

**Sistema SCADA de Tanques de Reserva como una Aplicación del Dispositivo Bosh® –
Gateway IoT**

Carlos Andres Pamplona Parra

**Universidad de Boyacá
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Ingeniería Mecatrónica
Tunja
2023**

**Sistema SCADA de Tanques de Reserva como una Aplicación del Dispositivo Bosh® –
Gateway IoT**

Carlos Andres Pamplona Parra

**Trabajo de grado para optar al título de:
Ingeniero Mecatrónico**

Director:

Magister Andres Felipe Rodríguez Cuervo

Codirectora:

Doctora Erika Paola Rodríguez Lozano

**Universidad de Boyacá
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Ingeniería Mecatrónica**

Tunja

2023

Nota de aceptación:

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja, 19 de mayo de 2023

“Únicamente el graduando es responsable de las ideas expuestas en el presente trabajo”.
(Lineamientos constitucionales, legales e institucionales que rigen la propiedad intelectual).

Agradecimientos

Agradezco por apoyarme en este camino a mis directores del trabajo de grado, el Ing. Andrés Felipe Rodríguez Cuervo e Ing. Erika Paola Rodríguez Lozano por el apoyo constante y revisiones para fortalecer la investigación. Por otro lado, agradezco por el apoyo a Diego Malaver y Carlos Munévar en el desarrollo del ensamble y correcciones de fugas de agua, presión en la estructura mecánica para su actual desarrollo en diseño y programación de una parte del SCADA en esta investigación, fueron de gran ayuda vitalicia para poder culminar este trabajo con éxito.

Contenido

	Pág.
Introducción.....	12
Diseño mecánico y electrónico de la planta de tanques de reserva	13
Diseño mecánico.....	14
Diseño electrónico	18
Diseño del sistema SCADA Gateway IoT Bosch.....	20
Escalamiento de la señal logarítmica del sensor de nivel	23
Programación en PLC Rexroth Bosch:	25
Validación de funcionamiento de la planta a escala	28
Implementación del diseño CAD de tanques de reserva.....	29
Resultados	33
Conclusiones.....	38
Anexos.....	42

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Diseño preliminar en CAD del sistema de tanques.....	14
Figura 2. Diseño en CAD de la tubería de llenado y vaciado	15
Figura 3. Llenado con componentes hidráulicos y actuadores.....	16
Figura 4. Piezas para corte en láser.....	17
Figura 5. Circuito eléctrico preliminar del sistema.....	19
Figura 6. Diseño preliminar SCADA.....	20
Figura 7. Variables de programación.....	21
Figura 8. Datos utilizados en Excel del comportamiento del sensor	24
Figura 9. Lista de variable usadas para el desarrollo del software.	25
Figura 10. Programación y lógica de funcionamiento	26
Figura 11. Conexión OPC UA Server.....	27
Figura 12. Pruebas de funcionamiento real del diseño	28
Figura 13. Diseño del sistema a escala de tanques	30
Figura 14. Prueba de conexión IoT Gateway	31
Figura 15. Diseño 3D vs ensamble real	34
Figura 16. Prueba SCADA.....	35
Figura 17. Pruebas con sistema PLC, SCADA	36
Figura 18. Pruebas IoT Gateway Dashboard.....	37

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo A. Anteproyecto	43

Glosario

Automatización: la automatización consiste en usar la tecnología para realizar tareas con muy poca intervención humana. (Red Hat, 2022).

CAD: es una tecnología para el diseño y la documentación técnica, que sustituye el dibujo manual por un proceso automatizado. (Autodesk, 2022).

Gateway: es un término en inglés que significa puerta o portal, un sistema o equipo cuya función básica es establecer comunicación entre múltiples entornos (Instrumining, 2022).

HMI: es el interfaz entre el proceso y los operarios. Es la principal herramienta utilizada por operarios y supervisores de línea para coordinar y controlar procesos industriales y de fabricación. (Wonderwere, 2022).

Industria 4.0: se refiere a una nueva fase en la revolución industrial que se enfoca en gran medida en la interconectividad, la automatización, el aprendizaje automatizado y los datos en tiempo real. (Epicor, 2022).

I/O: el acrónimo I/O son las siglas en inglés de Input/Output, cuyo significado en español se traduce como Entrada/Salida, también es conocido como E/S. (Cavsi, 2022).

SCADA: acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition es un concepto que se emplea para realizar un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia. (Wikipedia, 2022).

Software: conjunto de programas y rutinas que permiten a la computadora realizar determinadas tareas.

Resumen

Sistema SCADA de Tanques de Reserva como una Aplicación del Dispositivo Bosch® – Gateway IoT:

El presente trabajo de grado presenta el desarrollo de un sistema SCADA de tanques de reserva como una aplicación del dispositivo Bosch® – Gateway IoT, como herramienta de apoyo en prácticas de laboratorio para experimentar diferentes tipos de soluciones de programación para que los estudiantes a través de diferentes dispositivos puedan usar este prototipo como módulo de trabajo para desarrollar o fortalecer las técnicas enfocadas en lógica de la programación.

Para cumplir con el objetivo de esta investigación “Desarrollar un sistema SCADA® de tanques de reserva a escala como una aplicación del dispositivo BOSCH® – GATEWAY IoT para apoyar las prácticas de laboratorio en automatización”, en términos de cumplimiento, se crea un desarrollo metodológico fundamentado en 4 fases para validar el correcto funcionamiento del sistema.

Por lo tanto, el prototipo a escala se presenta como un ejemplo del uso del dispositivo IoT Bosch Gateway como una herramienta de apoyo para las prácticas de laboratorio en la asignatura de Automatización donde el alcance de este proyecto llega hasta la validación del correcto funcionamiento en términos de lógica programable conforme a la medida de nivel que proporcionan los sensores hechizos desarrollados.

Es importante resaltar que esta herramienta para el uso por parte del docente deberá generar un caso de estudio para que los estudiantes busquen diferentes soluciones entorno a la programación y se pueda evaluar de forma cuantitativa a través de una rúbrica de evaluación según el modelo pedagógico de la Universidad de Boyacá.

Palabras Claves: Gateway IoT, SCADA, OPCUA, Modbus Server

Abstract

Reserve Tank SCADA System as a Bosch® Device Application – IoT Gateway:

This degree work presents the development of a SCADA system of reserve tanks as an application of the Bosch® - Gateway IoT device, as a support tool in laboratory practices to experiment with different types of programming solutions so that students through different devices can use this prototype as a work module to develop or strengthen techniques focused on programming logic.

To meet the objective of this research "Develop a SCADA® system of reserve tanks at scale as an application of the BOSCH® device - GATEWAY IoT to support laboratory practices in automation", in terms of compliance, a methodological development is created. based on 4 phases to validate the correct functioning of the system.

Therefore, the scale prototype is presented as an example of the use of the Bosch Gateway IoT device as a support tool for laboratory practices in the Automation subject where the scope of this project reaches the validation of the correct operation in terms of programmable logic according to the measurement of level provided by the developed spell sensors.

It is important to highlight that this tool for use by the teacher must generate a case study for students to look for different solutions around programming and can be evaluated quantitatively through an evaluation rubric according to the pedagogical model of the University of Boyacá.

Keywords: IoT Gateway, SCADA, OPCUA, Modbus Server

Introducción

El presente documento trata sobre un Sistema SCADA de Tanques de Reserva como una Aplicación del Dispositivo Bosch® – Gateway IoT. A lo largo del documento se encuentra el estado del arte, en el cual se realizó una recolección de diferentes proyectos que se han desarrollado con anterioridad a nivel nacional e internacional los cuales tienen ciertas similitudes con el proyecto a desarrollar. Además, se presenta el problema que se plantea solucionar con el desarrollo del proyecto a escala y la ruta metodológica con la cual se aspira llegar al resultado final y al cumplimiento de los objetivos.

Este proyecto Sistema SCADA de Tanques de Reserva como una Aplicación del Dispositivo Bosch® – Gateway IoT trata de mostrar una manera de integrar diferentes dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos con el fin de controlar y monitorear un sistema manera remota con la implementación de un componente Gateway utilizado comúnmente en las tecnologías de la industria 4.0. Por otra parte, el proyecto se desarrolla como un sistema a escala el cual va a permitir a los estudiantes del programa profundizar en los conocimientos adquiridos en términos de lógica programable en las áreas de automatización en las prácticas de laboratorio.

Diseño mecánico y electrónico de la planta de tanques de reserva

Para este primer capítulo es importante mencionar que los criterios de selección de los materiales tanto en el componente mecánico y electrónico fueron conforme al espacio de trabajo en el laboratorio de neumática y los equipos y los materiales que cuentan los laboratorios de Centro Mecanizado Torno y Fresadora. En el mismo sentido, el sistema de tanques de nivel debe fundamentarse en el correcto funcionamiento del sistema donde deben cumplirse las siguientes condiciones:

- El sistema de nivel de tanques debe tener recirculación constante entre el nivel de tanque 1 y 2.
- El sensor de nivel debe tener una variable análoga en términos de rango para poder apreciar a través del Sistema SCADA y la Dashboard el comportamiento de nivel mientras recircula el agua.
- Dependiendo del nivel bajo que se encuentre alguno de los dos tanques de nivel 1 o 2, el sistema debe empezar a llenar de forma automática el otro tanque cíclicamente.
- Cuando el nivel alto de alguno de los tanques se encuentre en este estado, el sistema debe actuar y empezar a vaciar el tanque y llenar el otro hasta el rango de nivel alto y así sucesivamente.
- Para las excepciones o errores por parte de los sensores, se debe cumplir dos condiciones que, si nivel de tanque 1 se encuentra en nivel bajo y nivel de tanque 2 en nivel bajo, significa que es un error el cual debe generar un paro de emergencia para revisar el estado de los sensores. Lo mismo se aplicaría para el caso en nivel alto para los dos sensores con respecto al rebosar ambos tanques.
- El nivel de tanques del monitoreo debe generar datos en términos de medida litros (L).

A continuación, se presentan el diseño mecánico y electrónico de la planta conforme a las especificaciones de funcionamiento general del sistema de tanques de reserva y espacio conforme para el uso de la planta a escala en el laboratorio de Neumática. de capítulos depende de la cantidad de objetivos específicos planteados en el anteproyecto, por tanto, el título del capítulo debe indicar el contenido del mismo. Igualmente, cada capítulo corresponde al desarrollo de los objetivos específicos y/o generales, se presentan los resultados de la investigación, análisis de los mismos y contienen la solución al problema de investigación.

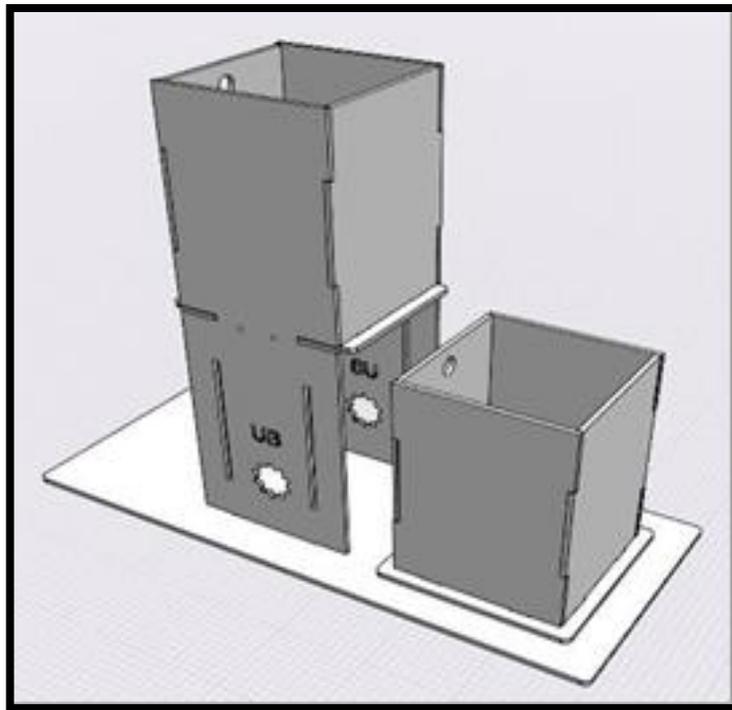
Diseño mecánico

A través del software CAD se diseñan las diferentes partes de la estructura, garantizando las tolerancias correctas de funcionamiento y teniendo en cuenta una amplia gama de elementos, como los mecánicos, fijos, sensores, actuadores, electrónicos y panel de control. Este enfoque permite crear un diseño detallado que cumple con los requisitos y especificaciones del proyecto.

En el proceso de diseño preliminar (ver figura 1), se utilizó el software CAD Sharp3D para modelar el sistema de tanques. Este modelo integró los actuadores necesarios, como las electroválvulas y la electrobomba, que son componentes claves del sistema. El uso de software CAD permite visualizar y simular el funcionamiento del sistema en un entorno virtual, lo que ayuda a identificar posibles errores o problemas antes de la fabricación y ensamblaje físico. Además de observar el diseño ensamblado, también se enfocó en la estética.

Figura 1

Diseño preliminar en CAD del sistema de tanques



Fuente: Autor de la investigación. (2022).

Para el diseño preliminar de los tanques, se ha establecido una dimensión específica de 19 cm de ancho por 25 cm de alto, que cumple con los requisitos del proyecto y el espacio del

laboratorio de neumática. Además, se ha considerado el espesor del acrílico con el que se disponía en el laboratorio del centro de mecanizado, que era de 6 mm.

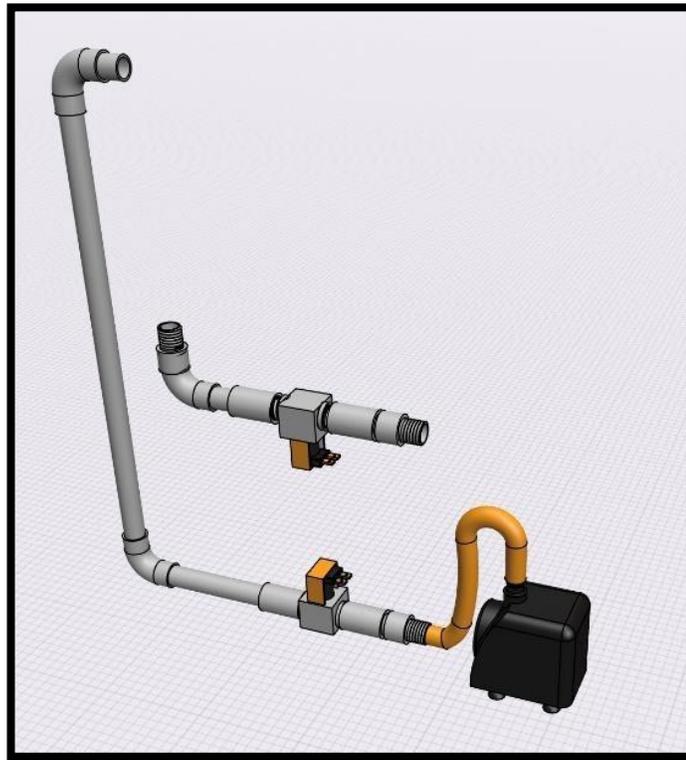
Este espesor es importante tenerlo en cuenta para asegurar la resistencia y durabilidad adecuada de los tanques durante su funcionamiento.

Así mismo, se ha establecido una tolerancia de 0.1 mm en el diseño. Esta tolerancia permite asegurar un ensamblaje preciso de todas las piezas, evitando holguras excesivas o interferencias que puedan afectar el correcto funcionamiento de los tanques.

El uso de tolerancias adecuadas en el diseño es esencial para lograr un ensamblaje correcto y evitar problemas como fugas, desajustes o mal funcionamiento de los componentes.

Figura 2

Diseño en CAD de la tubería de llenado y vaciado



Fuente: Autor de la investigación. (2022).

El diseño de los tramos de tubería en PVC (ver figura 2) se llevó a cabo cuidadosamente, teniendo en cuenta aspectos como los diámetros, longitudes, ubicación de los codos,

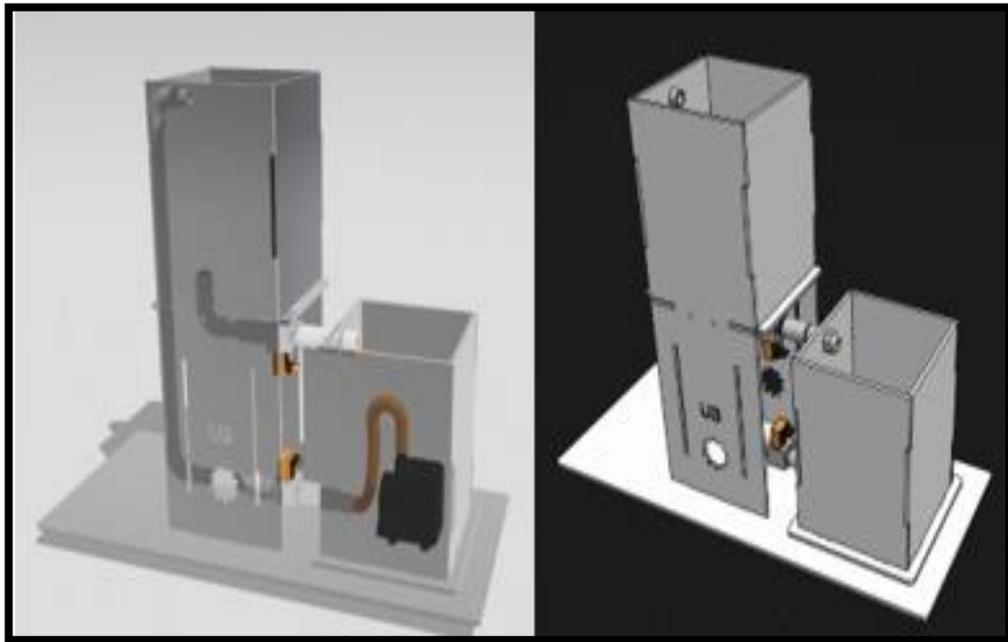
adaptadores hembra y macho, así como la distribución del flujo de agua en el sistema. Se utiliza software CAD para crear un modelo detallado de la tubería, asegurando que cumpla con los requisitos de funcionamiento del sistema de tanques.

Una vez diseñados los tramos de tubería, se realiza el ensamblaje de las diferentes piezas. Se verifican las medidas para asegurar un ajuste correcto. Se presta especial atención a los puntos de conexión con los codos, adaptadores hembra y macho, asegurando que estén correctamente alineados y sellados para prevenir fugas de agua.

Las electroválvulas, que son esenciales para el control del flujo de agua en el sistema, se colocan en los puntos adecuados de la tubería en PVC. Se verifica que estén correctamente instaladas y conectadas, siguiendo las especificaciones del diseño.

Figura 3

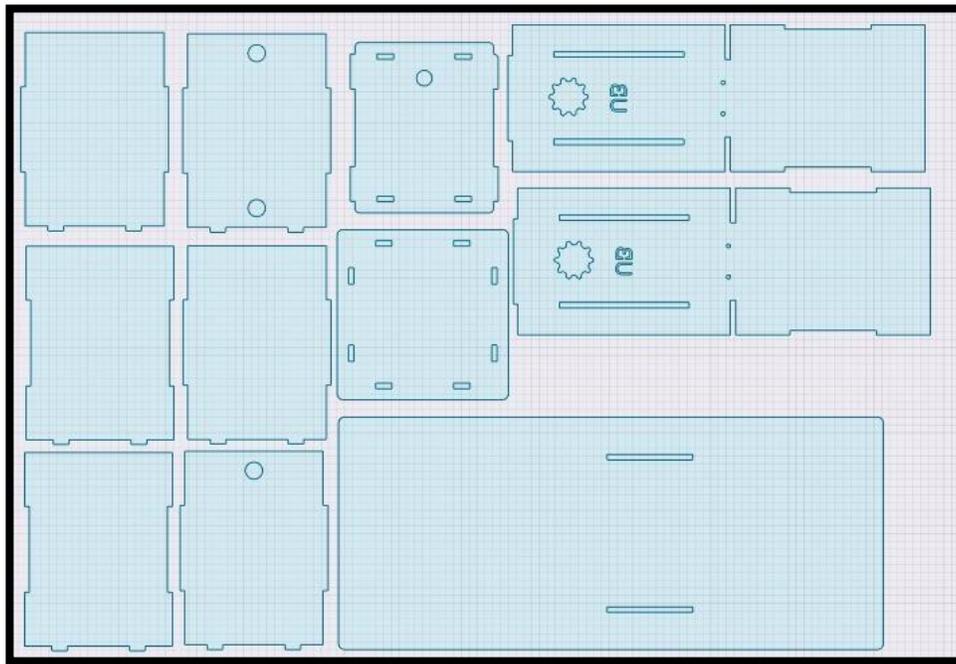
Ensamblaje y render del sistema de llenado con componentes hidráulicos y actuadores



Fuente: Autor de la investigación. (2022).

Figura 4

Piezas para corte en láser



Fuente: Autor de la investigación, (2022).

Una vez que se ha validado el diseño del diseño 3D (ver figura 3), se procede a ajustar las diferentes partes para prepararlas para el proceso de corte. En este caso, se utiliza el proceso de corte láser (ver figura 4) ya que garantiza un corte correcto para ensamblar. Una vez finalizado el ajuste de las piezas se envía el archivo para proceso de corte.

Diseño electrónico

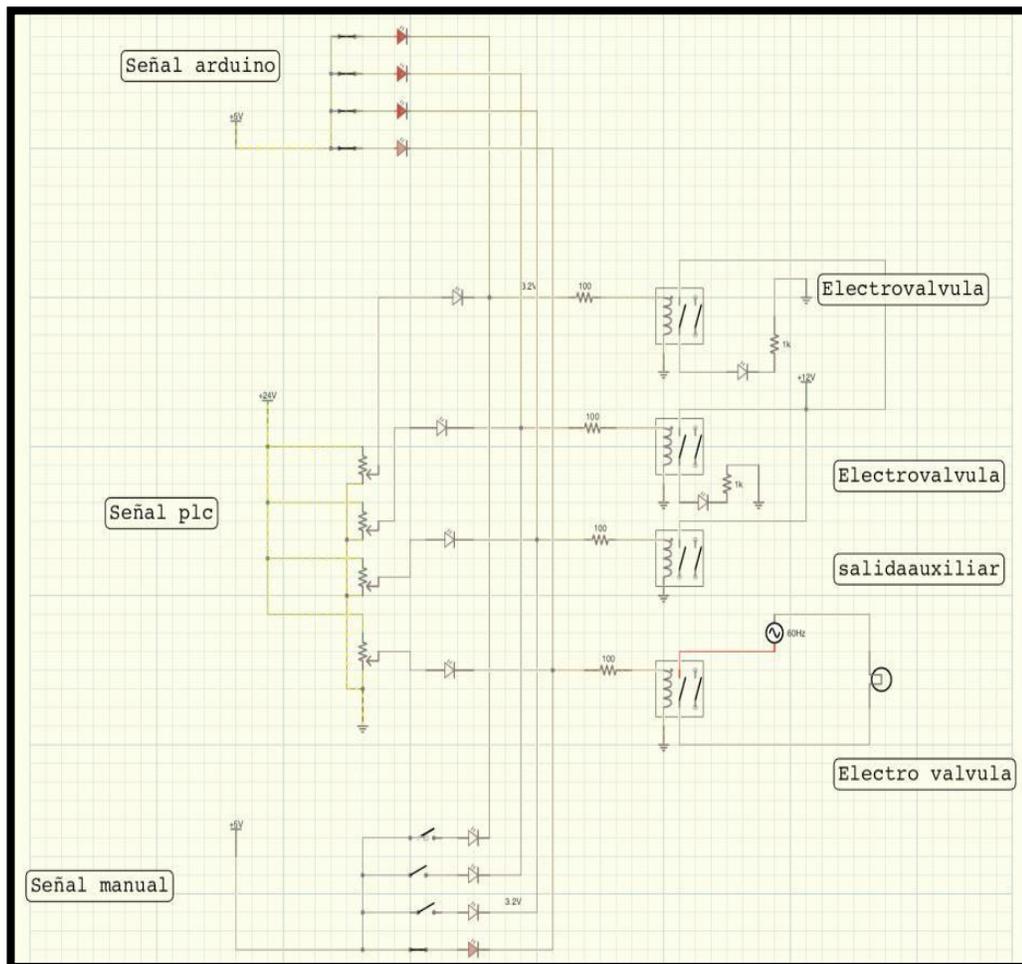
Para el desarrollo preliminar del diseño electrónico (ver figura 5) se utilizó la aplicación iCircuit que permite realizar la simulación de diferentes componentes electrónicos, es una herramienta que integra diferentes funciones para poder analizar la tensión, consumo de corriente de las partes del sistema y poder predecir errores antes de la fabricación.

En la unidad de control se necesitaban 8 canales de entrada de los cuales 4 eran para señales de 5V y activación por medio de micro controladores y sistemas Arduino, los otros 4 canales son para activación por medio de PLC con activación a 24V, se integran 4 pulsadores para realizar la activación manual de los actuadores e integra un conector de 110V para alimentar a la bomba sumergible y un regulador de tensión de 12V a 5V para poder activar de manera correcta el sistema de control de los relés integrados en el diseño.

El sistema de control es activado por medio de 2 canales los cuales operan a una tensión de 5V y en el tercer canal están las señales del PLC que son reguladas mediante un divisor de tensión para obtener a la salida una señal de 5V para tener un correcto funcionamiento del sistema de control y la activación segura de las cargas.

Figura 5

Circuito eléctrico preliminar del sistema



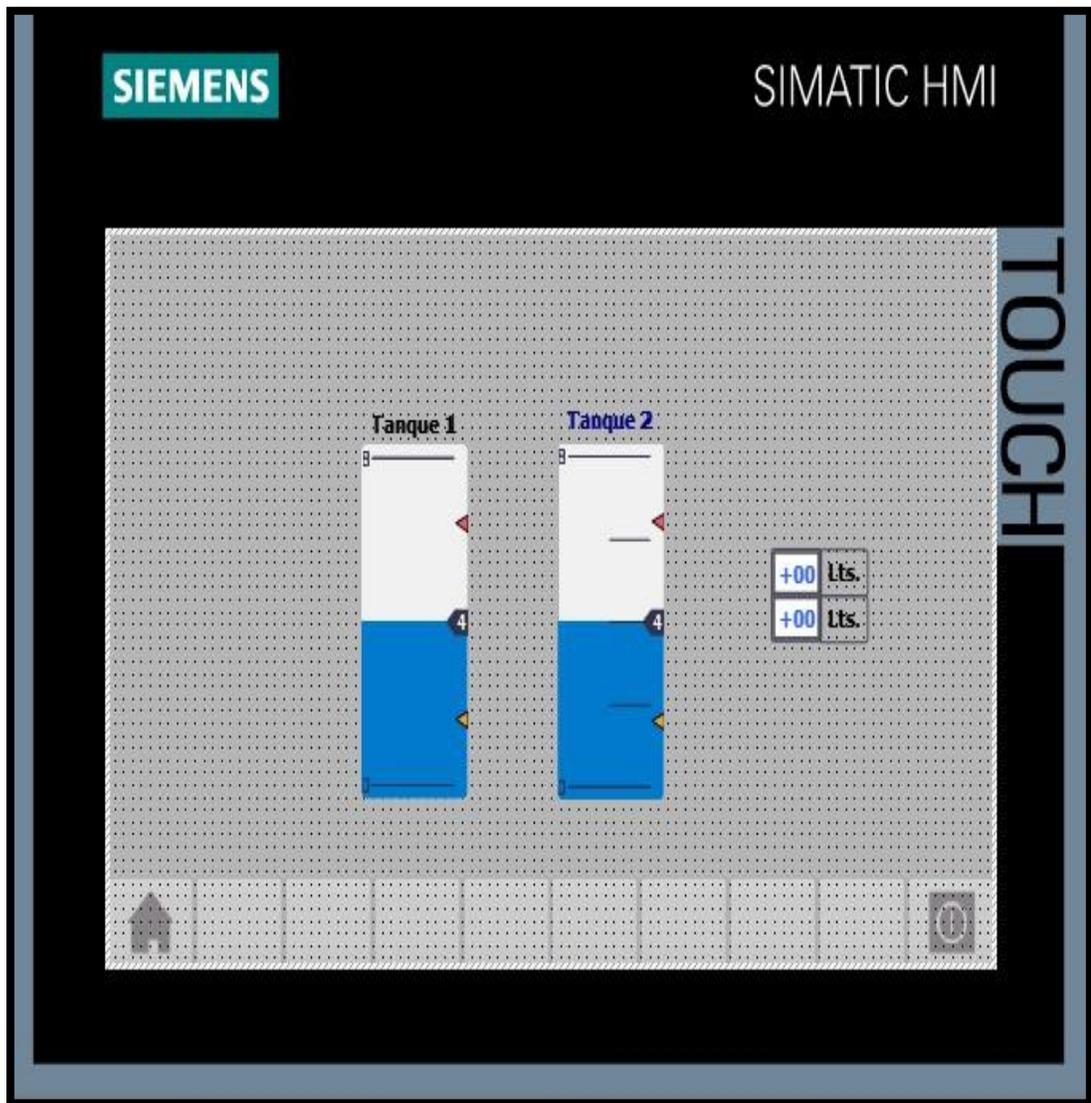
Fuente: Autor de la investigación, (2022).

Diseño del sistema SCADA Gateway IoT Bosch

En este capítulo se diseña el sistema SCADA de tanques de reserva en la HMI SIEMENS, la programación y configuración de los diferentes protocolos de comunicación para comunicarse con la Dashboard del gateway IOT de Bosch Rexroth, a continuación, se observan las secciones de este capítulo:

Figura 6

Diseño preliminar SCADA



Fuente: Autor de la investigación. (2023).

Para el desarrollo de la interface gráfica SCADA (ver figura 6) se utiliza el software de TIA PORTAL V15 de Siemens®, el diseño consta de dos tanques con el respectivo indicador de nivel en el rango de 0 a 8 litros, adicionalmente se establecen dos variantes para mostrar la lectura de volumen en el tanque 1 y 2 en litros, se piensa simular la válvula de llenado, descarga y la activación de la electrobomba. Para poder establecer dos alarmas de nivel máximo y mínimo se integrarán dos indicadores para que el operario pueda reaccionar en caso de alteración del sistema. Para este diseño se tuvo en cuenta el funcionamiento físico del prototipo para que en la interface pueda facilitar el monitoreo del mismo.

Figura 7

Variables de programación

```
PROGRAM PlcProg
VAR
  Data_1 AT %MW500: ARRAY [1..20] OF BYTE;
  Data_2 AT %MW600: ARRAY [1..20] OF BYTE;
  Comunicacion_Modbus: MODBUSSEVER;
  Volt_N2: REAL;
  Volt_N1: REAL;
  Nivel_L1: REAL;
  Nivel_L2: REAL;
  HMI_L1: INT;
  HMI_L2: INT;
  HMI_EB AT %MX600.2: BOOL;
  HMI_V1 AT %MX600.3: BOOL;
  HMI_V2 AT %MX600.4: BOOL;
  MAX_ALARM AT %MX600.1: BOOL;
  AMX: BOOL;
  AMN: BOOL;
  MIN_ALARM AT %MX600.5:BOOL;
END_VAR

VAR_OUTPUT
  EV AT %QX0.3: BOOL;
  V1 AT %QX0.1: BOOL;
  V2 AT %QX0.2: BOOL;
END_VAR

VAR_INPUT
  NIVEL_1 AT %IW2: WORD;
  NIVEL_2 AT %IW4: WORD;
END_VAR
```

Fuente: Autor de la investigación, (2023).

Se utilizó el software Rexroth Indra Works para el desarrollo de la programación debido a que es un entorno fácil de usar para todos los sistemas de control y accionamiento eléctrico.

Este software ofrece herramientas completas de configuración, programación, parametrización, funcionamiento, visualización y diagnóstico.

En la programación se establecen dos variables (ver figura 7) de entrada para la captura de datos de los sensores de nivel, y se utilizan tres salidas para el control de las electroválvulas y la electrobomba. Además, se gestionan otras variables para almacenar la información de los diferentes componentes del SCADA (Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos).

Un aspecto importante de la programación es la comunicación entre el PLC y el SCADA mediante el uso del protocolo ModbusServer, lo que permite el intercambio de datos y la sincronización de la información entre ambos entornos.

Es relevante destacar que el uso del software Rexroth IndraWorks proporciona una plataforma confiable y robusta para el desarrollo de la programación, facilitando la configuración y gestión de los diferentes componentes del sistema de control y permitiendo una comunicación correcta entre el PLC y el SCADA.

Escalamiento de la señal logarítmica del sensor de nivel

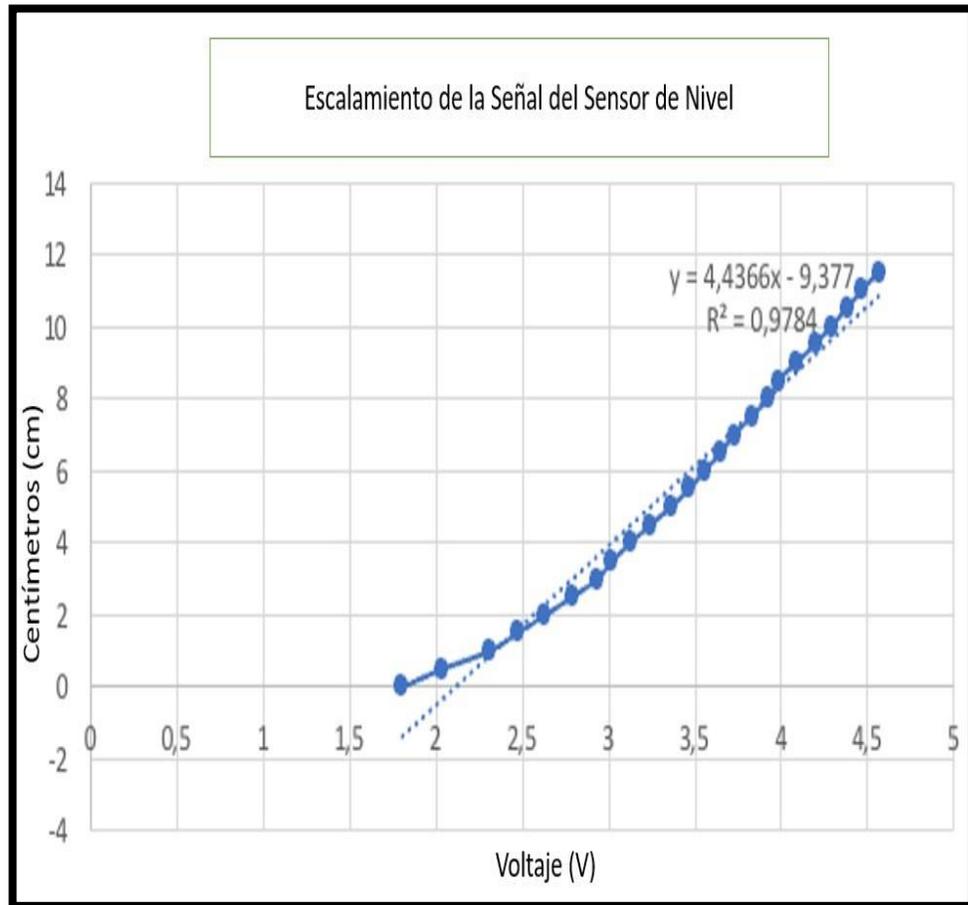
Dado que el sensor utilizado para medir los datos es un potenciómetro y este posee un comportamiento exponencial es necesario realizar pruebas en sitio para conocer ciertos datos que según la variación de la resistencia y siendo su equivalente en voltaje es muy bajo, por tal motivo, gracias al apoyo del aprendiz SENA Diego Malaver se ubica una regla para conocer la altura (cm) del tanque y se selecciona un rango de operación conforme a la disposición mecánica seleccionada del sensor. Es así, que a través del llenado del tanque de forma manual y la ubicación de la regla se empiezan a tomar datos equivalentes referentes a la altura en centímetros y voltaje bajo la medida del multímetro cada 1 centímetro.

Una vez registrados los datos recolectados se observa la tendencia del comportamiento del gráfico y se determina bajo el software Excel realizar un análisis de regresión conforme al coeficiente de determinación, ya que este permite observar que tan cerca se encuentran los puntos tomados con respecto a la regresión lineal propuesta.

Como los datos obtenidos de la gráfica (ver figura 8) se observa que la regresión lineal es la que mejor se acerca al 1, por tal motivo, se decide dejarla y aplicarla en la programación.

Figura 8

Datos utilizados en Excel del comportamiento del sensor



Fuente: Autor de la investigación, Diego Malaver. (2023).

La ecuación de regresión lineal característica para la lectura obtenida para los potenciómetros (sensor de nivel hechizo (L)) en términos de centímetros es:

$$\text{cm} = 4.4366v - 9.377$$

Donde cm (centímetros) de cada uno de los tanques de reserva y v (voltaje) que emite el potenciómetro, una vez se tiene la ecuación se hacen las reglas de tres para convertirlo a litros.

Programación en PLC Rexroth Bosch:

En la figura 9 se observan las variables utilizadas en el desarrollo de la programación para el funcionamiento de la lógica programable.

Figura 9

Lista de variable usadas para el desarrollo del software.

Name	Tag table	Data type	Connection			
AMN	Default tag table	Bit	Connection_1	AMN	BOOL	
AMX	Default tag table	Bit	Connection_1	AMX	BOOL	
EB	Default tag table	Bit	Connection_1	EB	MODBUSSERVER	
NIVEL_1	Default tag table	+/- Int	Connection_1	Data_1	ARRAY [1..20] OF BYT	
NIVEL_2	Default tag table	+/- Int	Connection_1	Data_2	ARRAY [1..20] OF BYT	
START	Default tag table	Bit	Connection_1	EV	BOOL	
V1	Default tag table	Bit	Connection_1	HHL_EB	BOOL	
V2	Default tag table	Bit	Connection_1	HHL_L1	INT	
				HHL_L2	INT	
				HHL_V1	BOOL	
				HHL_V2	BOOL	
				FIAX_ALARM	BOOL	
				MIN_ALARM	BOOL	
				NIVEL_1	WORD	
				NIVEL_2	WORD	
				Nivel_L1	REAL	
				Nivel_L2	REAL	
				V1	BOOL	
				V2	BOOL	
				Volt_N1	REAL	
				Volt_N2	REAL	

Fuente: Autor de la investigación, 2023

Para el desarrollo de la lógica de programación, se utiliza el gráfico de funciones continuas (CFC) como metodología de diseño. Se inserta el bloque de comunicación de ModbusServer, el cual se configura con el puerto de comunicación en la dirección 502, así como las direcciones de entrada y salida de datos correspondientes. La resolución de la entrada de datos se establece en 210, lo que equivale a 1024.

Además, se establecen bloques específicos para el ajuste de las señales de entrada nivel_1 y nivel_2. Se realiza la conversión de Word a Real, dividiendo el valor obtenido entre 1000, este dato resultante se compara con el valor de referencia establecido de 2,4 para lecturas menores, y el resultado se almacena en las variables V1 y V2, respectivamente.

También se valida en otro bloque que las señales de nivel_1 y nivel_2 sean mayores a 4.9, lo que asegura que se cumpla con el criterio de comparación establecido en la lógica de programación.

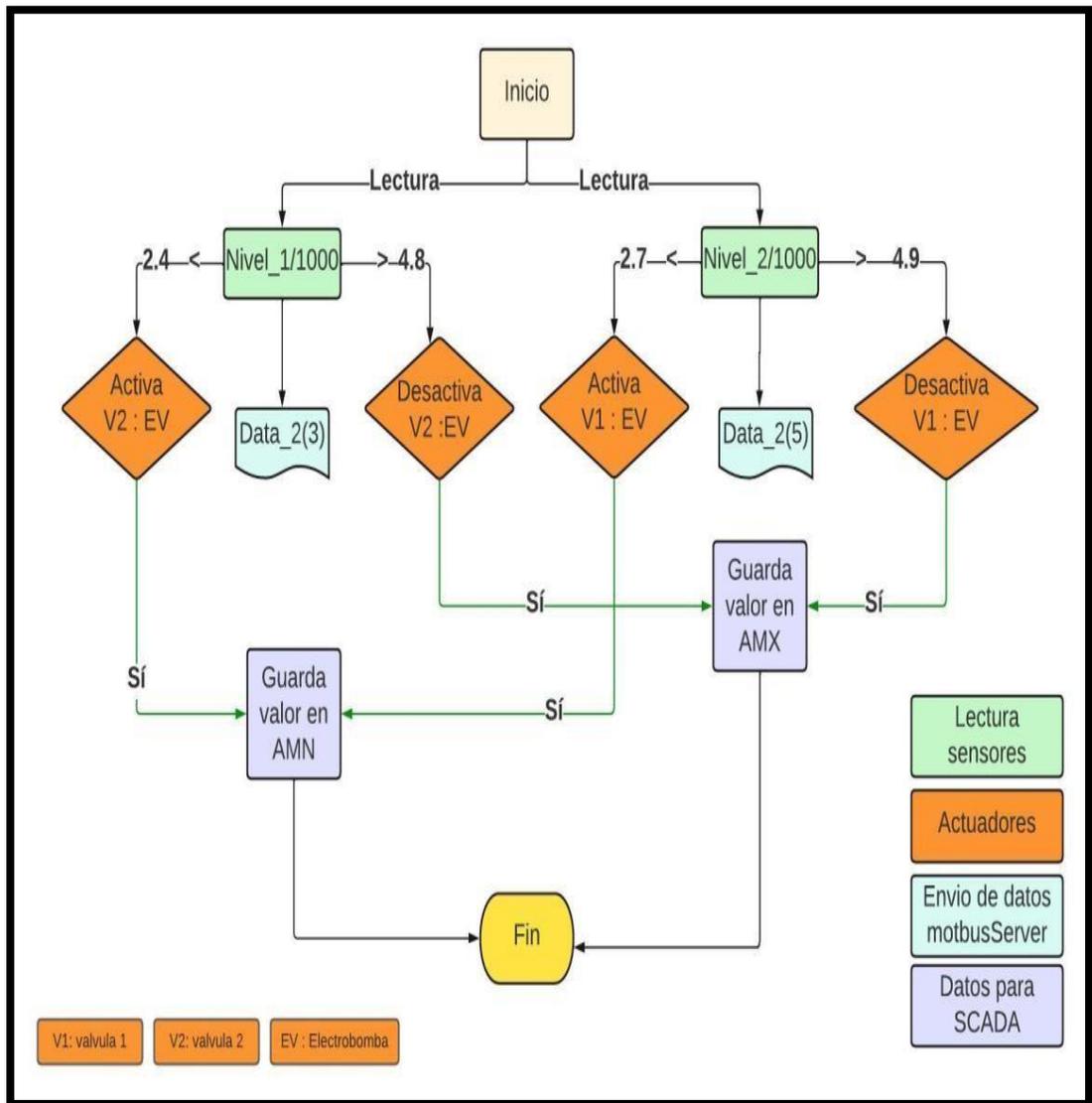
El uso del Gráfico de funciones continuas (CFC) como metodología de diseño permite

una representación visual clara y estructurada de la lógica de programación, ver figura 10 flujograma.

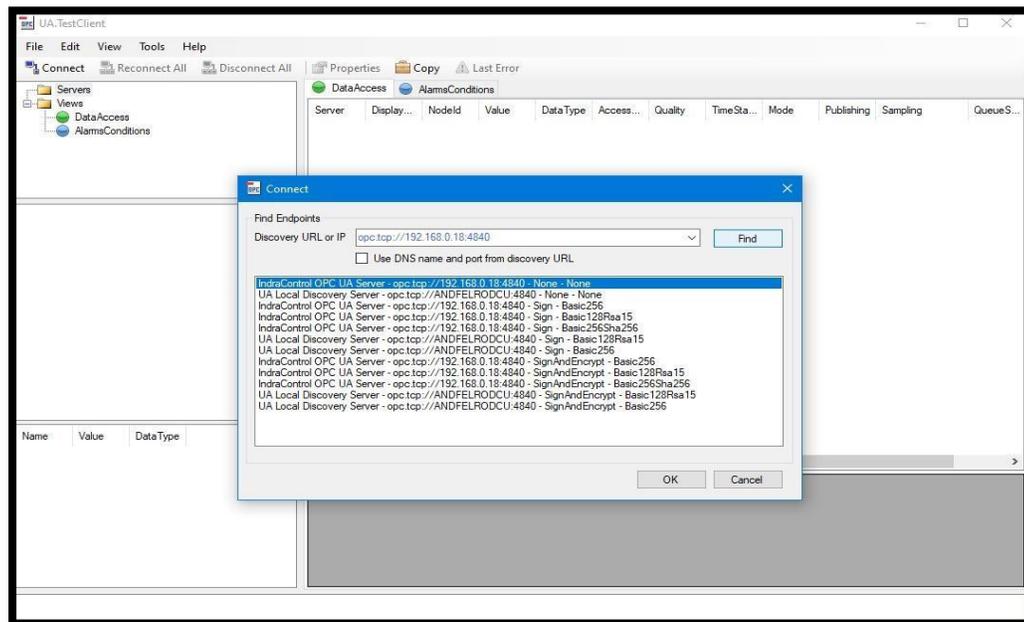
Los bloques de comunicación de ModbusServer facilitan la configuración de la comunicación entre los dispositivos, y los bloques de ajuste y validación aseguran un procesamiento adecuado de las señales de entrada.

Figura 10

Programación y lógica de funcionamiento



Fuente: Autor de la investigación, (2023).

Figura 11*Conexión OPC UA Server*

Fuente: Autor de la investigación, 2023

Se realiza una prueba del funcionamiento de la comunicación mediante el protocolo OPC UA Server (ver figura 11) para la transferencia de información entre el servidor y el cliente. Para validar la comunicación con el cliente, se utiliza la aplicación UA.TestClient, que permite identificar posibles errores de comunicación con el servidor OPC UA.

El UA.TestClient es una herramienta avanzada que permite conectarse a cualquier servidor UA utilizando perfiles de seguridad de última generación. Permite navegar por el espacio de direcciones, gestionar certificados/autorizaciones, realizar diagnósticos del servidor y su carga, guardar configuraciones, acceder a nodos para lectura/escritura, llamar a métodos, agregar nodos a la lista de alarmas, encontrar nodos, determinar el tipo de datos de un nodo, copiar nodos, controlar las opciones de suscripción y supervisión, y ver eventos históricos.

La implementación del protocolo de comunicación OPC UA es una elección adecuada, ya que es un protocolo que permite establecer conexiones seguras entre el cliente y el servidor. Esto garantiza una comunicación entre ambos, lo que es esencial en aplicaciones de IoT y sistemas industriales donde la integridad de la información y la seguridad.

Validación de funcionamiento de la planta a escala

En primer lugar, se llevaron a cabo pruebas iniciales para evaluar y simular diferentes niveles de llenado de los tanques de reserva, y otras variables relevantes para el sistema. Durante estas pruebas, se registraron los datos estimados generados por el sistema y se compararon con los valores reales medidos en los tanques de reserva para verificar el correcto funcionamiento del sistema.

A partir de los diseños desarrollados y con el apoyo de Carlos Munevar, se ensambló en el 2022 el prototipo estructural del sistema de tanques de nivel en el Edificio 10 salón 106. Y con este prototipo, Diego Malaver apoya en la validación de revisar y detectar posibles fugas y revisión de los sellos, juntas y conexiones de tuberías.

Figura 12

Pruebas de funcionamiento real del diseño



Fuente: Autor de la investigación. 2023

En caso de encontrar errores o discrepancias durante las pruebas iniciales, se llevó a cabo un análisis detallado para identificar la causa raíz de los fallos. Esto puede implicar la revisión de los registros de datos, la verificación de la configuración del software utilizado en el sistema, la inspección visual de los componentes, y la revisión de los procedimientos de operación.

Implementación del diseño CAD de tanques de reserva

Para la construcción de los tanques de reserva por medio del apoyo de Carlos Munévar en el ensamble y corrección de fugas por parte de Diego Malaver, se utilizó material acrílico transparente. Este material fue seleccionado debido a que permite una visualización clara del proceso del sistema mientras está en funcionamiento. El uso de material acrílico transparente permite a los operadores y observadores monitorear fácilmente el nivel de agua en los tanques y evaluar el correcto funcionamiento del sistema en tiempo real.

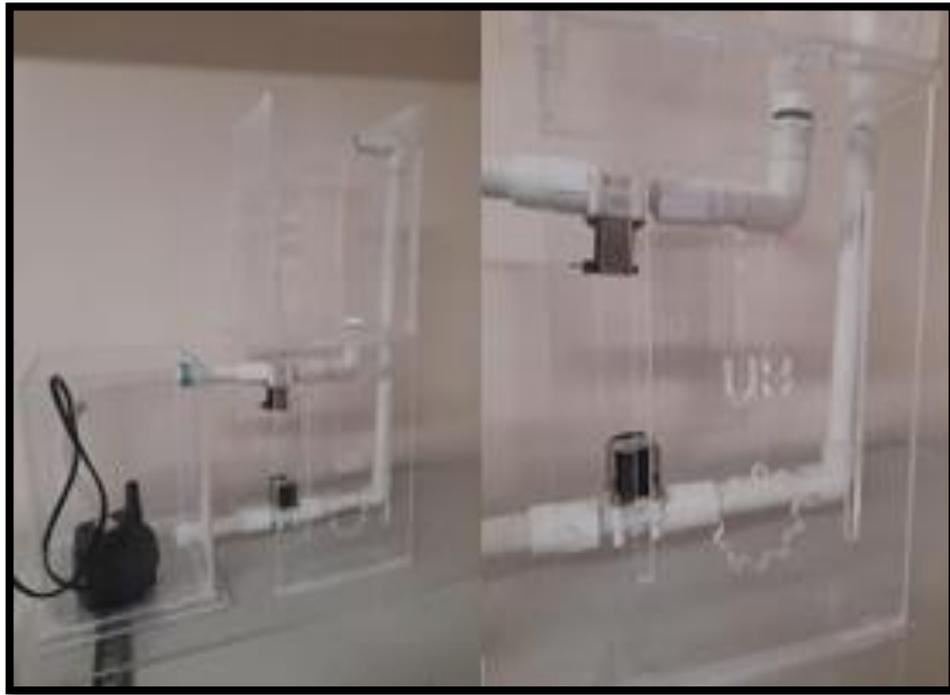
En cuanto a las conexiones de agua, se utilizaron tubos, codos y acoples de PVC. El PVC es un material comúnmente utilizado en tuberías de flujo de agua debido a su durabilidad, resistencia a la corrosión y facilidad de instalación. Los tubos de PVC, codos y acoples se seleccionaron y ensamblaron de acuerdo a las especificaciones y dimensiones del diseño CAD, asegurando una conexión hermética y segura entre los diferentes componentes del sistema.

Las imágenes que se muestran del sistema de tanques construido muestran cómo se implementó el diseño CAD en la realidad. Los tanques de reserva construidos con material acrílico transparente permiten visualizar claramente el nivel de agua en su interior, mientras que las conexiones de agua realizadas con tubos, codos y acoples de PVC aseguran un flujo de agua adecuado.

La implementación en físico del diseño CAD (ver figura 13) es una parte importante del proceso de desarrollo de sistemas y permite llevar a la realidad el diseño conceptualizado en el software de diseño.

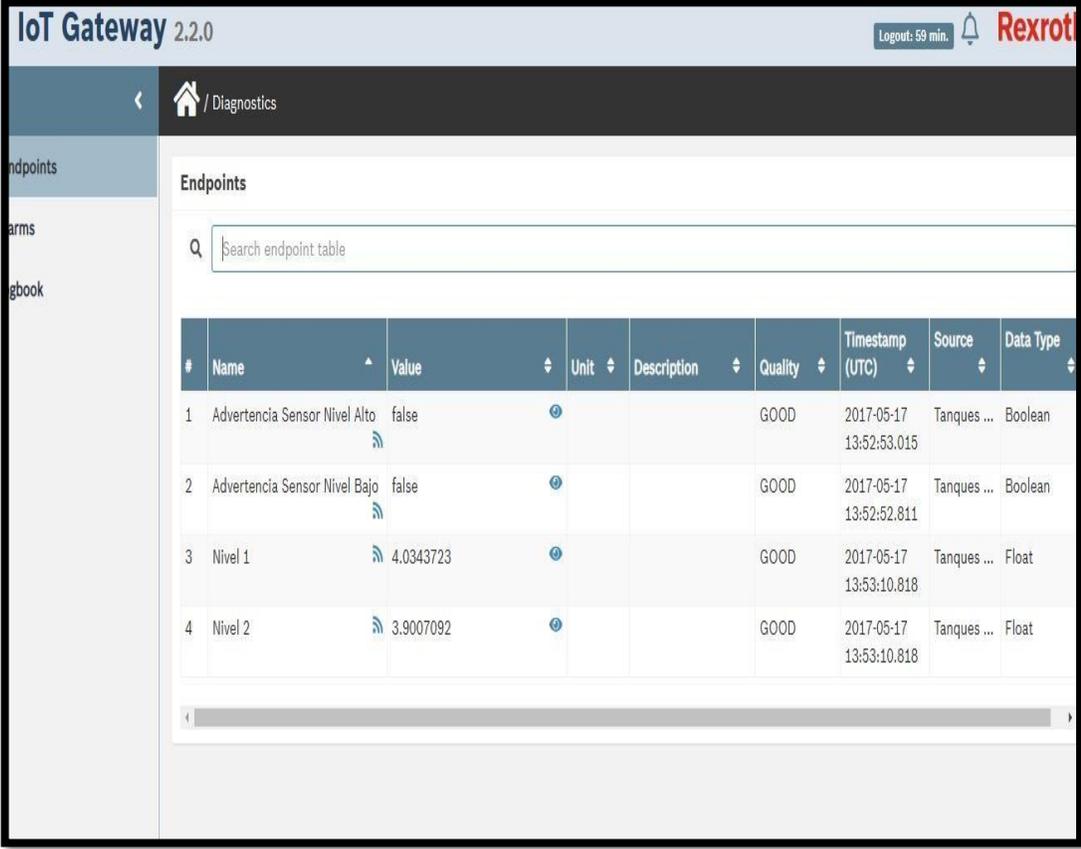
Figura 13

Implementación del diseño CAD del Sistema a Escala de Tanques de Reserva



Fuente: Carlos Munévar, Diego Malaver. 2023

Se realiza la prueba de comunicación con el IoT Gateway (ver figura 14) ya que es un paso fundamental en el proceso de implementación de soluciones IoT del tanque. Para ello, es necesario realizar una serie de acciones, que incluyen la verificación y configuración adecuada del hardware y software del Gateway IoT, así como la configuración de los dispositivos que se interconectan.

Figura 14*Prueba de conexión IoT Gateway*


The screenshot shows the 'Endpoints' section of the IoT Gateway 2.2.0 interface. It features a search bar and a table with the following data:

#	Name	Value	Unit	Description	Quality	Timestamp (UTC)	Source	Data Type
1	Advertencia Sensor Nivel Alto	false			GOOD	2017-05-17 13:52:53.015	Tanques ...	Boolean
2	Advertencia Sensor Nivel Bajo	false			GOOD	2017-05-17 13:52:52.811	Tanques ...	Boolean
3	Nivel 1	4.0343723			GOOD	2017-05-17 13:53:10.818	Tanques ...	Float
4	Nivel 2	3.9007092			GOOD	2017-05-17 13:53:10.818	Tanques ...	Float

Fuente: Autor de la investigación, 2023

En primer lugar, se debe verificar que el hardware del IoT Gateway esté correctamente configurado y conectado. Lo que implica verificar las conexiones de red, asegurarse de que la alimentación eléctrica sea adecuada y revisar que los sensores o dispositivos periféricos estén correctamente instalados. También es importante asegurarse de que el software del Gateway esté correctamente configurado, incluyendo el sistema operativo, la red, la seguridad y los protocolos de comunicación necesarios.

Una vez que todo está configurado, se realizan pruebas de conectividad. Lo que implicó el envío de mensajes de prueba desde los dispositivos IoT al Gateway y verificar que los mensajes sean recibidos y procesados correctamente a través UA TestClient. También se puede utilizar herramientas de monitoreo o registros de eventos para verificar la conectividad y la respuesta del Gateway.

Se realiza un análisis detallado de las cuatro variables conectadas al IoT Gateway, que incluyen la advertencia del sensor de nivel alto, la advertencia del sensor de nivel bajo, así como los sensores de nivel 1 y nivel 2. Durante esta prueba, se verifica el correcto funcionamiento de cada sensor, se evalúa el tipo de dato capturado y se verifica la calidad de la señal.

Además, se verifica que el sensor de nivel alto, esté capturando datos y advertencias de cuando se alcanza un nivel alto preestablecido. Se verifica que las lecturas del sensor sean correctas conforme al escalamiento desarrollado.

Luego, se evalúa el sensor de nivel bajo para asegurarse de que esté capturando datos correctamente y emitiendo advertencias cuando se alcanza un nivel bajo predefinido. Se verifica que las lecturas del sensor sean los valores de referencia para validar los datos.

Posteriormente, se realiza una prueba de los sensores de nivel 1 y nivel 2 para confirmar su correcto funcionamiento conforme al llenado de los tanques de reserva.

Durante la prueba, se evalúa también el tipo de dato capturado por cada sensor. Esto implica revisar si los datos están en el formato correcto tipo REAL en el PLC y UINT en la HMI Siemens. Además, se verifica la calidad de la señal de los sensores a través del módulo de prueba del OPC UA para validar su estado “GOOD” or “BAD”.

Resultados

En el desarrollo de este proyecto se proponen 4 etapas para generar un prototipo que cumpla con el funcionamiento general anteriormente mencionado y que sirva como una herramienta de apoyo a la asignatura de Automatización para que el estudiante a través del docente de la asignatura genere casos de estudio para que los estudiantes puedan aplicar diferentes soluciones en programación con el uso del prototipo, por tal motivo, la primera etapa del proyecto se centra en la selección de materiales y componentes necesarios a partir del inventario del laboratorio de ingeniería Mecatrónica de la Universidad de Boyacá. Los materiales utilizados incluyen potenciómetro, Gateway Bosch, PLC Rexroth, electroválvulas 12V, bomba sumergible 110V y acrílico transparente para el diseño estructural de los tanques.

En la segunda etapa se realizó el diseño electrónico utilizando la aplicación iCircuit, que permite simular diferentes componentes electrónicos y analizar la tensión, el consumo de corriente y otros parámetros del sistema. El circuito diseñado dispone de 4 entradas para señales de PLC, 4 para entradas de microcontroladores y 4 pulsadores para la activación manual y 4 salidas de relé. Una vez validado el diseño electrónico, se procedió a la fabricación de los componentes. Se utilizaron placas de circuito impreso (PCB) para montar los componentes electrónicos de la unidad de control. Los PCB se diseñaron teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de los componentes y las conexiones necesarias para el funcionamiento del sistema.

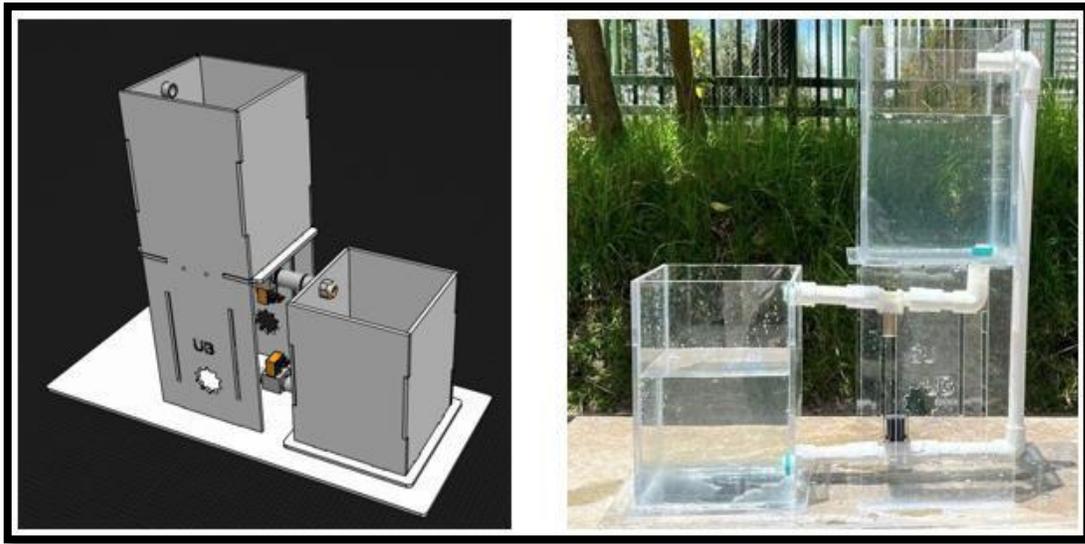
Además, se realizaron pruebas y verificaciones de funcionamiento para asegurar que el diseño electrónico cumpliera con los requisitos y especificaciones del proyecto. Se realizaron simulaciones y pruebas en tiempo real para confirmar el correcto funcionamiento de los componentes electrónicos, la activación de los actuadores y la integración del sistema eléctrico con el sistema mecánico.

Una vez que los componentes electrónicos fueron probados, se procedió a la integración del sistema mecánico y electrónico. Los componentes electrónicos se ensamblaron en la unidad de control, siguiendo el diseño y las conexiones previamente establecidas en el diseño electrónico. Se verificó la correcta conexión de los componentes y se realizaron pruebas de funcionamiento para asegurar que el sistema mecánico y electrónico trabajaran en conjunto de manera adecuada.

El diseño 3D de los tanques se realiza utilizando software SHARP 3D, lo que permite modelar y visualizar en tres dimensiones las diferentes partes del sistema, incluyendo los componentes como las electroválvulas y la electrobomba. Posteriormente, se valida el correcto anclaje y ensamblaje con el apoyo de Carlos Munévar y Diego Malaver entre los diferentes componentes, asegurando que estén correctamente ajustados y funcionando dentro del sistema. Esto ayuda a garantizar la integridad y funcionamiento del sistema en su conjunto, evitando posibles errores o problemas durante la fabricación y ensamblaje físico de los tanques, ver figura 15.

Figura 15

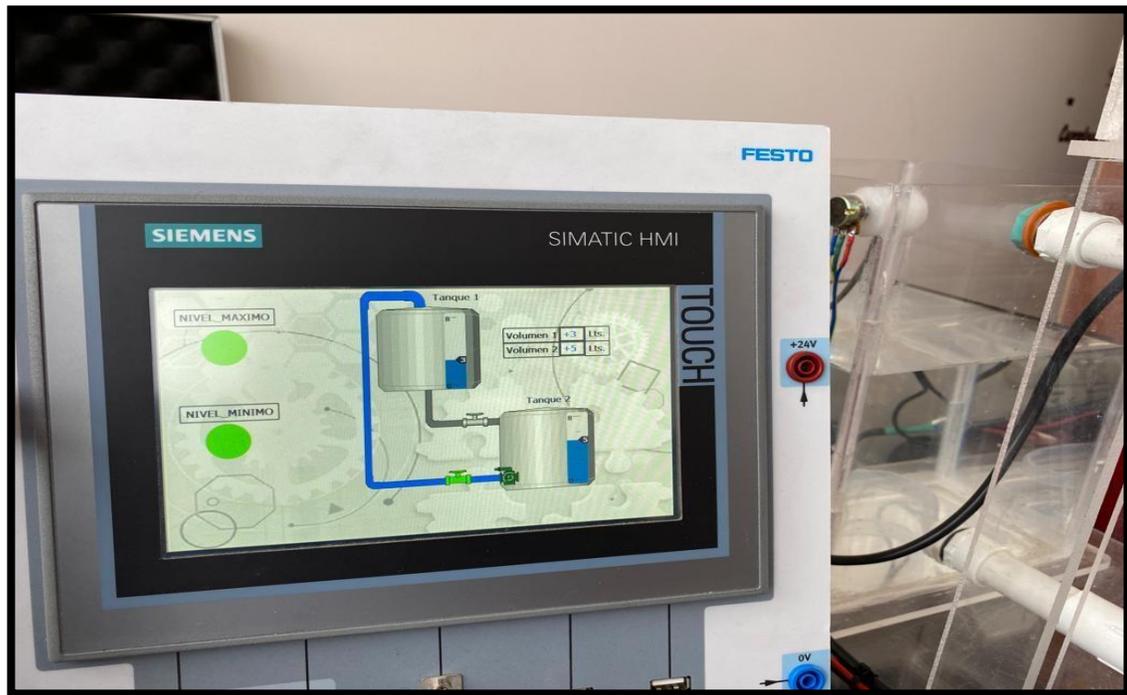
Diseño 3D vs Ensamble Real



Fuente: Autor de la investigación. (2022).

Fuente: Carlos Munévar, Diego Malaver. (2023).

En la tercera etapa del proyecto, se llevó a cabo la programación del PLC, la configuración del IoT Gateway y el desarrollo del SCADA con apoyo de Diego Malaver, con el objetivo de que la lógica fuera correcta y la implementación de las operaciones de visualización y control del sistema. Esto implicó el diseño de un programa en el PLC en donde se condicionó la señal de entrada en base a la regresión lineal calculada, la configuración adecuada del Gateway para la comunicación entre los diferentes sistemas y el desarrollo del SCADA para una interface gráfica de monitores, ver figura 16.

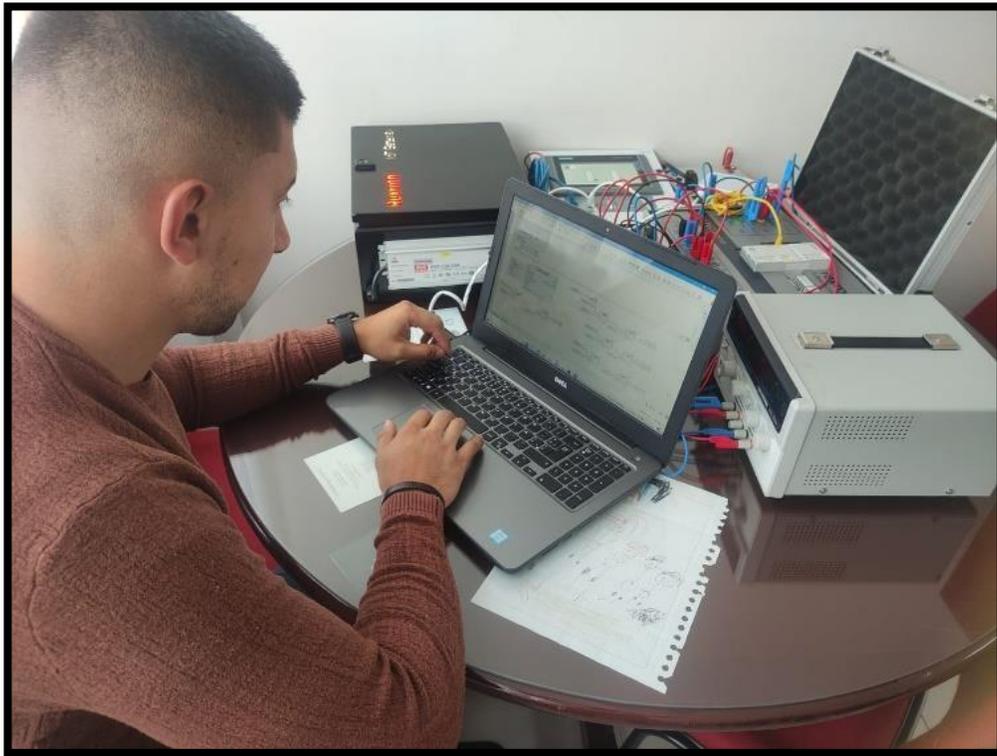
Figura 16*Prueba SCADA*

Fuente: Autor de la investigación, Diego Malaver. (2023).

En la cuarta etapa, se realizó la validación del correcto funcionamiento de los tanques y la programación desarrollada. Esto incluyó la verificación de la correcta recepción y envío de datos entre el PLC, el SCADA y el Gateway Bosch, asegurándose de que la comunicación se llevara a cabo de manera adecuada. Esto permitió garantizar la interpretación y visualización de los datos en tiempo real en el SCADA, asegurando que el sistema funcionara correctamente. Es importante destacar que se realizaron pruebas de funcionamiento para observar el comportamiento del prototipo, ver figura 17.

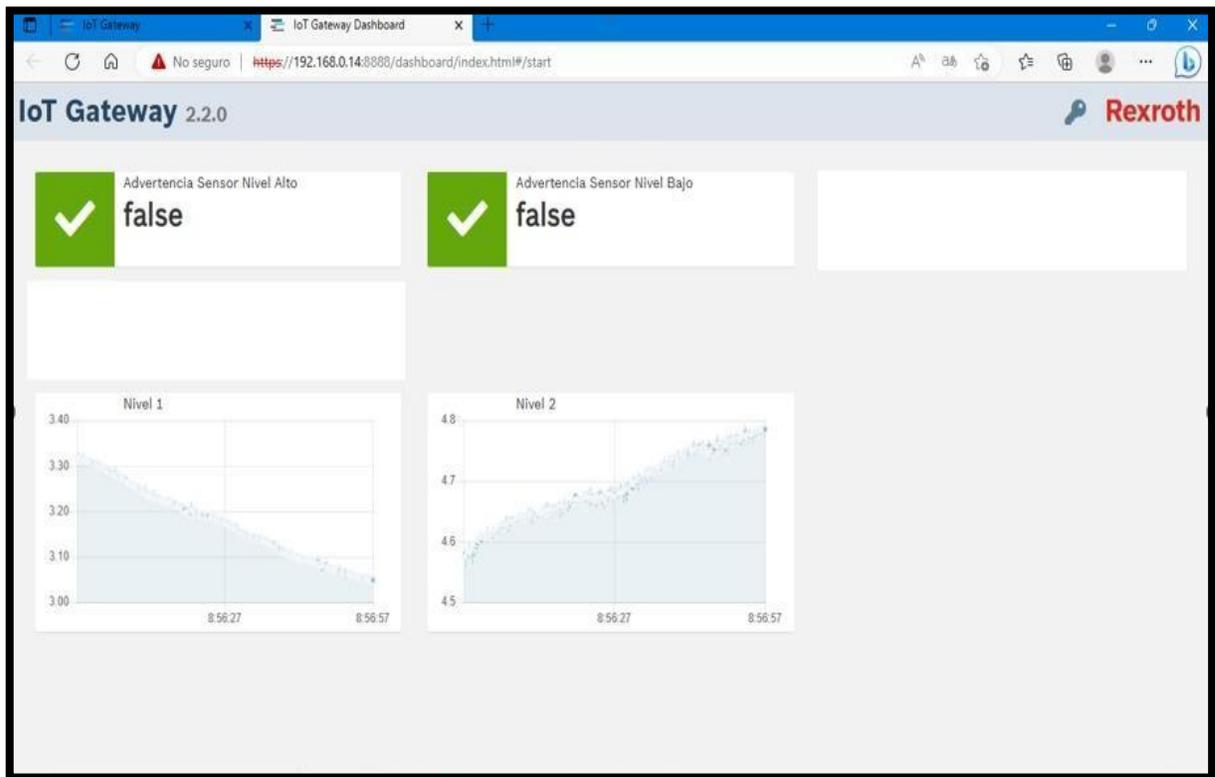
Figura 17

Pruebas con sistema PLC, SCADA, GATEWAY IoT Y prototipo a escala



Fuente: Autor de la investigación. (2023).

Adicionalmente en esta etapa del proyecto, se llevó a cabo una validación que incluyó pruebas de funcionamiento de los actuadores, así como el envío de datos al PLC y la simulación en el SCADA del proceso de llenado del tanque. Además, se verificó que los datos se enviaran hacia el PLC, asegurando una comunicación entre los diferentes componentes del sistema.

Figura 18*Pruebas IoT Gateway Dashboard*

Fuente: Autor de la investigación (2023).

En la gestión del Dashboard del gateway Bosh se validó el envío y recepción de datos. Se realizaron pruebas (ver figura 18) para observar la transmisión de datos desde los componentes del sistema, incluyendo PLC y SCADA, hasta el Dashboard del Gateway Bosch. Se verificó la correcta representación en el Dashboard del proceso de llenado y vaciado de los tanques en función del tiempo transcurrido. Además, se corroboraron las señales de alarma en el Dashboard del Gateway Bosch. Se realizaron pruebas de activación de las alarmas en diversos escenarios y se verificó que las notificaciones y alertas se generaran de manera correcta en caso de situaciones anormales en el sistema de llenado.

Conclusiones

El diseño a escala del sistema de llenado de tanques fue un logro importante, ya que permitió simular y probar el funcionamiento del sistema. Esto proporcionó la oportunidad de identificar posibles errores o mejoras en el diseño y la programación, lo cual contribuyó a generar un correcto funcionamiento del prototipo.

La comunicación entre el PLC y el SCADA, facilitada por el Gateway Bosch, fue un aspecto clave en el proyecto. El Gateway Bosch permitió la integración y transferencia de datos entre el PLC, encargado del control del sistema de llenado de tanques, y el SCADA, encargado de la supervisión y monitoreo del sistema. Esta comunicación posibilitó una gestión IoT del sistema, permitiendo visualizar en tiempo real el estado del sistema, recibir notificaciones de alarmas y realizar ajustes en la configuración del sistema de manera remota.

La implementación del Gateway Bosch para el envío de datos a la nube ha abierto nuevas oportunidades para el monitoreo y gestión remota del sistema de llenado de tanques. La capacidad de enviar datos a la nube ha permitido el almacenamiento y análisis de información en tiempo real, lo que ha habilitado la generación de reportes y análisis de datos para tomar decisiones informadas sobre el funcionamiento del sistema. Esto brinda la posibilidad de implementar estrategias de mantenimiento predictivo, optimización de procesos y mejora continua del sistema de llenado de tanques.

El uso del Gateway Bosch ha revolucionado la forma en que se monitorea y gestiona el sistema de llenado de tanques. Anteriormente, los datos se recopilaban de forma manual o se almacenaban localmente, lo que limitaba la capacidad de análisis y toma de decisiones. Con la capacidad de enviar datos a la nube, se ha abierto un mundo de posibilidades para el monitoreo y gestión remota del sistema.

Por último, el uso del Gateway Bosch para el envío de datos a la nube también facilita la mejora continua del sistema de llenado de tanques. Con la capacidad de analizar datos históricos, identificar tendencias y realizar comparaciones, es posible tomar decisiones informadas sobre ajustes y mejoras en el sistema.

Esto permite una mejora continua en el sistema de llenado de tanques a lo largo del tiempo.

La implementación del OPC UA Server en el sistema de llenado de tanques ha

demostrado ser una solución para la comunicación y transferencia de datos entre los diferentes dispositivos de automatización, como el PLC y el SCADA. El uso de OPC UA Server ha facilitado la integración de los sistemas de control y supervisión, permitiendo una gestión más eficiente y centralizada del sistema. Adicionalmente este sistema de comunicación permite integrar nuevos dispositivos compatibles con OPC UA si necesidad de modificar la infraestructura, permitiendo una mayor flexibilidad y adaptabilidad del sistema.

Es importante mencionar que el uso de este sistema permitirá en un futuro generar casos de estudio enfocadas en sistemas de nivel de tanques, donde el rol importante del docente es la consolidación de guías de aprendizaje y rúbricas de evaluación para aprovechar al máximo esta herramienta tecnológica de apoyo educativo en prácticas de laboratorio en la asignatura de Automatización del programa de Ingeniería Industrial de la Universidad de Boyacá. A través de este sistema a escala de tanques se puede observar un ejemplo de varios que se pueden construir al utilizar los diferentes equipos que se encuentran en el laboratorio de Neumática, tanto a nivel del uso de hardware y componentes de software en la integración de los mismos con fines utilizar a profundidad todos los componentes que trae el dispositivo IoT Bosch Gateway.

Referencias

- Autycom (2017, 04 de octubre). *Qué es un sistema automatizado y sus componentes.*
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/Automatizacion.htm>
- Autycom. (2022, 15 de agosto). *Para qué sirve PLC programmable IOT controller.*
<https://oasys-sw.com/que-son- sistemas-scada-industria-40/>
- Bernstein. (2020, 08 de noviembre). *Qué es un sistema de nivel automatizado red hat.*
<https://es.scribd.com/doc/35062498/sens-capacitivos-es>
- Bosch rexroth. (2018, 08 de marzo). *IoT Gateway Rack de Bosch Rexroth industria 40.*
<https://www.boschrexroth.com/en/us/company/press/press-details-46721>
- Brunete. (2020, 28 de agosto). *Introducción a la Automatización industrial PLCs.*
https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/intro.html
- Cénits. (2022, 11 de enero). *Qué es MPI Message Passing Interface automatized.*
<https://www.cenits.es/faq/preguntas- generales/que-es-mpi>
- Cursos Gratis. (2021, 21 de septiembre). *IoT es la programación de PLC automatizada.*
<https://aprendiendoaprogramar.es/blog/que-es-la- programacion-de-plc-tipos-y- como-funciona/>
- Deloitte. (2022, 08 de marzo). *Qué es la Industria 4.0 Objetivos de la Industria 4.0.*
<https://www2.deloitte.com/cl/es/pages/manufacturing/la-industria-40.html>
- El empaque más conversión.(2022, 04 de junio). *Ayudando compañías Bosch-rexroth.*
<https://www.elempaque.com/temas/Bosch-Rexroth,-ayudando-a-las-companias->
- Festo Didactic. (2022, 09 de abril). *Bloque de control CPX-CEC codesys v3.*
https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ES/PDF/ES/CPX-CEC_ES.PDF
- Festo Didactic. (2023, 03 de abril). *Touch Panel TP700 EduTrainer CPX-CEC V3.*
<https://www.festo-didactic.com/es-es/productos/mps-sistema-de-produccion- modular/funcionamiento- supervision/touch-panel-tp700- edutrainner.htm?fbid>
- Ibérica. (2020, 04 de junio). *Burket leavel whisper valve water Tipe 6757.*
<https://www.burkert.es/es/- Asistencia/Prestacion-de-del-nivel-de-llenado>
- ISC-702. (2014, 11 de enero). *Bosch Rexroth: las compañías estáticas de fluidos.*
<http://mundosensor.blogspot.com/2014/11/caracteristicas-de-los-sensores.html>

- Islas, A. (2022, 08 de marzo). *De sensores, estáticas y dinámicas Rango de medida*.
<https://prezi.com/70oqqrlptxl/sensores-caracteristicas-estaticas-y-dinamicas/>
- Microsoft. (2022, 12 de agosto). *Controlador dinámico Rango de medida resolución*.
<https://docs.microsoft.com/es-es/windows-hardware/drivers/gettingstarted/what>
- National Instruments.(2022, 11 de junio). *Qué es LabVIEW, Ambitiously progradation*.
<https://docs.microsoft.com/es-es/windows-hardware/drivers/gettingstarted/what>
- Oasis. (2022, 03 de octubre). *Sistemas SCADA y su importancia en la industria 4.0*.
<https://oasis-sw.com/que-son-sistemas-scada-industria-40/>
- Pardillo. (2020, 21 de julio). *precisión y exactitud. Obtenido de Orbitales al sistema*.
<https://www.orbitalesmoleculares.com/precision-y-exactitud/>
- Sistema SCADA (2017, 04 de octubre). *Para qué sirve y cómo funciona en scada*.<https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-scada/>