puede incluir una interfaz de bus de campo. Equipado con funciones de diagnóstico según NE107 (NAMUR), facilita el mantenimiento predictivo y optimiza la disponibilidad de las plantas. Su operación es simple, similar a los controladores Bürkert ELEMENT 8692/8693, y el sistema neumático funciona con actuadores de simple y doble efecto, asegurando una respuesta de seguridad y una alta capacidad de aire con presión hasta 7 bar [19].



Figura 3.5: Positioner SideControl NAMUR [19]

- Cerabar PMP51:

El transmisor de presión digital Cerabar PMP51 con membrana metálica es ideal para la medición de presión, nivel, volumen o masa en líquidos o gases

en procesos industriales e higiénicos, visualizado en la Figura 3.6, diseñado para aplicaciones de alta presión de hasta 400 bar. Su menú de Configuración rápida permite una puesta en marcha fácil y eficiente, reduciendo costes y tiempo. Asegura mediciones precisas incluso con variaciones de temperatura de proceso y cumple con los estándares SIL2 según IEC 61508 e IEC 61511. El diseño modular simplifica la sustitución del indicador o la electrónica. Facilita la integración con sistemas HART, PROFIBUS PA y Foundation Fieldbus, ofreciendo opciones de 4 a 20 mA. Además, está disponible con manifolds montados para garantizar que siempre esté listo y sin fugas. Con una precisión estándar del 0.1 % y una opción Platino del 0.075 %, opera en temperaturas de -40°C a 125°C , soportando presiones absolutas de hasta 600 bar. Su rango de medición abarca de 1 bar a 400 bar, y puede medir hasta una distancia máxima de 4000 m H₂O [20].



Figura 3.6: Cerabar PMP51 [20]

Conexión con la Planta

La conexión de la planta al tablero, se detalla en el plano mostrado en la Figura 3.7, donde se detalla cada conexión realizada y la posición de los switches en el tablero de la PLanta B de LACTI. De la misma manera, se puede observar la conexión real del tablero con la planta en la Figura 3.8.

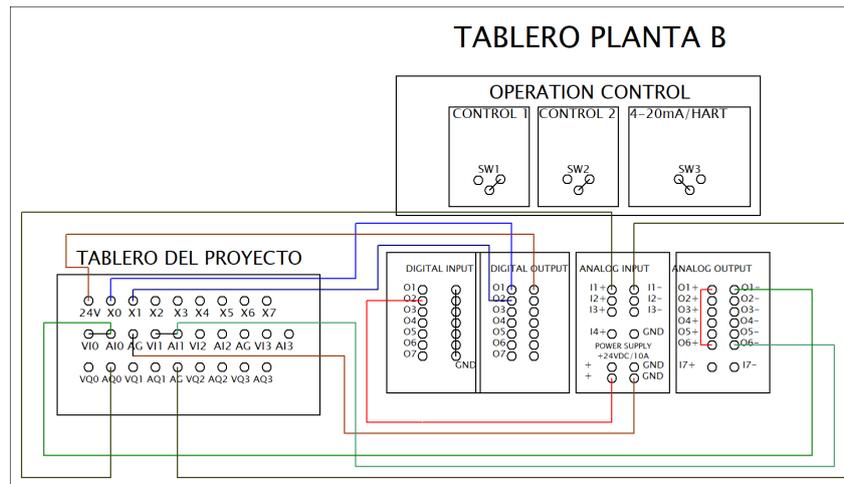


Figura 3.7: Esquema de Conexión con la Planta.



Figura 3.8: Conexión real con la planta.

En la tabla 3.1 se presenta las entradas y salidas utilizadas en el PLC para administrar las variables del proceso.

Tabla 3.1: Conexión entre el tablero del PLC y el tablero de control del proceso.

EQUIPO DE LA PLANTA B	ENTRADA Ó SALIDA DE LA PLANTA B	ENTRADA Ó SALIDA ASOCIADA DEL TABLERO
CAUDALIMETRO	SALIDA ANALÓGICA; O6-	ENTRADA ANALÓGICA; AI0
POSICIONADOR	ENTRADA ANALÓGICA; I1+-I1-	SALIDA ANALÓGICA; AQ0-AG
SENSOR DE NIVEL ALTO	SALIDA DIGITAL; O2	ENTRADA DIGITAL; Q2
SENSOR DE NIVEL BAJO	SALIDA DIGITAL; O1	ENTRADA DIGITAL; Q1
DETECTOR DE NIVEL	SALIDA ANALÓGICA; O1-	ENTRADA ANALÓGICA; AI1

3.2. Desarrollo de la aplicación Web

En esta sección se detalla el proceso completo para el desarrollo de la plataforma web utilizando Ubidots, que es una herramienta potente y versátil que permite la creación de aplicaciones IoT con facilidad. A continuación, se describen los pasos fundamentales que se siguieron para el desarrollo de esta plataforma.

3.2.1. Nuevo dispositivo

Como paso inicial, se debe agregar un nuevo dispositivo, en este caso al PLC, donde se recibirán los datos enviados a través del protocolo MQTT. Para esto se debe seguir los pasos observados en la Figura 3.9, que son detallados a continuación.

- Primero: Click en *Devices*.
- Segundo: Click en *Devices*.
- Tercero: Click en el símbolo de Más.

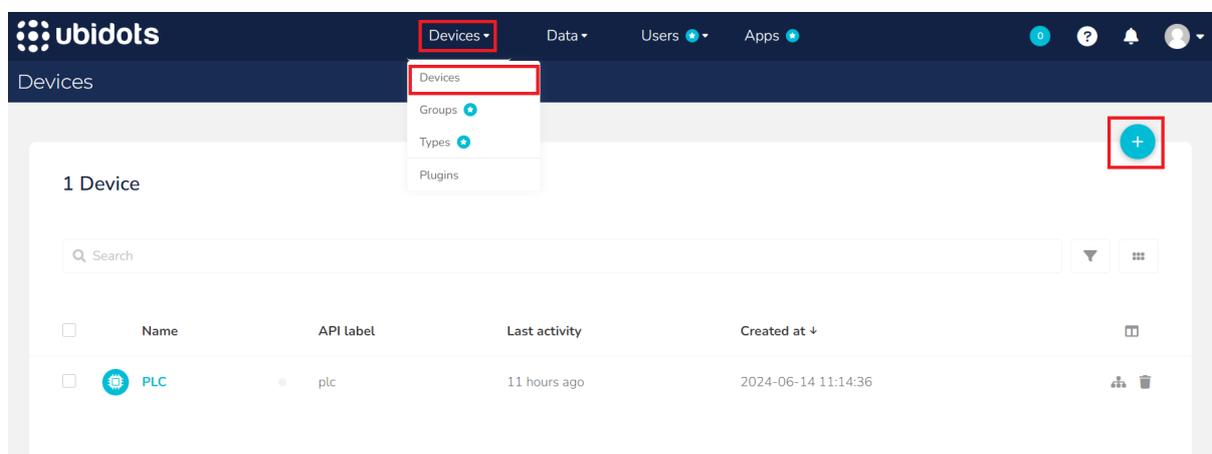


Figura 3.9: Agregar Dispositivo.

Siguiendo los pasos anteriores, se abrirá una pantalla como la que se tiene en la Figura 3.10, donde se debe escoger la opción *Blank Device*.

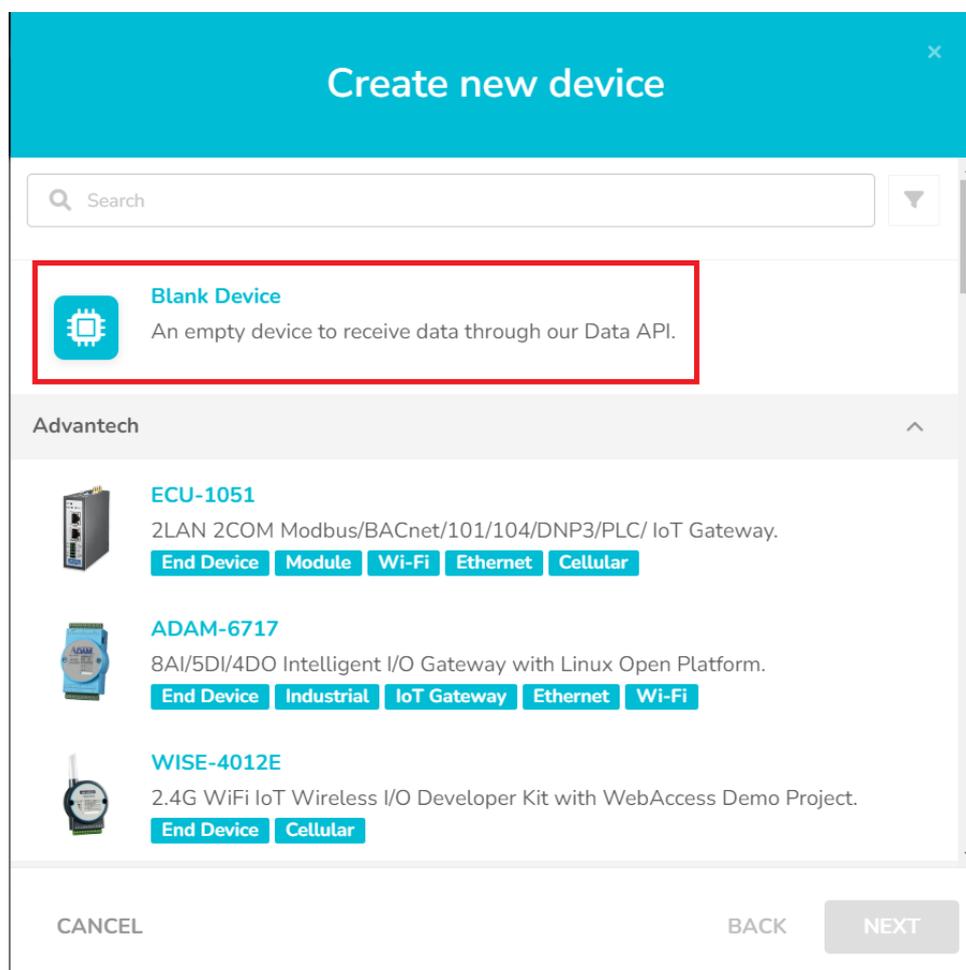
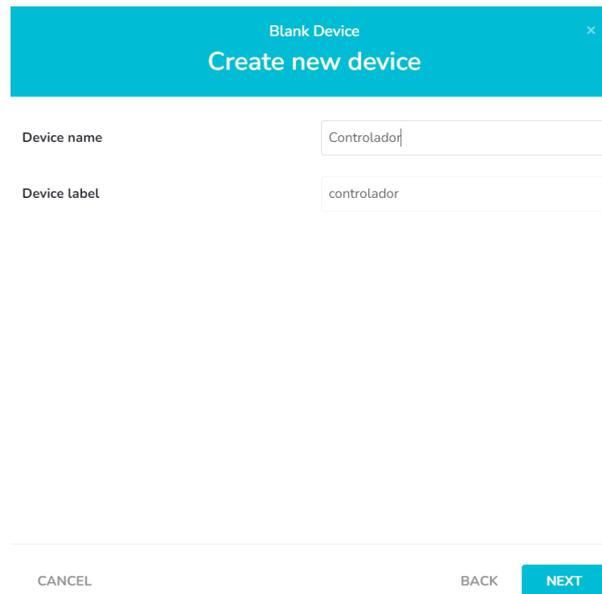


Figura 3.10: Crear nuevo dispositivo.

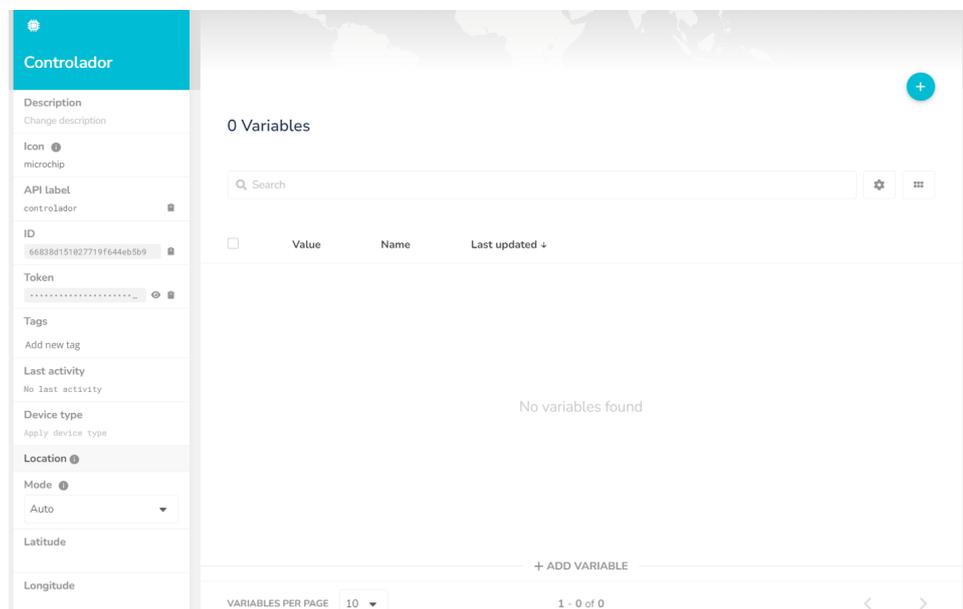
Al presionar en *Blank Device*, se podrá visualizar una pantalla como la de la Figura 3.11, donde se dará el nombre y la etiqueta al dispositivo. Al llenar los espacios se debe dar click en siguiente.



The screenshot shows a modal window titled "Blank Device" with the subtitle "Create new device". It contains two input fields: "Device name" with the text "Controlador" and "Device label" with the text "controlador". At the bottom, there are three buttons: "CANCEL", "BACK", and "NEXT".

Figura 3.11: Ventana en Ubidots para agregar un dispositivo.

Al seguir los pasos anteriores se llega a la pantalla que se presenta en la Figura 3.12, donde se configura la recepción de datos y se puede monitorear el estado de cada variable.



The screenshot shows the main configuration screen for a device named "Controlador". The left sidebar contains various configuration options: Description, Icon (microchip), API label (controlador), ID (66838d151027719f644eb5b9), Token, Tags, Last activity, Device type, Location, Mode (Auto), Latitude, and Longitude. The main area displays "0 Variables" with a search bar and a table with columns "Value", "Name", and "Last updated". A message "No variables found" is shown in the table area. At the bottom, there is a "+ ADD VARIABLE" button and a pagination indicator "1 - 0 of 0".

Figura 3.12: Pantalla principal de configuración.

En esta pantalla, al haber configurado al PLC como se explicó en el Capítulo 2 y siguiendo los pasos anteriores, Ubidots detectará automáticamente las variables que envía el dispositivo. En la Figura 3.13, se visualiza lo que Ubidots ha detectado.

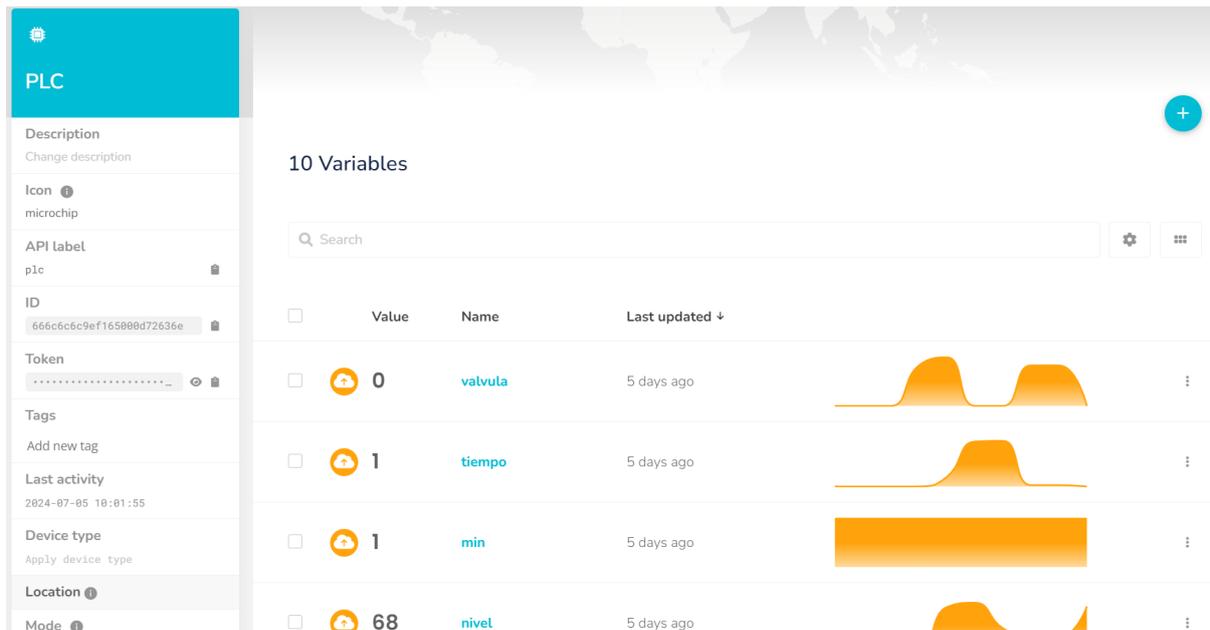


Figura 3.13: Lectura de Variables de Ubidots.

3.2.2. Creación del Dashboard

Luego de detectar las variables que se deben monitorear y controlar, se diseña y configura el Dashboard. Primero se debe crear un nuevo Dashboard, para esto se debe dar click en la parte superior media de la pantalla en *Data*, donde se despliegan tres opciones y se debe escoger *Dashboard*. Este proceso se observa en la Figura 3.14.

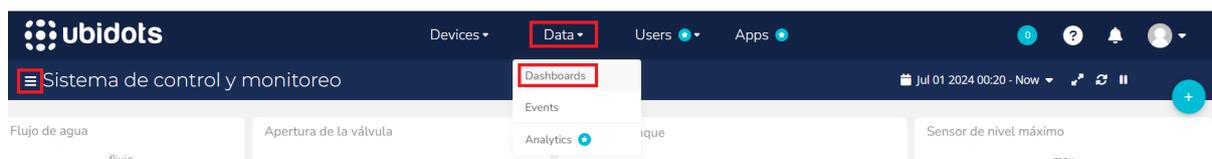


Figura 3.14: Ruta para añadir un dashboard.

Siguiendo los pasos anteriores, se desplegará un menú como el de la Figura 3.15, donde se debe dar click en *Create*.

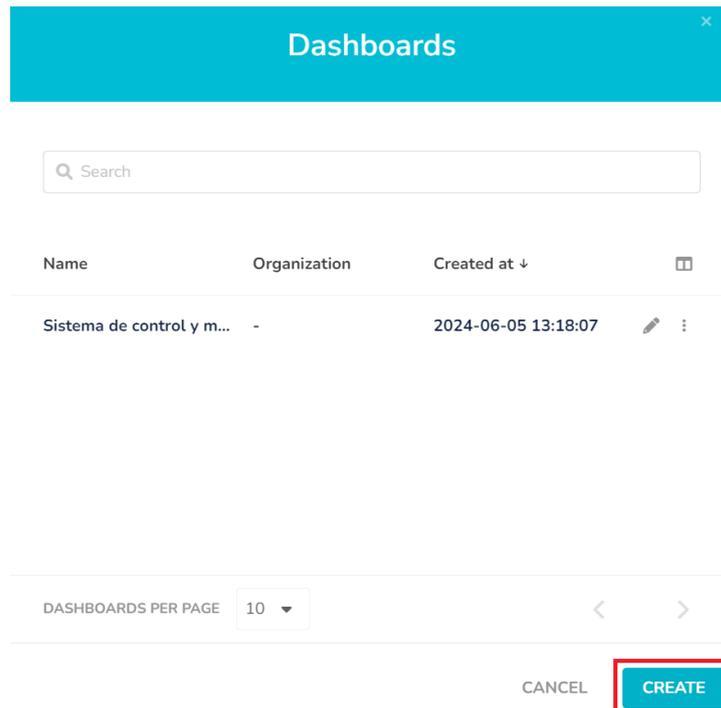


Figura 3.15: Proceso para crear un dashboard.

Al presionar *Create*, se despliega la pantalla de la Figura 3.16, donde se tienen las opciones de *Settings* y *Appearance*. En *Settings*, se debe dar un nombre al Dashboard. Una vez ingresado este parámetro se debe dar click en *Save*.

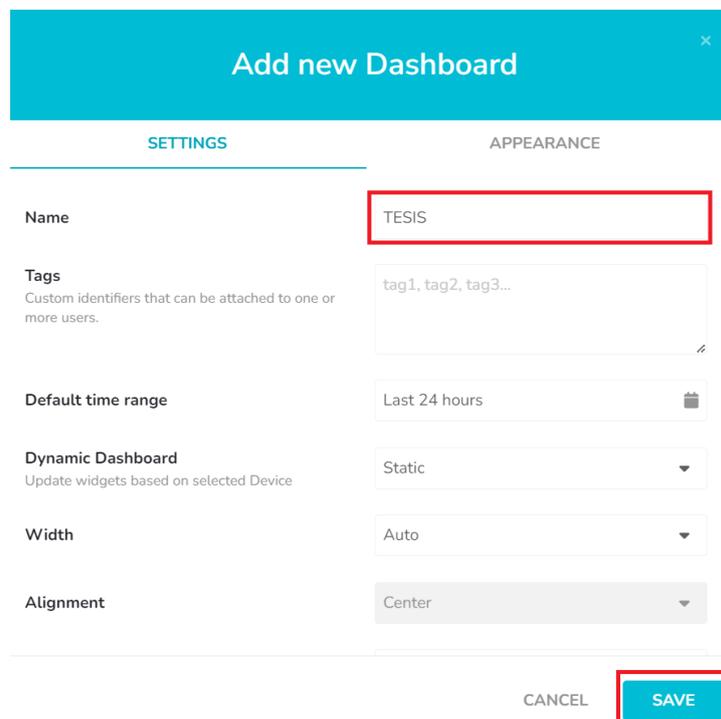


Figura 3.16: Configuración del Dashboard.

En *Appearance* se visualiza una pantalla como la de la Figura 3.17, en donde se puede cambiar las características visuales del Dashboard, una vez configurado el Dashboard a gusto, se debe dar click en *SAVE*.

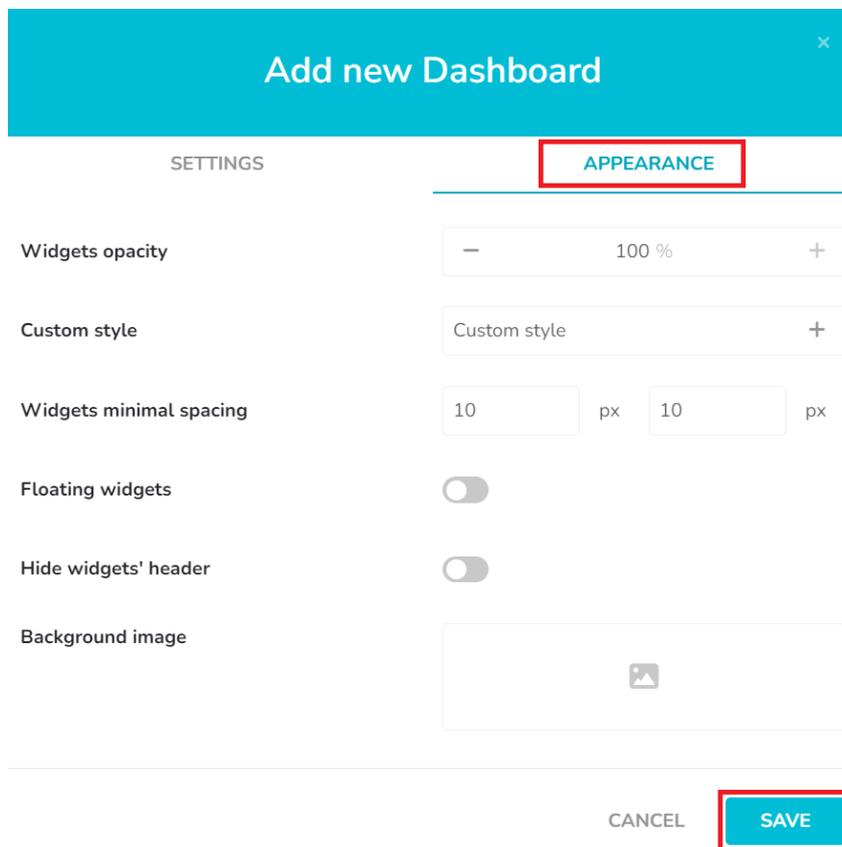


Figura 3.17: Configuración Estética del Dashboard.

3.3. Widgets para el dashboard

Ubidots ofrece múltiples widgets personalizables que pueden vincularse a variables para su visualización. Estos widgets permiten organizar el dashboard, de manera que sea interactivo y fácil de manejar para el usuario.

Para agregar un widget en Ubidots, se debe dar click en el icono de la parte superior derecha de la ventana del dashboard, como se observa en la Figura 3.18.

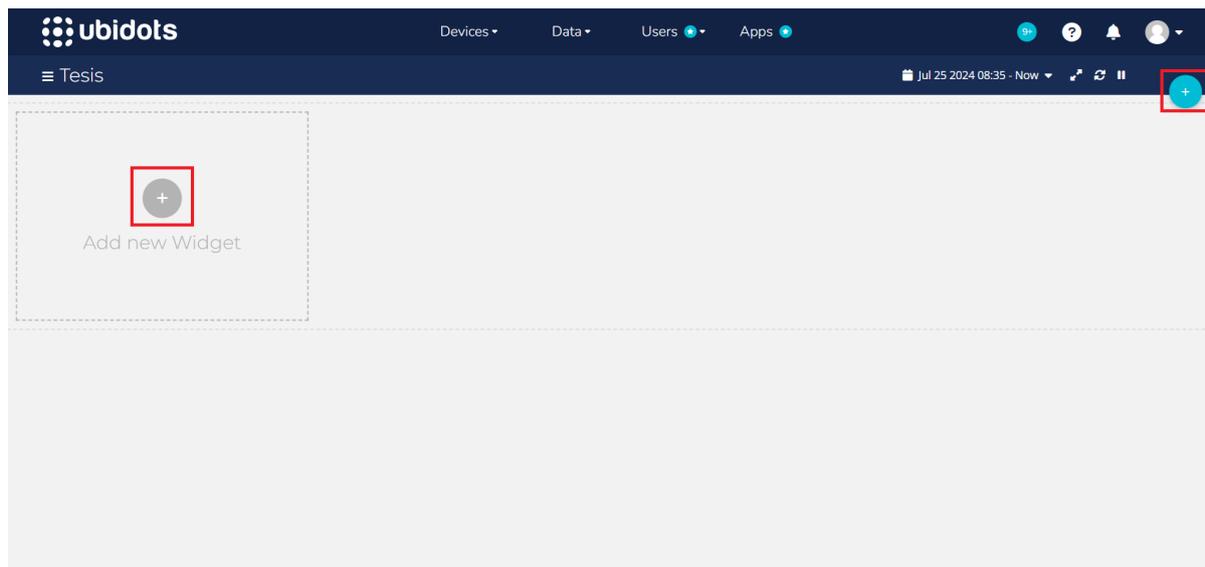


Figura 3.18: Agregar un nuevo widget.

Posteriormente, se abrirá una ventana con todos los widgets disponibles para la visualización de variables, tal como se observa en la figura 3.19.

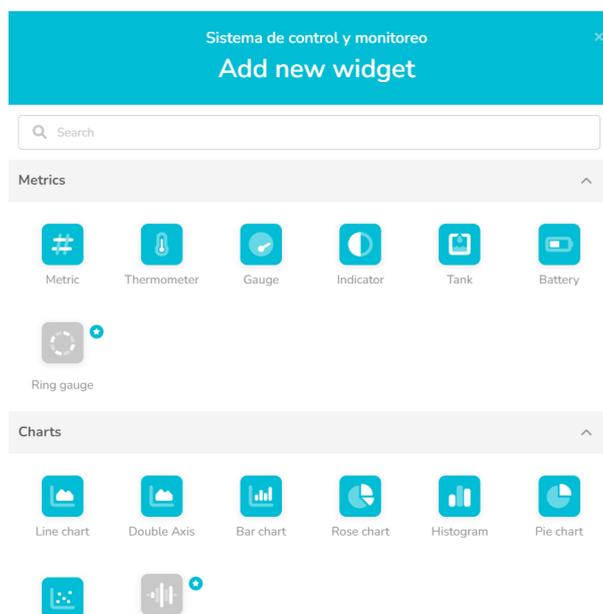


Figura 3.19: Opciones de widgets.

Una vez seleccionado el widget deseado, se lo debe vincular a la variable que se desea monitorear. Para realizar esto se debe dar click en *Add Variable*, como se ilustra en la Figura 3.20. Se abrirá la ventana *Select Variables*, en donde se debe elegir el dispositivo donde se encuentra la variable deseada y posteriormente se debe dar click

en la variable, como se puede ver en la figura en la Figura 3.21.

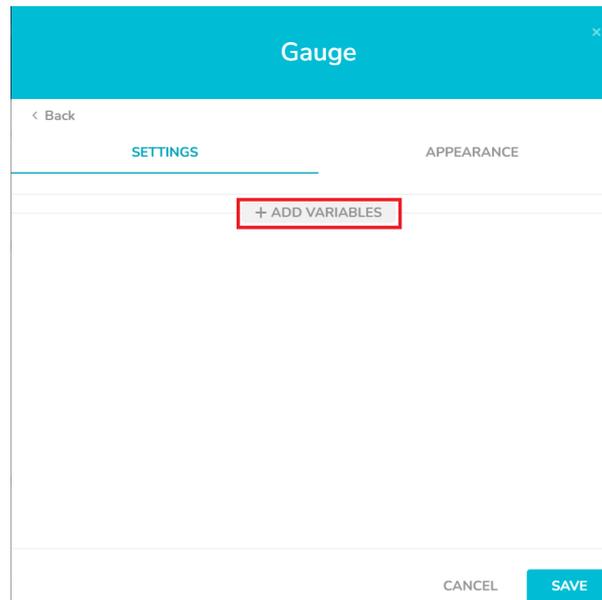


Figura 3.20: Ventana para vincular una variable a un widget.

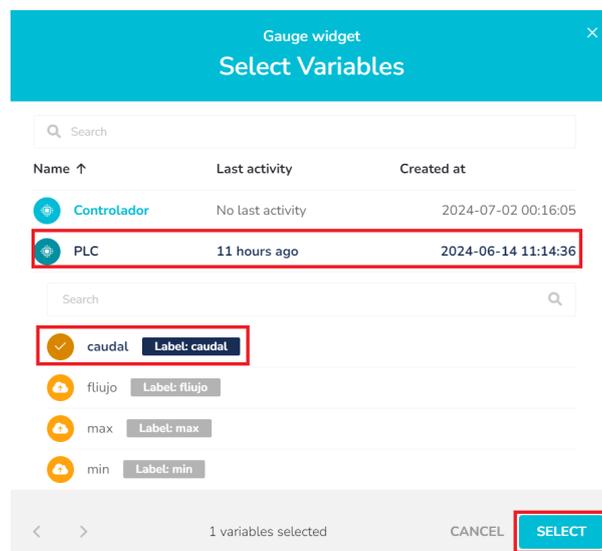


Figura 3.21: Selección de variable a vincular.

También es posible cambiar múltiples parámetros de la apariencia del widget, tal y como se indica en la Figura 3.22.

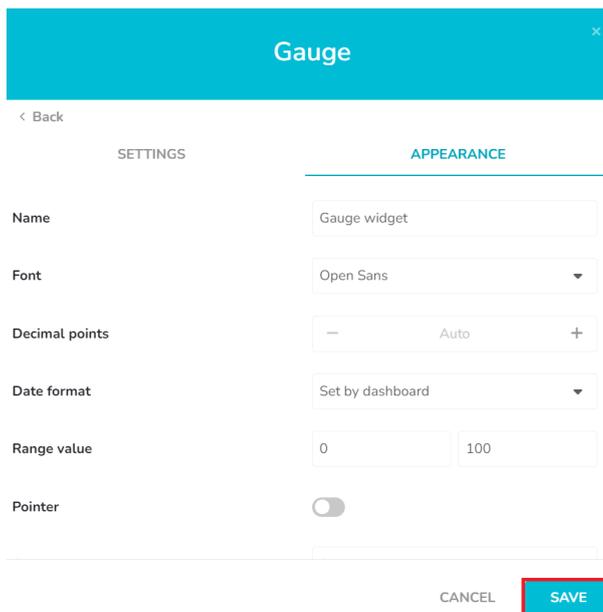


Figura 3.22: Apariencia del widget.

Para el desarrollo de la aplicación de monitoreo, se necesitan 8 widgets, los cuales se muestran en la Figura 3.23 para la visualización de las variables. Las variables a las que están vinculados cada widget se muestran en la Tabla 3.2.

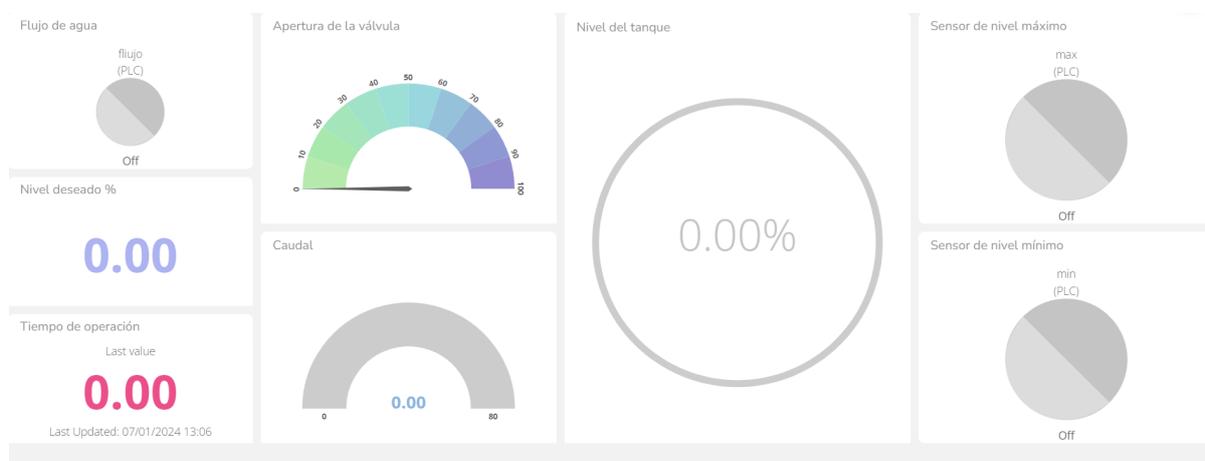


Figura 3.23: Widgets de la aplicación de monitoreo.

Tabla 3.2: Variables vinculadas a cada widget.

Widget	Variable
Flujo de agua	M1 (Marca que representa el funcionamiento de la bomba)
Nivel deseado	V1 (Registro del PLC que indica el nivel al que se desea llenar el tanque)
Tiempo de operación	V2 (Registro del PLC donde se guarda el tiempo que transcurre cuando la bomba esta funcionando)
Apertura de válvula	V0 (Registro del PLC que indica el porcentaje al que se desea abrir la válvula AQ0)
Caudal	AI0 (Variable analógica de entrada conectada al sensor de caudal de la planta)
Nivel del tanque	AI1 (Variable analógica de entrada conectada al sensor de nivel del tanque)
Sensor de nivel máximo	X0 (Variable digital de entrada conectada el sensor de nivel máximo del tanque)
Sensor de nivel mínimo	X1 (Variable digital de entrada conectada el sensor de nivel mínimo del tanque)

3.4. Interfaz de Usuario y Control con el HMI

Para la visualización y control de los datos de la planta, se utilizará el HMI, debido a que se encuentra físicamente en la instalación. La comunicación entre el HMI y el PLC se establecerá a través del protocolo LAN.

Una vez creado un nuevo proyecto y vinculado un dispositivo, siguiendo los pasos del Capítulo 2, se debe diseñar la interfaz de usuario y cada display, en los que se visualizarán y controlarán las variables del PLC, como se muestra en la Figura 3.24.

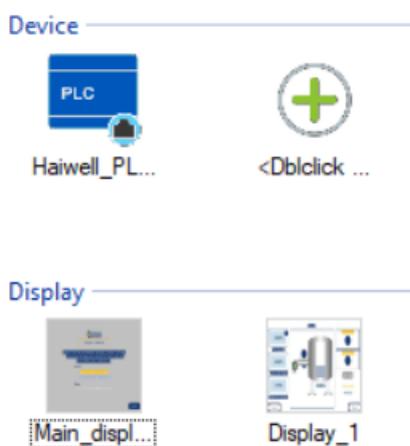


Figura 3.24: Visualización de displays.

En cada ventana es posible configurar componentes de visualización y control de las variables, como se representa en la Figura 3.25, donde se diseña una interfaz de presentación del Proyecto, así como en la Figura 3.26, se diseña la interfaz de la Planta controlada.

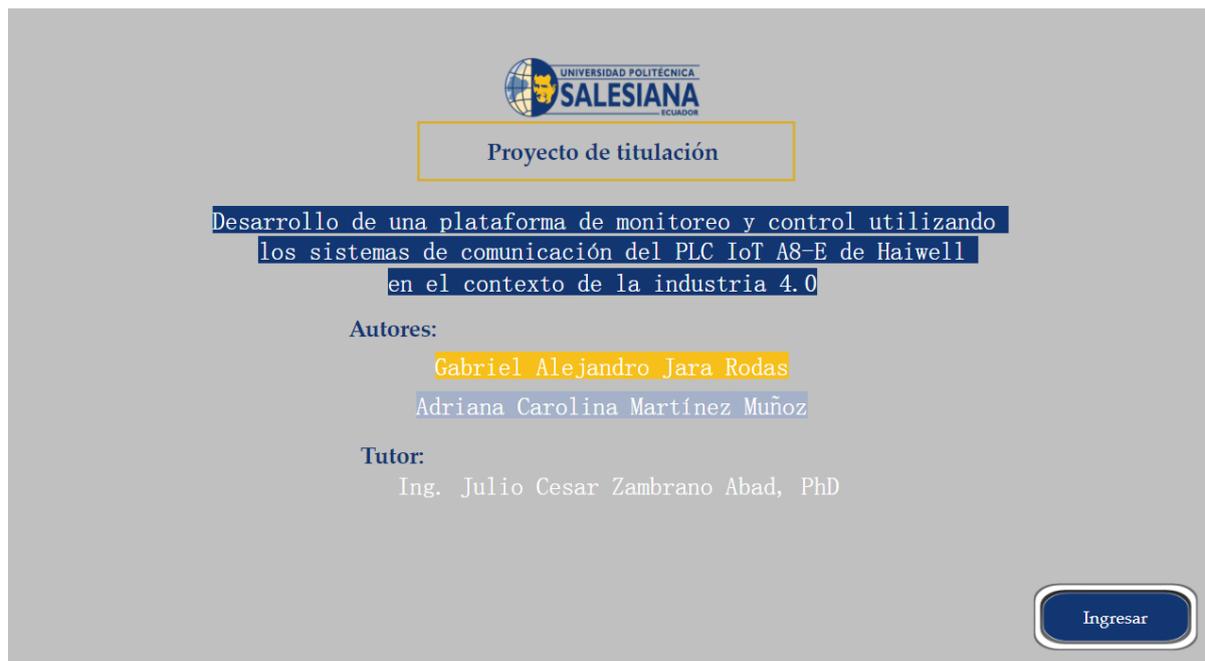


Figura 3.25: Ventana principal.

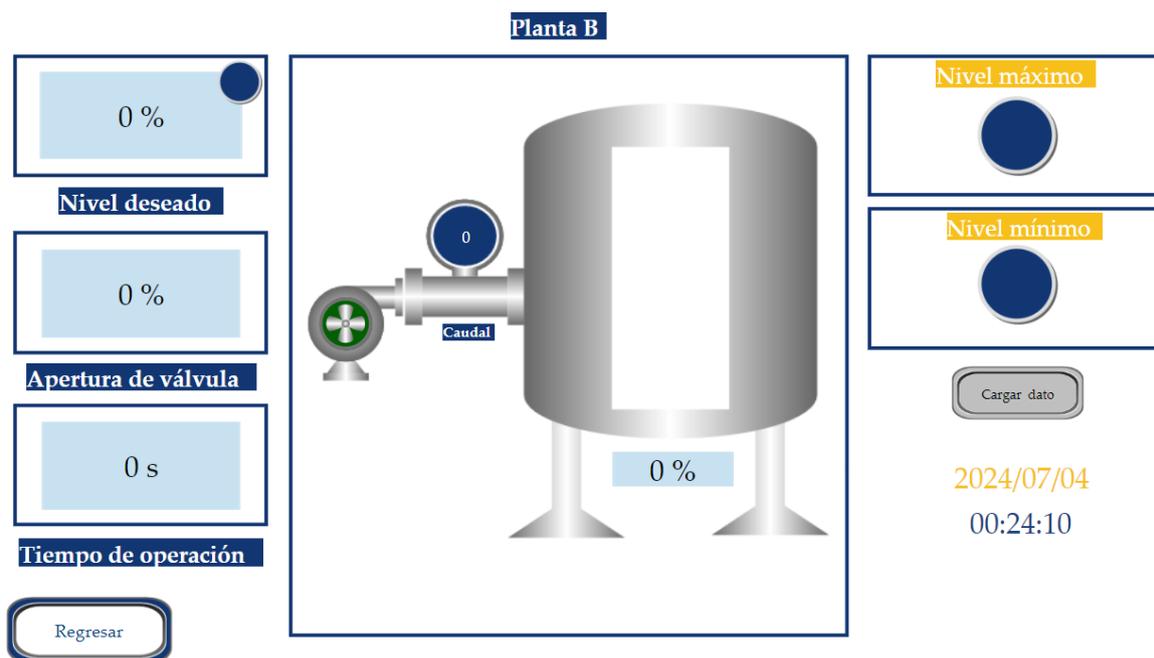


Figura 3.26: Ventana de monitoreo y control.

Al lado derecho de la ventana se encuentra la librería de gráficos, como se puede observar en la Figura 3.27.

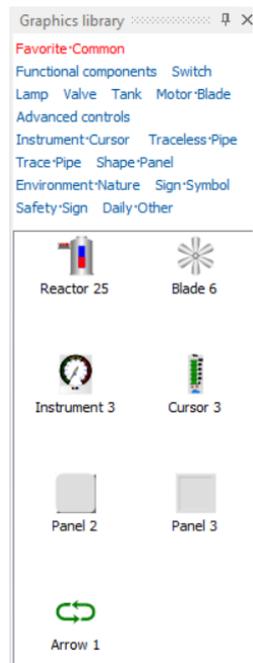


Figura 3.27: Librería de gráficos.

Para navegar entre ventanas se puede configurar cualquier gráfico de la librería, y se selecciona a que ventana se desea saltar seleccionando en *function Jump to the specify display* y en el apartado *specified picture* se debe seleccionar a que ventana nos vamos a dirigir, como se muestra en la Figura 3.28.

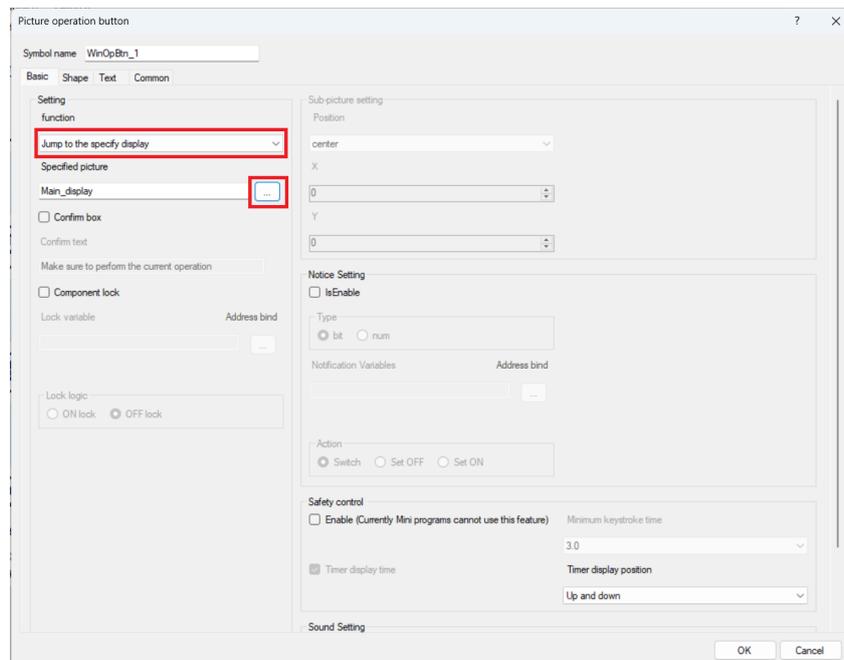


Figura 3.28: Configuración para salto entre ventanas.

Al seguir los pasos anteriores, se desplegará una ventana como la que se observa en la Figura 3.29, donde se puede navegar entre las imágenes configuradas en el HMI.

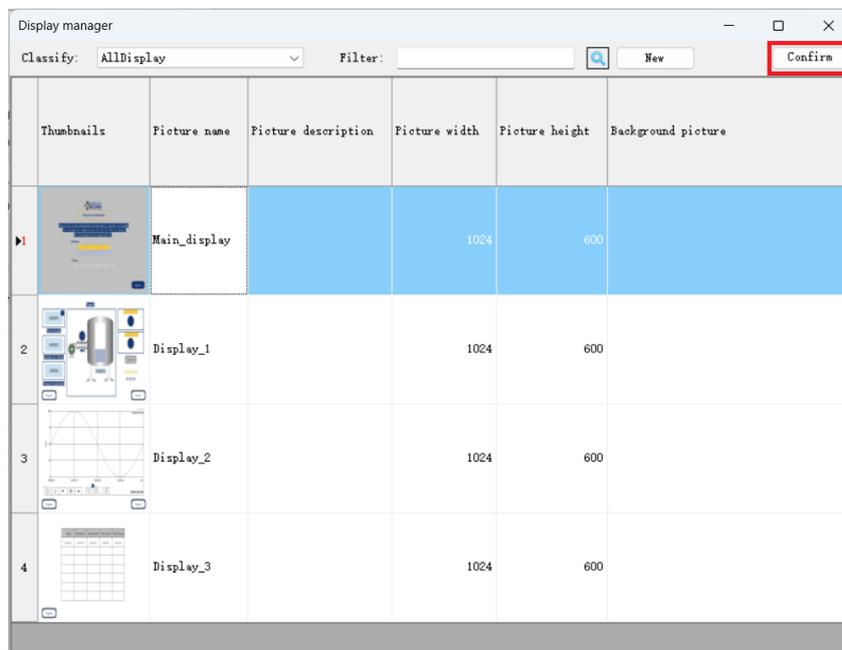


Figura 3.29: Herramienta para seleccionar ventanas.

3.5. Resultados de la implementación

Basado en la arquitectura presentada, se implementó un sistema de control y monitoreo utilizando el PLC IoT A8-E de Haiwell que gestiona las variables de una planta encargada de regular el nivel de un tanque de agua.

Todos los sensores y actuadores de la planta están conectados al PLC, el cual se comunica vía Ethernet con el HMI. El HMI monitorea el estado de todos los sensores y, además, permite seleccionar el nivel deseado del tanque y controlar la apertura de la válvula para llenarlo.

Es importante destacar que el manejo de las variables de control de la planta se realiza exclusivamente en el HMI. En un entorno industrial, el HMI se encuentra dentro de la planta, lo que permite que el encendido de la maquinaria a través de este no represente un riesgo ni para los obreros ni para la maquinaria, ya que se considera el estado del entorno.

La interfaz de control y monitoreo implementada en el HMI se observa en la Figura 3.30 y en la Figura 3.31 se observa la misma en funcionamiento.

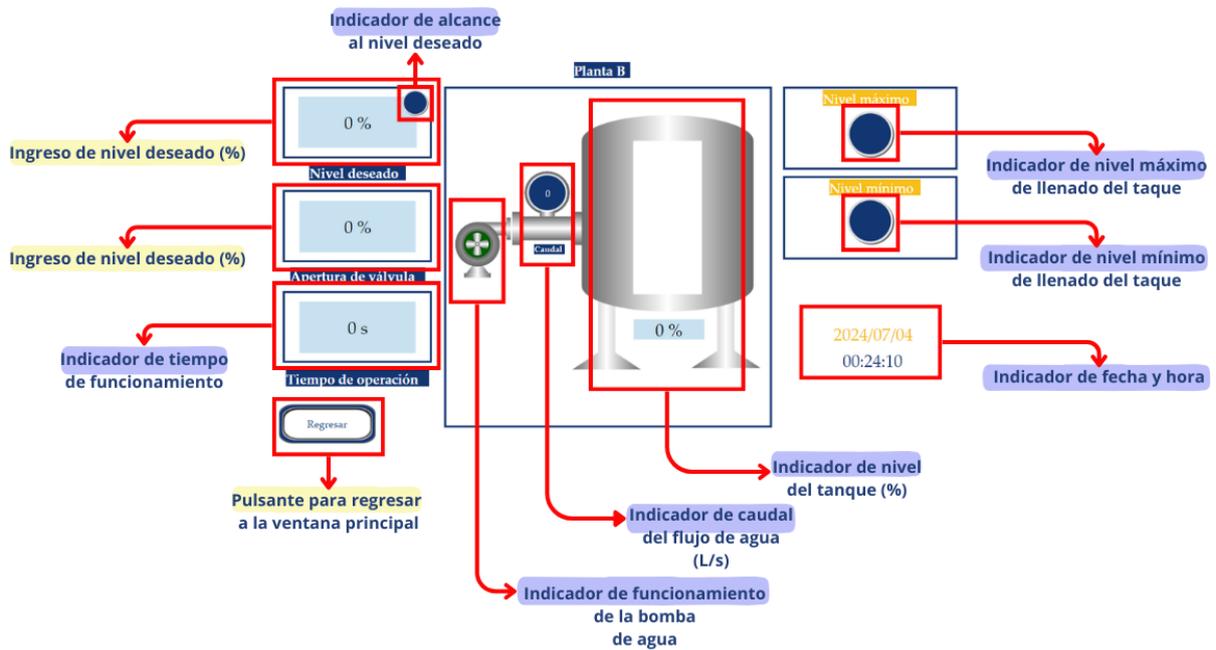


Figura 3.30: Interfaz HMI.

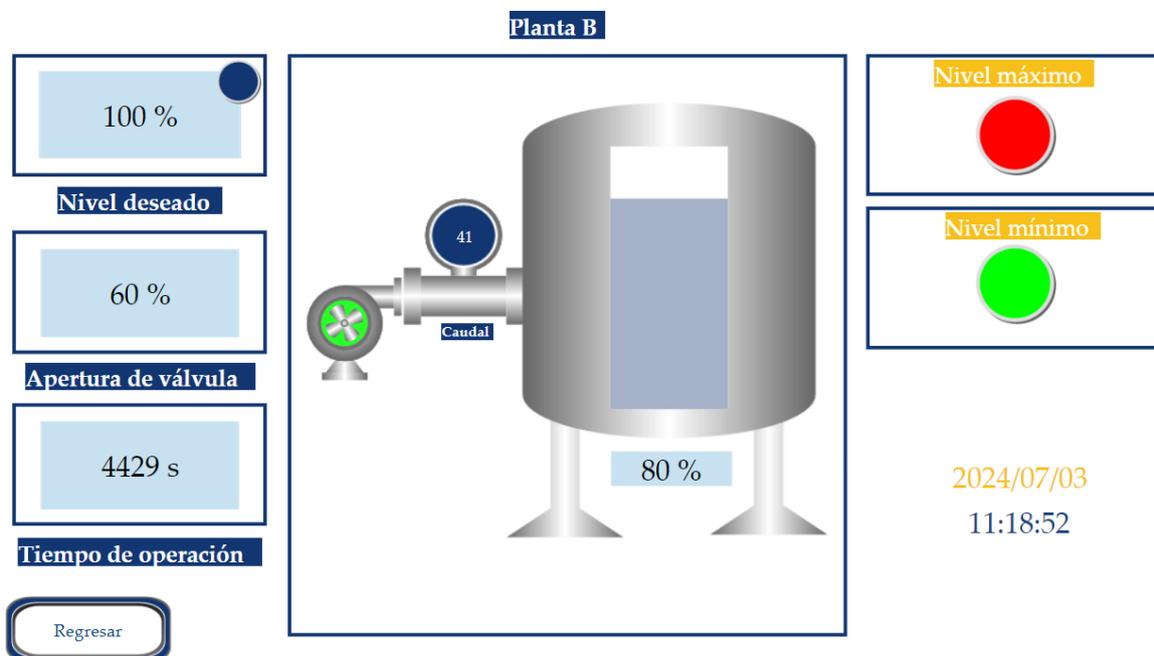


Figura 3.31: Interfaz HMI en funcionamiento.

Para el monitoreo remoto de la planta desde cualquier parte del mundo, se

creó una interfaz de usuario en el software Ubidots. Los datos se envían desde el PLC mediante el protocolo MQTT. En la Figura 3.32 se muestra la interfaz creada.

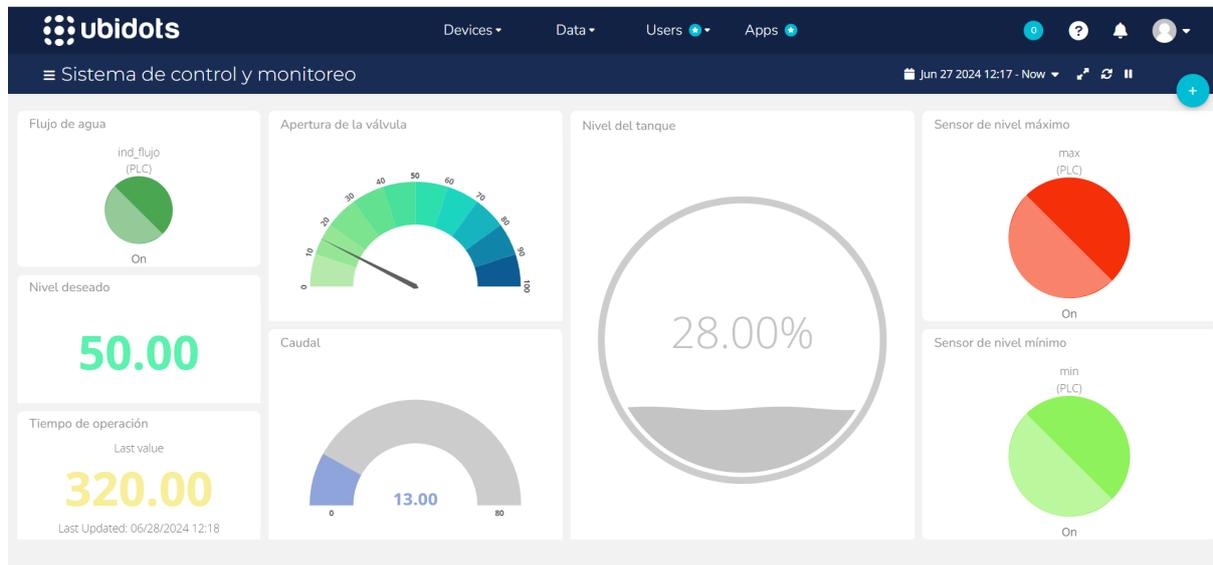


Figura 3.32: Interfaz en Ubidots.

En la Figura 3.34, se muestra el HMI y la plataforma de monitoreo en Ubidots funcionando en tiempo real.



Figura 3.33: Aplicación en tiempo real.

Adicionalmente se realizaron pruebas de envío y recepción de datos, con un tiempo de muestreo de 15 segundos. Los parámetros de estas pruebas se indican en la Tabla 3.3 y los resultados de las mismas se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3.3: Parámetros para la primera recopilación de datos.

Inicio de toma de muestras	10:36:34
Final de toma de muestras	10:40:34
Tiempo total de recolección de datos	4 minutos
Tiempo de muestreo cada	15 segundos
Porcentaje de nivel de inicio	35 %
Apertura de la válvula	50 %
Apertura desfogue	50 %

Tabla 3.4: Resultados primera recopilación de datos.

Muestra	Nivel	Segundo	Hora
1	35	0	10:36:34
2	35	15	10:36:49
3	35	30	10:37:04
4	35	45	10:37:19
5	35	60	10:37:34
6	35	75	10:37:49
7	35	90	10:38:04
8	35	105	10:38:19
9	35	120	10:38:34
10	35	135	10:38:49
11	35	150	10:39:04
12	35	165	10:39:19
13	35	180	10:39:34
14	35	195	10:39:49
15	35	210	10:40:04
16	35	225	10:40:19
17	35	240	10:40:34

Para una segunda recolección de datos, esta vez durante un período más prolongado, se realizó el muestreo utilizando los parámetros de la Tabla 3.5. Los resultados se presentan en la Figura 3.34.

Tabla 3.5: Parámetros para la segunda recopilación de datos.

Inicio de toma de muestras	10:40:34
Final de toma de muestras	11:20:34
Tiempo total de recolección de datos	40 minutos
Tiempo de muestreo cada	15 segundos
Porcentaje de nivel de inicio	35 %
Apertura de la válvula	60 %
Apertura desfogue	50 %

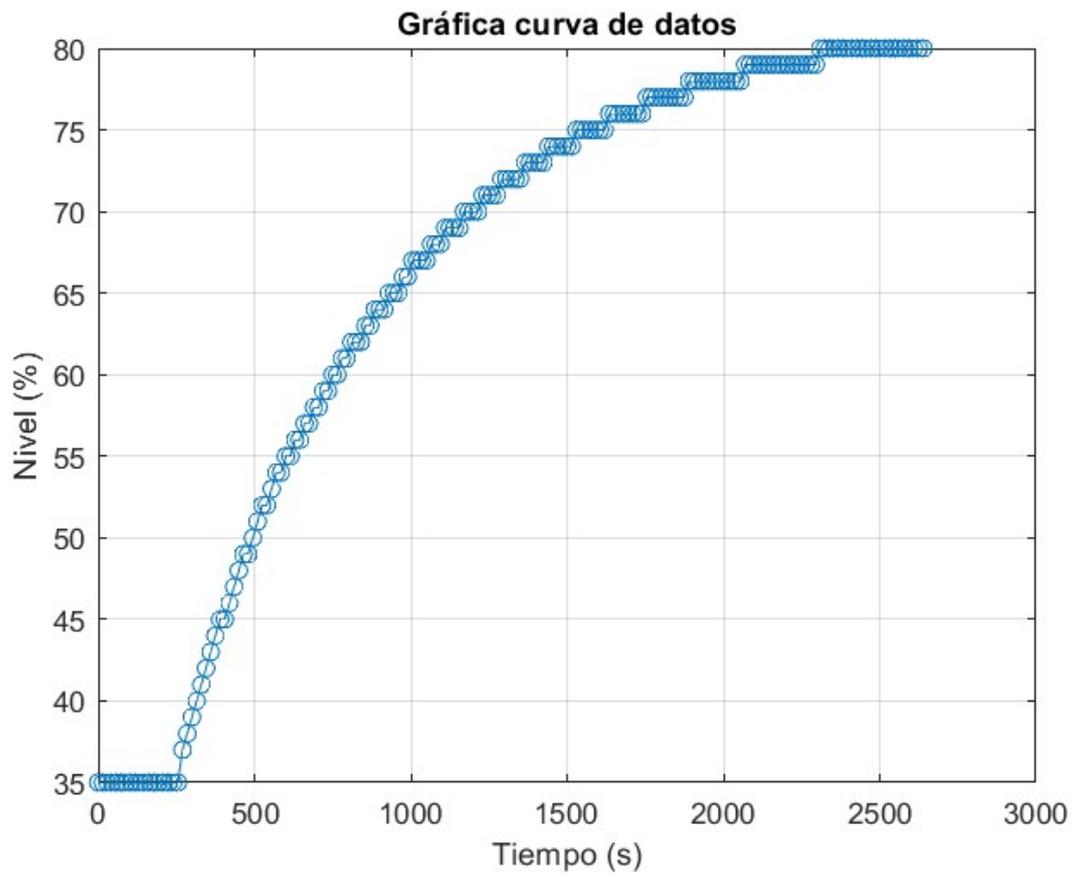


Figura 3.34: Curva de datos recopilados.

Capítulo 4

Conclusiones y Trabajos Futuros

El desarrollo de la plataforma de monitoreo y control utilizando los sistemas de comunicación del PLC IoT A8-E de Haiwell en el contexto de la industria 4.0 ha cumplido de manera efectiva con los objetivos planteados. En primer lugar, se identificaron detalladamente las características y capacidades del PLC IoT A8-E de Haiwell, abarcando una comprensión de los protocolos y estándares aplicables, como Modbus TCP, MQTT, OPC UA y otros protocolos de comunicación industrial. La identificación precisa de estos aspectos permitió evaluar y seleccionar las tecnologías más adecuadas para la implementación de la plataforma, utilizando MQTT como método de comunicación entre el PLC y la plataforma, garantizando así la compatibilidad y eficiencia del sistema en entornos industriales. También se pudo manejar las herramientas de programación que ofrece Haiwell, Haiwell Happy y Haiwell Cloud Scada, gracias a guías y el soporte que ofrece la misma empresa.

El diseño de la arquitectura de la plataforma se desarrolló considerando criterios de robustez, escalabilidad y eficiencia. Se definieron componentes clave, incluyendo controladores, sensores, actuadores y sistemas de almacenamiento y procesamiento de datos, todos ellos integrados mediante protocolos de comunicación adecuados. La elección de estos componentes y la configuración de la arquitectura se realizaron con base en el análisis de rendimiento y pruebas de compatibilidad, asegurando que la plataforma pueda manejar ciertos volúmenes de datos en tiempo real y responder de manera efectiva a eventos críticos.

Las pruebas de campo fueron esenciales para validar la funcionalidad y

el desempeño de la plataforma de monitoreo y control. Estas pruebas incluyeron la evaluación de la recolección de datos en tiempo real, la capacidad de análisis y procesamiento de datos. Los resultados demostraron que los sistemas de comunicación del PLC IoT A8-E son plenamente compatibles y eficaces, logrando mejoras significativas en términos de eficiencia operativa y capacidad de respuesta. La plataforma mostró un alto grado de fiabilidad y precisión en la monitorización y control de procesos industriales, contribuyendo así al avance de la industria 4.0 al proporcionar una solución tecnológica avanzada y eficiente.

Para asegurar la continua eficacia y adaptabilidad de la plataforma desarrollada, se recomienda realizar una evaluación y optimización continua del sistema. Esto implica actualizar los protocolos de comunicación y las tecnologías utilizadas conforme evolucionen los estándares de la industria 4.0, garantizando que la plataforma se mantenga a la vanguardia de la innovación tecnológica. Además, es crucial monitorear el desempeño del sistema y realizar ajustes periódicos para mejorar su eficiencia y capacidad de respuesta.

La seguridad y ciberseguridad deben ser prioridades en la operación de la plataforma. Es esencial implementar medidas de seguridad robustas, incluyendo la encriptación de datos, la autenticación de usuarios y la realización de auditorías de seguridad regulares. Estas medidas protegerán la integridad de los datos y la infraestructura del sistema, previniendo posibles amenazas cibernéticas y asegurando una operación confiable y segura.

Explorar la ampliación de las funcionalidades de la plataforma es otro aspecto crucial. Incorporar herramientas de análisis predictivo, inteligencia artificial y machine learning puede proporcionar insights valiosos para la toma de decisiones y la optimización de procesos industriales. Estas tecnologías avanzadas permitirán a la plataforma ofrecer soluciones más completas y adaptativas, mejorando su capacidad para enfrentar desafíos operativos y aprovechar oportunidades de mejora continua.

Finalmente, se sugiere investigar la integración de la plataforma con otros sistemas IoT y dispositivos inteligentes, así como su aplicación en diferentes sectores industriales. Evaluar la viabilidad de implementar soluciones de realidad aumentada y virtual para el monitoreo y control remoto puede incrementar significativamente la

versatilidad y funcionalidad del sistema desarrollado. Estas investigaciones abrirán nuevas oportunidades para innovaciones y mejoras en la industria, impulsando aún más el avance hacia la industria 4.0 y asegurando que la plataforma pueda adaptarse a las demandas cambiantes y emergentes del sector industrial.

Glosario

API Application Programming Interface.

AWS Sevicios web de Amazon – Amazon Web Services.

COM Communication Port.

DevOps Operaciones de desarrollo – Development Operations.

DTU Unidad de Transacción de base de datos – Data Terminal Unit.

ERP Software para gestionar y automatizar actividades empresariales diarias.

HMI Human-Machine Interface.

HTTP Protocolo para transferir datos en la web.

IA Inteligencia Artificial.

IIoT Industrial Internet of Things.

IoT Internet de las cosas – Internet Of Things.

JSON Formato de texto ligero y de fácil lectura para el intercambio de datos.

LAN Local Area Network.

MES Sistema que gestiona y monitorea la producción en plantas de manufactura.

MQTT Transporte de Telemetría de Cola de Mensajes – Message Queuing Telemetry Transport.

NFC Tecnología de comunicación inalámbrica de corto alcance que permite la transmisión de datos entre dispositivos cuando están muy cerca uno del otro.

OPC UA Estándar de comunicación para la interoperabilidad de sistemas industriales.

PLC Controlador lógico programable – Programmable logic controller.

QR Tipo de código de barras bidimensional que puede almacenar una cantidad significativa de datos en una pequeña imagen cuadrada.

RAMP Protocolo de acceso y movilidad por radio – Radio Access And Mobility Protocol.

SCADA Sistema de control y supervisión utilizado en industrias y procesos industriales para monitorear, recopilar datos en tiempo real y controlar equipos y condiciones operativas.

TCP Protocolo de comunicación fiable y orientado a conexión para transmitir datos en redes.

USB Universal Serial Bus.

VNC Acceso remoto y control de computadoras a través de una red.

WiFi Wireless Fidelity.

Referencias

- [1] L. J. Chasipanta Yanez y J. A. Toaquiza Espadas, «Implementación de un sistema SCADA con comunicación ethernet industrial,» B.S. thesis, Quito, 2019., 2019.
- [2] P. Gokhale, O. Bhat y S. Bhat, «Introduction to IOT,» *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, vol. 5, n.º 1, págs. 41-44, 2018.
- [3] F. Mahedero Biot, «Desarrollo de una aplicación IoT para el envío de imágenes mediante el protocolo MQTT,» Tesis doct., Universitat Politècnica de València, 2020.
- [4] S. U. Khan, S. U. Jan, T. Hwang e I-S. Koo, «Hybrid Wi-Fi and PLC network for efficient e-health communication in hospitals: a prototype,» *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 13, n.º 2, págs. 1400-1410, 2024.
- [5] R. Wang, Z. Li, M. Li e Y. Chen, «An intelligent crossing pole monitoring system based on PLC and configuration software,» en *International Conference on Electronic Information Technology (EIT 2022)*, SPIE, vol. 12254, 2022, págs. 614-620.
- [6] Z. H. C. Soh, M. S. M. Pandi, A. H. M. Saod, S. A. Ramlan, N. A. Harron y M. H. Abdullah, «Greenhouse Monitoring System for Chili Plant via IoT Cloud on Ubidots Platform,» en *2023 10th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*, 2023, págs. 175-180. DOI: 10.1109/FiCloud58648.2023.00033.
- [7] C. Nagpal, P. K. Upadhyay, S. Shahzeb Hussain, A. C. Bimal y S. Jain, «IIoT Based Smart Factory 4.0 over the Cloud,» en *2019 International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy (ICCIKE)*, 2019, págs. 668-673. DOI: 10.1109/ICCIKE47802.2019.9004413.
- [8] R. Pushpaleela, S. Sankar, K. Viswanathan y S. A. Kumar, «Application Modernization Strategies for AWS Cloud,» en *2022 1st International Conference on Computational Science and Technology (ICCST)*, 2022, págs. 108-110. DOI: 10.1109/ICCST55948.2022.10040356.

- [9] M. N. Hassan Reza, C. Agamudai Nambi Malarvizhi, S. Jayashree y M. Mohiuddin, «Industry 4.0–Technological Revolution and Sustainable Firm Performance,» en *2021 Emerging Trends in Industry 4.0 (ETI 4.0)*, 2021, págs. 1-6. DOI: 10.1109/ETI4.051663.2021.9619363.
- [10] S. Wang, J. Wan, D. Li y C. Zhang, «Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook,» *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 2016, págs. 1-10, ene. de 2016. DOI: 10.1155/2016/3159805.
- [11] t. =. '. d. l. t. 4. y. s. r. c. e. D. I. p. e. d. d. s. i. m. d. l. z. 9. d. E. 'Banegas Bravo Jennifer Dayanna', 2020.
- [12] Haiwell. «A8 SmartLink PLC.» (2024), dirección: <https://cdnda.static.haiwell.com/daruanjianen/Haiwell%20A8%20SmartLink%20PLC%20Catalog.pdf>.
- [13] Haiwell. «Analog Module User Manual.» (2024), dirección: <https://www.haiwell.com/daruanjianen/User's%20Manual%20of%20Haiwell%20Card-type%20PLC%20Analog%20Module1.pdf>.
- [14] Haiwell. «IoT CloudHMI UserManual.» (2024), dirección: <https://www.haiwell.com/daruanjianen/User's%20Manual%20of%20Haiwell%20IoT%20Cloud%20HMI.pdf>.
- [15] Haiwell. «B Series SmartLink HMI.» (2024), dirección: <https://en.haiwell.com/hwproducts/196.html>.
- [16] Miniature-Solution. «HMI FIGURE.» (2024), dirección: <https://www.miniature-solution.com/product/1291/b7h-w-haiwell-%E0%B8%88%E0%B8%AD-iot-hmi-7-inch-wifi-haiwell-cloud-scada-iot-hmi-b-series-iot-cloud-hmi>.
- [17] Burkert. «Caudalímetro.» (2024), dirección: <https://cl.rsdelivers.com/product/burkert/426506/caudalimetro-burkert-18-36-vdc-%C3%B8-tuberia-dn-6-400/3135553>.
- [18] Endress+Hauser. «Sensor de Nivel.» (2024), dirección: <https://www.mx.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/detector-nivel-liquiphant?t.tabId=product-overview>.
- [19] Burkert. «Positioner SideControl NAMUR.» (2024), dirección: <https://www.burkert.com/en/Media/plm/DTS/DS/ds8792-standard-eu-en.pdf>.

- [20] Endress+Hauser. «Presión absoluta y relativa.» (2024), dirección: <https://www.mx.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-presion/transmisor-presion-absoluta-relativa?t.tabId=product-overview>.