



Implementación de micro red de PLC's para la supervisión de señales analógicas y digitales mediante interfaz hombre máquina para el control de procesos.

Desarrollo tecnológico

Heidy Natalia Albarracín Ulloa
1010011354

Jersson David Gómez Abril
1098796964

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de ciencias e ingeniería
Ingeniería electromecánica
Bucaramanga
30/Marzo/2026



Implementación de micro red de PLC's para la supervisión de señales analógicas y digitales mediante interfaz hombre máquina para el control de procesos.

Desarrollo tecnológico

Heidy Natalia Albarracín Ulloa
1010011354

Jersson David Gómez Abril
1098796964

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero electromecánico

DIRECTOR
Camilo Sandoval

GISEAC

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de ciencias e ingeniería
Ingeniería electromecánica
Bucaramanga
30/Marzo/2026

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 2.0

Nota de Aceptación

Este informe final de trabajo de grado, en modalidad de desarrollo tecnológico, fue
APROBADO en cumplimiento de uno de los requisitos exigidos por las Unidades
Tecnológicas de Santander para optar el Título de Ingeniero electromecánico según
acta del 13 de Abril de 2026



Evaluador: Jairo Iván Flórez



Firmado digitalmente por Camilo Leonardo
Sandoval Rodríguez
DN: cn=Camilo Leonardo Sandoval
Rodríguez, gn=Camilo Leonardo Sandoval
Rodríguez, c=CO, Colombia, l=CO, Colombia,
o=Unidades Tecnológicas de Santander,
ou=Ingeniería Electromecánica,
e=csandoval@correo.uts.edu.co
Motivo: Soy el autor de este documento
Ubicación:
Fecha: 2026-10-07 13:51:05:00

Director: Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto y culminación de nuestra carrera a Dios y a nuestras familias por siempre estar para apoyarnos en cada decisión y paso de nuestras vidas tanto profesional como personal.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a la Universitaria tecnológica de Santander por habernos dado la oportunidad de ser parte de esta comunidad y haber sido el pilar que nos ayudó a enriquecer nuestros conocimientos, ayudándonos a crecer de forma personal y profesional. Todo esto es posible gracias a nuestros profesores que fueron y son parte importante de nuestra vida profesional y personal pues diariamente nos enseñaron cosas nuevas. Finalmente agradecemos al profesor Camilo Sandoval por haber sido un apoyo muy importante en el desarrollo de nuestro proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	9
INTRODUCCIÓN.....	11
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	15
1.3. OBJETIVOS.....	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	17
2. MARCO REFERENCIAL	20
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO	23
5. RESULTADOS	96
6. CONCLUSIONES	97
7. RECOMENDACIONES	98
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
9. ANEXOS.....	100

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1. Esquema general de las fases	22
Ilustración 2. Descripción general del proceso	26
Ilustración 3. Topología del sistema	28
Ilustración 4. Filosofía de operación.....	29
Ilustración 5. Arquitectura de comunicaciones	32
Ilustración 6. Plano de conexión PLC3	33
Ilustración 7. Plano de conexión PLC2	34
Ilustración 8. Plano de conexión PLC1	35
Ilustración 9. Conexión del PLC1	38
Ilustración 10. Tanque del sistema.....	39
Ilustración 11. Bomba del sistema	39
Ilustración 12. Conexión en el Switch de los PLC y el PC.....	40
Ilustración 13. IP PLC 1	41
Ilustración 14. IP PLC 2	42
Ilustración 15 IP PLC3	42
Ilustración 16. Reconocimiento de los PLC	43
Ilustración 17 Configuración del sistema.....	44
Ilustración 18. Network 1 PLC 1.....	45
Ilustración 19. Network 2 PLC 1.....	46
Ilustración 20. Network 3 PLC 1.....	46
Ilustración 21. Network 4 PLC1.....	47
Ilustración 22. Network 5 PLC1	47
Ilustración 23. Network 1 PLC 2.....	48
Ilustración 24. Network 2 PLC 2.....	49
Ilustración 25. Network 3 PLC 2.....	49
Ilustración 26. Network 4 PLC 2.....	50
Ilustración 27. Network 5 PLC 2.....	50
Ilustración 28 Data Block PLC3	51
Ilustración 29. Network 1 PLC 3.....	52
Ilustración 30. Network 2 PLC3.....	53
Ilustración 31. Network 3 PLC 3.....	54
Ilustración 32. Network 4 PLC 3.....	54
Ilustración 33 Network 5 PLC 3.....	55
Ilustración 34 Network 6 PLC 3.....	55
Ilustración 35 Network 7 PLC 3.....	56
Ilustración 36 Network 8 PLC 3.....	56
Ilustración 37 Network 9 PLC 3.....	57
Ilustración 38 Network 10 PLC 3.....	58
Ilustración 39 Network 11 PLC 3.....	58
Ilustración 40 Network 12 PLC 3.....	59
Ilustración 41 Network 13 PLC 3.....	60
Ilustración 42 Network 14 PLC 3.....	60
Ilustración 43 Network 15 PLC 3.....	61

Ilustración 44 Network 16 PLC 3.....	61
Ilustración 45 configuración de la red.....	64
Ilustración 46 Ejecución del entorno Node-RED	65
Ilustración 47 Flujo de control y monitoreo.....	66
Ilustración 48 Configuración del nodo de comunicación.....	67
Ilustración 49 Variables asignadas (1)	68
Ilustración 50 variables asignadas (2).....	68
Ilustración 51 Configuración de las variables	69
Ilustración 52 configuración del nodo de lectura de nivel	70
Ilustración 53 Configuración del indicador de nivel del tanque	71
Ilustración 54 Configuración de la estructura del set point de frecuencia	72
Ilustración 55 Interfaz final	73
Ilustración 56 Data Blocks PLC4.....	75
Ilustración 57 Network 1 PLC4.....	76
Ilustración 58 Network 2 PLC 4.....	77
Ilustración 59 Network 2 PLC 4.....	77
Ilustración 60 Network 3 PLC 4.....	78
Ilustración 61 Network 4 PLC4.....	78
Ilustración 62 Network 5 PLC4.....	79
Ilustración 63 Network 6 PLC4.....	80
Ilustración 64 Network 7 PLC4.....	80
Ilustración 65 Network 8 PLC4.....	81
Ilustración 66 Network 9 PLC4.....	82
Ilustración 67 Network 10 PLC4.....	82
Ilustración 68 Network 11 PLC4.....	83
Ilustración 69 Network 12 PLC4.....	83
Ilustración 70 Tabla de simulación de la condición inicial del sistema.....	84
Ilustración 71 sistema listo	85
Ilustración 72 Tabla de simulación de la activación de la bomba en modo manual	85
Ilustración 73 Activación de la bomba en modo manual.....	86
Ilustración 74 Tabla de simulación activación de nivel alto en modo manual	86
Ilustración 75 Activación de nivel alto en modo manual	87
Ilustración 76 Tabla de simulación activación de la bomba en modo automático	87
Ilustración 77 Activación de la bomba en modo automático	88
Ilustración 78 Tabla de simulación nivel alto del tanque en modo automático.....	88
Ilustración 79 Nivel alto del tanque en modo automático	89
Ilustración 80 PLC1	90
Ilustración 81 PLC2	91
Ilustración 82 PLC3	91
Ilustración 83 Verificación de los leds	92
Ilustración 84 Activación modo automático	93
Ilustración 85 Identificación modo automático.....	93
Ilustración 86 Activación modo manual.....	94
Ilustración 87 Identificación modo manual	95

RESUMEN EJECUTIVO

En la actualidad la industria requiere de sistemas de automatización basados en arquitecturas de comunicación que permitan integrar controladores lógicos (PLC) con plataformas que permitan leer y controlar los datos vía internet, estos sistemas facilitan el monitoreo de procesos, la detección temprana de fallas y la optimización de recursos, siendo fundamentales dentro del contexto de la industria.

El laboratorio de Automatización y sistemas de control de las Unidades Tecnológicas de Santander, dispone de PLCs y ciertas herramientas HMI/SCADA que permiten las practicas académicas, sin embargo, los equipos han sido utilizados principalmente de manera individual, lo que limita la experiencia en redes de comunicación industrial y supervisión centralizada.

El objetivo de este proyecto es desarrollar una micro red de PLCs integrando una arquitectura de comunicación junto con una interfaz gráfica de supervisión en línea, que permita visualizar las entradas y salidas, analógicas y digitales.

Para el desarrollo de este proyecto, se realiza una revisión teórica sobre redes industriales y sistema SCADA, junto con la configuración de los parámetros de comunicación bajo protocolo TCP/IP, la programación lógica de los PLC y el desarrollo de un entorno web, con apoyo de la herramienta web de Tia portal para la adquisición de datos.

Como resultado se obtiene un sistema funcional que permite la supervisión centralizada de variables del proceso en un entorno, para fortalecer la formación práctica de los estudiantes y optimizando el uso de la infraestructura existente. Finalmente, el proyecto contribuye a reducir la brecha entre el entorno académico y las exigencias tecnológicas del sector industrial.

PALABRAS CLAVE. PLC, entradas y salidas (digitales y analógicas), red de comunicación, SCADA, automatización industrial

INTRODUCCIÓN

Este proyecto se basa en el diseño e implementación de una micro red de PLCs integrada a una arquitectura de comunicación industrial con supervisión en línea, desarrollada en el laboratorio de automatización y sistema de control de las Unidades Tecnológicas de Santander. En la actualidad la automatización industrial se fundamenta con la interconexión de equipos mediante redes Ethernet industriales y sistemas HMI/SCADA que permiten la adquisición, procesamiento y visualización de datos en la web.

El laboratorio de automatización de las UTS cuenta con una infraestructura tecnológica adecuada, pero a su vez presenta una limitación en la implementación de redes de PLCs interconectados bajo una arquitectura de comunicaciones orientada a la supervisión centralizada, por esta razón, el proyecto propone el desarrollo de una solución que permita integrar los equipos existentes en una micro red basada en Ethernet, aplicando protocolos TCP/IP para la transmisión de datos y una interfaz desarrollada, apoyada en la herramienta web de Tia Portal para la comunicación con el PLC.

Para la realización del sistema se llevó a cabo una serie de fases. En primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica sobre redes industriales, comunicación entre PLC y sistemas HMI/SCADA, luego se definieron una serie de parámetros de comunicación y se configuro la red entre el PLC y el sistema de supervisión. Posteriormente, se desarrolló la lógica de control y se diseñó la interfaz gráfica para visualizar en línea las variables tanto de entrada como de salida, finalmente se realizaron pruebas de funcionamiento para verificar la relación entre los datos procesados por el PLC y los mostrados en la interfaz.

Como resultado, se obtuvo un sistema funcional de supervisión centralizada en línea que ayuda a la formación práctica de los estudiantes y representa un aporte académico al integrar tecnologías industriales reales dentro de un entorno educativo.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la industria moderna, la supervisión de procesos depende de arquitecturas de comunicación basadas en PLC interconectados, donde múltiples controladores comparten información para garantizar eficiencia, confiabilidad y seguridad en los sistemas productivos. Estas arquitecturas, apoyadas en redes industriales y plataformas HMI/SCADA, son fundamentales para la implementación de la Industria 4.0 y la integración de procesos on line.

En el laboratorio de Automatización y Sistemas de Control de las Unidades Tecnológicas de Santander se dispone de PLCs y herramientas HMI que han permitido desarrollar prácticas de control, pero su uso ha estado enfocado principalmente en configuraciones individuales. Existe una limitación en la formación práctica, ya que no se ha implementado un entorno que articule una red de PLCs con una arquitectura de comunicaciones orientada a la supervisión centralizada de señales analógicas y digitales.

Esta circunstancia restringe el aprendizaje de los estudiantes en temas de conectividad, integración de hardware–software y detección temprana de fallas, competencias clave en los sistemas de automatización actuales. Como resultado, se genera una brecha entre la infraestructura disponible y la preparación requerida para enfrentar escenarios reales de la industria.

Por lo anterior, se plantea la necesidad de diseñar una solución que permita integrar los PLCs del laboratorio en una micro red soportada en una arquitectura de

comunicaciones, conectada a un sistema HMI/SCADA, fortaleciendo la formación académica y optimizando el uso de los recursos tecnológicos de la institución.

Pregunta problémica:

¿Cómo diseñar una solución que integre los PLCs del laboratorio de Sistemas de Control en una arquitectura de comunicaciones con una interfaz gráfica de supervisión en on line, de manera que se fortalezcan las competencias de los estudiantes y se reduzca la brecha frente a las necesidades de la industria?

1.2. JUSTIFICACIÓN

En las Unidades Tecnológicas de Santander se encuentra el laboratorio de Automatización y Sistemas de Control, el cual está dotado con PLCs de última generación, variadores de velocidad, módulos de comunicación industrial y herramientas de supervisión HMI/SCADA que constituyen una infraestructura sólida para el desarrollo de prácticas en automatización.

No obstante, a pesar de contar con estos recursos, el laboratorio presenta una limitación para realizar ejercicios y experimentación con redes de PLC interconectados dentro de una arquitectura de comunicaciones, lo que restringe la posibilidad de simular escenarios industriales donde la supervisión centralizada y el intercambio de datos en on line son fundamentales.

Con esta propuesta se busca superar dicha limitación mediante el diseño de una micro red de PLCs integrada a un sistema HMI/SCADA, lo que permitirá aprovechar plenamente los equipos existentes, fortaleciendo el aprendizaje práctico y brindando a los estudiantes experiencias alineadas con las necesidades de la industria 4.0.

Los beneficios de este proyecto se reflejan en varios niveles:

- Tecnológico: genera una solución accesible y escalable basada en la infraestructura ya instalada.
- Académico: mejora las competencias de los estudiantes en integración de hardware–software, redes industriales y supervisión de procesos.
- Económico: optimiza recursos al no requerir grandes inversiones adicionales.
- Social: forma profesionales más preparados para responder a las demandas del sector productivo regional y nacional.

- Teórico: aporta al grupo de investigación GISEAC en la línea de automatización y control de procesos.

En conclusión, lo que se gana con este proyecto es la consolidación de un entorno formativo más cercano a la realidad industrial, que eleva la competitividad profesional de los estudiantes y refuerza el papel de las UTS como institución de referencia en innovación y formación en sistemas de control y comunicaciones.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema de micro red de PLC's, mediante la selección de la topología adecuada y el diseño de una interfaz gráfica, con el fin de supervisar on line las entradas digitales y salidas analógicas a través de una interfaz hombre-maquina.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Configurar la red de comunicación entre los PLC y el switch industrial, definiendo la topología de la interconexión de los equipos y parámetros de comunicación, con el fin de que obtener una adquisición de datos y leerlos on line.
2. Programar la lógica básica de los PLC, utilizando un software de programación grafico para autómatas programables industriales, con el fin de que los equipos entreguen los datos generados en las entradas y salidas digitales durante el proceso.
3. Desarrollar una interfaz gráfica, por medio de un software HMI/SCADA, para la visualización on line de las variables.

4. Realizar pruebas de funcionamiento, verificando la congruencia entre los datos adquiridos del PLC y la interfaz desarrollada que muestra el proceso, con el fin de la comprobación del correcto funcionamiento del sistema.

1.4. ESTADO DEL ARTE

En la universidad Distrital Francisco José de caldas en la ciudad de Bogotá, se realizó una investigación sobre la implementación de un sistema SCADA para el control de una micro red inteligente en una zona rural, este proyecto se realizó con el fin de determinar la pauta a seguir en la implementación de este diseño, basados en el cambio climático y los requerimientos energéticos obteniendo como resultados que la implementación de este sistema permite poner en funcionamiento de manera pragmática una mejora en el control y monitoreo de la red mejorando la calidad de servicio eléctrico entregado por ella. El monitoreo de los puntos estratégicos de la red permite reducir significativamente el tiempo y resolución de los problemas en caso de una falla. (Romero,2018)

Por otro lado en la escuela de ingeniería eléctrica e informática de la universidad de Bradford en el Reino Unido se llevó a cabo un proyecto educativo el cual de basa en el la implementación basada en PLC/HMI de una plataforma educativa de relés de protección de sistemas de potencia en tiempo real, para esto se hizo uso de la plataforma del laboratorio la cual fue diseñada e implementada mediante un PLC y una HMI para presentarle a los estudiantes el funcionamiento de los mecanismos experimentalmente. Al hacer esa implementación obtuvieron como resultado que los estudiantes pudiesen observar en tiempo real los tiempos de operación y las posibles configuraciones, lo que genero un avance en la educación de dicha población. (Mahamood, 2018)

En el año 2015 en la escuela de ingeniería de la Universidad pontificia Bolivariana de la ciudad de Medellín, se llevó a cabo un diseño conceptual de un sistema SCADA para micro redes inteligentes, es un proyecto que se implementó directamente en el campus universitario ya que se analizaron las diferentes alternativas y modelos, encontrando detalles en el sistema de comunicación y de la estructura de los sistemas de control y supervisión, las MicroGrid instaladas no pretendían reemplazar los sistemas de generación tradicional sin embargo es una solución para que las zonas aisladas puedan tener energía eléctrica y el sistema implementado es una solución para conocer en tiempo real la información relevante del sistema y hacer control desde un punto del sistema. (Amaya,2015)

En la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en la ciudad de Bogotá, se realizó el diseño de un sistema SCADA en LABVIEW para la supervisión del consumo de Diesel y la eficiencia energética para generadores eléctricos con entradas simuladas, con el fin de supervisar el consumo del combustible de las plantas eléctricas de Diesel y su generación eléctrica, lo que se llevó a ejecución en una interfaz e indicadores gráficos de desarrollo para evidenciar los niveles en los tanques y el consumo. Luego de realizar el diseño se evidencio que este permite realizar cambios en las señales simuladas de entrada y permite variar el funcionamiento y podrá ser modificado para validar el demás comportamiento tanto de los tanques como la temperatura o generación eléctrica. (Gonzales, 2018)

En el año 2022 en la Universidad Ricardo Palma en Perú, se llevó a cabo una plataforma de comunicación para la implementación de sistemas SCADA en los centros de control de operaciones de las empresas de distribución eléctrica Norte-Centro, la cual permite transmitir la información del sistema de tele protección, del sistema SCADA y del sistema de telefonía privada en tiempo real hacia los sistemas de control, este proyecto tiene como objetivo desarrollar centros de control

minimizando inversiones y optimizando estrategias de adquisición de equipos y programas. Se obtuvo como resultado la disponibilidad del enlace de comunicación las 24 horas del día, en todo el año con una cobertura de banda suficiente. (Rojas, 2012)

Finalmente, en el año 2023 en la Universidad Internacional Sek (Uisek) en Ecuador, se implementó de modulo didáctico para el uso de PLC's, redes industriales y HMI, con el fin de reforzar el aprendizaje en los estudiantes, este proyecto se basó en el diseño de un sistema mecatrónico del módulo para tener una guía de la construcción en físico, se construyó el módulo haciendo uso de la instrumentación industrial, se pudo observar que el software proporcione una herramienta importante para diseñar una réplica a escala permitiendo una representación clara y precisa del diseño. (Mancheno, 2023)

2. MARCO REFERENCIAL

La automatización industrial se basa en la implementación de sistemas de control que permiten supervisar, monitorear y operar procesos industriales de manera segura y eficiente, dentro de estos sistemas, los controladores lógicos más conocidos como PLC son dispositivos electrónicos digitales que se usan para operar en ambientes industriales mediante el uso de memorias programables para ejecutar funciones de control, la integración de estos dispositivos en las redes ha permitido el desarrollo de arquitecturas de supervisión alineadas con principios de la industria 4.0 (IEC,2013).

Desde el punto de vista normativo colombiano, todo lo relacionado con sistemas eléctricos e industriales se rige bajo el reglamento RETIE, el cual se encarga de “Establecer las medidas que garanticen la seguridad de las personas, de la vida animal y vegetal y la preservación del medio ambiente, previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico “ (Ministerio de minas y energía, 2013) Aunque este proyecto se desarrolla en un entorno académico , se debe regir bajo este reglamento.

En un ámbito conceptual, una micro red de PLC se define como una interconexión de varios controladores dentro de una arquitectura de comunicación la cual permite el intercambio de información. Los sistemas HMI/SCADA, constituyen plataformas de supervisión que permiten la adquisición y visualización de datos en tiempo real, facilitando la toma de decisiones y monitoreo de procesos industriales (Boyle,2015). En este proyecto la implementación de la herramienta web de TIA portal permite establecer la conexión entre los PLC y la aplicación en lenguajes de programación.

Finalmente, desde un punto de vista ambiental, el proyecto se desarrolla en el laboratorio de automatización de las UTS, por lo tanto, no genera un impacto sobre recursos naturales como aire, agua, suelo o biodiversidad, sin embargo, debe considerarse el cumplimiento de la ley 99 de 1993, del Sistema Nacional Ambiental (SINA) y promueve el uso racional de los recursos naturales (Congreso de la República de Colombia, 1993).

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de un sistema de micro red de PLCs con supervisión en línea, se necesita una metodología de tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo y diseño experimental, ya que se está implementando y validando una solución tecnológica en un laboratorio. El proyecto se considera de carácter tecnológico, pues se caracteriza por diseñar, implementar y validar una solución tecnológica y desarrollo, utilizando herramientas de ingeniería. Diseña la arquitectura de comunicación, se implementa el banco de pruebas, se realizan pruebas de conectividad y se desarrolla la lógica de control, lo cual hace parte de un proceso de desarrollo de lógica lo que corresponde al desarrollo e implementación tecnológica.

En primer lugar, se realiza una revisión bibliográfica sobre las redes industriales, comunicación por Ethernet, protocolos TCP/IP, sistemas HMI/SCADA y programación de PLC, con el fin de definir las bases teóricas necesarias para el diseño, esta fase permite determinar la arquitectura mas adecuada para la integración de los dispositivos.

Luego, se definen los parámetros de comunicación entre el PLC y sistemas de supervisión, configurando la red y estableciendo una topología de interconexión, en esta fase se desarrolla la programación de los PLC y se implementa la comunicación con el apoyo de la herramienta web de TIA portal para la adquisición de los datos.

En la siguiente fase, se diseña y se desarrolla la interfaz gráfica, permitiendo la visualización en línea de las entradas digitales y las salidas analógicas. Finalmente, se realizan las pruebas experimentales en el laboratorio para verificar los datos procesados por el PLC y los mostrados en la interfaz, validando el buen funcionamiento del sistema.

Esta metodología permite cumplir con los objetivos planteados y garantizar que la solución propuesta sea funcional y acorde con las necesidades tanto académicas como industriales.

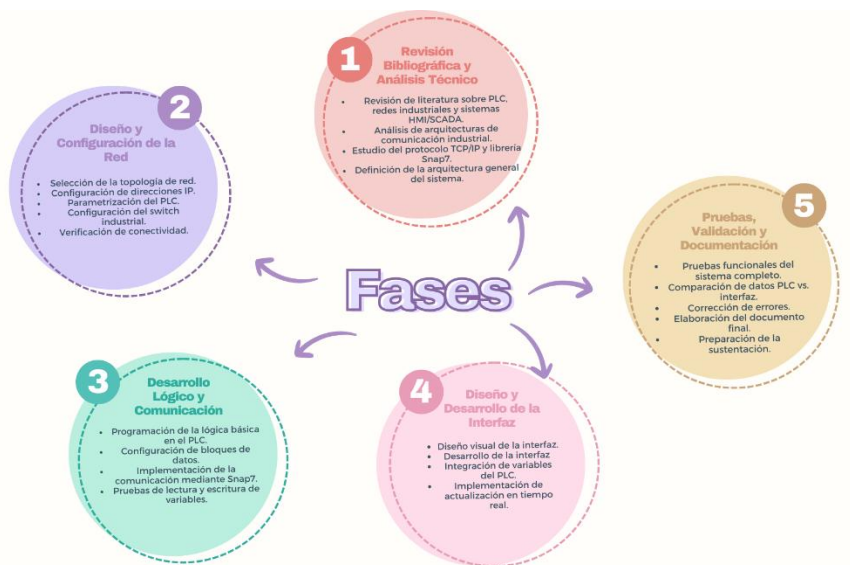


Ilustración 1. Esquema general de las fases

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Fase 1: Revisión bibliográfica y análisis técnico.

En los sistemas de automatización industrial la comunicación entre PLC y alguna aplicación externa requiere el uso de librerías especiales que permitan el intercambio de datos de manera confiable y eficiente, es importante realizar una comparativa entre soluciones oficiales y alternativas, con el fin de seleccionar la opción más adecuada según los requerimientos técnicos y académicos del proyecto.

Las librerías se pueden clasificar en dos:

1. Librerías oficiales

Entre estas se encuentran:

- TIA Portal Openness
- Librerías oficiales de Siemens para comunicación S7

Sus características son:

- Soporte técnico oficial
- Integración directa con el entorno del fabricante
- Mayor nivel de compatibilidad garantizada
- Licenciamiento pago
- Restricciones de uso y distribución.

Estas librerías tienen una estabilidad certificada, es una documentación formal y sus actualizaciones son oficiales, sin embargo, también tienen algunas desventajas como los costos ya que son muy elevadas, dependen del fabricante y tienen limitaciones para uso fuera del ecosistema oficial.

2. Librerías Open-Source

Entre estas esta la librería conocida como Snap 7.

Sus características son:

- Códigos abiertos
- Gratuita
- Compatible con múltiples lenguajes
- Permite comunicación vía protocolo S7 sobre TCP/IP

Estas librerías son sin costo, son flexibles y adaptables, son ideales para proyectos académicos y de investigación, sin embargo, no cuenta con soporte oficial del fabricante y requieren mayor comprensión técnica para la implementación.

Para el desarrollo de este proyecto se decidió trabajar con herramientas de supervisión y acceso web integradas en TIA portal, teniendo en cuenta que estas permiten establecer una comunicación directa con los controladores sin necesidad de implementar librerías externas. Esto facilita la configuración y visualización de las variables del proceso, garantizando una compatibilidad y confiabilidad entre los PLC utilizados.

La herramienta utilizada permite simplificar la arquitectura del sistema, pues la comunicación y supervisión se realizan dentro del mismo entorno de desarrollo, reduciendo así la complejidad de implementar un software adicional. De esta forma favorece el aprendizaje práctico en el entorno educativo, permitiendo comprender de manera más clara la interacción entre el hardware industrial y herramientas de programación que proporciona esta plataforma.

Por otro lado, para la regulación automática del nivel del tanque de almacenamiento se propone un sistema de control distribuido el cual se puede evidenciar en la ilustración 2, el sistema se basa en la arquitectura de 3 controladores lógicos

programables (PLC), interconectados mediante red Ethernet, permitiendo una estructura con supervisión y control coordinado.

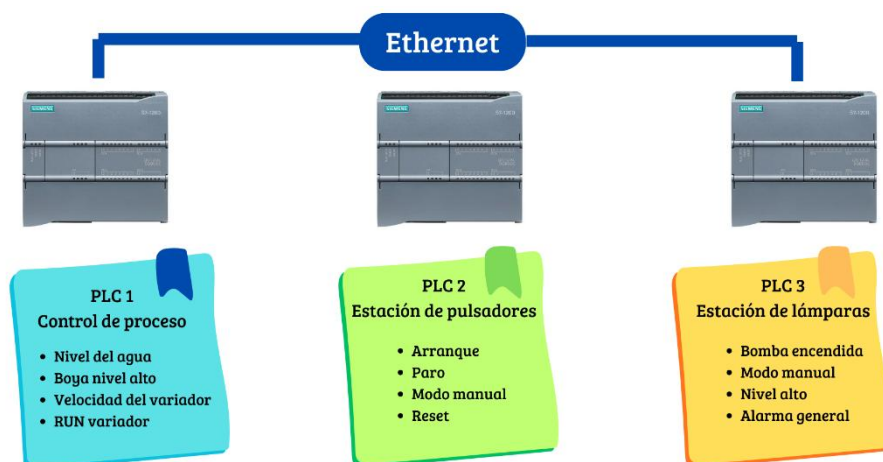


Ilustración 2. Descripción general del proceso

El PLC1 cumple con la función de controlador principal del proceso y es el encargado de regular el caudal de llenado mediante un variador de velocidad el cual acciona la bomba hidráulica. Por otro lado, el PLC2 opera como una estación de mando remota que permite la interacción del usuario a través de pulsadores de arranque, paro, modo manual y reset de la alarma. Finalmente, el PLC3 funciona como una estación de señalización activando leds que indican el estado operativo del sistema, incluyendo la condición de la bomba encendida.

Esta configuración permite separar físicamente las funciones de control, mando y señalización, mejorando la modularidad del sistema y así mismo facilitando el mantenimiento y simulando una arquitectura industrial real.

Por otro lado, en los sistemas de automatización industrial, la topología de red define como se interconectan los dispositivos para poder intercambiar información, la

selección de esta es demasiado importante en un proceso ya que influye en la confiabilidad, facilidad de mantenimiento y la escalabilidad del sistema. Las topologías más utilizadas en las redes industriales son el tipo estrella y anillo.

En la topología estrella los dispositivos de la red se conectan a un punto central, el cual generalmente corresponde a un switch o router, los equipos tienen un enlace directo con el nodo central lo que facilita la gestión de la red y encontrar fallas. Una de sus ventajas es que cuando ocurre un problema en uno de los enlaces o en algún dispositivo, la red sigue funcionando sin problema, además permite agregar o retirar dispositivos de manera sencilla, lo que hace que sea una arquitectura muy flexible y muy utilizada.

Por otro lado, la topología en anillo se basa principalmente en la conexión secuencial entre los dispositivos de tal manera que cada equipo se conecta con el siguiente formando un circuito cerrado, además los datos circulan a través del anillo hasta llegar al dispositivo de destino. Una de sus principales ventajas es la redundancia de comunicación, pues los sistemas industriales con esta topología pueden permitir la continuidad de la comunicación incluso si uno de los enlaces se interrumpe, sin embargo, este tipo requiere protocolos específicos y configuración más compleja para garantizar su funcionamiento.

Para el desarrollo de este proyecto se decidió implementar la topología tipo estrella, teniendo en cuenta su simplicidad de implementación y la compatibilidad directa con redes Ethernet convencionales. Con esta arquitectura, los PLC del sistema se conectan al router central, el cual permite de la comunicación entre los controladores y la interfaz de supervisión.

Esta configuración facilita la gestión de la red, reduce la complejidad de la configuración y permite identificar de manera más rápida las posibles fallas en los

dispositivos o en la conexión, además, teniendo en cuenta que es un proyecto para un entorno académico, la topología estrella representa una solución eficiente y adecuada para la integración de los dispositivos en los sistemas de control.

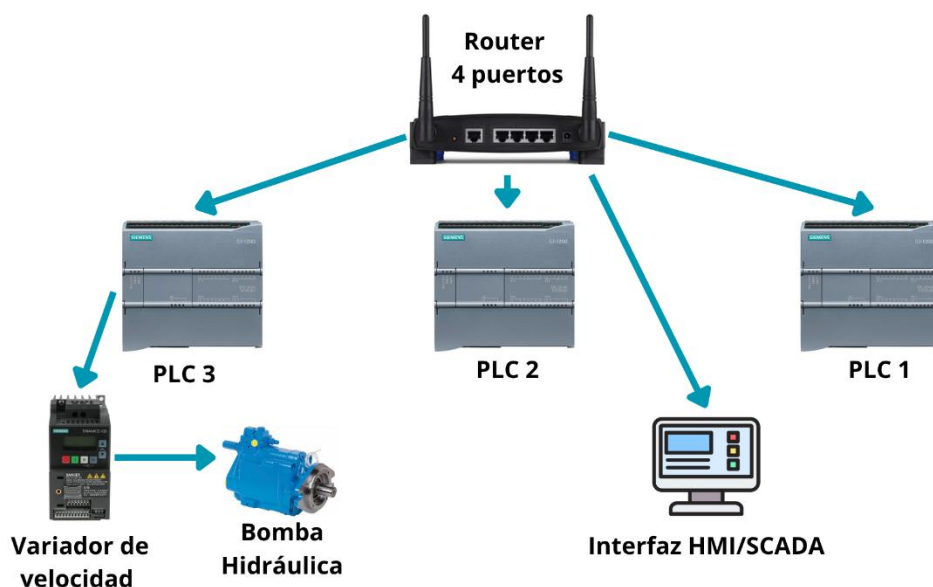


Ilustración 3. Topología del sistema

FILOSOFIA DE OPERACIÓN

La filosofía de operación es el conjunto de criterios y reglas que definen como se debe comportar un sistema bajo cualquier condición, además establece la lógica de control, los modos de funcionamiento y la interacción entre los equipos. Para entender un poco más la lógica del sistema propuesto, se representa en el esquema (ilustración 4) de manera estructurada cómo se comporta el proceso desde el inicio con la interacción e los PLC en cada modo de funcionamiento.

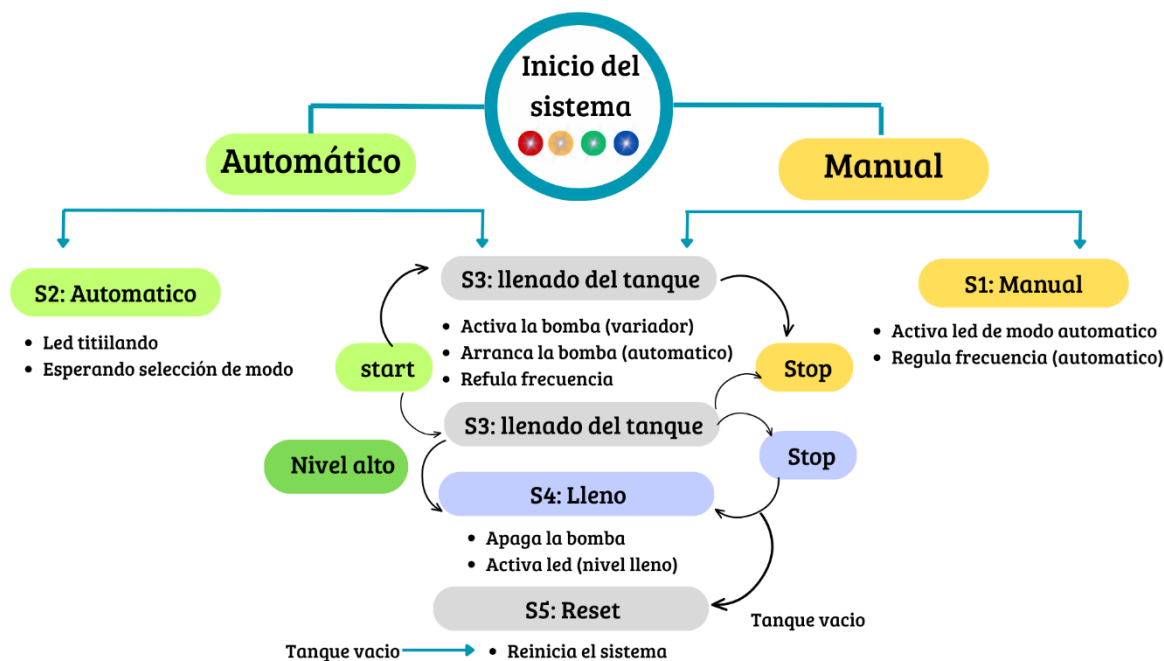


Ilustración 4. Filosofía de operación

El diagrama (ilustración 4) parte del estado inicial del sistema, el cual establece una condición de espera inicial con señalización, indicando que el sistema se encuentra disponible y a la espera de la selección del modo de operación, desde este punto el sistema se divide en dos modos que puede ser automático o manual definiendo la lógica de control y la interacción del operador con el sistema.

En el modo manual (S1) el control del sistema lo tiene el operador a través del PLC2, permitiendo el accionamiento la bomba, por otro lado, el PLC1 deshabilita las funciones automáticas y la bomba sigue en funcionamiento mientras se mantenga activo el comando del operador, garantizando un control seguro, además se mantiene la posibilidad de regular la frecuencia de operación del variador bajo intervención directa del usuario.

Por otro lado, el modo automático (S2) hace que el sistema permanezca inicialmente en estado de espera hasta que reciba la orden de arranque, una vez activado se da el llenado del tanque (S3), donde el PLC1 asume el control total del proceso, activando la bomba por medio del variador de velocidad y regulando el funcionamiento mediante el control de frecuencia. En esta parte el nivel del tanque es monitoreado hasta que alcanza el nivel alto, lo que genera una transición al estado de tanque lleno (S4), el cual detiene la bomba y activa el led correspondiente.

Finalmente, el sistema cuenta con el estado de reset (S5), el cual se acciona cuando el tanque se encuentra vacío, permitiendo que se haga un reinicio en el ciclo de operación y se vuelva al estado inicial. Durante este proceso el PLC3 cumple con la función de señalización, indicando las condiciones del sistema como lo es el modo de operación, estado de la bomba o el nivel del tanque.

Fase 2: Diseño y configurar de la red.

La arquitectura de comunicaciones del sistema planteado se basa en una red Ethernet que comunica tres controladores lógicos (PLC) mediante un router de cuatro puertos con capacidad de conexión inalámbrica, este tipo de topología permite la comunicación entre equipos de control y una interfaz, facilitando el intercambio de información entre los diferentes sistemas. Basado en los planos de arquitectura del sistema (Ilustración 5), cada PLC cumple una función específica dentro del proceso.

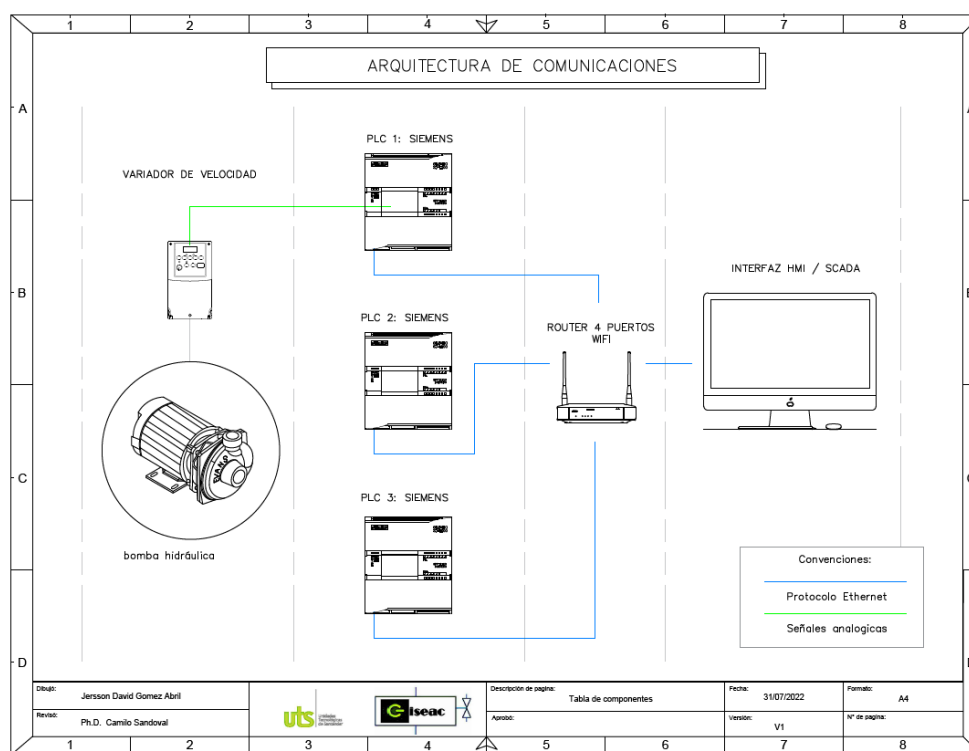


Ilustración 5. Arquitectura de comunicaciones

El PLC3 (ilustración 6) se encarga del control principal del proceso del llenado del tanque, esta asociado directamente con el accionamiento de la bomba hidráulica, la cual es controlada por un variador de velocidad. Este controlador lógico se encuentra conectado a un modulo de entradas y salidas analógicas, el cual permite

la adquisición y procesamiento de señales analógicas, el sistema recibe las señales provenientes del sensor de presión, el cual determina el nivel de fluido dentro del tanque, esta señal es interpretada por el PLC para realizar el control de llenado.

El controlador 1 cuenta con una señal digital que corresponde al arranque del sistema, la cual permite habilitar el funcionamiento del proceso. Por otro lado el sistema de potencia, cuenta con el motor de la bomba que se encuentra alimentado mediante una red trifásica y su funcionamiento es gestionado por el sistema de control del PLC, la velocidad de operación es regulada a través de una señal analógica de salida generada por el PLC1 y enviada al sistema de accionamiento, permitiendo que se pueda ajustar el caudal de llenado del tanque de acuerdo con las condiciones del proceso y la programación.

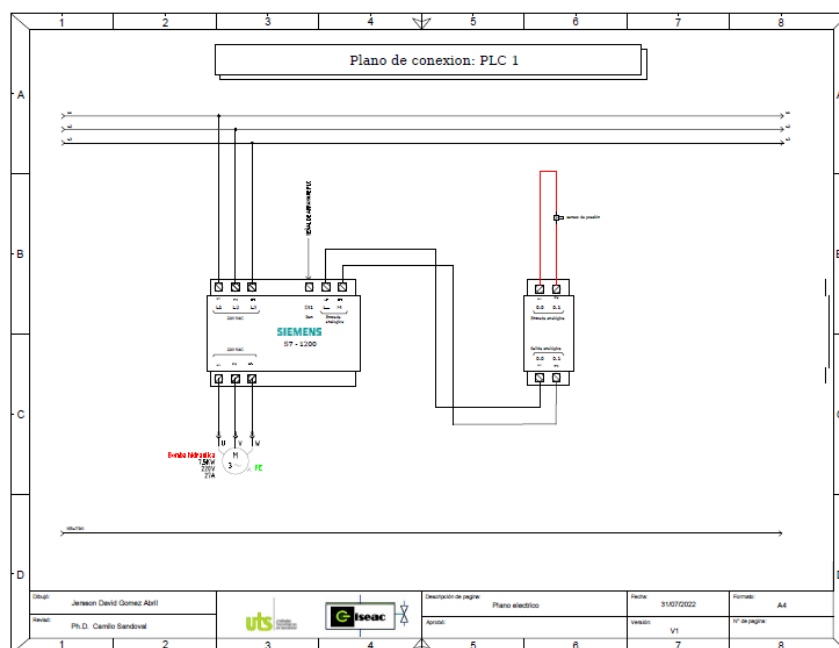


Ilustración 6. Plano de conexión PLC3

Por otro lado, el PLC2 (ilustración 7) funciona como una estación de mando del sistema permitiendo una interacción directa entre el operador y el proceso. El

controlador recibe señales a través de las entradas digitales, las cuales están conectadas a una serie de pulsadores, los cuales corresponden a las funciones principales de operación del sistema como arranque de la bomba, paro del sistema, activación del modo manual y reset de alarmas. Estas señales son utilizadas dentro de la lógica de control para ejecutar las acciones correspondientes al sistema, permitiendo el control manual del proceso y la gestión de eventos.

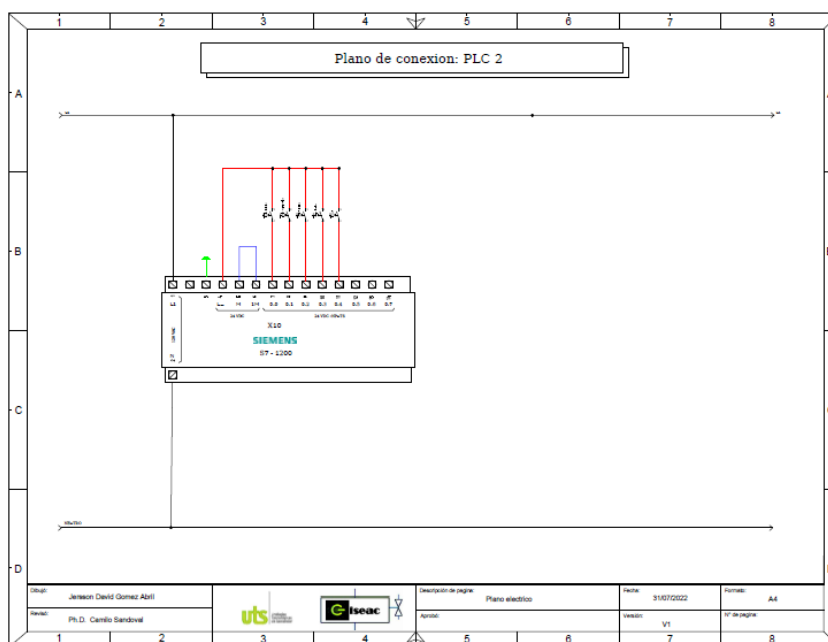


Ilustración 7. Plano de conexión PLC2

Finalmente, el PLC1 (ilustración 8) funciona como estación de señalización, ya que controla los indicadores luminosos del sistema, teniendo en cuenta el plano de conexión, este PLC se encuentra integrado con un módulo de salidas digitales, a través del cual se realiza la activación de los dispositivos de señalización.

A través de las salidas digitales se activan los leds que indican el estado del proceso, estos indicadores corresponden al nivel del tanque (color rojo), alarma general (color amarillo), bomba en funcionamiento (color verde) y modo manual activo (color azul).

Cada uno de esos indicadores es accionado mediante señales generadas por la lógica de control del sistema.

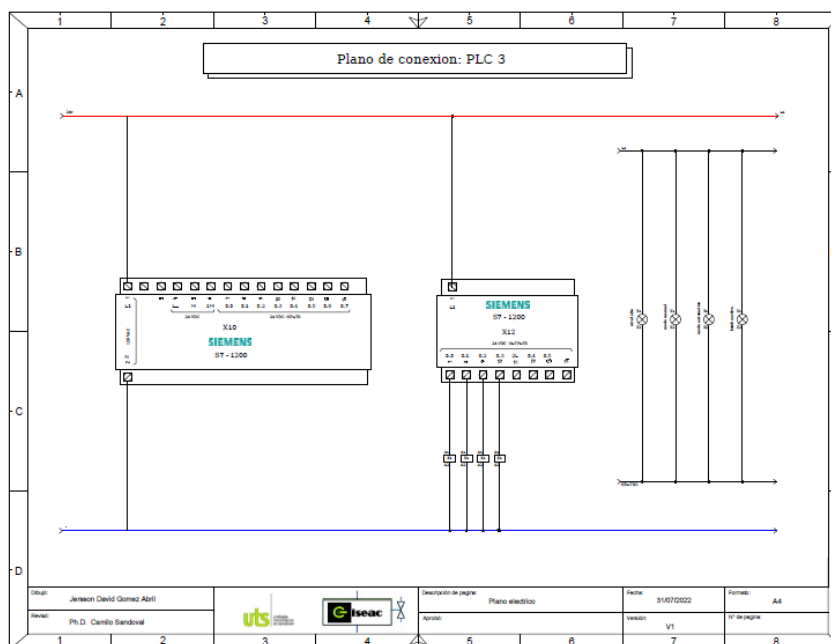


Ilustración 8. Plano de conexión PLC1

La distribución de funciones entre los PLC permite implementar una arquitectura de control distribuido, en el cual el control del proceso, la interacción del operador y la señalización del estado del sistema se encuentran separados, mejorando la organización del sistema y facilitando el mantenimiento.

Fase 3: Desarrollo lógico y comunicación.

Prueba 1: Verificación y adquisición de datos:

Antes de realizar la programación lógica en lenguaje Ladder, se llevo a cabo una etapa de prueba con el fin de verificar el correcto funcionamiento de los dispositivos utilizados y validar las conexiones establecidas entre los sensores, PLC y actuadores. Esta prueba permitió comprobar que cada uno de los sensores instalados en el sistema, como los elementos de control y señalización, estuvieran transmitiendo la información necesaria hacia los controladores.

Durante esta prueba se evaluó principalmente el comportamiento del sensor de nivel, la boya, los pulsadores de control y la comunicación con el variador de velocidad encargado de accionar la bomba hidráulica. Los resultados obtenidos permitieron identificar los rangos de operaciones y valores de referencia del tanque, los que permitieron poder definir unos porcentajes de control del sistema, como el nivel mínimo, medio y máximo.

Parte 1: Conexión del sistema

Para empezar la prueba y como parte del proceso se realizó inicialmente la conexión del PLC 1 el cual es el encargado de controlar el funcionamiento de la bomba hidráulica del sistema. Esta etapa de inicio tuvo como objetivo establecer las conexiones eléctricas y de señales necesarias entre el controlador, los sensores de nivel y el variador de velocidad.

Durante esta fase se verifico la correcta alimentación del PLC, como la conexión de las entradas y salidas correspondientes a los dispositivos. De igual manera, se comprobó que la integración del PLC con el variador de velocidad, permitiendo que

se pudiese realizar el control de la bomba en función de las señales recibidas por los sensores de nivel instalados en el tanque.

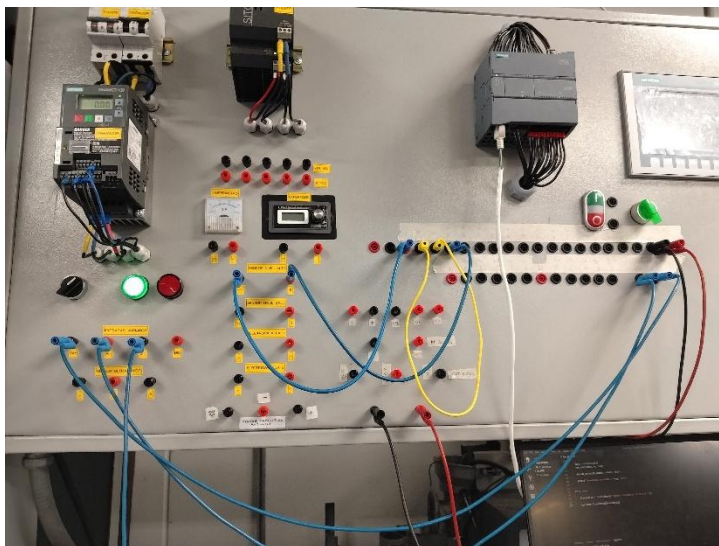


Ilustración 9. Conexión del PLC1

En la ilustración 9 se puede observar el banco de pruebas donde se encuentra el PLC1 y donde se realiza el control de la bomba. En este módulo de pruebas se puede observar los diferentes elementos que conforman el sistema entre ellos el variador de velocidad, las protecciones eléctricas, los puntos de conexión para las señales analógicas y digitales, pulsadores de control y luces Led.

Por otro lado, se pueden identificar las conexiones correspondientes a los sensores de nivel, los cuales son los encargados de enviar la información al PLC para determinar el estado del tanque. Con estas señales, el controlador genera la referencia de control hacia el variador de velocidad permitiendo que se regule el funcionamiento del motor que acciona la bomba.



Ilustración 10. Tanque del sistema



Ilustración 11. Bomba del sistema

Luego se verifico la conexión física entre los PLC y el computador mediante el Switch de red, con el fin de establecer la infraestructura de comunicación necesaria para el sistema, esta conexión permitió integrar todos los dispositivos dentro de una misma red local, facilitando la programación, supervisión y monitoreo de las variables.

Para la conexión del switch se utilizaron cables Ethernet, los cuales van enlazados a cada uno de los PLC y al computador, esto permitiendo que los controladores puedan intercambiar información entre sí.

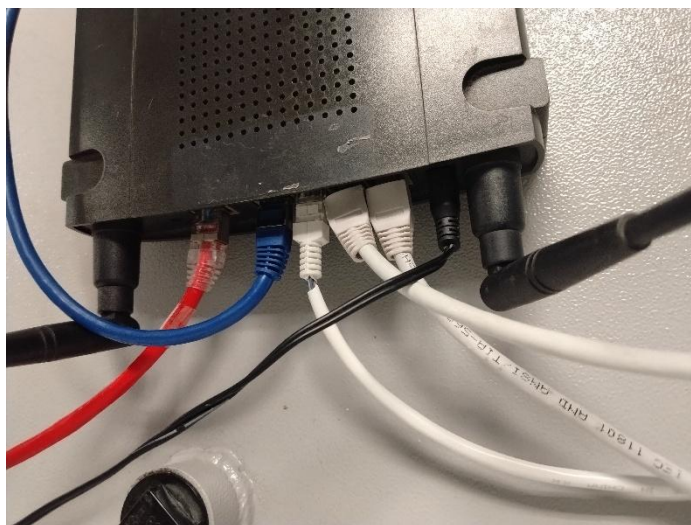


Ilustración 12. Conexión en el Switch de los PLC y el PC

La correcta conexión permitió garantizar que el sistema estuviese preparado para las pruebas de funcionamiento y para el desarrollo de la programación lógica del proceso.

Parte 2: Verificación de conectividad de la red

Como parte inicial del desarrollo lógico y de comunicación del sistema, se realizó la verificación de conectividad entre los PLC y la red de comunicación establecida en la topología del sistema. Se tuvo como objetivo comprobar que cada dispositivo estuviese correctamente configurado dentro de la red y que las direcciones IP asignadas permitieran una buena comunicación.

Para realizar esta validación se utilizó el comando PING desde el computador de prueba conectado a la misma red del sistema, con esto se enviaron paquetes de prueba a las direcciones IP correspondientes a cada PLC, con el fin de verificar que existiese respuesta por parte de los dispositivos.

```
Microsoft Windows [Versión 10.0.26200.8037]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\USUARIO>ping 192.168.0.1

Haciendo ping a 192.168.0.1 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=3ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=255

Estadísticas de ping para 192.168.0.1:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
        (0% perdidos).
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 2ms, Máximo = 4ms, Media = 3ms

C:\Users\USUARIO>
```

Ilustración 13. IP PLC 1

En la figura 13, se puede observar que el PLC1 tiene como IP 192.168.0.1, además se puede observar que respondió correctamente a la solicitud enviada, registrando

tiempos de respuesta entre 1 y 2 ms, se observó que no hay pérdida de paquetes durante la prueba. Este procedimiento se realizó de la misma manera para cada uno de los PLC implementados en el sistema, confirmando la correcta conectividad de la red y el adecuado funcionamiento de la topología seleccionada.

```
C:\Users\USUARIO>ping 192.168.0.2

Haciendo ping a 192.168.0.2 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.2: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.0.2:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 2ms, Media = 1ms

C:\Users\USUARIO>
```

Ilustración 14. IP PLC 2

```
Microsoft Windows [Versión 10.0.26200.8037]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\USUARIO>ping 192.168.0.3

Haciendo ping a 192.168.0.3 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo=1ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo=2ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo=2ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo=1ms TTL=255

Estadísticas de ping para 192.168.0.3:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 2ms, Media = 1ms

C:\Users\USUARIO>
```

Ilustración 15 IP PLC3

Paso 3: Reconocimiento de los PLC en la red mediante TIA PORTAL

Una vez finalizada la conexión de los dispositivos en el banco de pruebas, se procede a verificar el reconocimiento de los PLC dentro de la red de comunicación por medio del TIA Portal. Esta prueba pretendía confirmar que los controladores programables se encontraran disponibles y accesibles desde el entorno de programación.

Para este reconocimiento se utilizó la herramienta “Accessible devices” que se encuentra dentro del software, la cual permite realizar una búsqueda automática de los equipos conectados a la red, por medio de esta función se identificaron los PLC, mostrando a su vez información relevante como el tipo de dispositivo, dirección IP y dirección MAC de cada controlador.

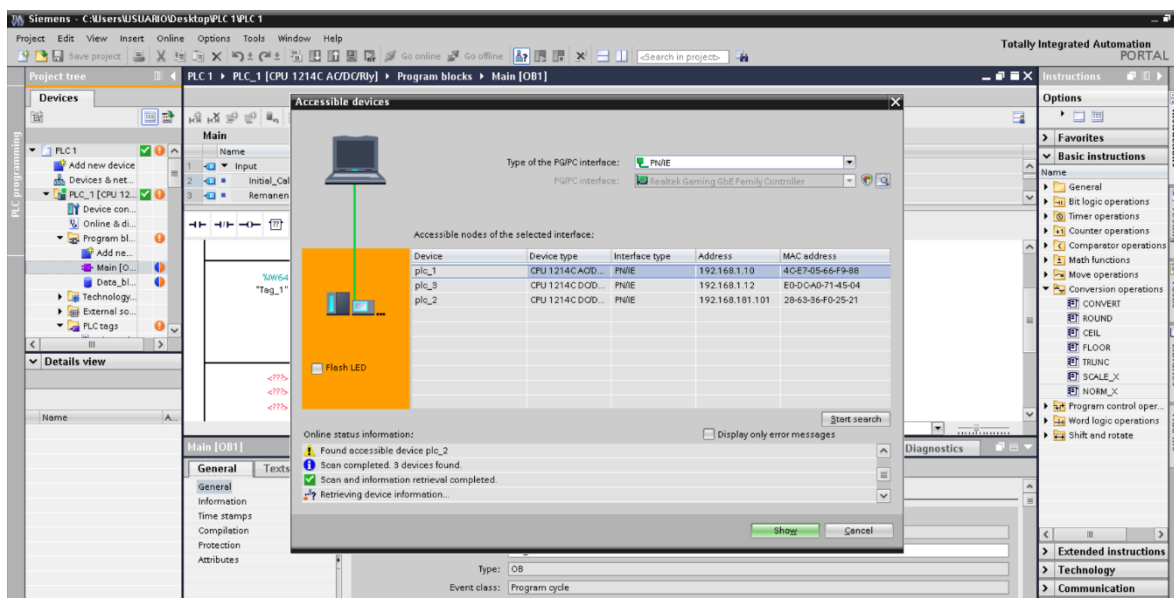


Ilustración 16. Reconocimiento de los PLC

En la ilustración 16, se puede observar que el sistema logro detectar correctamente los PLC conectados al switch de red, confirmando que los dispositivos están correctamente integrados dentro de la infraestructura de comunicación, Este procedimiento permitió validar la conectividad entre el computador de programación y los controladores, garantizando que posteriormente se puede realizar la descarga del programa, monitoreo de variables y pruebas de funcionamiento del sistema. El PLC1 es el encargado de la señalización del sistema

Paso 4: Desarrollo del programa de control y configuración de bloques de datos.

Una vez definidas las funciones de cada uno de los PLC dentro de la arquitectura, se realizó la configuración de la comunicación entre ellos mediante una red PROFINET en TIA Portal, esto permitió establecer el intercambio de información necesaria para ejecutar las acciones de control, mando y señalización del proceso de llenado del tanque.

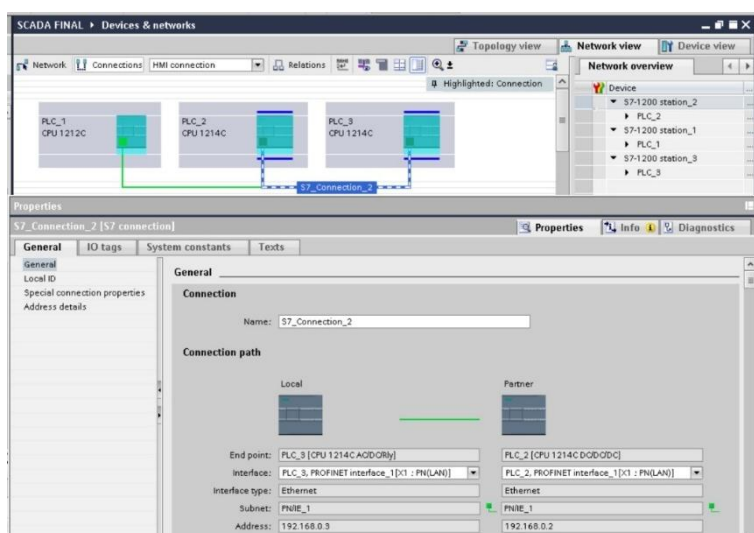


Ilustración 17 Configuración del sistema

En la ilustración 17 se puede evidenciar la interconexión de los tres PLC que conforman el sistema, las funciones de los controladores están organizadas de la siguiente manera:

1. PLC 1

El PLC1 es el encargado de la señalización, este recibe información del estado general del proceso y activa las señales visuales correspondientes para que el operador este informado sobre las condiciones del sistema, ya que permite ver si está en modo manual, modo automático, nivel alto o si la bomba está en funcionamiento.

LADDER PLC1

- **Network 1- Comunicación con el PLC del banco de nivel**

En esta red se realiza el intercambio de información entre el PLC de señalización y el PLC encargado del control del tanque, se utiliza la función GET, la cual permite acceder a los datos almacenados en el PLC remoto a través de la red de comunicación.

Network 1: Comunicación con plc-banco de nivel

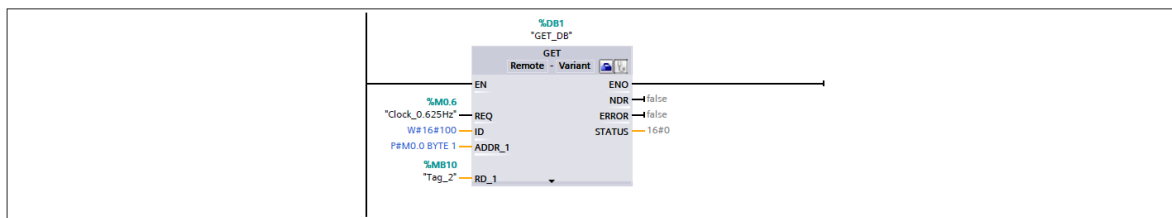


Ilustración 18. Network 1 PLC 1

La función GET se encarga de solicitar y copiar las variables necesarias desde el PLC del tanque hacia una zona de memoria local del PLC de señalización, así el controlador puede conocer en tiempo real el estado del proceso y utilizar la información para activar los leds.

- **Network 2-Activacion modo manual**

En esta red se controla una de las salidas digitales. La condición de entrada corresponde a una variable de memoria recibida desde el PLC de control, el cual indica que el sistema se encuentra operando en modo manual.

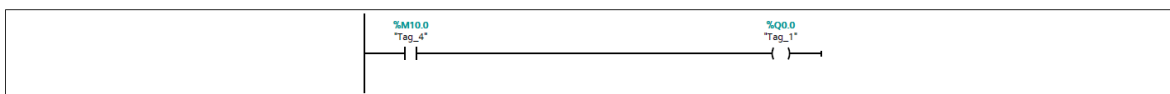


Ilustración 19. Network 2 PLC 1

Cuando se activa, la salida digital también se energiza, encendiendo el led correspondiente a este modo.

- **Network 3- Activación modo automático**

Esta red controla la salida digital del modo automático. La variable de memoria se utiliza como condición ya que proviene de la información recibida a través de la comunicación entre PLC

Network 3:

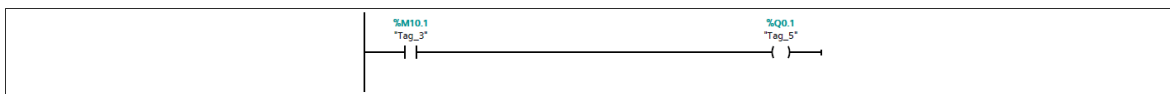


Ilustración 20. Network 3 PLC 1

Cuando el sistema opera en modo automático, esta variable se activa energizando el led correspondiente a este.

- **Network 4- indicador de nivel alto**

En esta red se supervisa la condición de nivel alto del tanque, en este caso la variable de memoria es utilizada para representar la señal generada cuando el sistema detecta que el nivel máximo se ha alcanzado.

Network 4:

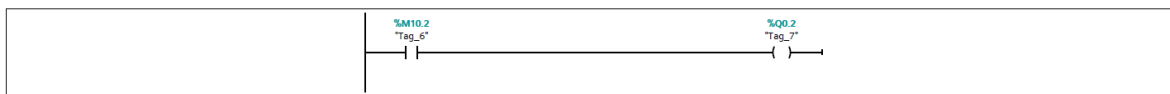


Ilustración 21. Network 4 PLC1

Al activarse la condición, se energiza la salida digital correspondiente encendiendo el led.

- **Network 5- Indicador de bomba en funcionamiento**

En esta red se controla el led asociado al estado de la bomba, la variable de memoria corresponde a la condición que indica que la bomba se encuentra activa durante el proceso de llenado.

Network 5:

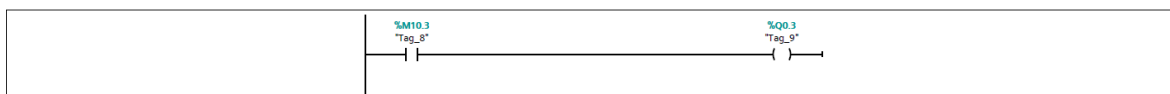


Ilustración 22. Network 5 PLC1

Cuando la bomba esta en funcionamiento, la salida digital se activa y enciende el led y proporciona una indicación visual del estado del equipo.

2. PLC 2

Este PLC se encarga de gestionar las acciones realizadas por el operador mediante los pulsadores del sistema. A través de sus entradas digitales recibe órdenes del tipo de modo que se va a utilizar, una vez se procesan las señales, la información es compartida con los otros PLC para ejecutar las acciones correspondientes dentro de la lógica de control del sistema.

- **Network 1- Lectura del pulsador de modo manual**

En esta parte de la red se realiza la lectura de la entrada digital asociada al pulsador de modo manual, cuando el operador acciona el pulsador, la señal de entrada se activa y el estado se copia a una marca de memoria interna.

Network 1:

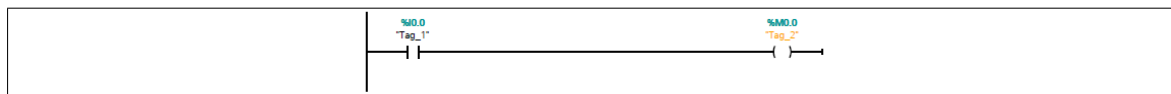


Ilustración 23. Network 1 PLC 2

El sistema almacena la orden emitida por el operador para luego ser utilizada dentro de la lógica de control.

- **Network 2- Lectura del pulsador de modo automático.**

En esta parte se realiza la lectura de la entrada digital correspondiente al modo automático, al activarse la entrada, el estado es transferido a una marca de memoria interna para luego procesarla.

Network 2:

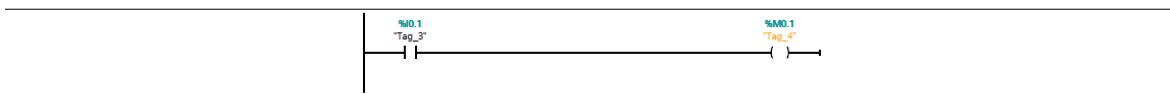


Ilustración 24. Network 2 PLC 2

Utilizar la marca permite desacoplar la lectura física del pulsador de la lógica principal del sistema.

- **Network 3- Lectura del pulsador de arranque.**

Esta red se encarga realizar la lectura de la entrada digital del pulsador de arranque de la bomba. Cuando el operador acciona el pulsador, la señal se almacena en una memoria interna.

Network 3:

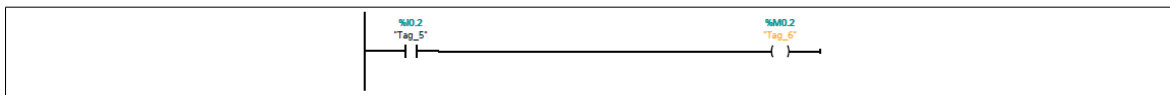


Ilustración 25. Network 3 PLC 2

La información es utilizada luego por el PLC encargado del control del tanque para ejecutar la secuencia de llenado.

- **Network 4- Lectura del pulsador de parada**

Esta red realiza la lectura de la entrada digital del pulsador de parada de la bomba, cuando se recibe la señal esta se copia en una marca de memoria para que pueda ser utilizada en la lógica de control.

Network 4:

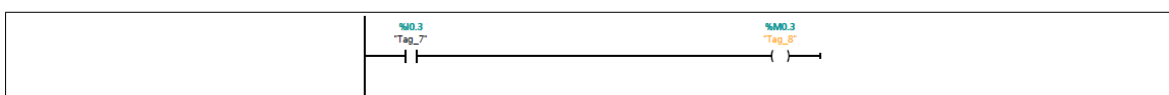


Ilustración 26. Network 4 PLC 2

El sistema dispone de una señal independiente que permite detener el proceso cuando el operador lo requiera.

- **Network 5- Lectura del pulsador de reset**

En esta red se realiza la lectura de la entrada asociada al reset del sistema, cuando el operador acciona este pulsador, la señal se almacena en una memoria interna.

Network 5:

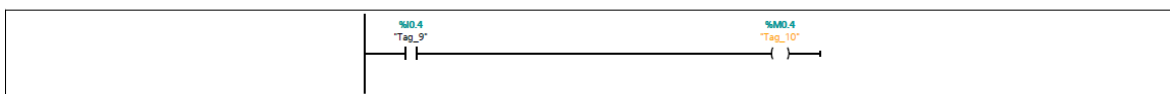


Ilustración 27. Network 5 PLC 2

Esta información se utiliza posteriormente para reiniciar las condiciones del proceso y permite inicial desde cero un nuevo ciclo de operación.

3. PLC 3

El PLC3 es el encargado de la operación principal del proceso de llenado de la bomba, recibe la información de los sensores de nivel del tanque, procesa las condiciones de operación y controla el funcionamiento de la bomba mediante el variador de frecuencia. Es el encargado de determinar cuándo inicia o detiene el llenado, además de supervisar el nivel alcanzado dentro del tanque y envía la información al PLC1 para la señalización y el PLC2 para la coordinación de las acciones de control.

Name	Data type	Offset	Retain	Accessible	Write	Visible in	Setpoint	Comment
Static								
ModoManual	Bool	...	☐	☒	☒	☒	☒	modo manual
ModoAutomatico	Bool	...	☐	☒	☒	☒	☒	modo automático
CmdManual	Bool	...	☐	☒	☐	☐	☒	comando manual
CmdAuto	Bool	...	☐	☒	☒	☒	☒	comando auto
StartBomba	Bool	...	☐	☒	☒	☒	☒	comando arranque
StopBomba	Bool	...	☐	☒	☒	☒	☒	comando paro
ResetSistema	Bool	...	☐	☒	☒	☒	☒	reset del sistema
BombaActiva	Bool	...	☐	☒	☒	☒	☐	estado del motor
NivelAlto	Bool	...	☐	☒	☐	☒	☐	boya nivel alto
SistemaListo	Bool	...	☐	☒	☐	☒	☐	sistema ok
ProcesoTerminado	Bool	...	☐	☒	☐	☒	☐	proceso fin
FrecuenciaAnalogica	Int	...	☐	☒	☐	☐	☐	valor para salida analógica
NivelPorcentaje	Real	...	☐	☒	☐	☒	☐	nivel del tanque (%)
FrecuenciaSetpoint	Real	...	☐	☒	☒	☒	☐	frecuencia deseada (0-60 Hz)

Ilustración 28 Data Block PLC3

En la ilustración 33 se puede observar el bloque de datos de este PLC, ahí se centralizan las variables utilizadas para la lógica de programación, permitiendo almacenar y compartir la información necesaria para la supervisión, el control de la bomba y la comunicación con los demás PLC. Además se encuentran las variables relacionadas con los modos de operación, comandos de arranque y paro, estados del sistema, señales de nivel del tanque y algunos parámetros asociados con el control de la velocidad del variador.

• Network 1- sistema listo

En esta red se evalúan las condiciones necesarias para determinar que el sistema está en estado de espera o está listo para ser operado, para esto se verifican las variables establecidas en la ilustración 29 mediante contactos normalmente cerrados.

Network 1: sistema listo

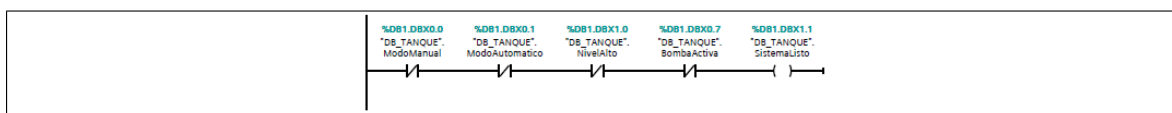


Ilustración 29. Network 1 PLC 3

Las salidas de esta red actúan únicamente cuando ninguna de estas condiciones está presente, es decir, cuando aun no se ha seleccionado un modo de operación, la bomba se encuentra apagada y el tanque no presenta una condición de nivel.

• Network 2- Señalización del estado del sistema

Esta red controla las salidas digitales encargadas de la señalización del proceso, cada salida actúa en función de una condición específica. La red funciona de la siguiente manera:

- Primera rama: se activa cuando el sistema se encuentre listo o se seleccione el modo manual.
- Segunda rama: Activa la salida cuando el sistema está listo o está en modo automático.
- Tercera rama: Energiza una salida cuando el sistema está listo o se detecta el alto el nivel del tanque.

- Cuarta rama: Activa una salida cuando el sistema esta listo o cuando la bomba se encuentra en funcionamiento

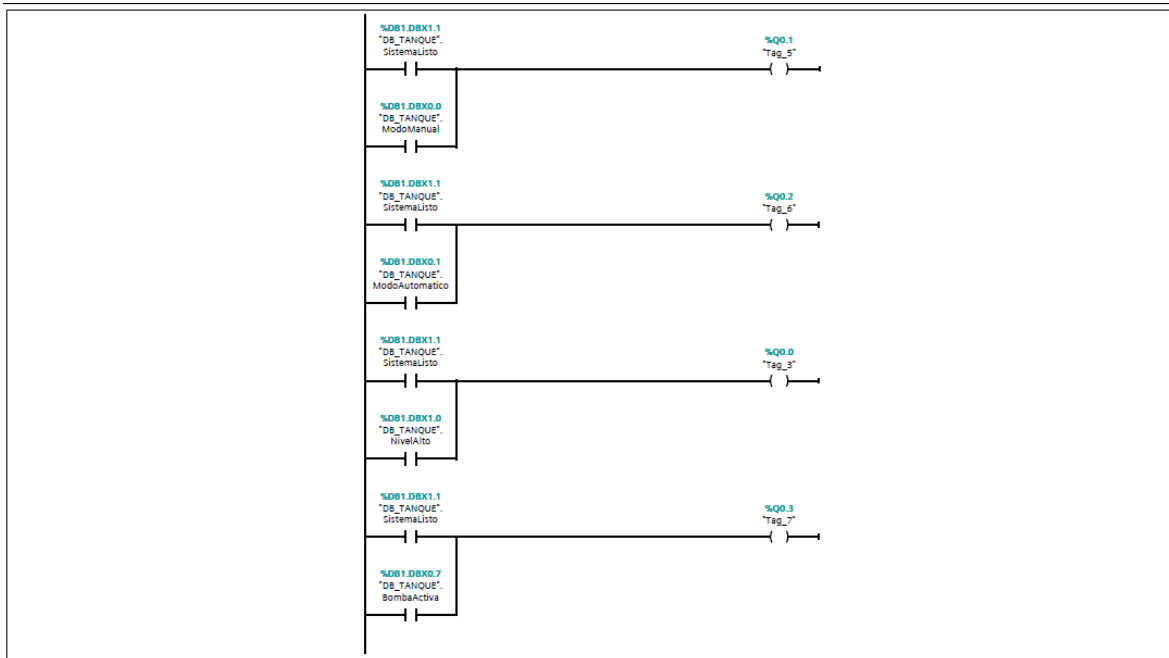


Ilustración 30. Network 2 PLC3

Estas salidas don utilizadas por el PLC de señalización para encender los leds permitiendo conocer el estado actual del sistema.

• Network 3- Activación de los indicadores internos

Esta parte de la red transfiere los estados de las salidas físicas hacia las marcas internas del PLC. Cuando una salida de activa, se energiza una memoria asociada la cual permite utilizar esta información en otra parte del programa.

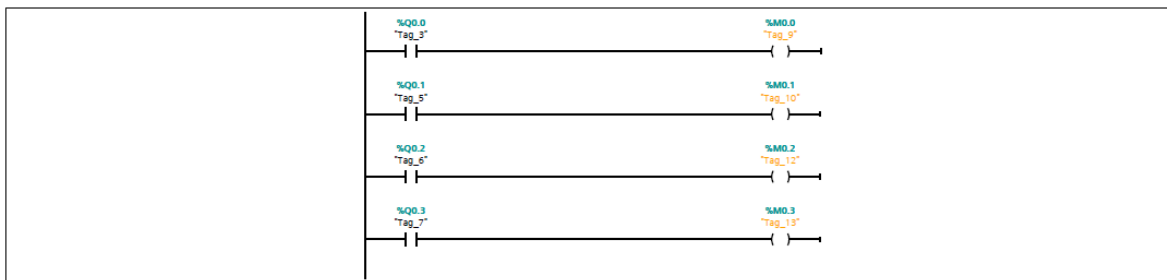


Ilustración 31. Network 3 PLC 3

El sistema puede supervisar internamente el estado de los leds y emplear estas señales para la lógica de control, comunicación o visualización del proceso.

- **Network 4- Boya de nivel alto**

Esta red realiza la lectura del sensor de nivel alto instalado dentro del tanque, cuando la boya detecta el nivel máximo se activa la variable.

Network 4: boya nivel alto

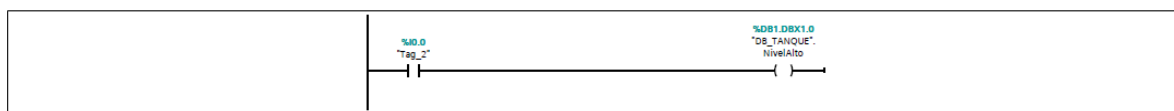


Ilustración 32. Network 4 PLC 3

Esta señal se utiliza en el sistema para identificar las condiciones del tanque y poder ejecutar las acciones correspondientes dentro de la lógica establecida, evitando el sobrellenado.

- **Network 5- Selección del modo manual**

En esta red se habilita el modo manual, su activación se da cuando se recibe el comando del modo manual y el automático esta inactivo.

Network 5: modo manual



Ilustración 33 Network 5 PLC 3

La instrucción SET mantiene activa la variable de modo manual, permitiendo que el operador tome el control directo del proceso mediante pulsadores de mando.

- **Network 6- Selección de modo automático**

En esta red se habilita el modo automático, la activación se da cuando se recibe el comando y el modo manual se encuentra inactivo.

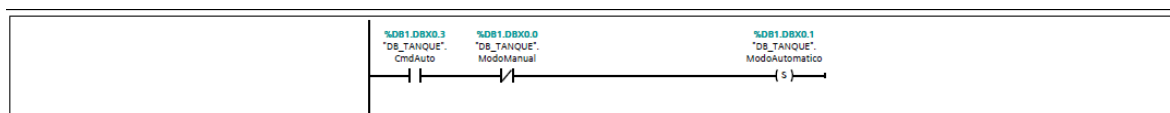


Ilustración 34 Network 6 PLC 3

El comando SET mantiene activa la variable de modo automático, garantizando que el PLC asuma el control del proceso de llenado de forma automático según la lógica programada.

- **Network 7- Gestión de modos de operación y reinicio del sistema**

En esta red se administra la activación y desactivación de los modos de operación del sistema, cuando se recibe un comando de modo manual o automático pero no existe una condición de reinicio activa, se ejecuta la instrucción SET correspondiente para habilitar el modo seleccionado.

Network 7: modo manual

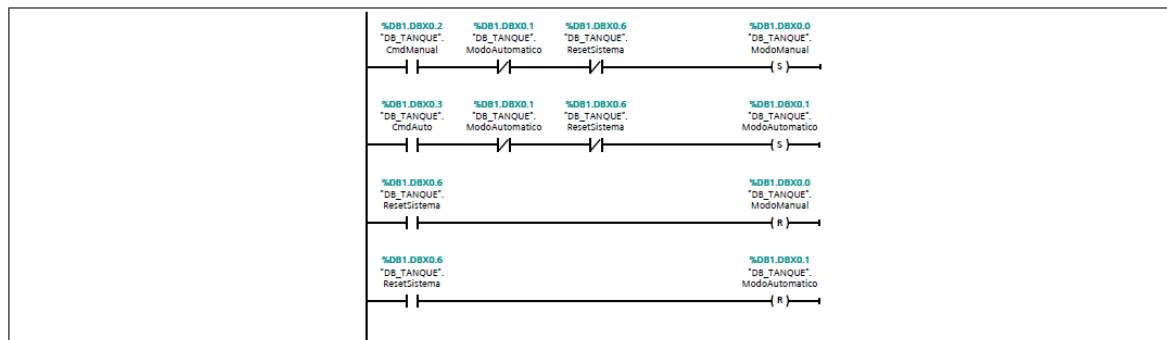


Ilustración 35 Network 7 PLC 3

Cuando se activa la señal de reset del sistema, se ejecutan las instrucciones sobre las variables de modo manual y automático, deshabilitando ambos modos y devolviendo el sistema a su estado inicial.

- Network 8- Control de la bomba en modo manual**

Esta red controla el funcionamiento de la bomba cuando el sistema opera en modo manual, la bomba se activa cuando este modo se encuentra habilitado, recibe la orden del tanque y no existe una orden de paro una condición de nivel alto del tanque.

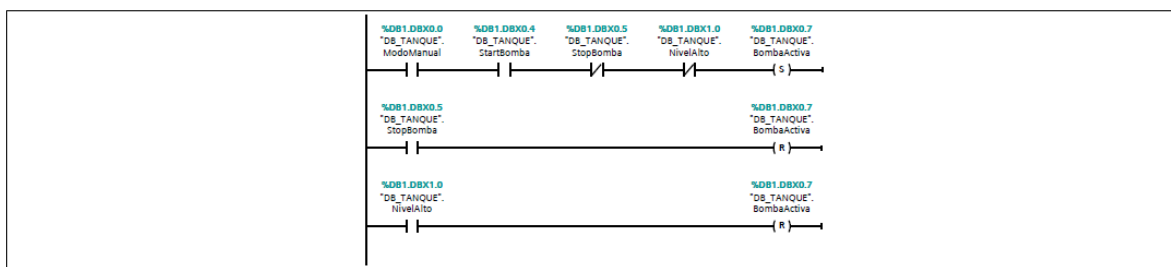


Ilustración 36 Network 8 PLC 3

La instrucción SET activa la variable de bomba activa y mantiene la bomba en funcionamiento, asimismo, se genera una orden de parada o se detecta un nivel alto, se ejecuta la instrucción reset que desactiva inmediatamente la bomba.

- **Network 9- Control de la bomba en modo automático**

En esta se gestiona el funcionamiento de la bomba cuando el sistema opera en modo automático, la activación se da cuando el modo automático se habilita y no existe una condición de nivel alto una solicitud de reinicio del sistema.

Network 9:

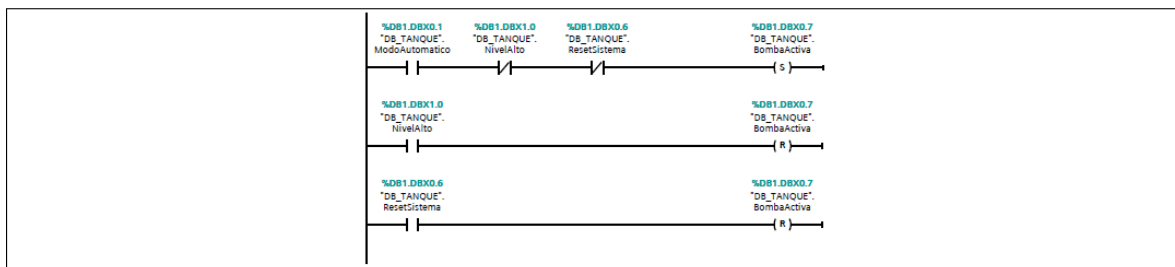


Ilustración 37 Network 9 PLC 3

Por medio de la instrucción SET se activa la variable de bomba activa, lo que permite que el proceso de llenado se ejecute de forma automática. Por otro lado, cuando se alcanza el nivel máximo del tanque se activa la señal de reset del sistema y se ejecuta la instrucción de desactivar la bomba.

- **Network 10- Activación de la salida de la bomba**

En esta red se control la salida relacionada con el accionamiento de la bomba, se utiliza la variable de bomba activa generada en las redes anteriores, con el fin de energizar la salida digital correspondiente en el PLC.

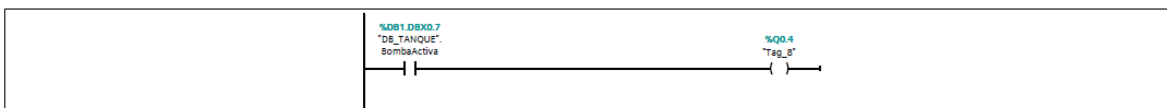


Ilustración 38 Network 10 PLC 3

Cuando la variable de bomba activa se encuentra activa, se habilita la salida Q0.4 permitiendo el funcionamiento del sistema de bombeo de esta manera, la salida física refleja el estado interno de la bomba dentro de la lógica de control.

- **Network 11- Calculo y generación de las señales para el variador**

En esta red se realiza el procesamiento de la referencia de velocidad que será enviada directamente al variador de frecuencia, el cálculo se ejecuta únicamente cuando la bomba esta activa.

Network 11:

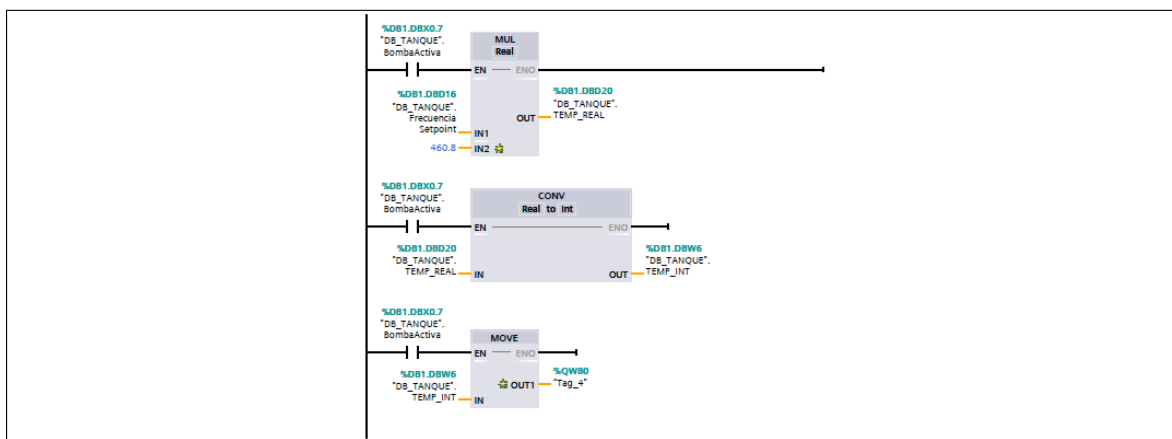


Ilustración 39 Network 11 PLC 3

Inicialmente la frecuencia deseada almacenada es multiplicada por un factor de escala mediante la función MUL, obteniendo un valor proporcional al que almacena

en una variable temporal de tiempo real. Luego este valor se convierte de tipo real a Int utilizando la instrucción CONV, almacenándose en la variable TEMP_INT. Finalmente, mediante la instrucción MOVE, el valor convertido es transferido a la salida analógica QW80, encargada de enviar la referencia de velocidad al variador.

- **Network 12- Lectura de la señal del sensor de nivel**

En esta red se realiza la lectura de la señal analógica proveniente del sensor de nivel conectado al PLC. La función MOVE se utiliza para copiar el valor en la entrada analógica hacia la variable de NivelRaw almacenada en el Data Block del PLC3.

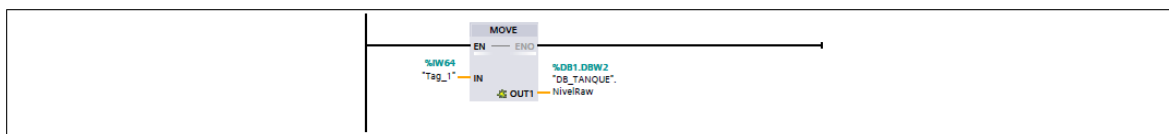


Ilustración 40 Network 12 PLC 3

Así, el sistema conserva el valor bruto entregado por el sensor para ser procesado posteriormente en las etapas de normalización y escalamiento.

- **Network 13- Normalización de la señal de nivel**

En esta red se realiza la normalización del valor leído por el sensor de la función NORM_X. EL bloque toma el valor almacenado en NivelRaw y lo convierte a un rango comprendido entre 0 y 1, considerando como máximo y mínimo.

Network 13:

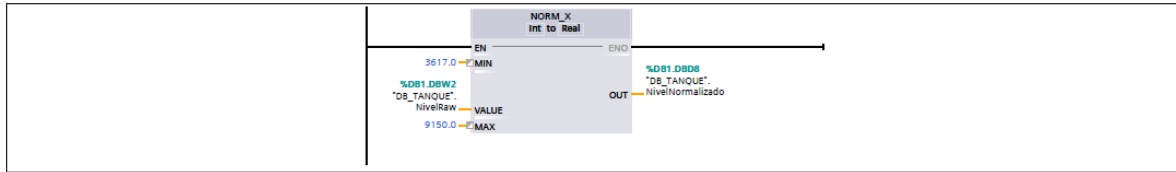


Ilustración 41 Network 13 PLC 3

El resultado de esta operación se almacena en la variable NivelNormalizado, permitiendo trabajar con una magnitud proporcional e independiente de los valores originales del sensor.

- **Network 14- Conversión del nivel a porcentaje**

En esta red se utiliza la función SCALE_X para convertir el valor normalizado del nivel en un porcentaje entre 0-100%. El bloque toma como entrada la variable de nivel normalizado y genera como resultado la variable nivel porcentaje.

Network 14:

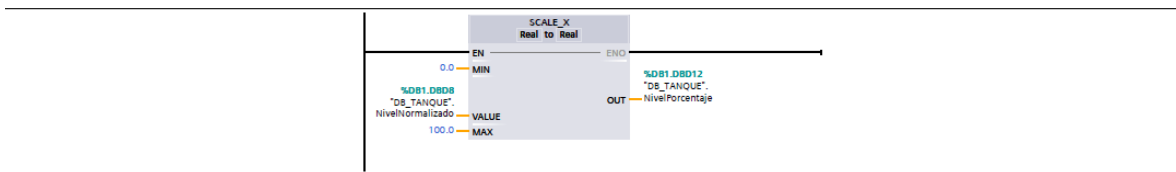


Ilustración 42 Network 14 PLC 3

- **Network 15- Comunicación con el PLC de botones**

En esta red se establece la comunicación entre el PLC del tanque y el PLC encargado de los pulsadores mediante la instrucción GET. Esta función permite leer las señales enviadas desde el PLC2 y transferirla al PLC3 para que puedan ser utilizadas dentro de la lógica de control.

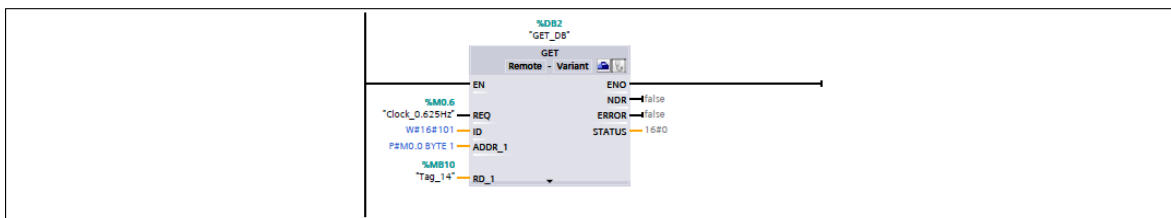


Ilustración 43 Network 15 PLC 3

La comunicación se ejecuta de forma periódica utilizando una señal de reloj, garantizando que los estados de los pulsadores y comandos de operador se mantenga actualizados durante el funcionamiento del sistema.

- **Network 16- Recepción y asignación de comandos de operación**

En esta red se procesan las señales recibidas desde el PLC de botones y se asignan a las variables internas del Data Block del tanque, cada señal recibida activa una función específica dentro del sistema.

Network 16: modo manual

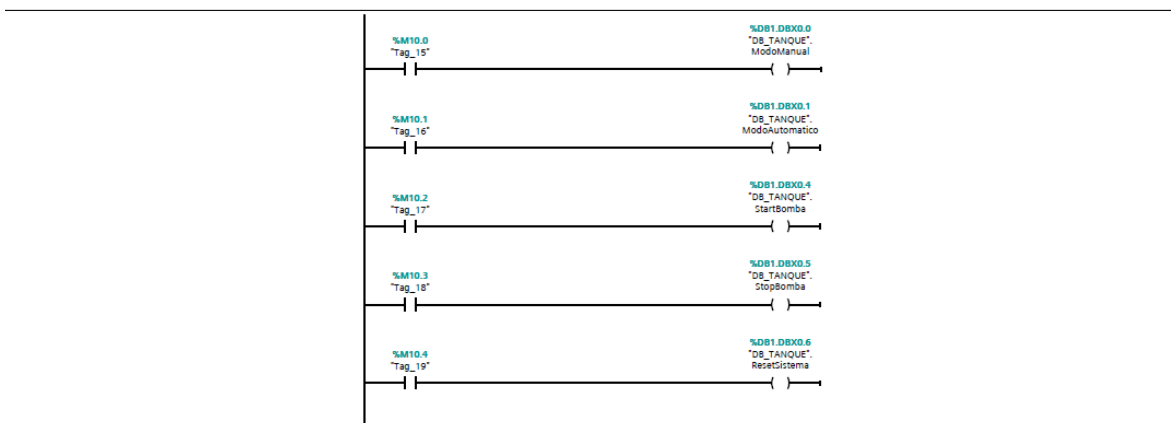


Ilustración 44 Network 16 PLC 3

Esta red permite que los comandos ingresados por el operador desde los pulsadores sean reconocidos por el PLC del tanque y utilizados para la lógica de control para gestionar el funcionamiento del proceso.

Fase 4: Diseño y desarrollo de la interfaz.

En esta fase del proyecto se llevó a cabo el diseño de la interfaz, la cual permite la interacción entre el operador y el sistema automatizado, fue diseñada con el objetivo de facilitar el monitoreo y control del proceso de llenado del tanque, permitiendo observar las variables en tiempo real y ejecutar acciones sobre el sistema.

Para la aplicación se implementó Node-RED, ya que esta herramienta permite establecer la comunicación entre el sistema de control y una interfaz gráfica, facilitando la visual de las variables del proceso, monitoreo del estado de los equipos y el envío de los comandos de operación en tiempo real. Para esto se llevaron a cabo una serie de pasos:

1. Configuración de la dirección IP del equipo

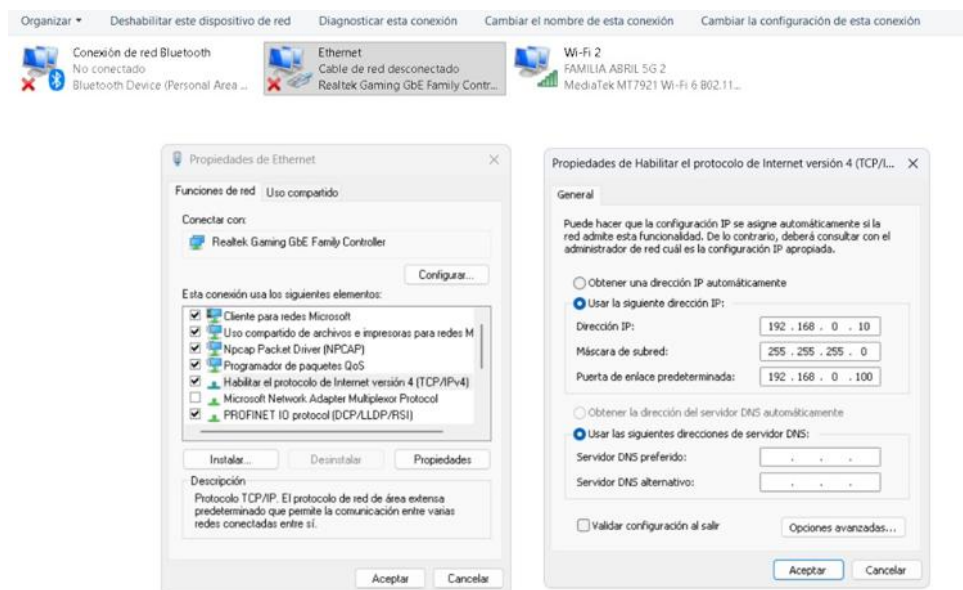


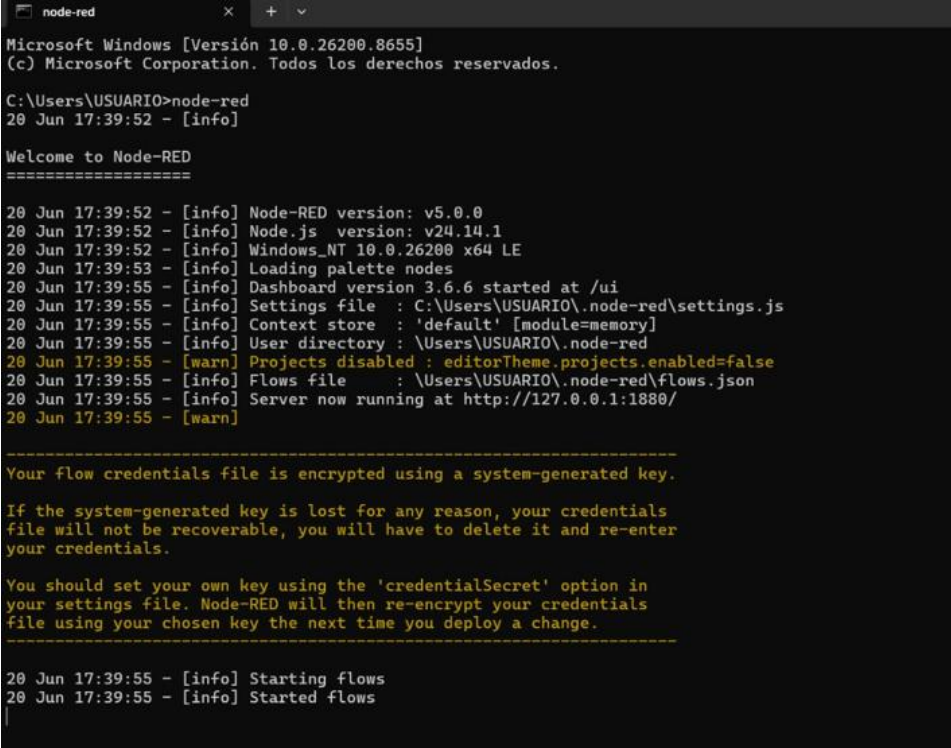
Ilustración 45 configuración de la red

Como primer paso (ilustración 45) se realizó la configuración manual de la dirección IP del computador desde las propiedades del protocolo TCP/IPv4 del adaptador Ethernet, para esto se asignó una dirección IP perteneciente a la misma subred

utilizada por los PLC. Esta configuración es necesaria para garantizar la comunicación entre el computador y los controladores a través de la red, permitiendo así realizar tareas de programación, monitoreo y acceso a la interfaz web desarrollada.

2. Ejecución del entorno Node-RED

Se inicio el servicio de Node-Red desde la terminal de Windows, mediante el comando correspondiente, una vez se ejecuto, el sistema cargo los módulos instalados y pone en funcionamiento los flujos configurados para el proyecto.



```

Microsoft Windows [Versión 10.0.26200.8655]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\USUARIO>node-red
20 Jun 17:39:52 - [info]

Welcome to Node-RED
=====

20 Jun 17:39:52 - [info] Node-RED version: v5.0.0
20 Jun 17:39:52 - [info] Node.js version: v24.14.1
20 Jun 17:39:52 - [info] Windows_NT 10.0.26200 x64 LE
20 Jun 17:39:53 - [info] Loading palette nodes
20 Jun 17:39:55 - [info] Dashboard version 3.6.6 started at /ui
20 Jun 17:39:55 - [info] Settings file : C:\Users\USUARIO\.node-red\settings.js
20 Jun 17:39:55 - [info] Context store : 'default' [module=memory]
20 Jun 17:39:55 - [info] User directory : \Users\USUARIO\.node-red
20 Jun 17:39:55 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.enabled=false
20 Jun 17:39:55 - [info] Flows file : \Users\USUARIO\.node-red\flows.json
20 Jun 17:39:55 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/
20 Jun 17:39:55 - [warn]

-----
Your flow credentials file is encrypted using a system-generated key.

If the system-generated key is lost for any reason, your credentials
file will not be recoverable, you will have to delete it and re-enter
your credentials.

You should set your own key using the 'credentialSecret' option in
your settings file. Node-RED will then re-encrypt your credentials
file using your chosen key the next time you deploy a change.
-----

20 Jun 17:39:55 - [info] Starting flows
20 Jun 17:39:55 - [info] Started flows
|

```

Ilustración 46 Ejecución del entorno Node-RED

En la ventana de ejecución (ilustración 46) se puede observar que Node-Red se inició correctamente y quedo disponible en la dirección local, permitiendo acceder

al entorno de desarrollo y a la interfaz web desde un navegador. Esto es fundamental ya que habilita la comunicación entre la aplicación y las variables utilizadas en el sistema de control implementado.

3. Configuración general del flujo de control y monitoreo

Una vez configuradas las conexiones con el PLC y las variables de comunicación se realiza el flujo principal de la interfaz en Node-Red. Este flujo integra elementos de control, supervisión y visualización necesarios para la operación del sistema desde una página web.

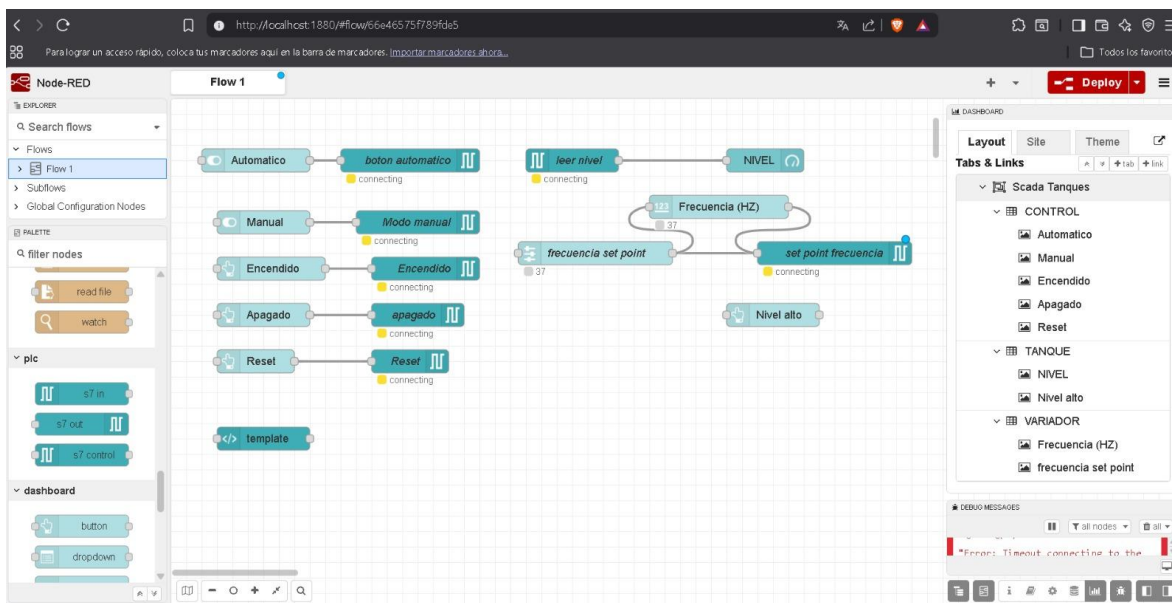


Ilustración 47 Flujo de control y monitoreo

Se implementan botones para la selección de los modos de operación y para las funciones de encendido, apagado y reset del proceso, de igual manera, se configuraron los nodos para la lectura del nivel del tanque, la visualización del porcentaje de llenado y la indicación del estado de nivel alto.

Por otro lado, se incorpora un control para el ajuste de la frecuencia de trabajo de la bomba por medio del variador, el valor que ingresa el usuario es enviado al PLC como un setpoint, permitiendo modificar la velocidad de operación del sistema en tiempo real.

4. Configuración de la comunicación entre Node-Red y el PLC

Una vez se inició el Node-Red se realiza la configuración de la conexión con el PLC mediante los nodos de comunicación, los cuales permiten el intercambio de datos entre la interfaz web y el controlador Siemens, para esto se definen los parámetros de la red del PLC incluyendo la dirección IP, el puerto de comunicación, el rack y el slot correspondiente a la CPU utilizada.

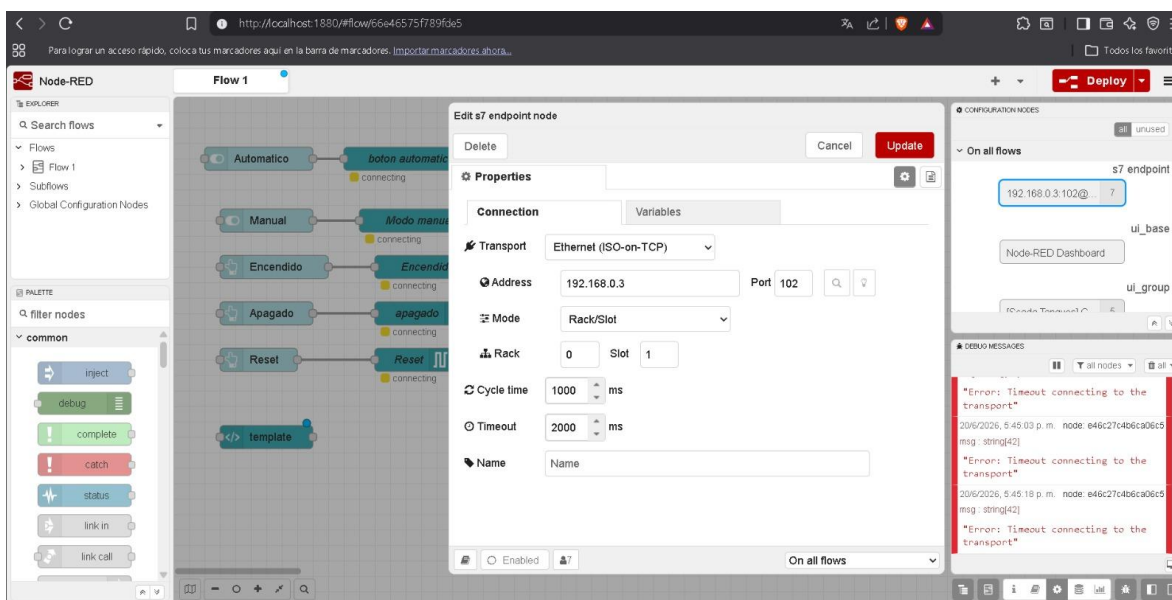


Ilustración 48 Configuración del nodo de comunicación

Por otro lado, se establecieron los tiempos de actualización y espera de la conexión con el fin de garantizar una buena comunicación estable y continua durante la

supervisión y el control del proceso, esto constituye la base para la lectura de las variables del proceso y el envío de comandos desde la interfaz web hacia el sistema. En la ilustración 49 y 50 se puede evidenciar las variables asignadas.

The screenshot shows the 'Edit s7 endpoint node' window with the 'Variables' tab selected. The 'Variable list' contains the following entries:

Variable ID	Variable Name
DB1,X1.1	SistemaListo
DB1,X0.0	ModoManualCmd
DB1,X0.1	ModoAutoCmd
DB1,X0.4	StartCmd
DB1,X0.5	StopCmd
DB1,X0.6	ResetCmd

At the bottom, there are buttons for '+ Add', 'Remove all', 'Import', and 'Export'. The status bar at the bottom indicates 'On all flows'.

Ilustración 49 Variables asignadas (1)

The screenshot shows the 'Edit s7 endpoint node' window with the 'Variables' tab selected. The 'Variable list' contains the following entries:

Variable ID	Variable Name
DB1,REAL.12	NivelPorcentaje
DB1,REAL.16	Frecuencia
DB1,X0.7	BombaActiva
DB1,X1.0	NivelAlto
DB1,X1.1	SistemaListo
DB1,X0.0	ModoManualCmd

At the bottom, there are buttons for '+ Add', 'Remove all', 'Import', and 'Export'. The status bar at the bottom indicates 'On all flows'.

Ilustración 50 variables asignadas (2)

5. Configuración de las variables de control en Node-Red

Después de establecer la comunicación con el PLC, se configuran los nodos encargados de escribir los datos en las variables del controlador, cada uno de esos se asocia a una dirección específica dentro del Data Block del PLC, permitiendo que las acciones realizadas desde la interfaz web sean enviadas directamente al sistema.

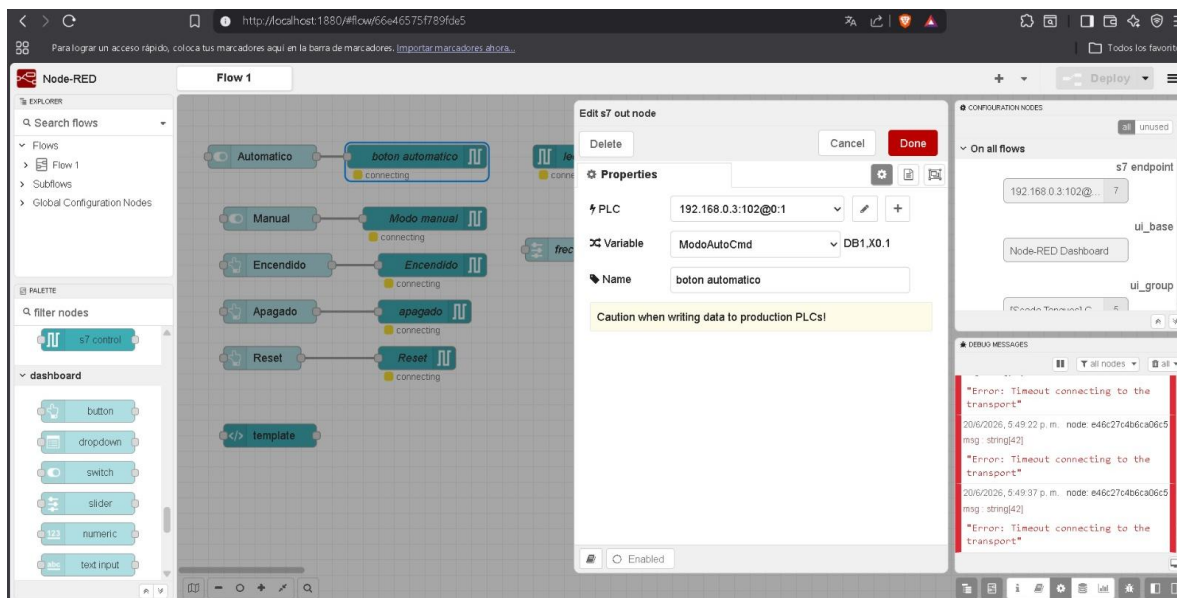


Ilustración 51 Configuración de las variables

En la ilustración 51 se puede observar la configuración del nodo correspondiente al comando de modo automático, de igual manera se configuraron los demás comandos de operación, tales como modo manual, encendido, apagado y reset. Esto permite que los elementos de la interfaz actúen como mandos de manera virtual transmitiendo las órdenes del usuario al PLC para ejecutar las acciones.

6. Configuración del nodo de lectura de nivel

Se configura el nodo S7 In para leer una variable que proviene del PLC, se selecciona el mismo previamente configurado y se establece el modo Single Variable, permitiendo leer únicamente las variables de interés.

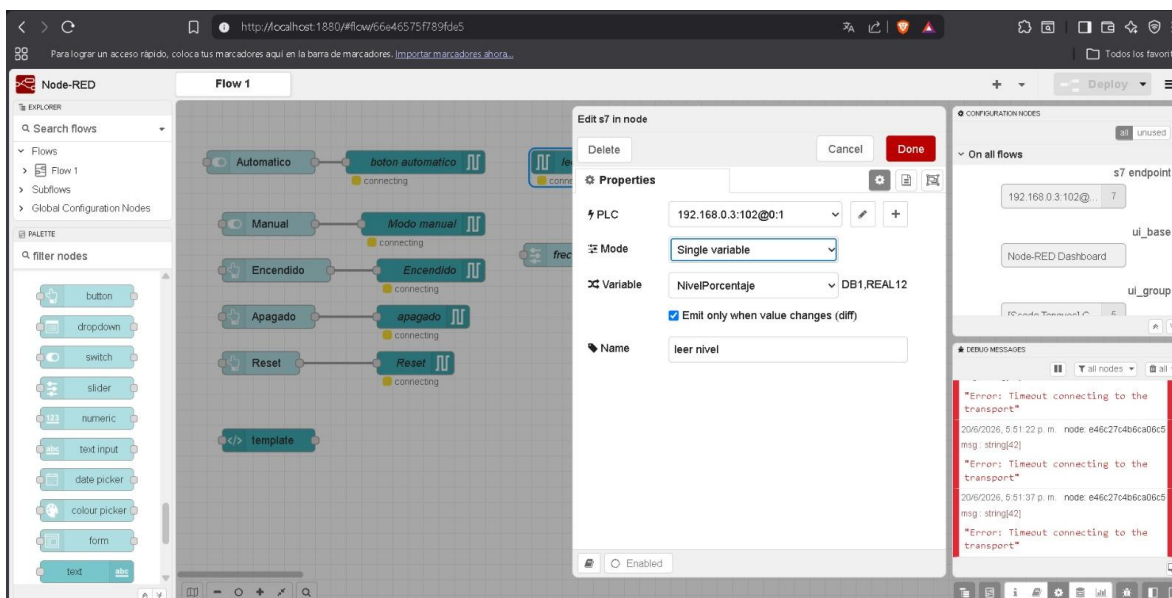


Ilustración 52 configuración del nodo de lectura de nivel

La variable seleccionada es Nivel porcentaje, la cual contiene el valor del nivel del tanque expresado en porcentaje, además, se habilita la opción “Emit only when value changes” para que esta se encargue de enviar datos únicamente cuando el valor cambie y así se pueda optimizar la comunicar y reducir el tráfico de datos innecesarios.

De esta forma la interfaz recibe en tiempo real el porcentaje de nivel almacenado en el PLC para mostrarlo al operador mediante indicadores gráficos.

7. Configuración del indicador de nivel del tanque

Se configura un nodo Gauge para poder representar de forma grafica el porcentaje de nivel almacenado dentro del tanque.

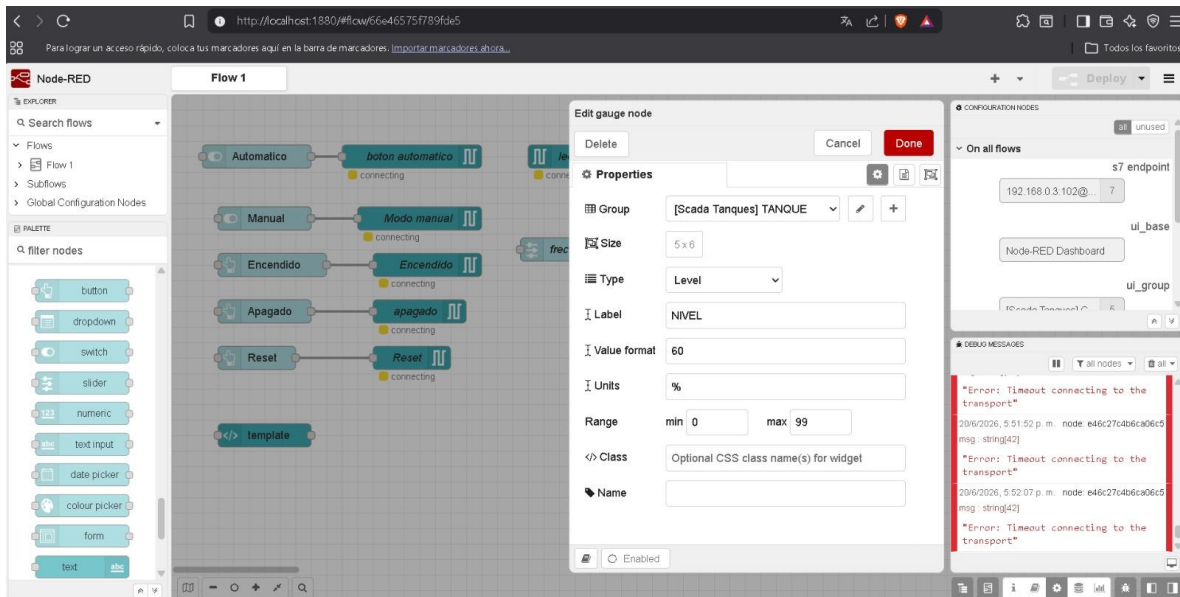


Ilustración 53 Configuración del indicador de nivel del tanque

Para esto se definieron los siguientes parámetros:

- **Group:** “(scada tanques) TANQUE, donde se mostrará el indicador dentro del Dashboard.
- **Type:** “Level”, este representa el nivel del tanque mediante una barra vertical.
- **Label:** “Nivel”, es el nombre que se le muestra al usuario en la visual.
- **Units:** “%”, indica que el valor se expresa en porcentaje
- **Range:** “mínimo (0) y máximo (99), hace referencia al rango de operación del tanque.
- **Size:** 5X5, ajusta el tamaño del indicador dentro de la interfaz (medida)

Finalmente, la salida del nodo “leer nivel” se conecta a este Gauge para que el porcentaje calculado en el PLC se actualice automáticamente dentro de la interfaz.

8. Configuración de la estructura del Set Point de frecuencia

En este paso se configuro el nodo S7 out, el cual se encarga de enviar al PLC el valor de la frecuencia ingresado desde la interfaz de Node-Red.

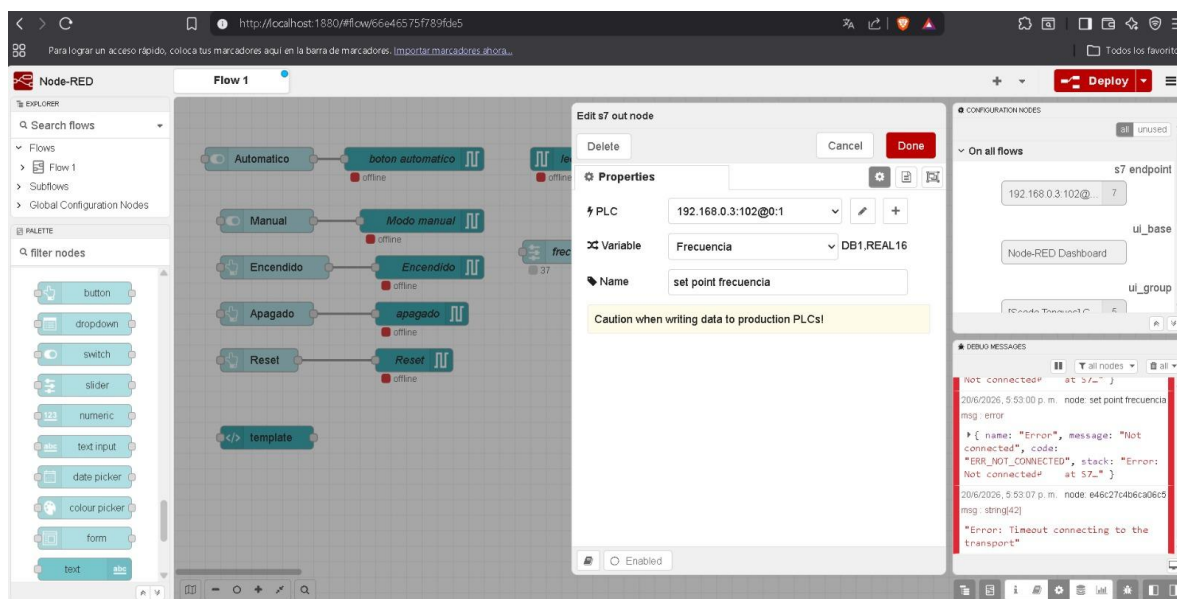


Ilustración 54 Configuración de la estructura del set point de frecuencia

De esta manera, el valor que introduce el usuario en el campo numérico de la interfaz es enviado al PLC y almacenado en la variable de frecuencia, permitiendo modificar la velocidad de operación del sistema SCADA desarrollado.

9. Interfaz final

Finalmente, después de configurar todos los elementos de comunicación, monitoreo y control, se obtiene la interfaz final del sistema, esta le permite al operador supervisar en tiempo real el estado del proceso y ejecutar acciones de control de manera remota por medio de la página web.

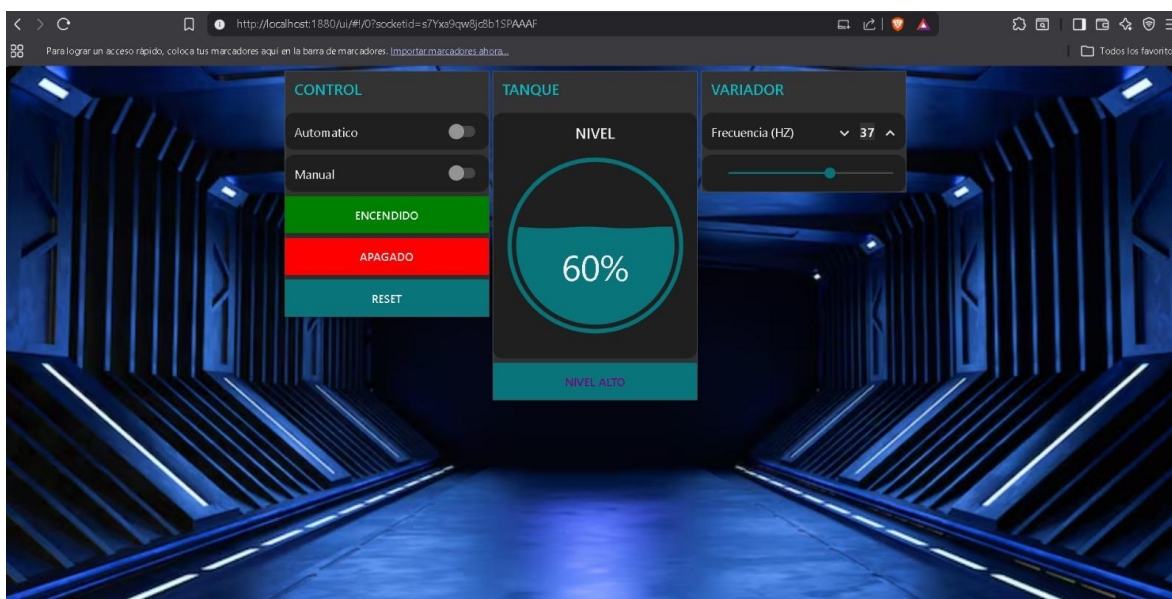


Ilustración 55 Interfaz final

En esta interfaz se integran los botones de selección del modo ya sea manual o automático, los comandos de encendido, apagado y reset, el indicador grafico del nivel del tanque y el control para ajustar la frecuencia de operación de la bomba. Con esto se le facilita al usuario la supervisión y operación del sistema de llenado de forma intuitiva y segura.

Fase 5: Pruebas validación.

1. Prueba simulada

Con el fin de realizar pruebas integrales del sistema y poder validar el correcto funcionamiento de la lógica de control, se implementó un nuevo PLC (PLC4) en entorno de simulación, se encarga de replicar el comportamiento de los controladores del sistema, permitiendo integrar, supervisar y verificar las variables, señales y secuencias programas en el lenguaje Ladder.

Esto facilita la detección de posibles inconsistencias la calidad de la comunicación entre las variables y el análisis del comportamiento general del sistema sin necesidad de intervenir directamente los equipos o el montaje del sistema.

Para este PLC se creó el bloque de datos (ilustración 40) donde se centralizan las variables necesarias para la simulación y la validación del sistema, incluye señales, estados y parámetros de control, permite además supervisar y verificar el funcionamiento de la lógica programada, facilitando la integración y validación general del sistema.

	Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible ...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Static									
2	ModoManual	Bool	0.0	false		☒	☒	☒	☒	modo manual
3	ModoAutomatico	Bool	0.1	false		☒	☒	☒	☒	modo automático
4	CmdManual	Bool	0.2	false		☒	☒	☒	☒	comando manual
5	CmdAuto	Bool	0.3	false		☒	☒	☒	☒	comando auto
6	StartBomba	Bool	0.4	false		☒	☒	☒	☒	comando arranque
7	StopBomba	Bool	0.5	false		☒	☒	☒	☒	comando paro
8	ResetSistema	Bool	0.6	false		☒	☒	☒	☒	reset del sistema
9	BombaActiva	Bool	0.7	false		☒	☒	☒	☒	estado del motor
10	NivelAlto	Bool	1.0	false		☒	☒	☒	☒	boya nivel alto
11	SistemaListo	Bool	1.1	false		☒	☒	☒	☒	sistema ok
12	ProcesoTerminado	Bool	1.2	false		☒	☒	☒	☒	proesp fin
13	Blink	Bool	1.3	false		☒	☒	☒	☒	accionador parpadeo
14	BlinkAux	Bool	1.4	false		☒	☒	☒	☒	desmonte parpadeo
15	NivelRaw	Int	2.0	0		☒	☒	☒	☒	valor crudo del sensor (IW64)
16	FrecuenciaAnalogica	Int	4.0	0		☒	☒	☒	☒	valor para salida analógica
17	TEMP_INT	Int	6.0	0		☒	☒	☒	☒	variable temporal int
18	NivelNormalizado	Real	8.0	0.0		☒	☒	☒	☒	señal normalizada 0-1
19	NivelPorcentaje	Real	12.0	0.0		☒	☒	☒	☒	nivel del tanque (%)
20	FrecuenciaSetpoint	Real	16.0	0.0		☒	☒	☒	☒	frecuencia deseada (0-60 Hz)
21	TEMP_REAL	Real	20.0	0.0		☒	☒	☒	☒	variable real

Ilustración 56 Data Blocks PLC4

Luego de tener estos datos, se representan en diagramas Ladder, los cuales permiten validar de manera integral la lógica de control del sistema en un entorno simulado. Es importante destacar que los Network del 1 al 8 se basan en la lógica de accionamiento de la bomba, definiendo las condiciones para el encendido y para el funcionamiento del proceso.

- **Network 1: Sistema en estado inicial**

En esta parte de la red se verifica que el sistema se encuentre en condiciones iniciales de operación, además se evalúa que no está activo ningún modo y bajo esta condición se activa la variable “Sistema listo”, indicando que el sistema está preparado para iniciar el proceso.

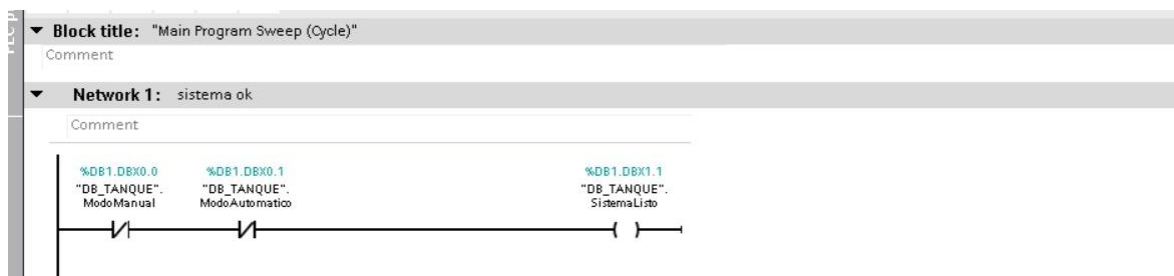


Ilustración 57 Network 1 PLC4

- **Network 2: Señalización del sistema**

Esta red se encarga de gestionar las salidas digitales encargadas de indicar el estado del sistema, partiendo de la condición “Sistema listo” y el modo de operación (manual o automático), además se activan las diferentes salidas que representan estados como activo, nivel alto o bomba en funcionamiento. Permite además visualizar de manera más clara el comportamiento del sistema.

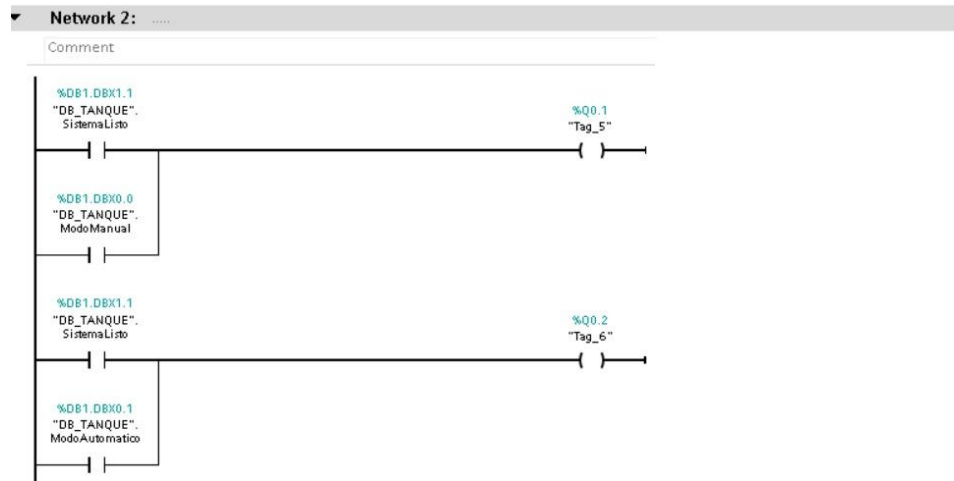


Ilustración 58 Network 2 PLC 4



Ilustración 59 Network 2 PLC 4

- **Network 3: Activación modo manual**

En esta parte se habilita el modo manual cuando se acciona el comando correspondiente y el modo automático permanece inactivo. Cuando se cumple esta

condición, se activa y memoriza la variable “Modo Manual”, permitiendo que el sistema se controlado por el operador.



Ilustración 60 Network 3 PLC 4

- **Network 4:**

En esta red se habilita el modo automático cuando se acciona el comando “Cmd Auto) y el modo manual permanece inactivo. Cuando se cumple esta condición, se activa y memoriza la variable “Modo automatico” permitiendo que el sistema opere de forma automática según la programación.



Ilustración 61 Network 4 PLC4

- **Network 5: Modo manual**

En esta red se da la activación del modo manual y automático, cuando se acciona el comando “Modo manual” y mientras no este activo el modo automático ni el reset, se activa la variable “Modo Manual”. Al activar el comando de modo automático cumpliendo las mismas condiciones anteriormente mencionadas, se habilita el “Modo automático”. Además, si se activa la señal de reset el sistema vuelve a su estado inicial.

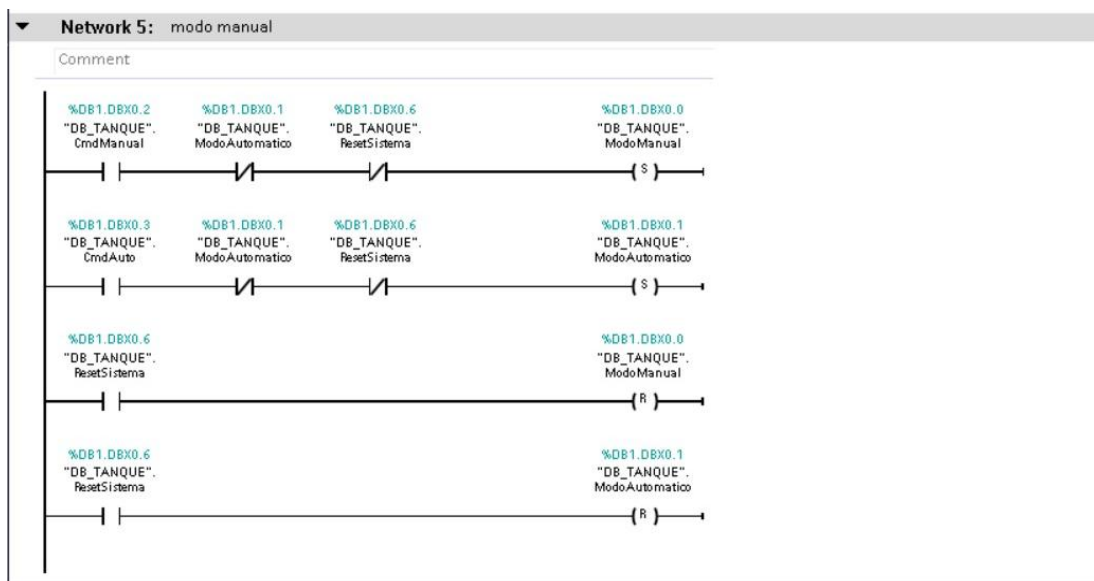


Ilustración 62 Network 5 PLC4

- **Network 6: Estado del motor.**

Esta parte de la red se encarga de controlar el encendido y apagado de la bomba. Cuando el sistema se encuentra en modo manual, se acciona el botón de arranque “Sart Bomba” y deben estar desactivadas la señal “Stop Bomba” y se debe activar la variable “Bomba activa”. Por otro lado, si se acciona el botón de paro o se detecta un nivel alto en el tanque, la bomba se desactiva automáticamente, garantizando un funcionamiento seguro del sistema.

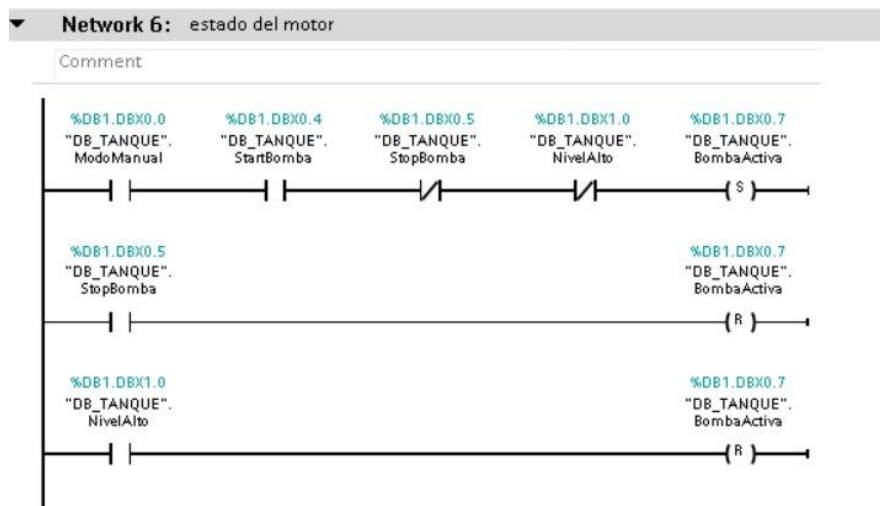


Ilustración 63 Network 6 PLC4

- Network 7: Modo automático**

En esta parte se controla el funcionamiento automático de la bomba, cuando este modo se encuentra activo y no se ha alcanzado el nivel alto, ni tampoco se ha activado el reset, entonces se enciende la bomba. Por otro lado, si se detecta el nivel alto en el tanque o se activa el reset la bomba se apaga, asegurando que el llenado se detenga de forma automática y el sistema sea seguro.

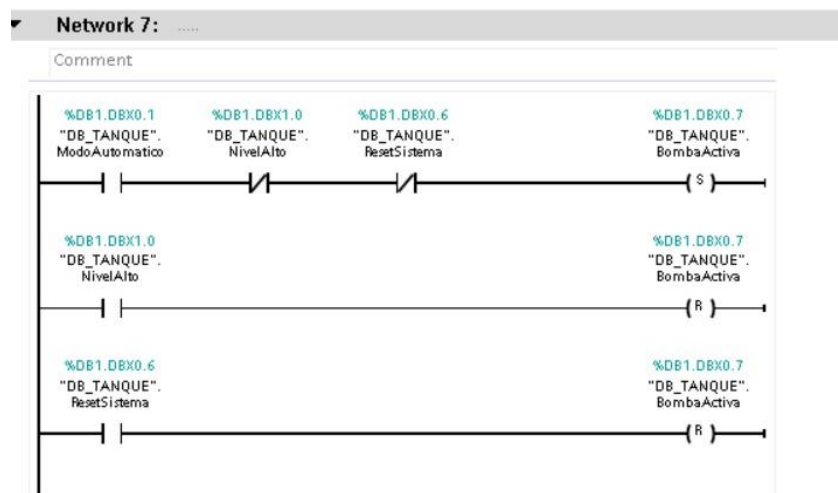


Ilustración 64 Network 7 PLC4

- **Network 8: Activación de salida asociada a la bomba**

En esta red activa la salida cuando la variable “Bomba Activa” está en esta en estado verdadero, al cumplir esta condición la salida energiza, permitiendo señalizar o accionar el dispositivo asociado, generalmente es utilizado como la indicación del estado activo de la bomba.



Ilustración 65 Network 8 PLC4

- **Network 9: Escalamiento y conversión del Setpoint de frecuencia**

En esta parte de la red, cuando la variable “Bomba activa” esta activa, se realiza el procesamiento del valor de Frecuencia Setpoint. En primer lugar, este valor se multiplica por una constante mediante la instrucción MUL, almacenando el resultado en la variable “TEMP_REAL”. Posteriormente, ese valor obtenido se convierte en tipo real a Int mediante la instrucción CONV, guardando en la variable “TEMP_INT”. Finalmente, el valor entero es transferido a la salida por la instrucción MOVE, permitiendo su uso como señal de salida analógica.

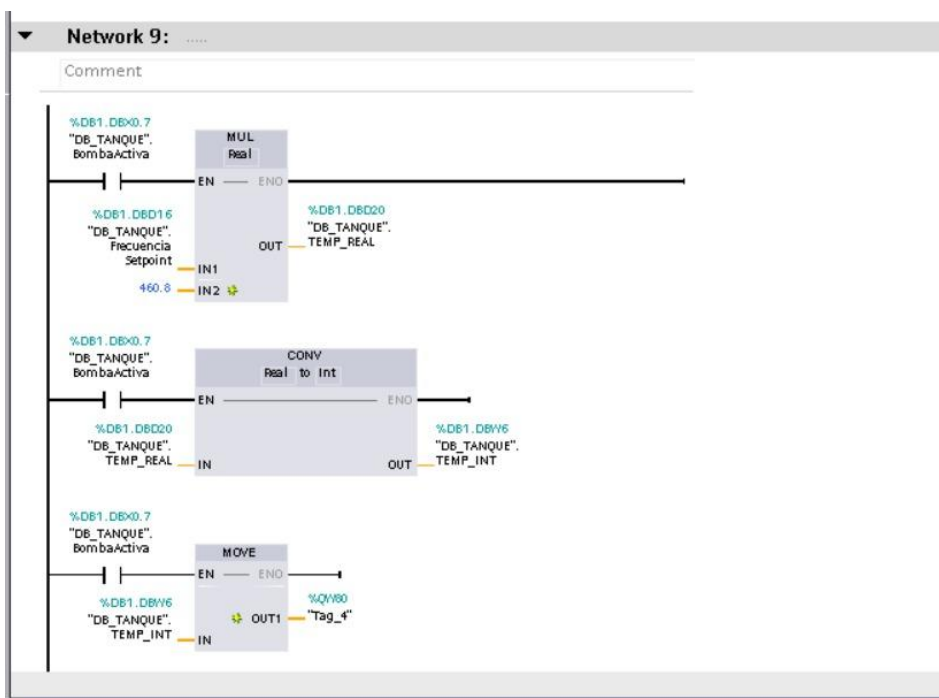


Ilustración 66 Network 9 PLC4

- **Network 10: Lectura y almacenamiento del nivel analógico del tanque**

Esta red transfiere el valor de la entrada analógica mediante la instrucción MOVE hacia la variable “NivelRaw”, esta operación permite almacenar el valor de la señal de nivel proveniente del sensor para su procesamiento o utilización dentro de la lógica del sistema.



Ilustración 67 Network 10 PLC4

- **Network 11: Normalización de la señal del nivel del tanque**

En esta red se realiza la normalización del valor del nivel mediante la instrucción “NORM_X”, convirtiendo el valor desde formato Int a Real dentro de un rango definido, el resultado se almacena en la variable “Nivel Normalizado”, permitiendo obtener una señal escalada en un rango estándar adecuado para el procesamiento o conversión.

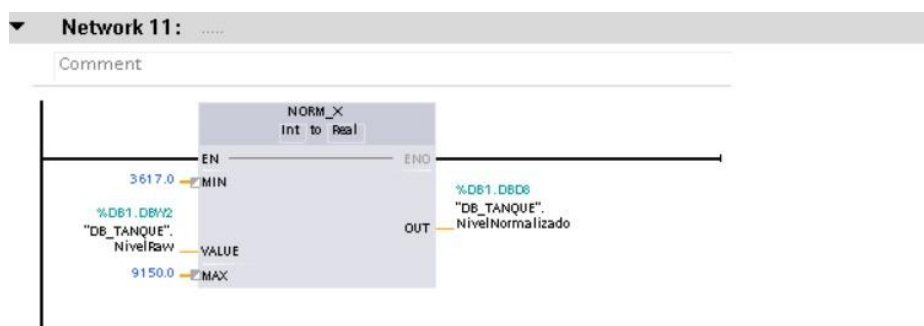


Ilustración 68 Network 11 PLC4

- **Network 12: Conversión del nivel a porcentaje**

Esta red utiliza la instrucción “SCALE_X” para convertir el valor “Nivel normalizado” en un valor porcentual dentro del rango de 0 a 100, almacenándolo. Este valor permite representar el nivel del tanque en porcentaje para su visualización y uso en el sistema.

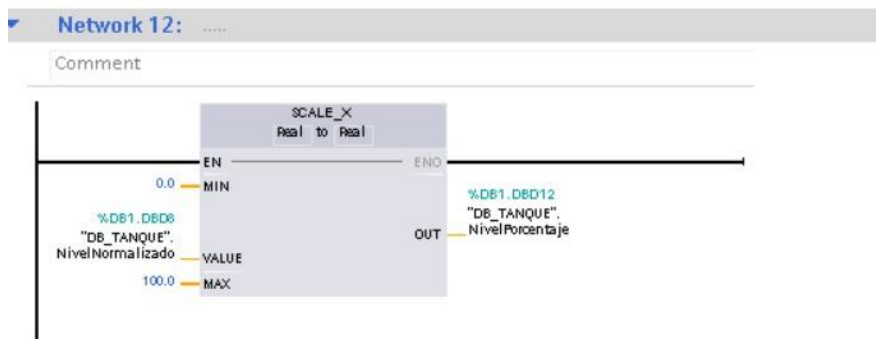


Ilustración 69 Network 12 PLC4

Con el fin de validar el comportamiento del sistema antes de implementarlo en el laboratorio, se usa la herramienta de simulación PLC SIM, la cual permite visualizar en tiempo real el estado de las variables y salidas del proceso. Mediante estas tablas de simulación, es posible identificar que señales están activas y como estas se traducen en el funcionamiento del sistema, incluyendo la activación de leds.

La primera parte de la prueba se basó en el sistema en modo manual:

- **Simulación 1: Condición inicial del sistema**

En la ilustración 55 de evidencia la tabla de simulación donde se puede observar la condición inicial del sistema antes de iniciar la operación de la bomba. En este caso los comandos se encuentran desactivados a excepción del “sistema listo” que se encuentra activo, indicando que el sistema está preparado para ser accionado. Las salidas se encuentran activas, lo que genera que los leds del montaje estén indicando que el sistema está listo (encendidos).

Name	Address	Displ...	Monitorf...	Bits
"DB_TANQUE".CmdManual	%DB1.DBX0.2	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".CmdAuto	%DB1.DBX0.3	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".StartBomba	%DB1.DBX0.4	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".StopBomba	%DB1.DBX0.5	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".ResetSistema	%DB1.DBX0.6	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".ModoManual	%DB1.DBX0.0	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".ModoAutomatico	%DB1.DBX0.1	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".NivelAlto	%DB1.DBX1.0	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".BombaActiva	%DB1.DBX0.7	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".SistemaListo	%DB1.DBX1.1	Bool	TRUE	
"DB_TANQUE".BlinkAux	%DB1.DBX1.4	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".NivelRaw	%DB1.DBW2	DEC+/-	0	
"DB_TANQUE".NivelNormalizado	%DB1.DBD8	Float...	-0.65371...	
"DB_TANQUE".NivelPorcentaje	%DB1.DBD12	Float...	-65.37141	
"DB_TANQUE".FrecuenciaSetpo...	%DB1.DBD16	Float...	25	
"DB_TANQUE".TEMP_REAL	%DB1.DBD20	Float...	11520	
"DB_TANQUE".TEMP_INT	%DB1.DBW6	DEC+/-	11520	
"Tag_3"	%Q0.0	Bool	TRUE	
"Tag_5"	%Q0.1	Bool	TRUE	
"Tag_6"	%Q0.2	Bool	TRUE	
"Tag_7"	%Q0.3	Bool	TRUE	

Ilustración 70 Tabla de simulación de la condición inicial del sistema



Ilustración 71 sistema listo

- **Simulación 2: Activación de la bomba en modo manual**

En esta simulación se puede observar la activación del sistema en modo manual con la bomba encendida, lo que indica que el control está a cargo del operador. Las salidas Q0.0 y Q0.3 se encuentran activas. En el montaje real esta condición genera la activación del piloto amarillo y azul correspondiente a las salidas, confirmando que visualmente la bomba está operando bajo el mando de un operario.

Siemens - C:\Users\USUARIO\Documents\SimulationProject2\Project2

Totally Integrated Automation
S7-PLCSIM V17

Online...

Options

Operator panel

Name	Address	Displ...	Monitor...	Bits
"DB_TANQUE".CmdManual	%DB1.DBX0.2	Bool	TRUE	
"DB_TANQUE".CmdAuto	%DB1.DBX0.3	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".StartBomba	%DB1.DBX0.4	B...	FALSE	
"DB_TANQUE".StopBomba	%DB1.DBX0.5	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".ResetSistema	%DB1.DBX0.6	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".ModoManual	%DB1.DBX0.0	Bool	TRUE	
"DB_TANQUE".ModoAutomatico	%DB1.DBX0.1	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".NivelAlto	%DB1.DBX1.0	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".BombaActiva	%DB1.DBX1.7	Bool	TRUE	
"DB_TANQUE".SistemaListo	%DB1.DBX1.1	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".BlinkAux	%DB1.DBX1.4	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".NivelRaw	%DB1.DBW2	DEC+	0	
"DB_TANQUE".NivelNormalizado	%DB1.DBD8	Float...	-0.65371...	
"DB_TANQUE".NivelPorcentaje	%DB1.DBD12	Float...	-65.37141	
"DB_TANQUE".FrecuenciaSetpo...	%DB1.DBD16	Float...	25	
"DB_TANQUE".TEMP_REAL	%DB1.DBD20	Float...	11520	
"DB_TANQUE".TEMP_INT	%DB1.DBW6	DEC+	11520	
"Tag_3"	%Q0.0	Bool	FALSE	
"Tag_5"	%Q0.1	Bool	TRUE	
"Tag_6"	%Q0.2	Bool	FALSE	
"Tag_7"	%Q0.3	Bool	TRUE	

PLC_4 [CPU 1212C D...]

RUN / STOP

ERROR

MAINT

X1

Ilustración 72 Tabla de simulación de la activación de la bomba en modo manual



Ilustración 73 Activación de la bomba en modo manual

- **Simulación 3: Activación del nivel alto en modo manual**

En la ilustración 74 se puede observar la tabla de simulación donde el sistema sigue operando en modo manual, con la condición de nivel alto del tanque activa, aquí se encuentran activas las salidas Q0.0 y Q0.1. En el montaje físico se puede evidenciar que se encuentra encendido en nivel alto (piloto rojo) y el modo manual (piloto amarillo), indicando que el tanque ha alcanzado el nivel máximo mientras el sistema se encuentra en modo manual.

Name	Address	Displ.	Monitor	Bits
"DB_TANQUE" CmdManual	%DB1.DBX0.2	Bool	TRUE	
"DB_TANQUE" CmdAuto	%DB1.DBX0.3	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE" StartBomba	%DB1.DBX0.4	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE" StopBomba	%DB1.DBX0.5	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE" ResetSistema	%DB1.DBX0.6	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE" ModoManual	%DB1.DBX0.0	Bool	TRUE	
"DB_TANQUE" ModoAutomatico	%DB1.DBX0.1	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE" NivelAlto	%DB1.DBX1.0	Bool	TRUE	
"DB_TANQUE" BombaActiva	%DB1.DBX0.7	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE" SistemaListo	%DB1.DBX1.1	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE" BlinkAux	%DB1.DBX1.4	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE" NivelRaw	%DB1.DBW2	DEC	0	
"DB_TANQUE" NivelNormalizado	%DB1.DBD8	Float	-0.45371...	
"DB_TANQUE" NivelPorcentaje	%DB1.DBD12	Float	-65.37141	
"DB_TANQUE" FrecuenciaSetpo...	%DB1.DBD16	Float	25	
"DB_TANQUE" TEMP_REAL	%DB1.DBD20	Float	11520	
"DB_TANQUE" TEMP_INT	%DB1.DBW6	DEC	11520	
"Tag_3"	%Q0.0	Bool	TRUE	
"Tag_5"	%Q0.1	Bool	TRUE	
"Tag_6"	%Q0.2	Bool	FALSE	
"Tag_7"	%Q0.3	Bool	FALSE	

Ilustración 74 Tabla de simulación activación de nivel alto en modo manual

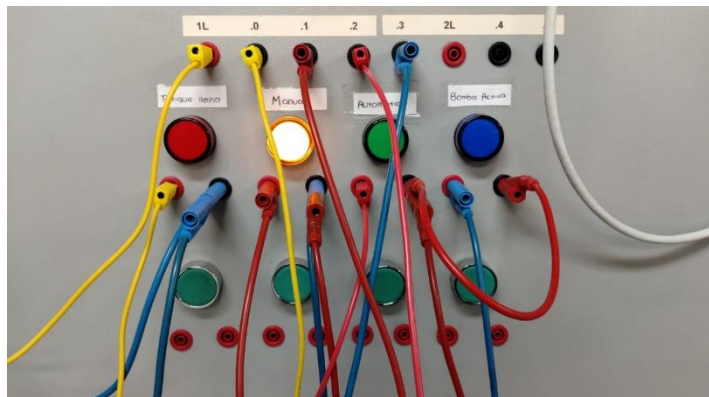


Ilustración 75 Activación de nivel alto en modo manual

Finalmente se realizaron unas pruebas con el modo automático activo

- **Simulación 4: Activación de la bomba en modo automático**

Esta simulación permite observar que el sistema está operando en modo automático, con la bomba activa durante el proceso de control del nivel del tanque. En este estado se encuentran activas las salidas de modo automático (piloto verde) y bomba en funcionamiento (piloto azul) indicando que el sistema está en modo automático.

Name	Address	Displ...	Monitor...	Bits
"DB_TANQUE".CmdManual	%DB1.DBX0.2	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".CmdAuto	%DB1.DBX0.3	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".StartBomba	%DB1.DBX0.4	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".StopBomba	%DB1.DBX0.5	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".ResetSistema	%DB1.DBX0.6	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".ModoManual	%DB1.DBX0.0	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".ModoAutomatico	%DB1.DBX0.1	Bool	TRUE	
"DB_TANQUE".NivelAlto	%DB1.DBX1.0	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".BombaActiva	%DB1.DBX1.1	Bool	TRUE	
"DB_TANQUE".SistemaListo	%DB1.DBX1.1	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".BlinkAux	%DB1.DBX1.4	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".NivelRaw	%DB1.DBW2	DEC+	0	
"DB_TANQUE".NivelNormalizado	%DB1.DBW8	Float...	-0.65371...	
"DB_TANQUE".NivelPorcentaje	%DB1.DBW12	Float...	-65.37141	
"DB_TANQUE".FrecuenciaSetpo...	%DB1.DBW16	Float...	25	
"DB_TANQUE".TEMP_REAL	%DB1.DBW20	Float...	11520	
"DB_TANQUE".TEMP_INT	%DB1.DBW6	DEC+	11520	
"Tag_3"	%Q0.0	Bool	FALSE	
"Tag_5"	%Q0.1	Bool	FALSE	
"Tag_6"	%Q0.2	Bool	TRUE	
"Tag_7"	%Q0.3	Bool	TRUE	

Ilustración 76 Tabla de simulación activación de la bomba en modo automático



Ilustración 77 Activación de la bomba en modo automático

- **Simulación 5: Nivel alto del tanque en modo automático**

En esta simulación se puede observar el sistema operando en modo automático con la condición de nivel alto del tanque activa. Esto mantiene encendida la señalización de modo automático (piloto verde) junto con el indicador de nivel alto (piloto rojo), indicando que el tanque ha alcanzado el nivel máximo durante la operación automática.

Name	Address	Displ.	Monitor	Bits
"DB_TANQUE".CmdManual	%DB1.DBX0.2	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".CmdAuto	%DB1.DBX0.3	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".StartBomba	%DB1.DBX0.4	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".StopBomba	%DB1.DBX0.5	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".ResetSistema	%DB1.DBX0.6	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".ModoManual	%DB1.DBX0.0	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".ModoAutomatico	%DB1.DBX0.1	Bool	TRUE	
"DB_TANQUE".NivelAlto	%DB1.DBX1.0	Bool	TRUE	
"DB_TANQUE".BombaActiva	%DB1.DBX0.7	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".SistemaListo	%DB1.DBX1.1	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".BlinkAux	%DB1.DBX1.4	Bool	FALSE	
"DB_TANQUE".NivelRaw	%DB1.DBW2	DEC	0	
"DB_TANQUE".NivelNormalizado	%DB1.DBD8	Float	-0.65371	
"DB_TANQUE".NivelPorcentaje	%DB1.DBD12	Float	-65.37141	
"DB_TANQUE".FrecuenciaSetpo...	%DB1.DBD16	Float	25	
"DB_TANQUE".TEMP_REAL	%DB1.DBD20	Float	11520	
"DB_TANQUE".TEMP_INT	%DB1.DBW6	DEC	11520	
"Tag_3"	%Q0.0	Bool	TRUE	
"Tag_5"	%Q0.1	Bool	FALSE	
"Tag_6"	%Q0.2	Bool	TRUE	
"Tag_7"	%Q0.3	Bool	FALSE	

Ilustración 78 Tabla de simulación nivel alto del tanque en modo automático.



Ilustración 79 Nivel alto del tanque en modo automático

Se logro verificar el correcto funcionamiento de la lógica de control del sistema, observando que cuando el sensor de boya de nivel alto se activa, el PLC detiene la operación de la bomba al alcanzarse el nivel máximo del tanque. Finalmente, al desactivarse el sensor de boya, indicando la simulación del nivel del líquido, el PLC vuelve a ordenar automáticamente el arranque de la bomba, restableciendo el sistema.

2. Prueba real

Con el fin de validar el funcionamiento del sistema, se realizó una prueba experimental sobre la implementación física de la red de PLC, el sistema de bombeo, los sensores de nivel, el variador de frecuencia y la interfaz de control. Durante esta prueba se verifico la comunicación entre los controladores, la correcta ejecución de los modos de operación y manual y la respuesta de los dispositivos de señalización y control frente a las diferentes condiciones del sistema.

Esta prueba se llevo a cabo de la siguiente manera:

1. Verificación de la arquitectura del sistema

Inicialmente se realizó la verificación de la conexión de los tres PLC que conforman el sistema. El PLC1 fue configurado como estación de señalización este se encarga de indicar visualmente el estado del proceso mediante leds. El PL2 es el encargado de las funciones de mando, recibe las señales provenientes de los pulsadores de los modos tanto manual como automático, encendido, apagado y reset. Finalmente, el PLC3 se utilizó como controlador principal del proceso, encargado de gestionar las señales de los sensores, controla la bomba mediante el variador de frecuencia y coordina la operación general del sistema.

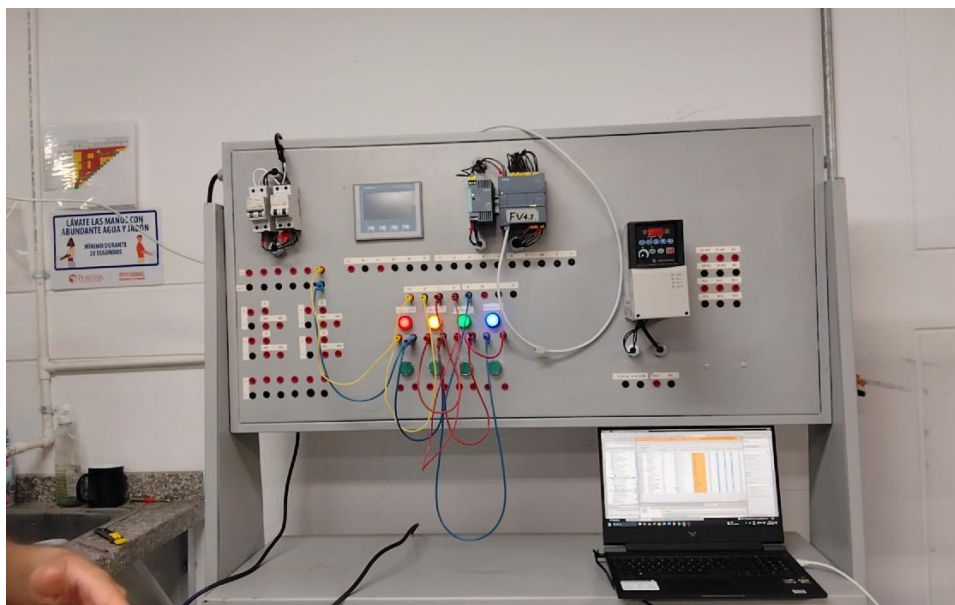


Ilustración 80 PLC1

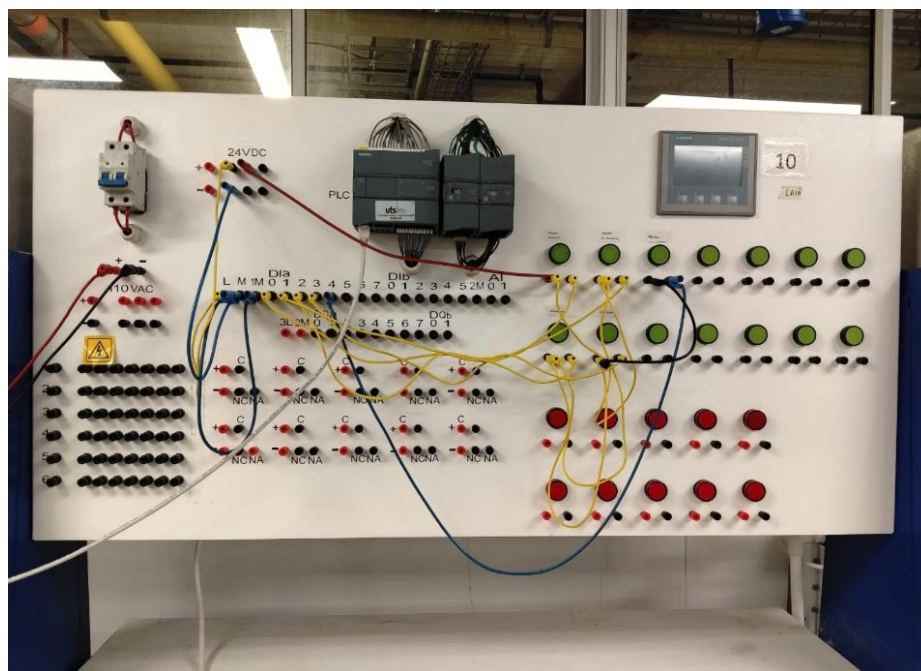


Ilustración 81 PLC2

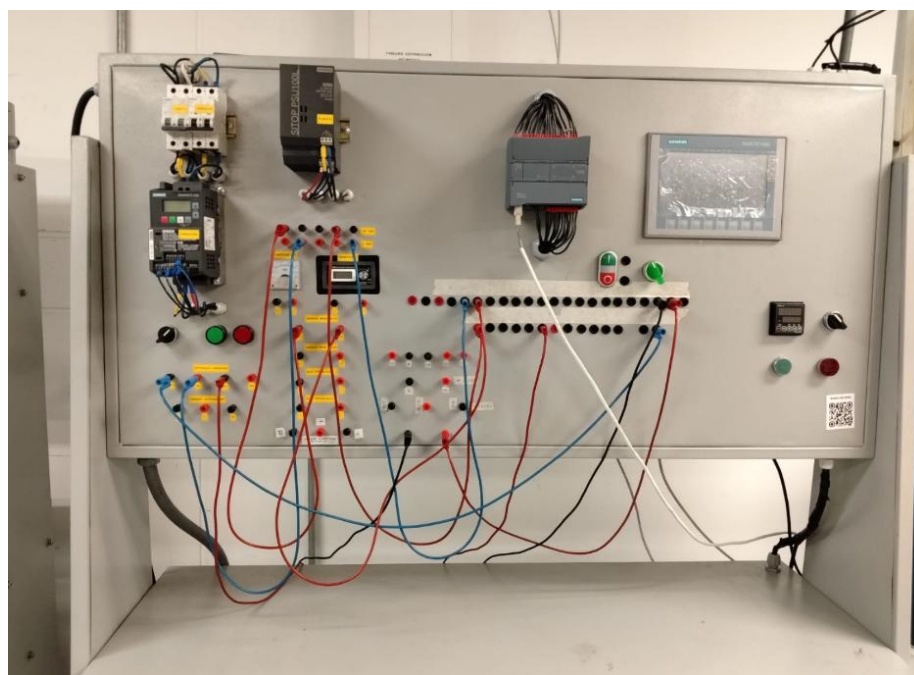


Ilustración 82 PLC3

Asimismo, se comprobó el funcionamiento de la red de comunicación configurada en TIA Portal, donde el PLC3 actúa como controlador principal intercambiando información con los PLC de señalización y mando.

2. Prueba de modo automático

Luego de establecer la comunicación entre los dispositivos, se configuro la frecuencia de operación a 60 Hz para el variador de frecuencia y se verifiko que el sistema se encontrara en estado de espera. Se observo que los leds se encontraban encendidos lo que indica que el sistema está listo para operar.

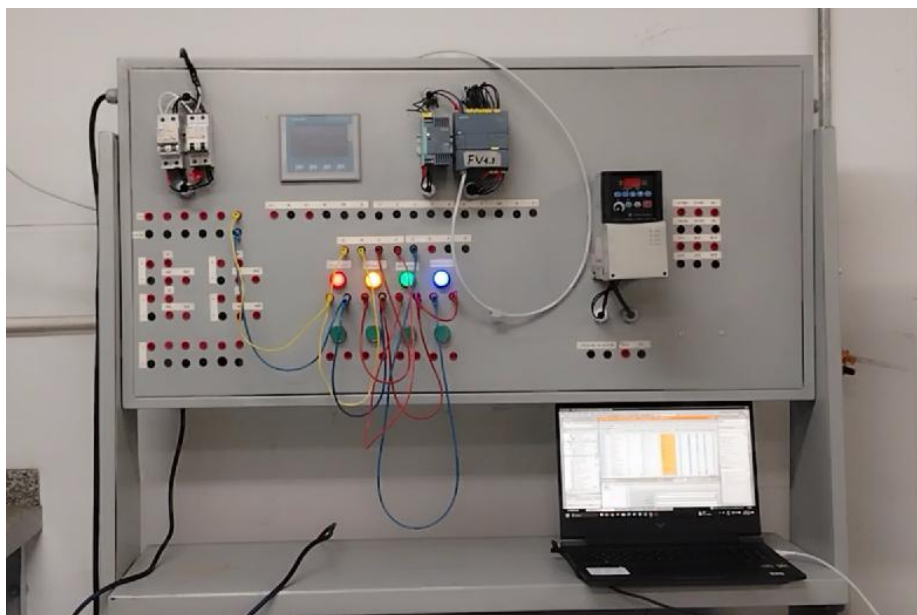


Ilustración 83 Verificación de los leds

Posteriormente, se seleccionó el modo automático desde la estación de mando (PLC2), al accionar el pulsador el sistema activo automáticamente la bomba y el indicador correspondiente al modo automático, de manera simultánea el tanque

inicio su proceso de llenado mientras el variador operaba a la frecuencia establecida.

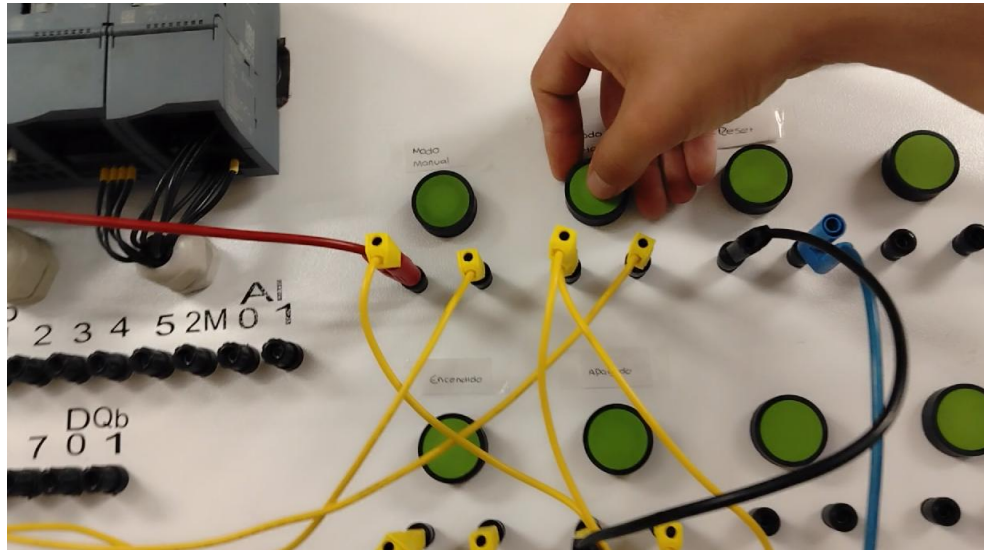


Ilustración 84 Activación modo automático

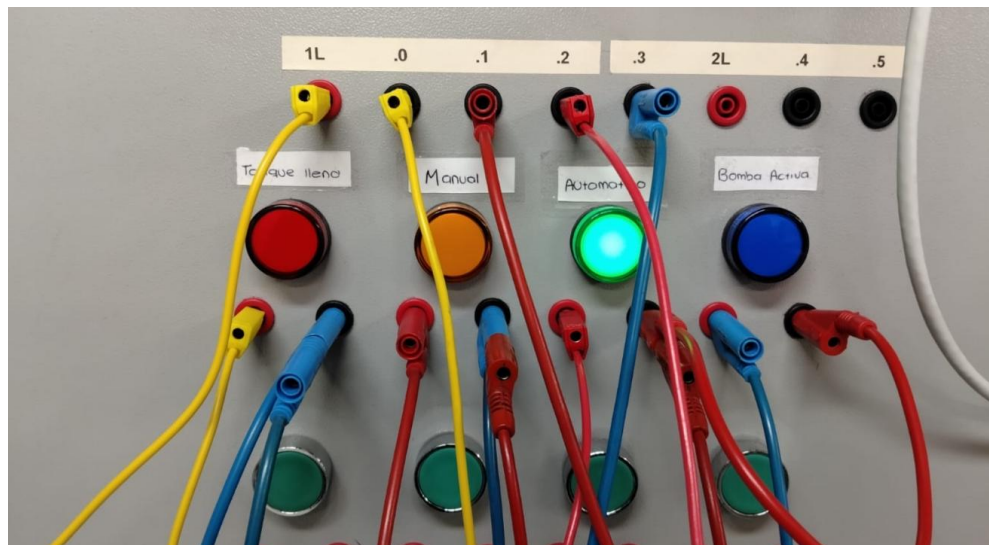


Ilustración 85 Identificación modo automático

Durante el llenado se monitoreo continuamente el nivel del tanque mediante el sensor de presión instalado en el sistema, una vez alcanzo el nivel máximo y activo la boya de nivel superior, el PLC deshabilita automáticamente la bomba y activa la

señalización de tanque lleno, evidenciando el correcto funcionamiento de las protecciones implementadas.

3. Prueba de modo manual

Posteriormente se realizó el mismo procedimiento, pero con modo manual, para esto se acciono el pulsador correspondiente a este modo y se observó la activación del led asignado a este.

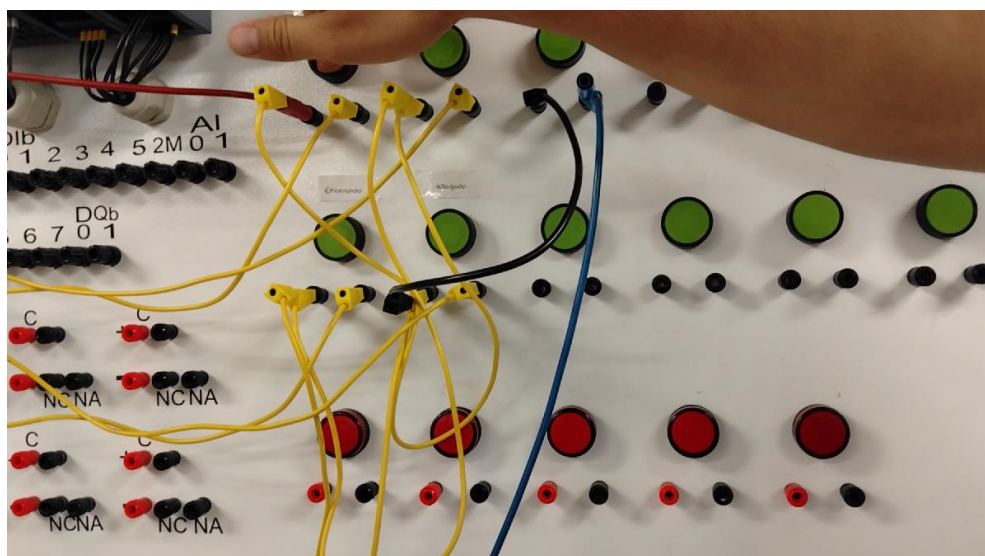


Ilustración 86 Activación modo manual

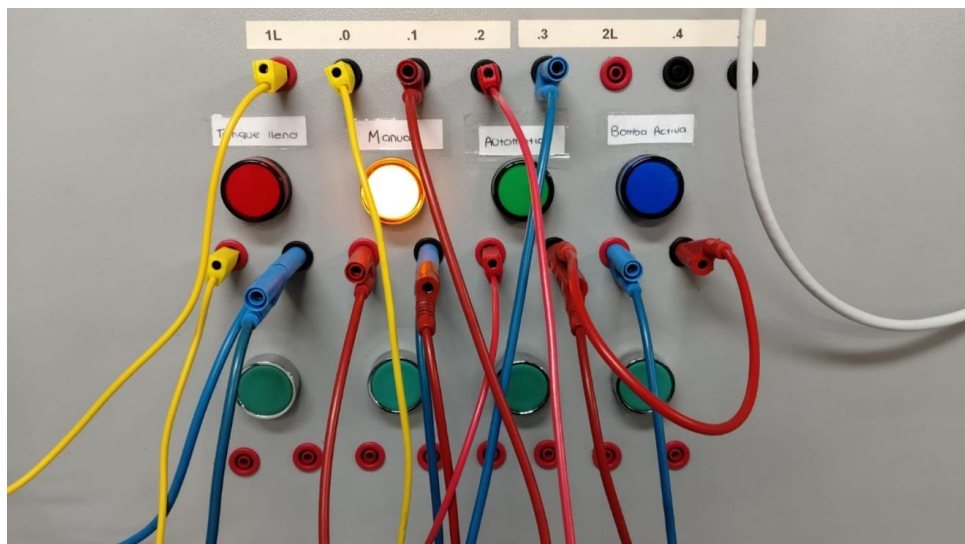


Ilustración 87 Identificación modo manual

Finalmente, el tanque alcanzo nuevamente el nivel máximo, al activarse el sensor de nivel superior, la bomba fue detenida y se activó la señalización correspondiente, confirmando el correcto funcionamiento de las condiciones de seguridad implementadas en el modo de operación.

4. Resultados

Durante las pruebas realizadas se verifico el correcto intercambio de información entre los PLC a través de la red configurada, también se pudo comprobar el funcionamiento de los sensores de nivel, la respuesta del variador de frecuencia, la activación de la bomba y la correcta operación de los leds.

En los resultados obtenidos durante la prueba se pudo evidenciar que el sistema ejecuta correctamente las secuencias de control definida para los modos tanto manual como automático, garantizando la supervisión del nivel del tanque y la detención segura del proceso cuando se alcanza el nivel máximo.

5. RESULTADOS

Para este proyecto se desarrollará una interfaz gráfica intuitiva y de fácil usabilidad, que permita supervisar de manera on line las variables del sistema, presentando los estados y valores de las señales analógicas y digitales. Finalmente se entregará el formato Fd-c 125 solicitado por la institución, el cual tendrá información relevante del proyecto, incluyendo planos y documentación necesaria para el correcto uso de la interfaz.

6. CONCLUSIONES

El desarrollo de este proyecto permitió evidenciar que la implementación de una arquitectura bien distribuida y basada en múltiples controladores lógicos programables permite una buena organización funcional del sistema, al segmentar la parte de control, mando y señalización. Esta estructura contribuye a mejorar la trazabilidad de las variables del proceso y permite además identificar de manera más fácil las fallas que se encuentren en el sistema.

Por otro lado, el tratamiento de las señales analógicas constituye una parte fundamental dentro del sistema de control, teniendo en cuenta que la correcta interpretación de las variables depende de un escalamiento adecuado y una normalización de las señales. La implementación de funciones específicas dentro del PLC permitió convertir las señales de los sensores en variables coherentes para la lógica definida.

Se evidencio la importancia de la validación previa de los dispositivos y conexiones antes de implementar la lógica de control, pues permite identificar inconsistencias en el comportamiento de los equipos, lo que reduce errores durante la etapa de programación.

Finalmente, el diseño de la interfaz permitió establecer una representación clara del estado del proceso, facilitando la interacción entre el operador y el sistema, esto además permite observar la importancia de integrar herramientas visuales en procesos industriales, como complemento al control implementado a nivel de campo.

7. RECOMENDACIONES

Para un próximo proyecto o una próxima versión de este se recomienda ampliar el sistema implementado otros protocolos de comunicación, con el fin de poder comparar el desempeño y fortaleciendo el alcance técnico del proyecto, además sería importante integrar una base de datos o un sistema SCADA un poco más robusto que permita almacenar variables y el análisis de tendencia del proyecto.

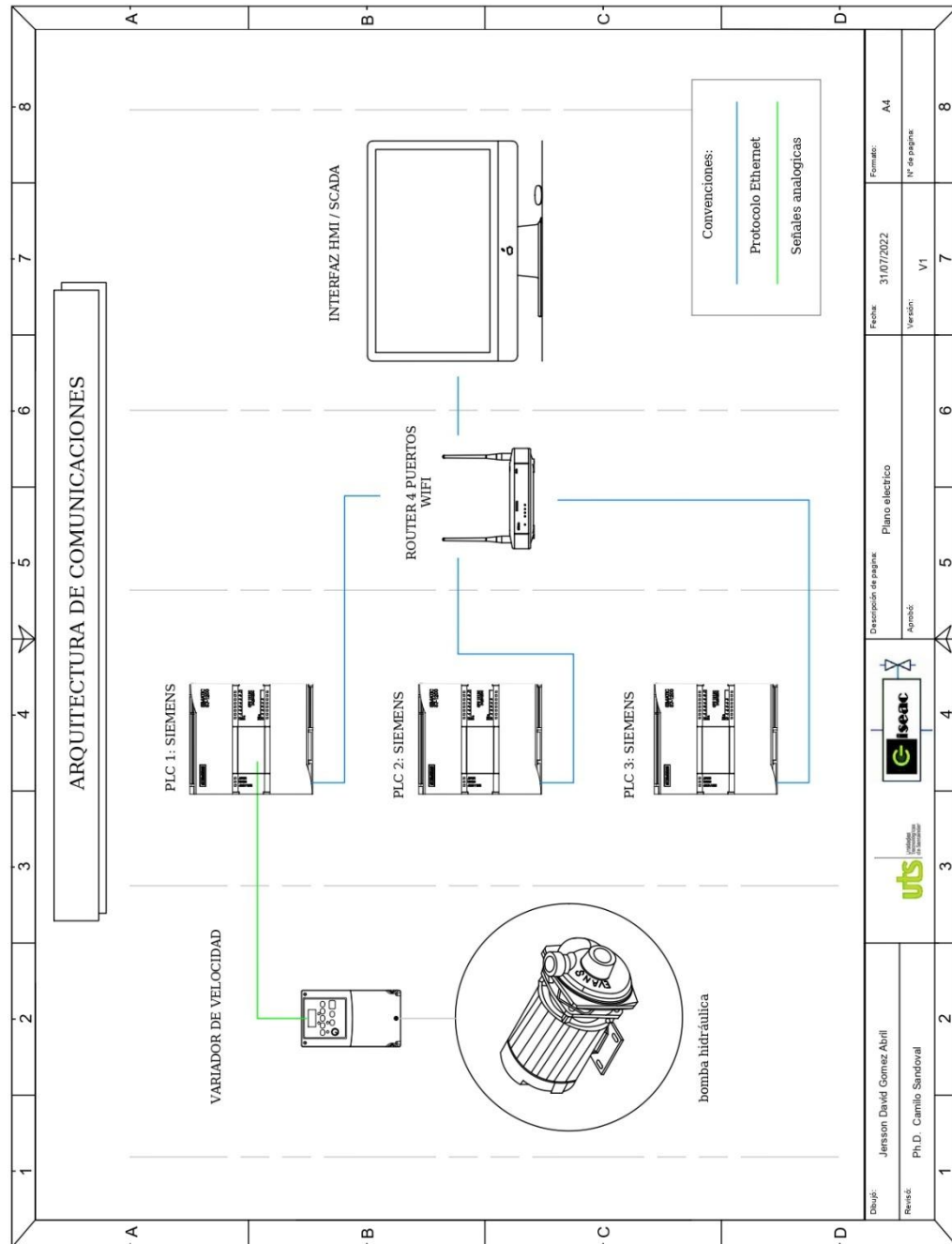
Por otro lado, desde el punto de vista de seguridad, se sugiere implementar medidas básicas de ciberseguridad, como segmentación de red y control de accesos, considerando la integración entre PLC. Red Ethernet y servidor web, esto para procesos industriales.

Finalmente, con respecto al ámbito académico, se recomienda fortalecer la infraestructura del laboratorio mediante la adquisición de equipos y herramientas de supervisión industrial, para así poder fortalecer el conocimiento real y permitir que en futuros trabajos los estudiantes puedan continuar desarrollando arquitecturas de control distribuidos un poco más avanzados.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Sebastián, R. P. J. (2018, 3 septiembre). *Implementación de un sistema SCADA para el control de una micro red inteligente en zona rural*. <https://repository.udistrital.edu.co/items/8f65a9cb-389c-4639-9603-7a0e69c72c8e>
- Mahmood, J. (2020). Implementación basada en PLC/HMI de una plataforma de relés de protección para sistemas de potencia educativos en tiempo real. *Electronics*. <https://www.mdpi.com/2079-9292/9/1/118>
- Amaya, F. O. (2015). *Diseño conceptual de un sistema scada para micro redes inteligentes : UPB*. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/2521?locale-attribute=en>
- Jhonnathan, G. A. (2018, 3 septiembre). *Diseño de Sistema Scada en Labview para Supervisión del Consumo de Diesel y Eficiencia Energética para Generadores Eléctricos con Entradas Simuladas*. <https://repository.udistrital.edu.co/items/f1511742-5087-4df6-81b6-bf65fdc7c5c0>
- Enrique, R. R. L. (2012). *Plataforma de Comunicaciones para la complementación del sistema scada en los centros de control de operaciones de las empresas de distribución eléctrica Norte-Centro*. Repositorio Institucional de la Universidad Ricardo Palma. <https://repositorio.urp.edu.pe/entities/publication/b434101c-152a-4c53-940c-09a599d1cd1f>
- Gabriela, M. F. M. (2023, 1 julio). *Implementación de módulo didáctico para el uso de PLC's, Redes Industriales y HMI*. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/5084>
- Ministerio de Minas y Energía. (2013). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)*.
- Boyle, G. (2015). *Industrial Control Systems and SCADA Security*.
- Snap7. (2023). *Snap7: An Ethernet communication suite for interfacing natively with Siemens S7 PLCs*. Recuperado de <http://snap7.sourceforge.net>
- Siemens. (2023). *SIMATIC S7 communication and TIA Portal Openness*. Siemens AG. Recuperado de <https://support.industry.siemens.com>

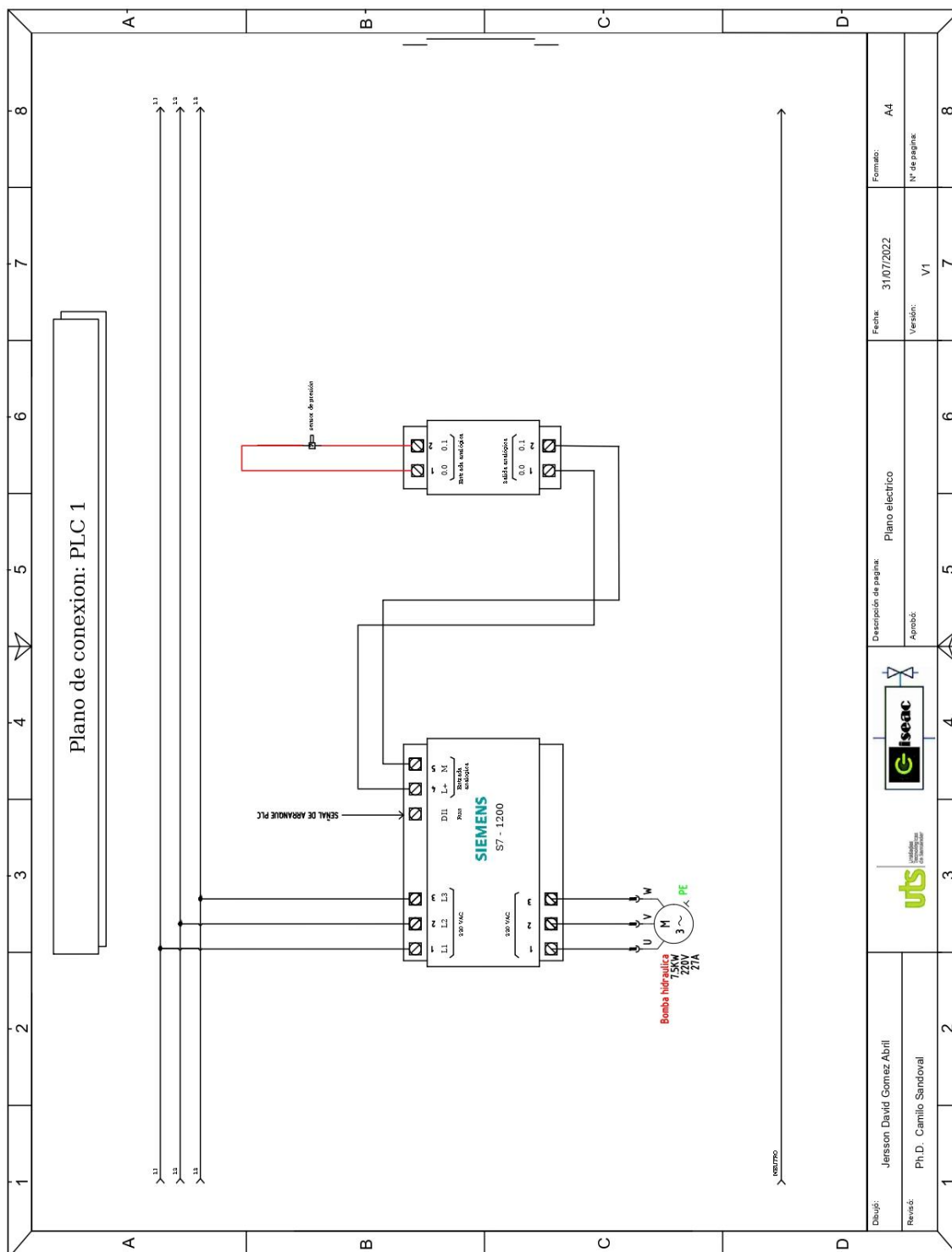
9. ANEXOS



ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

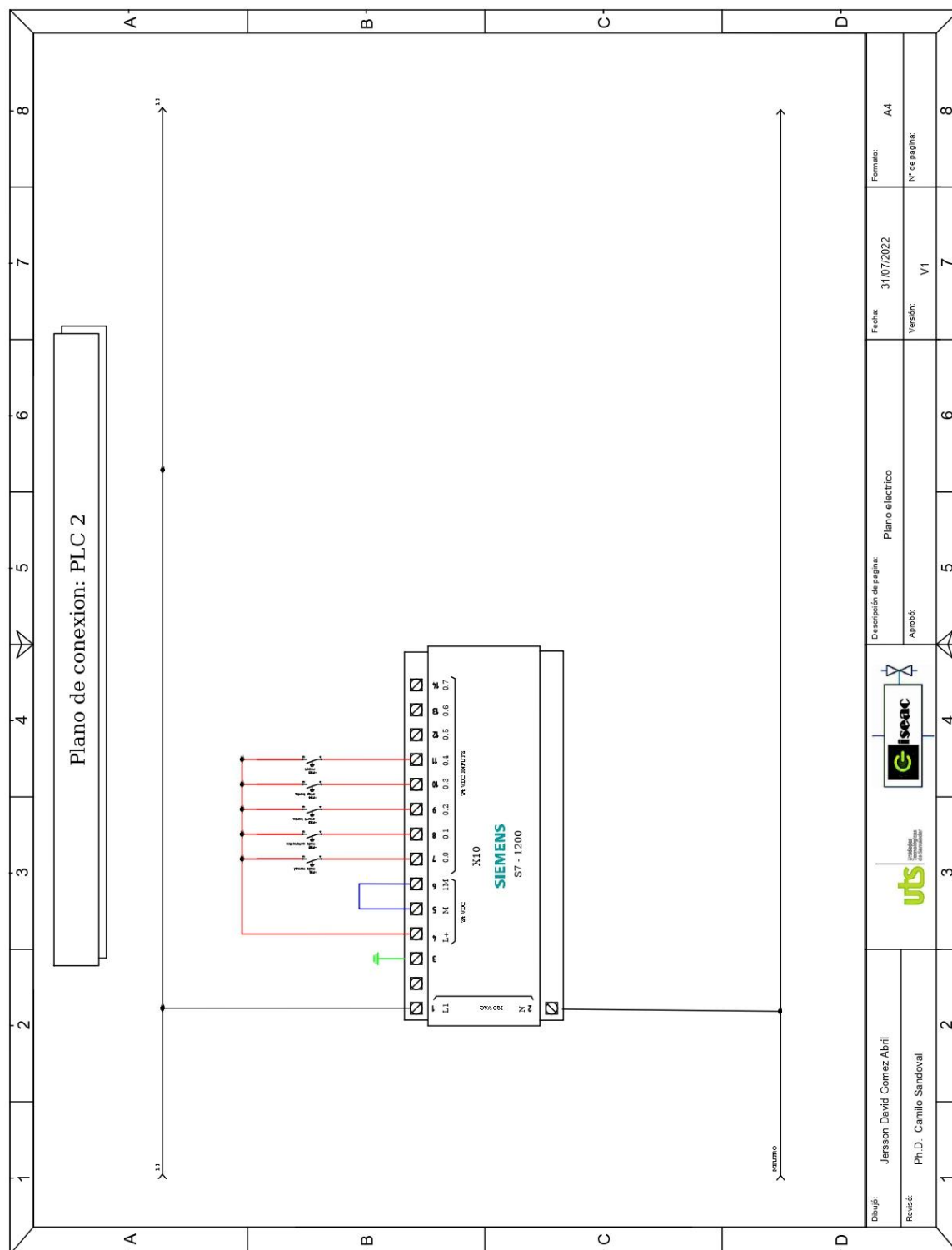
APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023



ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

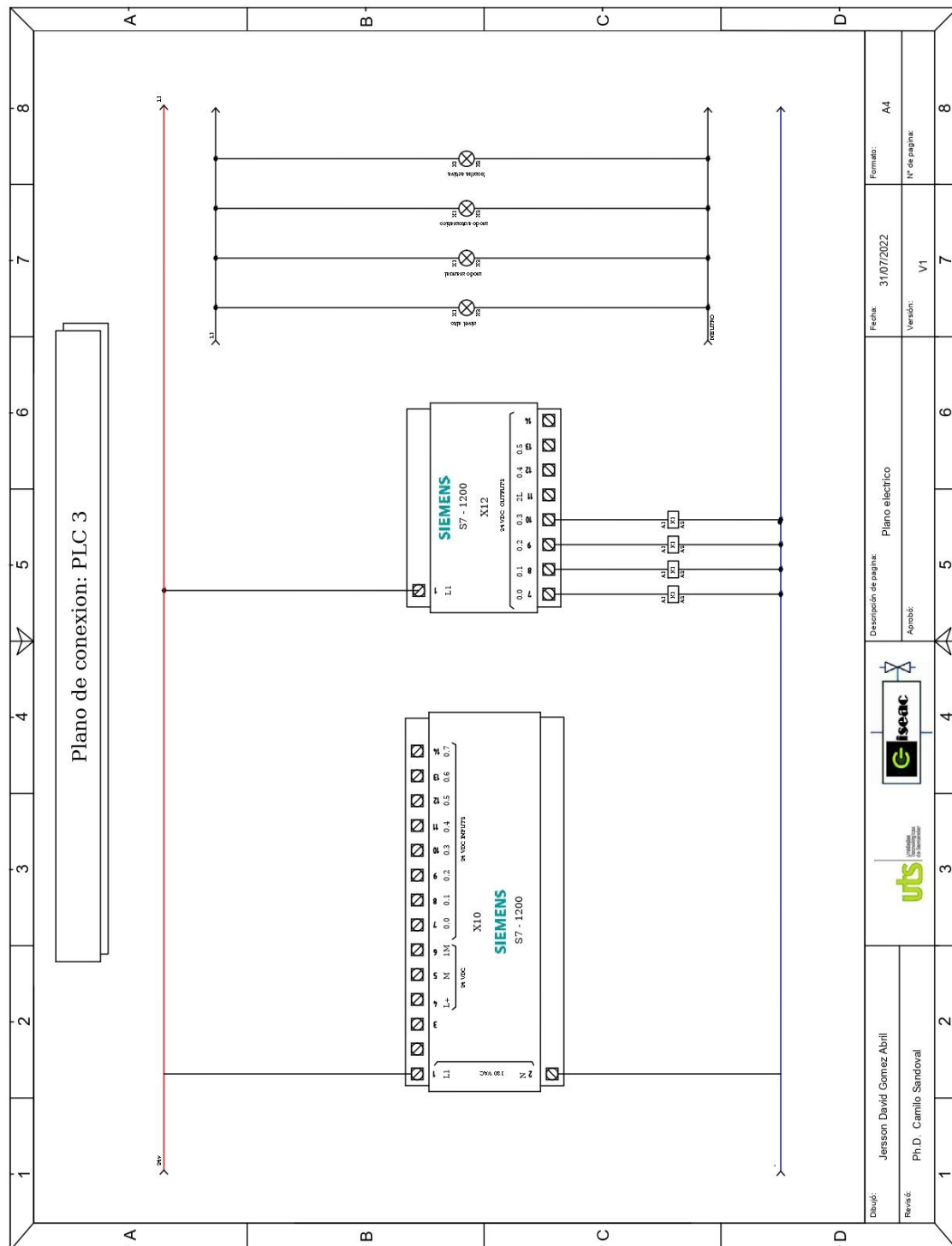
APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023



ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023



 Unidades Tecnológicas de Santander	INGENIERIA ELECTROMECHANICA MATERIA: AUTOMATIZACIÓN DOCENTE: Ing. Camilo Sandoval. M.Sc. Ph.D (c)
PRÁCTICA IMPLEMENTACIÓN DE INTERFAZ HMI/SCADA MEDIANTE NODE-RED PARA SUPERVISIÓN DE MICRO RED DE PLC SIEMENS S7-1200	

Justificación de la Práctica

En los sistemas modernos de automatización industrial, la supervisión en tiempo real de variables de proceso es un aspecto fundamental para garantizar operación segura, monitoreo eficiente y toma de decisiones oportuna. La integración entre PLC y plataformas HMI/SCADA permite visualizar estados del sistema, variables analógicas y digitales, alarmas y parámetros de control desde una interfaz centralizada.

Node-RED es una herramienta de desarrollo basada en flujos que facilita la comunicación entre dispositivos industriales y entornos web, permitiendo la adquisición, procesamiento y visualización de datos de forma intuitiva mediante dashboards interactivos.

En la presente guía se realizará la implementación de una interfaz de supervisión usando **Node-RED**, estableciendo comunicación con PLC Siemens S7-1200 mediante Ethernet industrial, permitiendo visualizar variables del proceso como nivel del tanque, estados de operación y frecuencia de trabajo del variador.

Objetivo del laboratorio

Implementar una interfaz HMI/SCADA mediante Node-RED para supervisar variables analógicas y digitales de una micro red de PLC Siemens S7-1200.

Objetivos específicos de la práctica de laboratorio

- Configurar Node-RED en el computador de supervisión.
- Establecer comunicación Ethernet con PLC Siemens S7-1200.
- Configurar nodos de lectura de variables.
- Diseñar dashboard HMI para visualización de variables.
- Verificar la supervisión en tiempo real del sistema.

Competencias adquiridas en el desarrollo de la práctica

El estudiante, al terminar la práctica, estará en capacidad de implementar una interfaz de supervisión basada en Node-RED para sistemas industriales, configurando nodos de comunicación, lectura de variables y dashboards interactivos. Además, podrá integrar PLC Siemens con entornos HMI/SCADA modernos basados en tecnologías web.

Herramientas de Trabajo

- PLC Siemens S7-1200
- Switch Ethernet industrial
- Computador
- TIA Portal V17
- Node-RED
- Cable Ethernet RJ45
- Fuente 24 VDC

Planteamiento del laboratorio

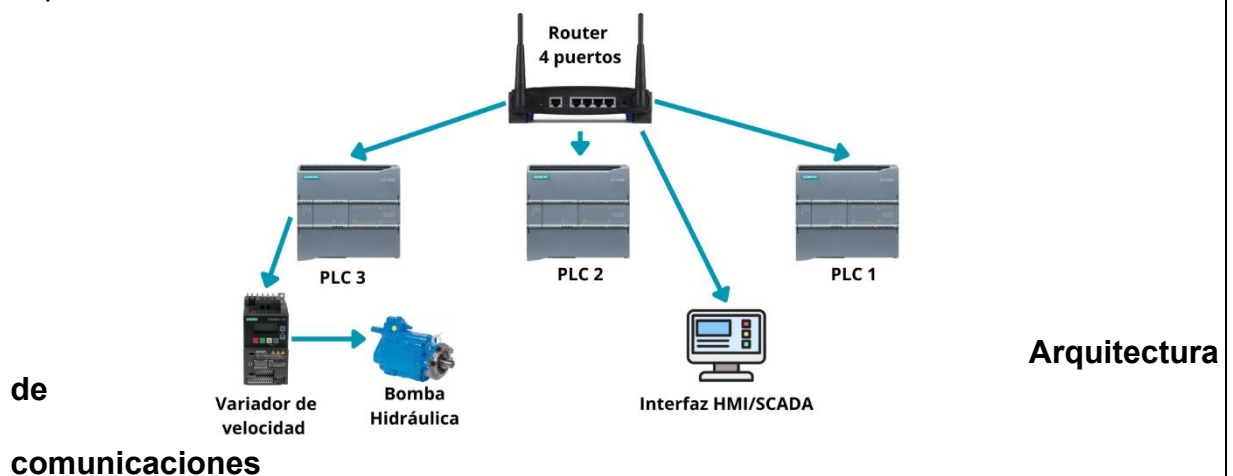
Topología del sistema

La arquitectura implementada está compuesta por tres PLC Siemens S7-1200 conectados mediante una red Ethernet industrial y una estación de supervisión donde se ejecuta Node-RED.

Cada PLC cumple una función específica dentro del sistema:

- PLC 1 (192.168.0.1): PLC de proceso encargado del control del tanque y variador.
- PLC 2 (192.168.0.2): PLC maestro encargado de la lógica de control.
- PLC 3 (192.168.0.3): PLC de señalización encargado de alarmas y estados visuales.

Node-RED se ejecuta en el computador y actúa como interfaz HMI/SCADA para supervisión del sistema.

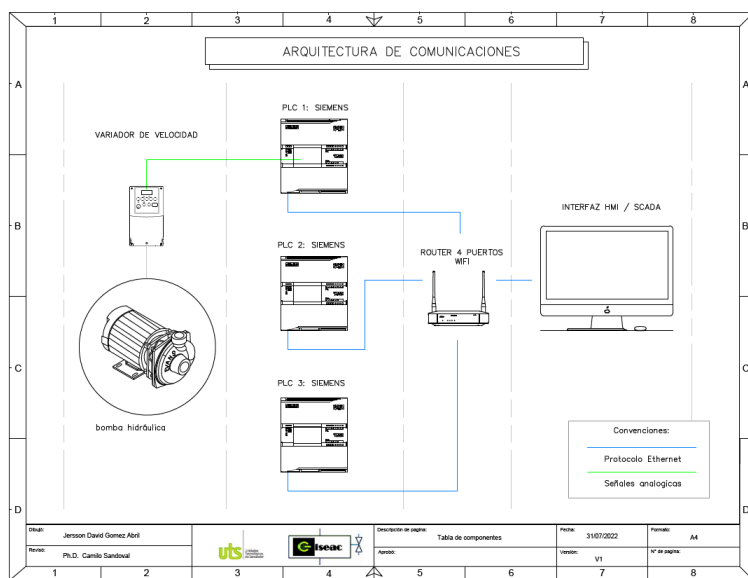


El sistema utiliza una arquitectura basada en:

- Ethernet industrial
- Protocolo TCP/IP
- Comunicación PLC–PC
- Dashboard web Node-RED

Esta arquitectura permite:

- Supervisión centralizada
- Monitoreo remoto
- Visualización en tiempo real
- Interacción HMI



PROCEDIMIENTO

1. Configuración de la red

Verificar que todos los PLC y el computador se encuentren conectados al switch Ethernet industrial.

Validar:

- Alimentación de PLC
- Comunicación Ethernet
- Direcciones IP correctas
- Conectividad de red

Configuración IP:

Dispositivo Dirección IP

PLC1 192.168.0.1

PLC2 192.168.0.2

PLC3 192.168.0.3

PC 192.168.0.100

Todos los equipos deben compartir la misma subred.

Node.js — Previous Releases

nodejs.org/en/about/previous-releases

About Node.js®
Project Governance
Previous Releases
Security Reporting
Get Involved
Get Involved
Collaborator Summit
Upcoming Events
Contribute to Node.js

Major Node.js versions enter **Current** release status for six months, which gives library authors time to add support for them. After six months, odd-numbered releases (9, 11, etc.) become unsupported, and even-numbered releases (10, 12, etc.) move to **Active LTS** status and are ready for general use. **LTS** release status is "long term support", which typically guarantees that critical bugs will be fixed for a total of 30 months. Production applications should only use **Active LTS** or **Maintenance LTS** releases.

Release Schedule

Full details regarding Node.js release schedule are available on GitHub.

Looking for latest release of a version branch?

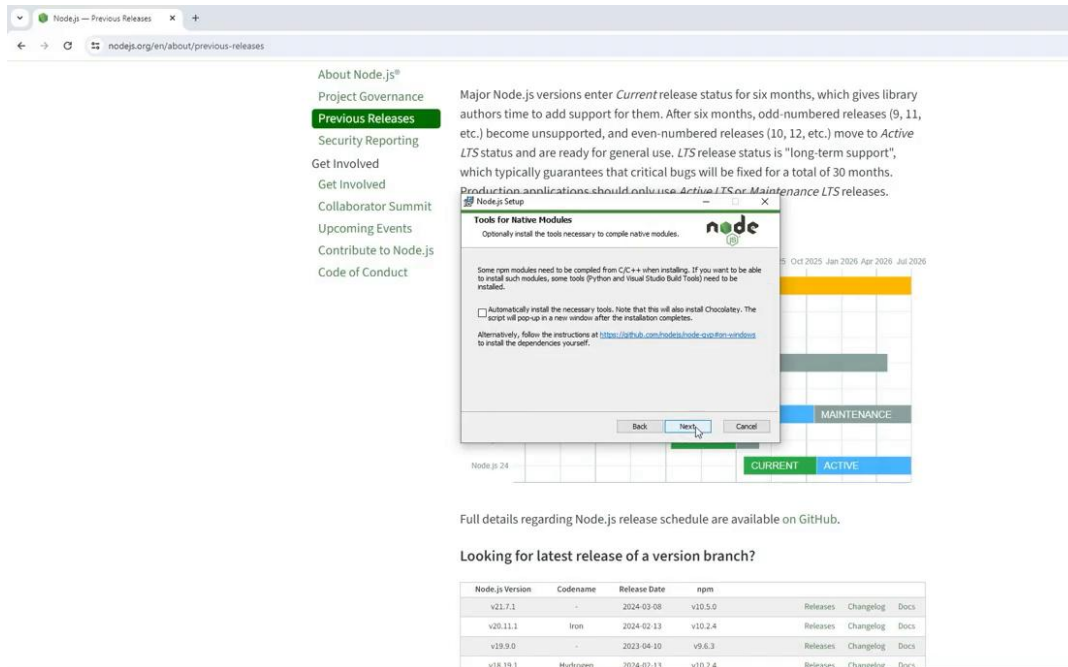
Node.js Version	Codename	Release Date	npm	Releases	Changing	Docs
v21.7.2	-	2024-03-08	v10.8.0	Releases	Changing	Docs
v20.11.1	Iron	2024-02-13	v10.2.4	Releases	Changing	Docs
v19.9.0	-	2023-04-10	v10.6.2	Releases	Changing	Docs
v18.18.2	Wolfpack	2024-02-13	v10.2.4	Releases	Changing	Docs

2. Instalar Node.js en Windows

Ejecute el instalador descargado y avance por el asistente. Mantenga las opciones predeterminadas, a menos que su organización requiera una configuración diferente. En una de las pantallas el instalador ofrece instalar herramientas adicionales necesarias para compilar módulos nativos.

2.1. Abrir el Símbolo del sistema

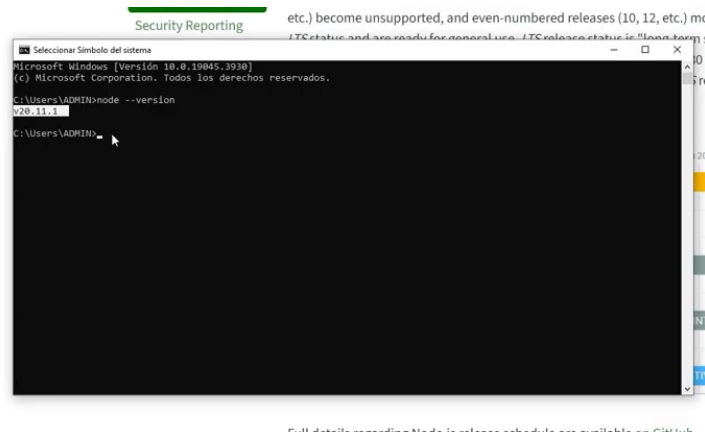
Abra el menú Inicio de Windows y busque "Símbolo del sistema" o "CMD". Después de instalar Node.js, la consola debe reconocer el comando node.



2.2 Verificar la instalación de Node.js

En CMD ejecute el siguiente comando. Si la instalación fue correcta, se mostrará el número de versión instalado.

node --version



2.3 Verificar npm

npm es el administrador de paquetes utilizado para instalar Node-RED. Compruebe que también está disponible.



```

Microsoft Windows [Versión 10.0.19045.3930]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\ADMIN>node --version
v20.11.1

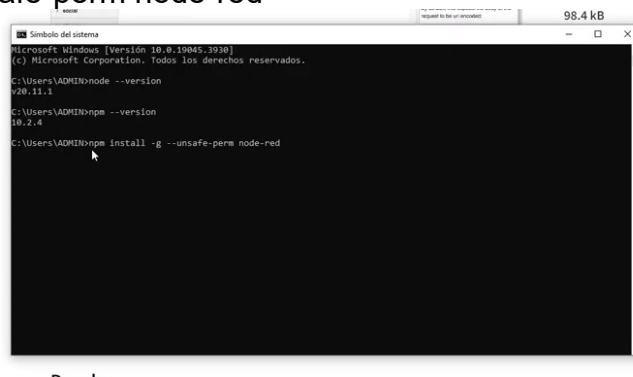
C:\Users\ADMIN>npm --version
10.2.4

C:\Users\ADMIN>
  
```

2.4 Instalar Node-RED

Con Node.js y npm funcionando, ejecute en CMD el comando utilizado en el video para instalar Node-RED de forma global. La opción “-g” permite disponer del comando de Node-RED globalmente en el sistema.

`npm install -g --unsafe-perm node-red`



```

Microsoft Windows [Versión 10.0.19045.3930]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\ADMIN>node --version
v20.11.1

C:\Users\ADMIN>npm --version
10.2.4

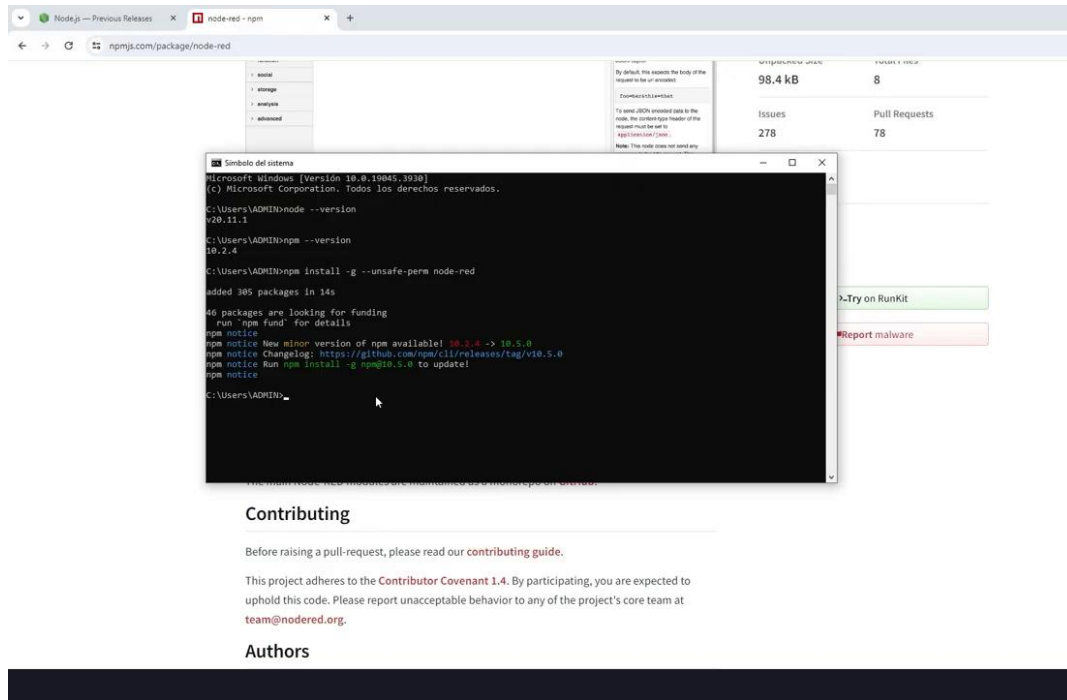
C:\Users\ADMIN>npm install -g --unsafe-perm node-red
  
```

Nota: el video utiliza la opción “--unsafe-perm”. Esta opción pertenece al procedimiento mostrado en la grabación. En instalaciones actuales, si npm indica que dicha opción no es necesaria o no es reconocida, siga las instrucciones compatibles con la versión de npm instalada.

2.5 Confirmar que la instalación terminó

Espere a que npm finalice. El proceso debe regresar al indicador de comandos sin mostrar un error de instalación. En el video se observa que se instalaron numerosos paquetes y que npm informa que la operación terminó correctamente.

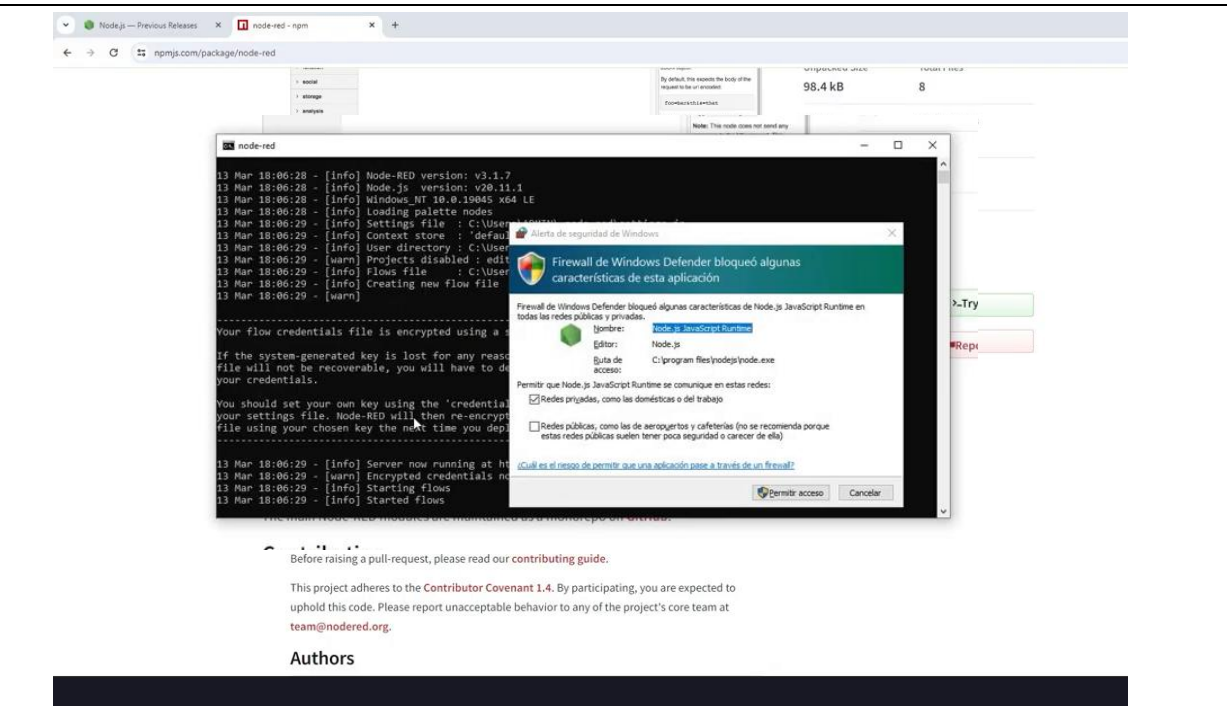
2.6 Ejecutar Node-RED



Desde la misma ventana de CMD, ejecute Node-RED. La consola comenzará a mostrar mensajes de inicio y carga de módulos.
node-red

Si Windows Defender Firewall muestra un aviso de seguridad, revise las redes para las que desea permitir la aplicación. En el video se permite Node.js JavaScript Runtime para las redes privadas.

2.7 Comprobar que el servidor está activo



node-red

```

13 Mar 18:06:28 - [info] Node-RED version: v3.1.7
13 Mar 18:06:28 - [info] Node.js version: v20.11.1
13 Mar 18:06:28 - [info] Windows_NT 10.0.19045 x64 LE
13 Mar 18:06:28 - [info] Loading palette nodes
13 Mar 18:06:29 - [info] Settings file : C:\Users\...
13 Mar 18:06:29 - [info] Context store : 'default'
13 Mar 18:06:29 - [info] User directory : C:\Users\...
13 Mar 18:06:29 - [warn] Projects disabled : edit
13 Mar 18:06:29 - [info] Flows file : C:\Users\...
13 Mar 18:06:29 - [warn] Creating new flow file
13 Mar 18:06:29 - [warn]

Your flow credentials file is encrypted using a system-generated key.
If the system-generated key is lost for any reason, your credentials
file will not be recoverable, you will have to delete the file and
re-enter your credentials.

You should set your own key using the 'credentialSecret' property in
your settings file. Node-RED will then re-encrypt your credentials
file using your chosen key the next time you deploy your flows.

13 Mar 18:06:29 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/
13 Mar 18:06:29 - [warn] Encrypted credentials not found
13 Mar 18:06:29 - [info] Starting flows
13 Mar 18:06:29 - [info] Started flows
  
```

Before raising a pull-request, please read our contributing guide.

This project adheres to the Contributor Covenant 1.4. By participating, you are expected to uphold this code. Please report unacceptable behavior to any of the project's core team at team@nodered.org.

Authors

Cuando Node-RED termina de iniciar, la consola muestra que el servidor está ejecutándose en una dirección local. La dirección observada en el video es 127.0.0.1:1880.

2.8 Ejecución de Node-RED

Abrir Node-RED en el computador mediante terminal de comandos.
Ejecutar: node-red
Una vez iniciado, abrir navegador web:

<http://127.0.0.1:1880>
Esto permite acceder al entorno de desarrollo basado en flujos.

```
node-red
Microsoft Windows [Versión 10.0.26280.8655]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\USUARIO>node-red
20 Jun 17:39:52 - [info]
Welcome to Node-RED
=====

20 Jun 17:39:52 - [info] Node-RED version: v5.0.0
20 Jun 17:39:52 - [info] Node.js version: v24.14.1
20 Jun 17:39:52 - [info] Windows_NT 10.0.26280 x64 LE
20 Jun 17:39:53 - [info] Loading palette nodes
20 Jun 17:39:55 - [info] Dashboard version 3.6.6 started at /ui
20 Jun 17:39:55 - [info] Settings file : C:\Users\USUARIO\.node-red\settings.js
20 Jun 17:39:55 - [info] Context store : 'default' [module=memory]
20 Jun 17:39:55 - [info] User directory : \Users\USUARIO\.node-red
20 Jun 17:39:55 - [warn] Projects disabled : editor/hwem.projects.enabled=false
20 Jun 17:39:55 - [info] Flows file : \Users\USUARIO\.node-red\flows.json
20 Jun 17:39:55 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1888/
20 Jun 17:39:55 - [warn]

-----
Your flow credentials file is encrypted using a system-generated key.

If the system-generated key is lost for any reason, your credentials
file will not be recoverable, you will have to delete it and re-enter
your credentials.

You should set your own key using the 'credentialSecret' option in
your settings file. Node-RED will then re-encrypt your credentials
file using your chosen key the next time you deploy a change.
-----

20 Jun 17:39:55 - [info] Starting flows
20 Jun 17:39:55 - [info] Started flows
```

3. Identificación de variables y direcciones del Data Block

En el Data Block del PLC3 se identifican los nombres, tipos de datos y direcciones de memoria de las variables utilizadas en el proceso. Estas direcciones son fundamentales para configurar la comunicación con Node-RED, permitiendo programar los nodos de forma visual y visualizar en la interfaz las variables y estados del sistema en tiempo real.

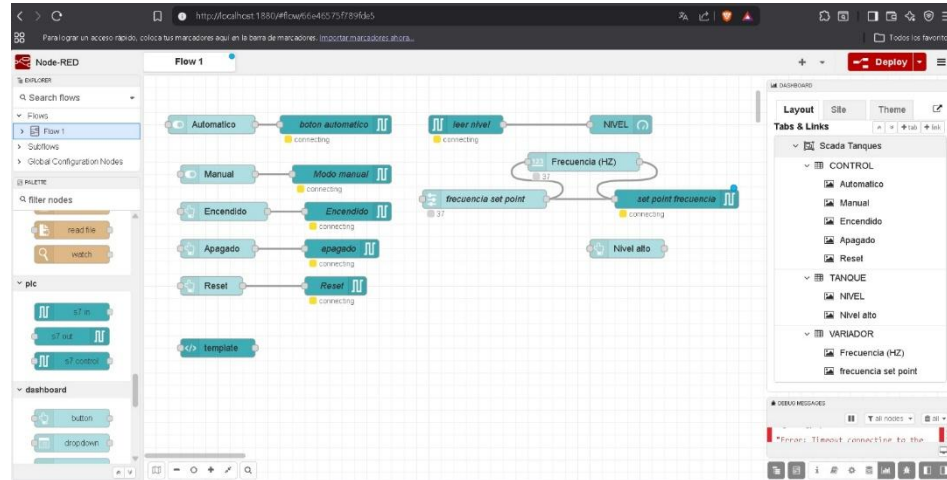
Name	Data type	Offset	Default value	Start value	Monitor value	Accessible	Setpoint	Comment
2 -> Static								
2 -> ModoManual	Bool	0.0	false	false		☒	☐	modo manual
3 -> ModoAutomatico	Bool	0.1	false	false		☒	☐	modo automatico
4 -> CmdManual	Bool	0.2	false	false		☒	☐	comando manual
5 -> CmdAuto	Bool	0.3	false	false		☒	☐	comando auto
6 -> StartBomba	Bool	0.4	false	false		☒	☐	comando arranque
7 -> StopBomba	Bool	0.5	false	false		☒	☐	comando paro
8 -> ResetSistema	Bool	0.6	false	false		☒	☐	reset del sistema
9 -> BombaActiva	Bool	0.7	false	false		☒	☐	estado del motor
10 -> NivelAlto	Bool	1.0	false	false		☒	☐	baja nivel alto
11 -> SistemaListo	Bool	1.1	false	false		☒	☐	sistema al
12 -> ProcesoTerminado	Bool	1.2	false	false		☒	☐	proceso fin
13 -> NivelBajo	Int	2.0	0	0		☒	☐	valor crudo del sensor (W64)
14 -> FrecuenciaAnalogica	Int	4.0	0	0		☒	☐	valor para salida analogica
15 -> TEMP_INT	Int	4.0	0	0		☒	☐	variable temporal int
16 -> NivelNormalizado	Real	8.0	0.0	0.0		☒	☐	señal normalizada 0-1
17 -> NivelPorcentaje	Real	12.0	0.0	0.0		☒	☐	nivel del tanque (%)
18 -> FrecuenciaStepoint	Real	16.0	0.0	0.0		☒	☐	frecuencia deseada (0-60 Hz)
19 -> TEMP_REAL	Real	20.0	0.0	0.0		☒	☐	variable real
20 -> Static_1	Real	24.0	0.0	0.0		☒	☐	

4. Diseño del flujo de monitoreo

Dentro del workspace de Node-RED se crea el flujo de control y supervisión. Este flujo contiene:

- Nodo de comunicación con PLC

- Nodo de lectura de variables
- Nodo dashboard
- Indicadores visuales
- Elementos de control



4.1 Configuración del nodo de comunicación

Agregar el nodo Siemens S7.

Configurar:

- IP del PLC
- Rack
- Slot
- Puerto de comunicación

Parámetros:

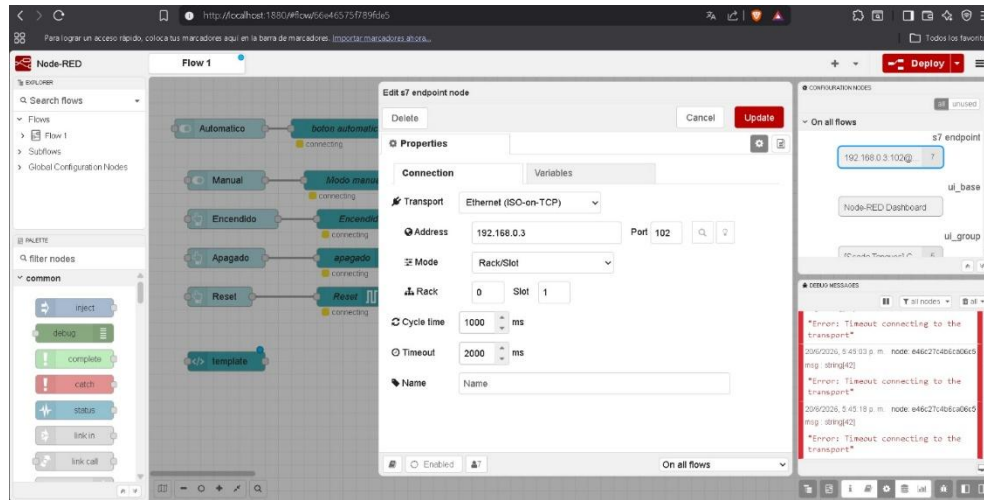
Parámetro Valor

IP 192.168.0.1

Rack 0

Slot 1

Esto permitirá que Node-RED lea variables del PLC.

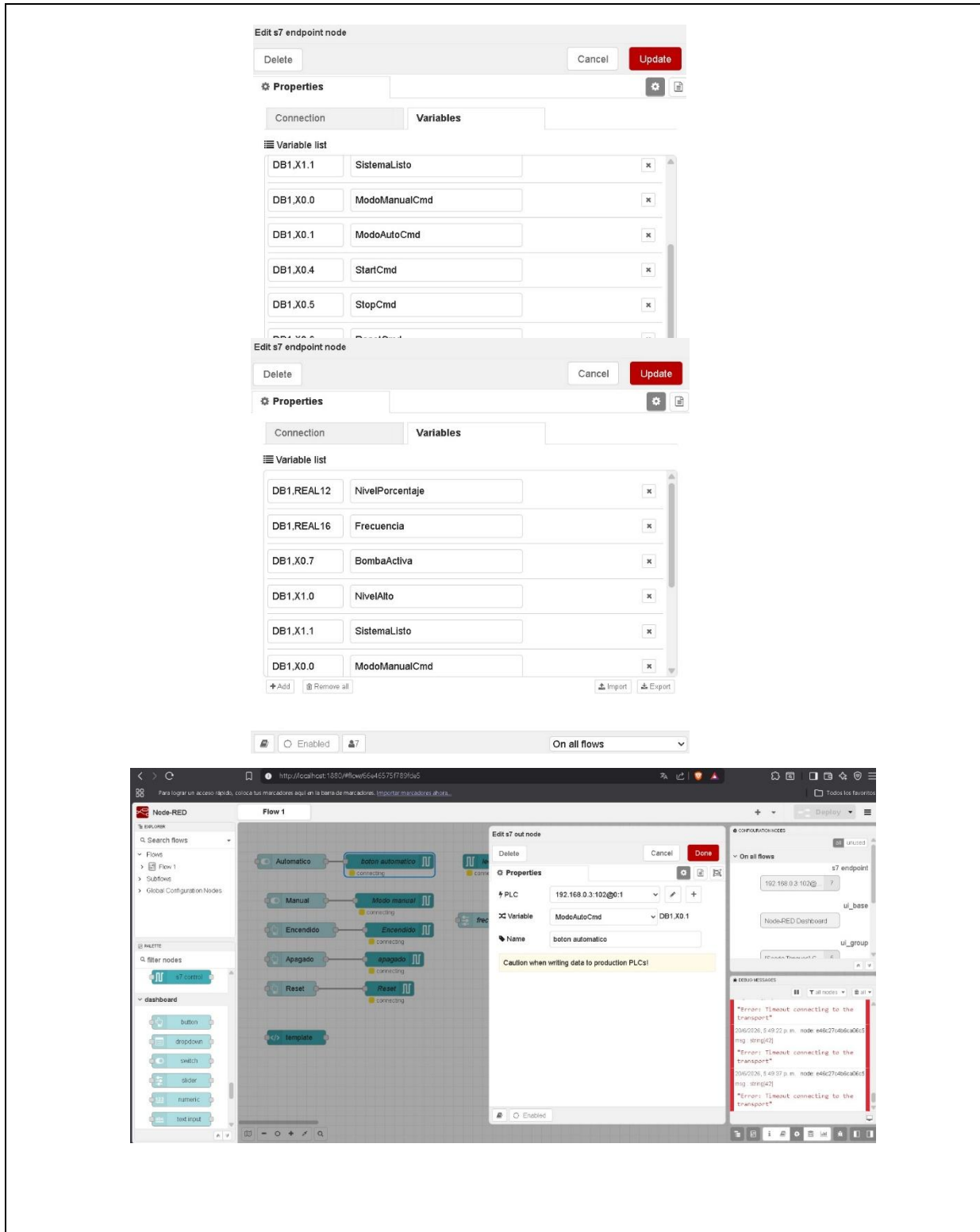


4.2 Asignación de variables

Se configuran las variables que serán leídas desde el PLC.

Variables del sistema:

- Nivel del tanque
- Setpoint frecuencia
- Estado bomba
- Modo manual
- Modo automático
- Nivel alto

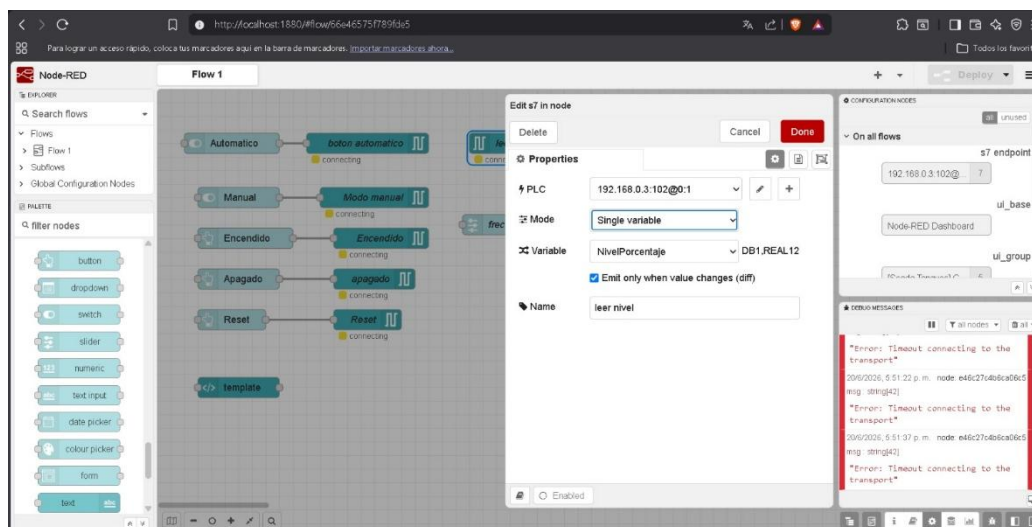


4.3 Lectura del nivel del tanque

Se configura el nodo encargado de leer el valor analógico del sensor de nivel.
El dato leído es procesado y escalado para mostrar porcentaje del tanque:

0%–100%

Esto permite visualizar el nivel en tiempo real.

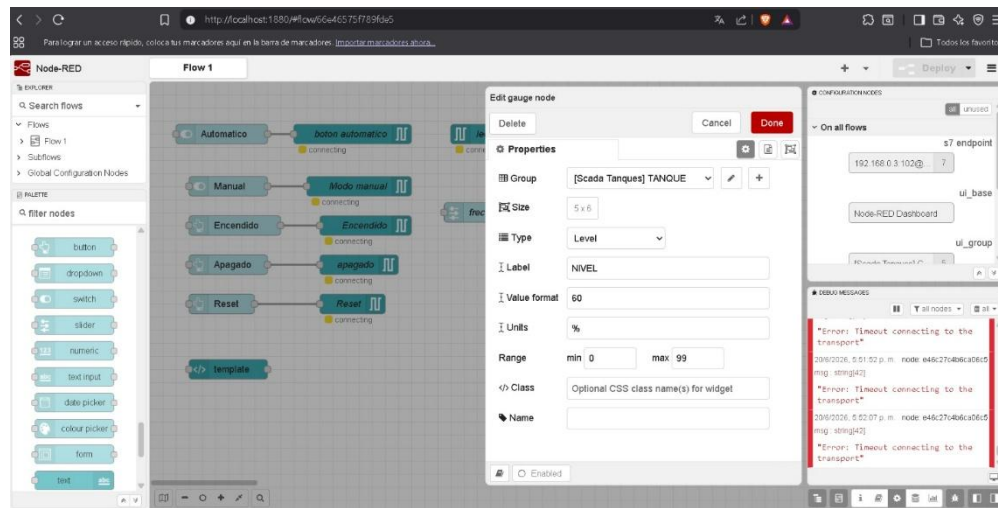


4.4 Configuración del indicador gráfico

Se agrega un widget tipo gauge para mostrar el porcentaje de llenado del tanque.
Rango:

- Mínimo: 0%
- Máximo: 100%

Esto mejora la interpretación visual del proceso.



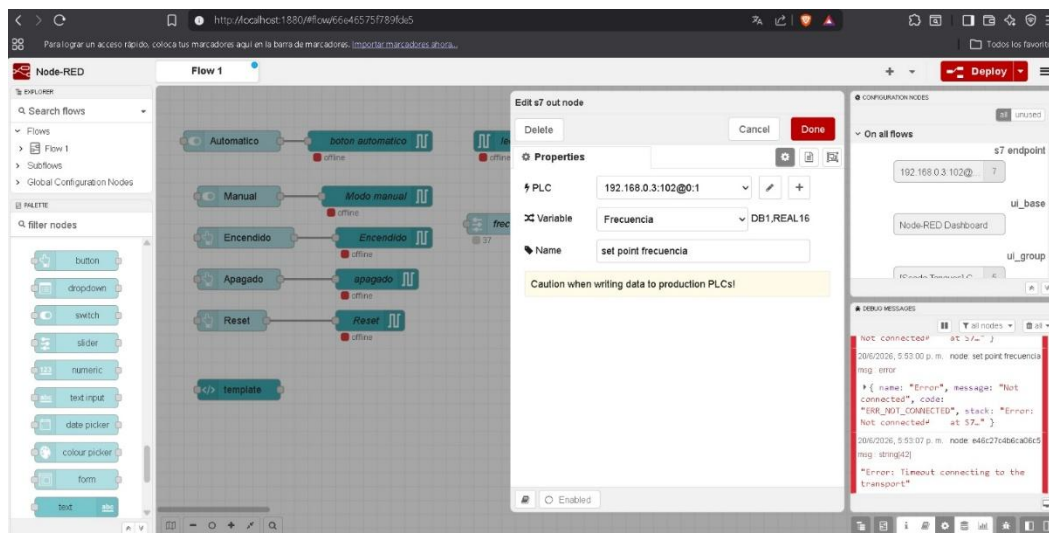
4.5 Configuración del setpoint de frecuencia

Se implementa un control para modificar el setpoint de frecuencia del variador.

Rango de operación:

- 0 Hz
- 60 Hz

El operador puede ajustar la frecuencia desde el dashboard.

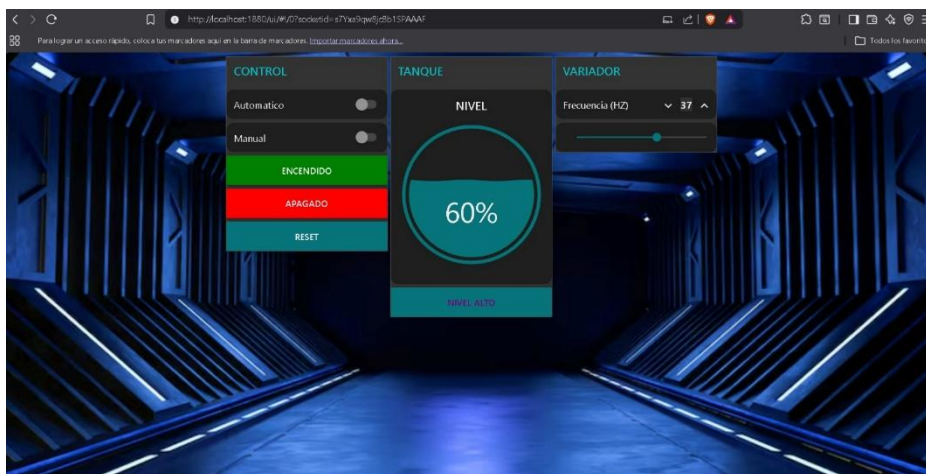


5. Visualización de la interfaz final

Una vez configurados todos los nodos, Node-RED genera el dashboard final de supervisión.

La interfaz permite visualizar:

- Nivel del tanque
- Frecuencia
- Estado de bomba
- Alarmas
- Modo manual / automático



Entregables

Elaborar un informe de la práctica de laboratorio. El informe debe cumplir con las normas técnicas colombianas para la presentación de trabajos escritos (NTC-1486). El informe no debe exceder las 10 páginas. Este debe contener: La identificación de la práctica, Marco conceptual, procedimiento, resultados y análisis; conclusiones y bibliografía

Bibliografía para consultar

[1] Tomado de: Recursos de educación observatorio Tecnológico, Gobierno de España
<http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/ca/component/content/article/502monografico-lenguajes-de-programacion?start=2>

[2] Tomado de: ABC Electronics
<http://www.abcinnova.com/articulos-e-informacion/18-ique-es-un-plc-y-que-beneficiostiene.html>

[3] Pagina Web Siemens LOGO!
www.siemens.com/logo

Manual LOGO! <http://support.automation.siemens.com/WW/view/en/30041319>

 Unidades Tecnológicas de Santander	INGENIERIA ELECTROMECANICA MATERIA: AUTOMATIZACIÓN DOCENTE: Ing. Camilo Sandoval. M.Sc. Ph.D (c)
PRACTICA IMPLEMENTACION DE COMUNICACIÓN ENTRE PLC SIEMENS S7-1200 MEDIANTE S7 CONNECTION Y FUNCION GET	

Justificación de la Práctica

En los sistemas modernos de automatización industrial, la comunicación entre controladores lógicos programables (PLC) es fundamental para garantizar la supervisión, coordinación y transferencia de datos entre procesos distribuidos. La integración de múltiples PLC dentro de una misma red permite compartir variables analógicas y digitales en tiempo real, mejorando la capacidad de monitoreo y control del sistema.

Dentro del entorno de desarrollo **TIA Portal**, Siemens ofrece mecanismos de comunicación industrial basados en Ethernet, entre los cuales destaca la comunicación **S7**, diseñada específicamente para el intercambio de datos entre PLC de la familia SIMATIC. Mediante esta arquitectura es posible implementar funciones como **GET** y **PUT**, que permiten leer y escribir información entre controladores remotos.

En la presente guía se realizará la implementación de una comunicación PLC–PLC mediante **S7 Connection**, configurando la red Ethernet, estableciendo la conexión lógica entre controladores y programando la función **GET** para la lectura remota de variables de proceso.

Objetivo del laboratorio

Implementar la comunicación entre PLC Siemens S7-1200 mediante una conexión S7 utilizando la función GET para la lectura de variables remotas.

Objetivos específicos de la práctica de laboratorio

- Configurar la topología de red entre PLC.
- Asignar direcciones IP dentro de la misma subred.
- Establecer una conexión lógica S7 entre controladores.
- Implementar la instrucción GET.
- Verificar la transferencia correcta de datos.

Competencias adquiridas en el desarrollo de la práctica

El estudiante, al terminar la práctica, estará en capacidad de configurar e implementar una comunicación entre PLC Siemens S7-1200 mediante una conexión S7, programando la función GET para la lectura de variables remotas, transfiriendo los programas entre el PC y los controladores a través de TIA Portal. Además, podrá desarrollar un sistema de comunicación industrial aplicando las etapas de análisis, configuración, implementación y verificación del intercambio de datos entre PLC, comprobando el correcto funcionamiento de la red Ethernet industrial y la supervisión de variables en tiempo real.

Herramientas de Trabajo

- PLC siemens S7-1200
- Switch Ethernet industrial
- Computador
- TIA Portal V17
- Cable Ethernet RJ45
- Fuente 24 VDC

Planteamiento del laboratorio

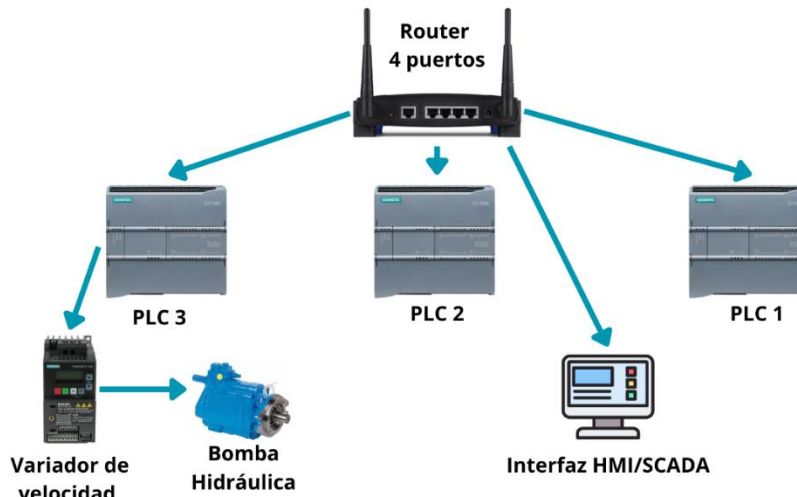
Topología del sistema

La arquitectura implementada está compuesta por tres PLC Siemens S7-1200 conectados mediante una red Ethernet industrial para permitir el intercambio de datos y la supervisión centralizada del proceso.

Cada PLC cumple una función específica dentro del sistema:

- **PLC 1 (192.168.0.1):** PLC cliente encargado de ejecutar la instrucción GET para solicitar datos remotos.
- **PLC 2 (192.168.0.2):** PLC de control utilizado para la gestión lógica del proceso.
- **PLC 3 (192.168.0.3):** PLC servidor encargado de almacenar y suministrar los datos solicitados por el PLC cliente.

La comunicación entre los PLC se realiza mediante una red Ethernet industrial configurada en la misma subred, permitiendo el intercambio de señales analógicas y digitales.



Arquitectura de comunicaciones

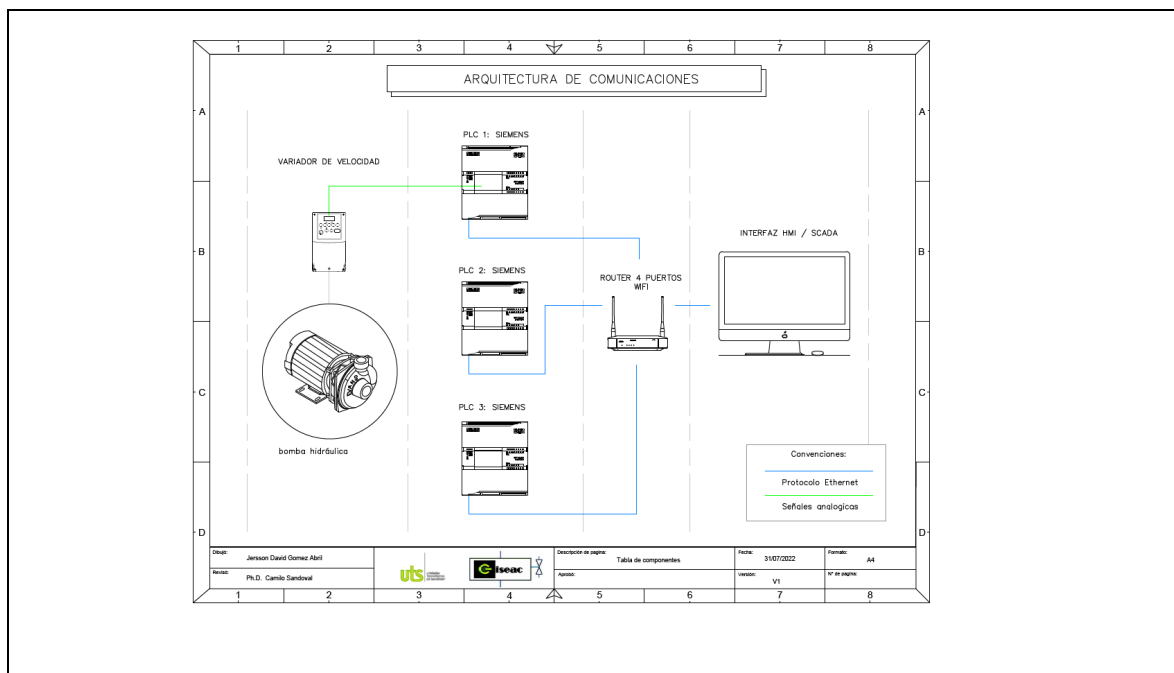
El sistema utiliza una arquitectura basada en **Ethernet industrial y protocolo TCP/IP** para la transmisión de datos entre PLC.

La comunicación se realiza mediante conexiones tipo **S7 Connection**, las cuales permiten que un PLC solicite datos almacenados en otro PLC dentro de la misma red.

Esta arquitectura facilita:

- Supervisión distribuida
- Intercambio de variables
- Comunicación PLC-PLC

Integración con sistemas SCADA



PROCEDIMIENTO

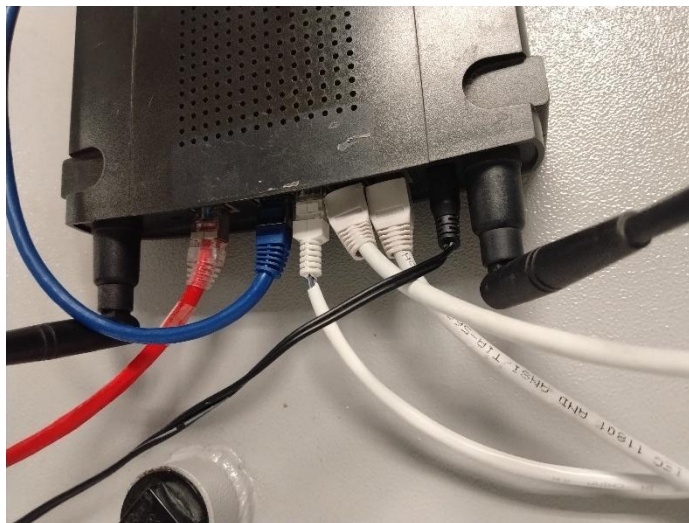
1. Conexión física

La interconexión física del sistema se realizó mediante un switch Ethernet industrial.

Cada PLC y el computador fueron conectados al switch utilizando cableado Ethernet RJ45, garantizando la interconexión de todos los dispositivos dentro de la misma red.

Antes de iniciar la configuración lógica se verificó:

- Alimentación correcta de los PLC
- Estado de LEDs de comunicación
- Enlace físico del switch
- Detección de red



2. Configuración de direcciones IP

Para permitir la comunicación entre los controladores, cada PLC fue configurado con una dirección IP única dentro de la misma subred Ethernet.

La configuración implementada fue la siguiente:

Dispositivo Dirección IP

PLC 1	192.168.0.1
PLC 2	192.168.0.2

PLC 3 192.168.0.3

Todos los dispositivos comparten:

- Misma subred Ethernet
- Misma máscara de red
- Direcciones IP únicas

Esta configuración garantiza que cada PLC pueda ser identificado correctamente dentro de la arquitectura de comunicación.

3. Configuración IP PLC 1

```
Microsoft Windows [Versión 10.0.26200.8037]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\USUARIO>ping 192.168.0.1

Haciendo ping a 192.168.0.1 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=3ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=255

Estadísticas de ping para 192.168.0.1:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
        (0% perdidos).
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 2ms, Máximo = 4ms, Media = 3ms

C:\Users\USUARIO>
```

4. Configuración IP PLC 2

```
C:\Users\USUARIO>ping 192.168.0.2

Haciendo ping a 192.168.0.2 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.2: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.0.2:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
        (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 2ms, Media = 1ms

C:\Users\USUARIO>
```

5. Configuración IP PLC 3

```
Microsoft Windows [Versión 10.0.26200.8037]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\USUARIO>ping 192.168.0.3

Haciendo ping a 192.168.0.3 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo=1ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo=2ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo=2ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.0.3: bytes=32 tiempo=1ms TTL=255

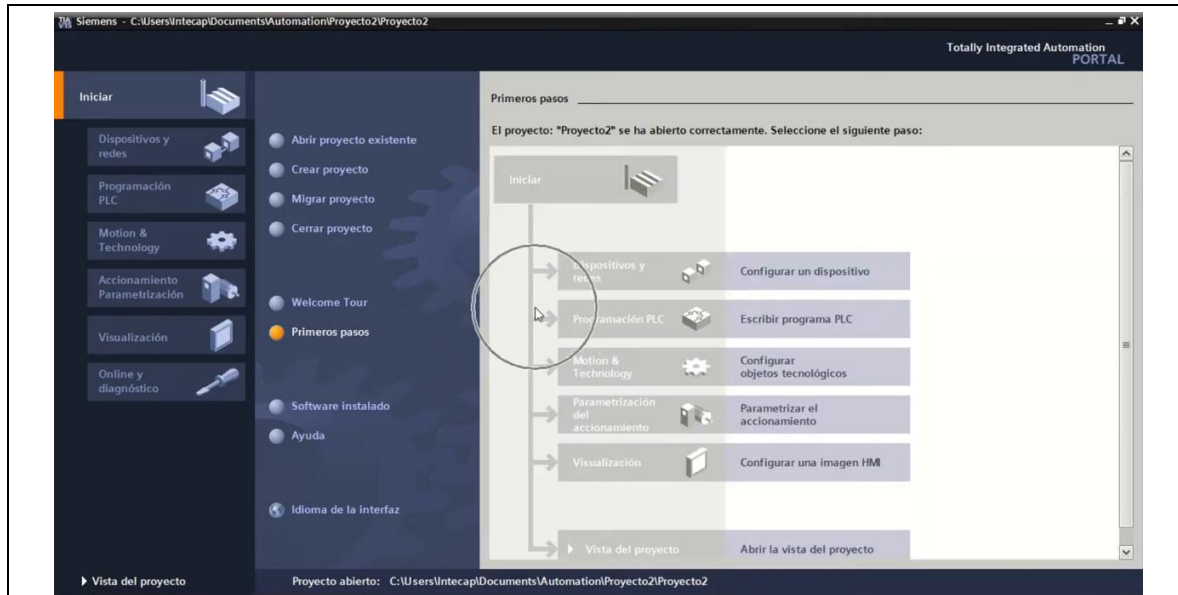
Estadísticas de ping para 192.168.0.3:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
        (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 2ms, Media = 1ms

C:\Users\USUARIO>
```

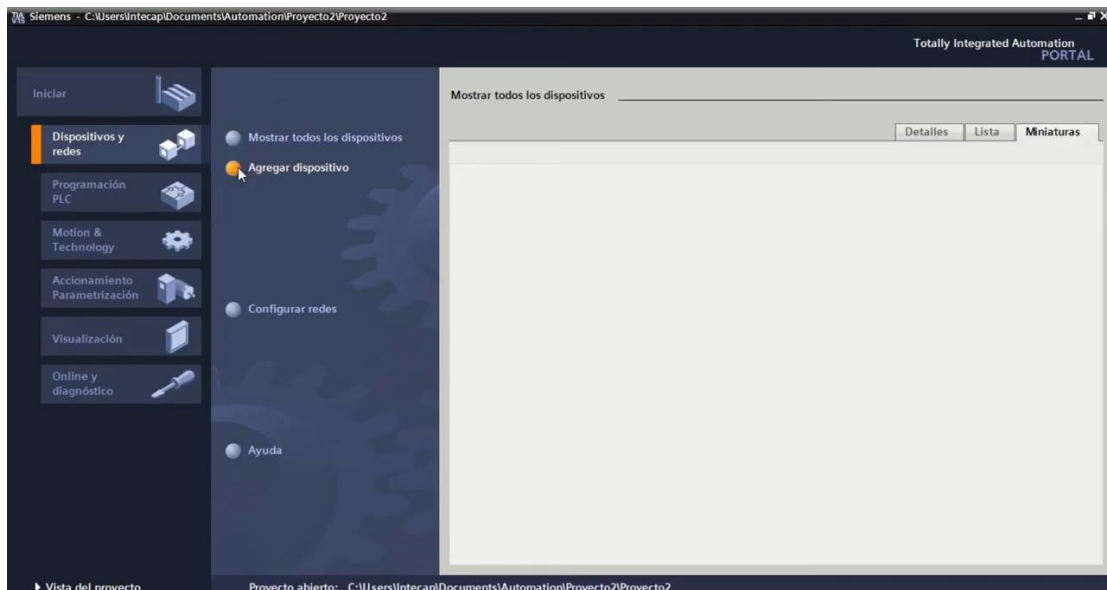
6. Incorporación de los PLC S7-1200 en TIA PORTAL

Antes de establecer la comunicación entre los controladores y configurar la microred, se realizó la incorporación de los PLC S7-1200 al proyecto de TIA Portal. Para ello, se seleccionó la familia de controladores correspondiente y se verificó que la referencia y versión del equipo configurado coincidieran con las características de los PLC utilizados físicamente. Esta etapa permitió disponer de cada controlador dentro del proyecto para posteriormente realizar la configuración de red, establecer las direcciones IP y definir la comunicación entre los dispositivos.

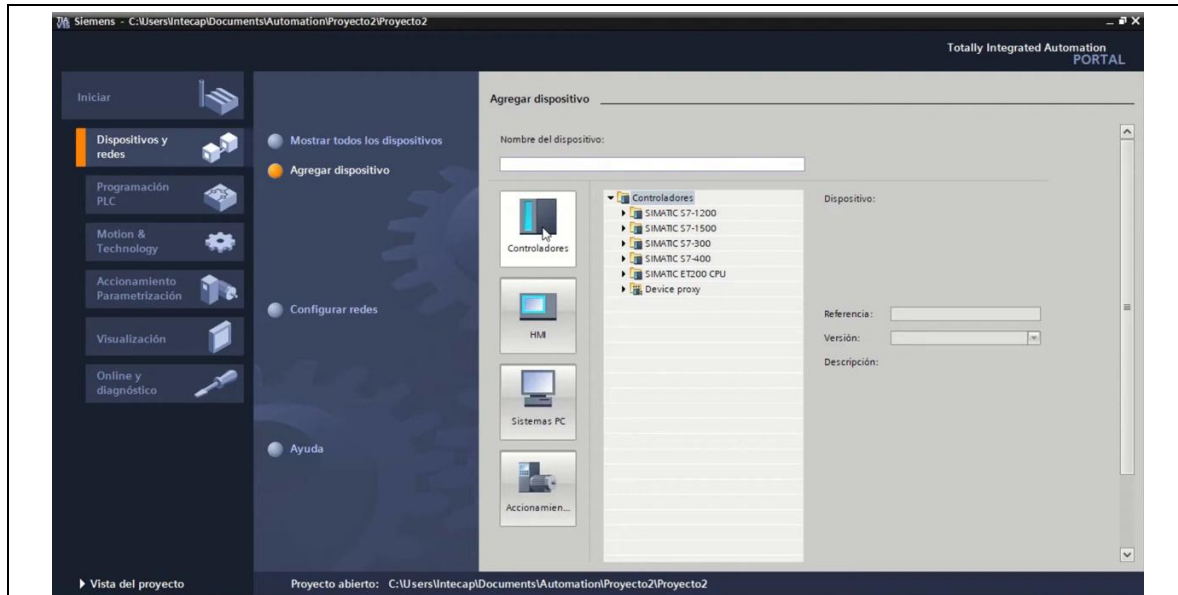
Paso 1. En la vista de inicio de TIA Portal, seleccione la opción «Configurar un dispositivo». Esta opción permite incorporar una CPU al proyecto.



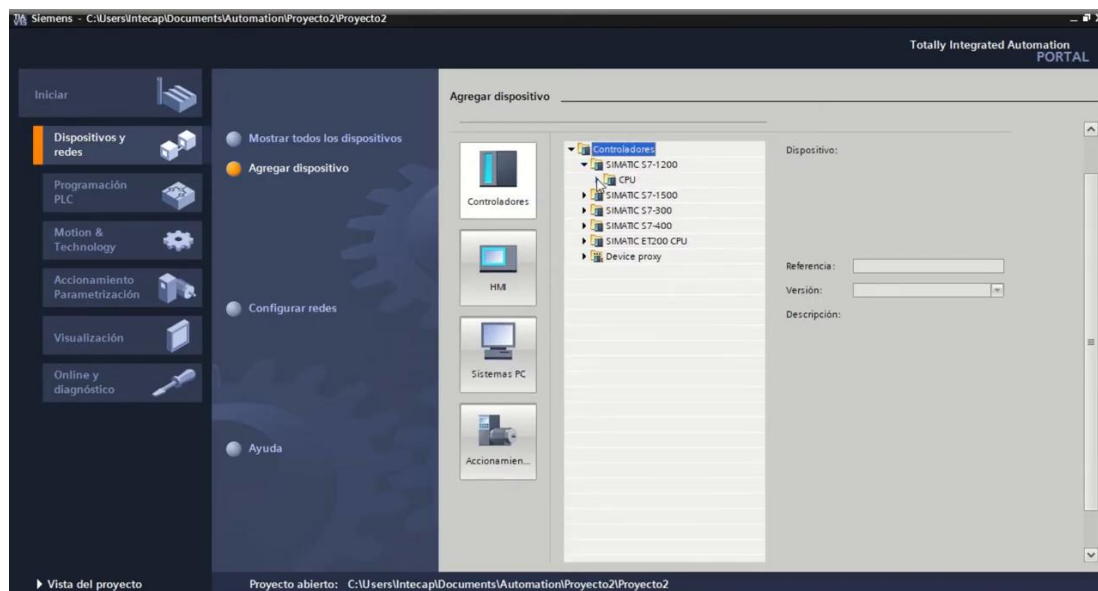
Paso 2. Dentro de la configuración del dispositivo, seleccione «Agregar dispositivo». Se abrirá la ventana para elegir el equipo que se desea incorporar al proyecto.



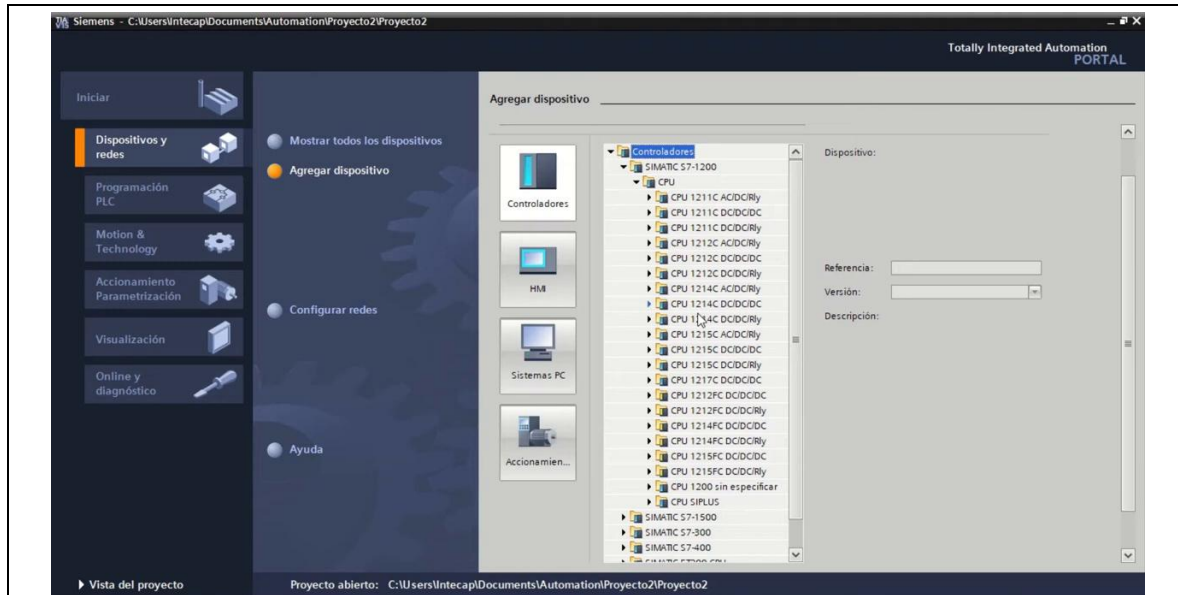
Paso 3. En «Agregar dispositivo», seleccione la categoría «Controladores». TIA Portal mostrará las familias de PLC disponibles para el proyecto.



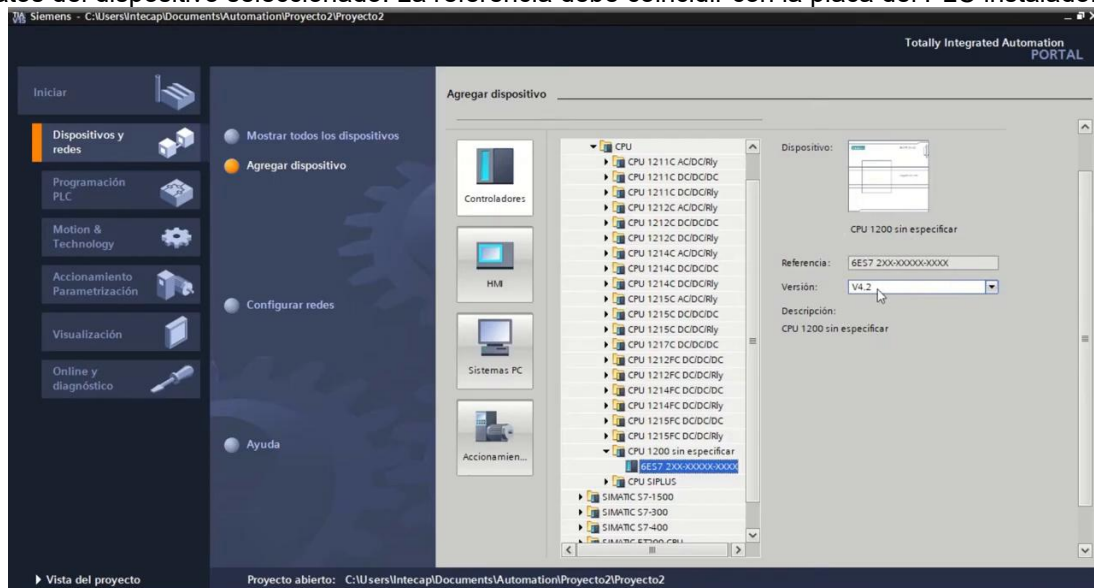
Paso 4. Despliegue la familia correspondiente al PLC. Para este procedimiento se selecciona «SIMATIC S7-1200».



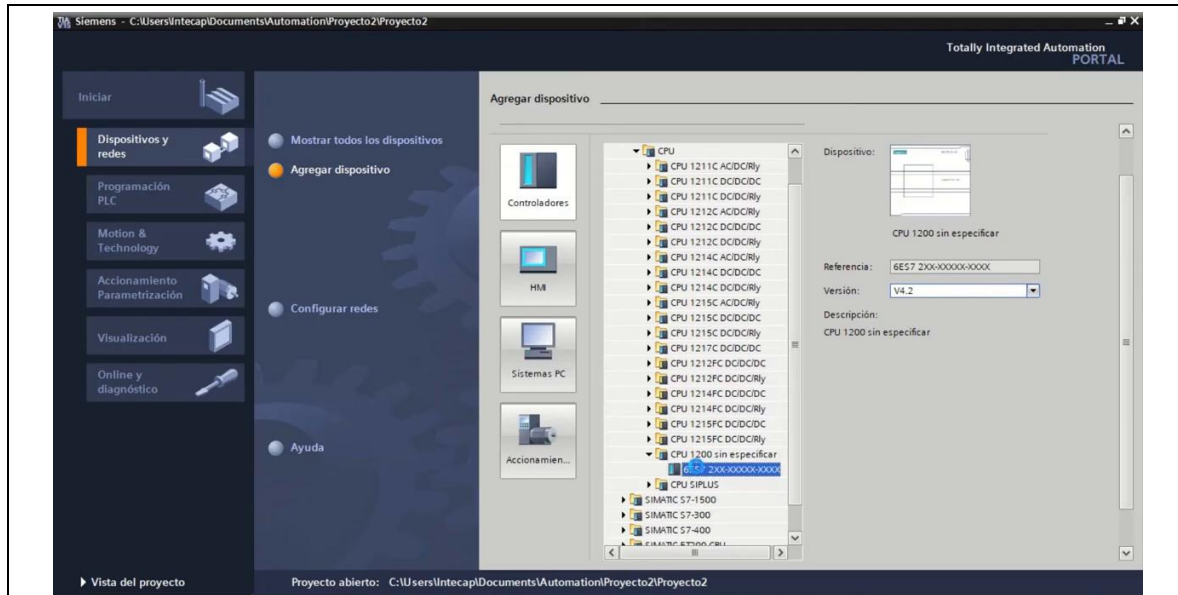
Paso 5. Dentro de la familia S7-1200, despliegue la lista de CPU y ubique el modelo que corresponde al PLC físico. Es importante seleccionar la referencia correcta.



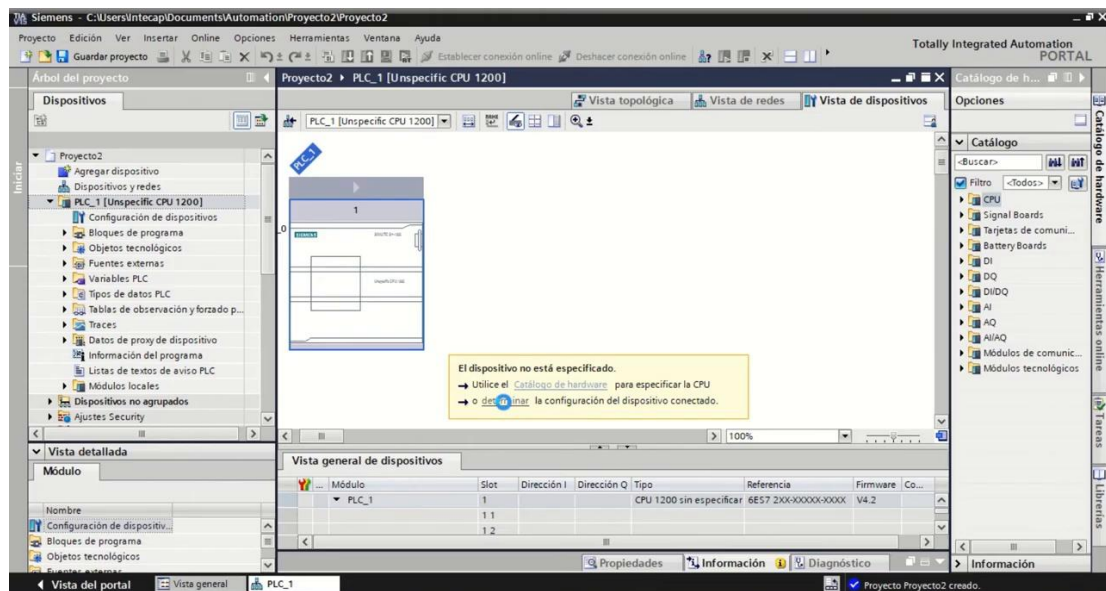
Paso 6. Seleccione la referencia exacta de la CPU. TIA Portal muestra en el panel derecho los datos del dispositivo seleccionado. La referencia debe coincidir con la placa del PLC instalado.



Paso 7. Compruebe la referencia y la versión de firmware disponibles antes de finalizar. Esta verificación evita configurar una CPU diferente a la que se utilizará físicamente.



Paso 8. Al confirmar la selección, TIA Portal incorpora el PLC al proyecto y muestra la CPU en la vista de dispositivos. Desde aquí se puede continuar con la configuración de red, IP y conexiones.

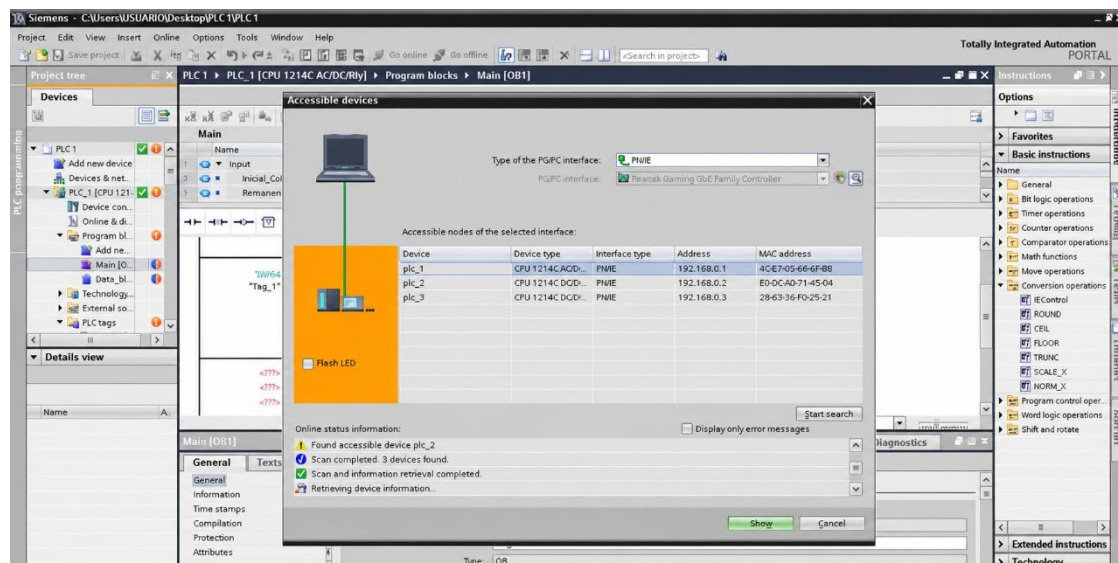


7. Reconocimiento de los PLC en TIA PORTAL

Una vez configuradas las direcciones IP, TIA Portal permite detectar automáticamente los PLC conectados en la red.

Esta etapa permite verificar:

- Estado online
- Reconocimiento de CPU
- Comunicación física
- Disponibilidad de descarga



8. Configuración inicial de los PLC y de la red PROFINET

Para esto se debe tener en cuenta lo siguiente:

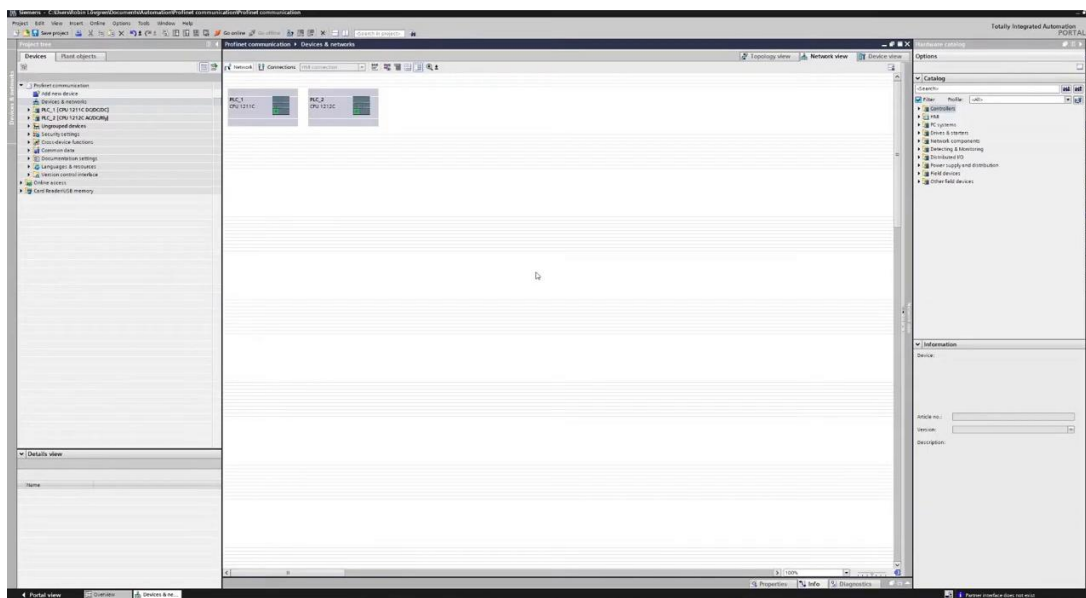
- Durante la configuración de la comunicación entre los tres PLC en TIA Portal, es importante tener en cuenta algunos aspectos que permiten evitar errores y comprender correctamente el funcionamiento de la comunicación S7 mediante los bloques GET/PUT.
- En primer lugar, para agregar y configurar los tres PLC se debe ingresar a Add new device, seleccionar la CPU correspondiente, asignar un nombre a cada dispositivo y configurar su red PROFINET e IP. En el video de referencia se observan inicialmente PLC_1 y PLC_2; sin embargo, para la práctica que requiere tres PLC, se debe agregar PLC_3 siguiendo el mismo procedimiento.
- También es fundamental identificar correctamente cuál será el PLC local o cliente. El PLC local corresponde al CPU en el cual se ejecuta la instrucción GET o PUT. Por ejemplo, si el bloque está programado en PLC_3, este será el dispositivo definido como Local en los parámetros de conexión, mientras que el otro PLC será identificado como Partner. Por esta razón, no se debe seleccionar cualquier PLC como dispositivo local, ya que esto modificaría el origen de la conexión y podría asociar el bloque al CPU equivocado.
- Para establecer la comunicación entre los equipos, se debe crear una S7 connection desde Devices & networks, definiendo los dispositivos Local y Partner. Posteriormente, esta conexión deberá seleccionarse dentro de los parámetros de configuración del bloque GET/PUT. Es importante que el Connection ID utilizado por el bloque coincida con el ID asignado a la conexión S7.
- Una vez configurada la comunicación, se puede realizar una prueba mediante la activación de REQ, observando los indicadores DONE, ERROR y STATUS. La prueba no debe limitarse a verificar que no aparezcan errores; también se debe comprobar que el dato efectivamente sea transferido de un PLC a otro, mediante la monitorización de las variables en el DB correspondiente o utilizando una Watch table.
- Finalmente, uno de los errores que puede presentarse durante la configuración corresponde al parámetro ADDR_1. Para evitarlo, primero debe estar correctamente definida la conexión S7 y debe existir el DB remoto que será leído o escrito. Cuando se utiliza direccionamiento absoluto, por ejemplo DBX, el DB remoto debe permitir este tipo de acceso,

por lo que puede ser necesario desactivar la opción Optimized block access. Además, ADDR_1 debe contener una dirección y una longitud válidas de acuerdo con el tipo de dato que se pretende transferir

Para agregar los PLC se deben seguir los siguientes pasos:

1. Crear PLC_1 y PLC_2 y agregar PLC_3

- Abra el proyecto en TIA Portal y entre a Devices & networks.
- Seleccione Add new device.
- En Controllers seleccione SIMATIC S7-1200 y la CPU correspondiente a la práctica.
- Asigne un nombre inequívoco a cada equipo: PLC_1, PLC_2 y PLC_3.
- Repita el procedimiento para el tercer PLC. No lo copie solamente: verifique que tenga una CPU y una interfaz PROFINET propias.
- Abra Devices & networks y conecte las tres interfaces PROFINET a la misma subred Ethernet/PROFINET.

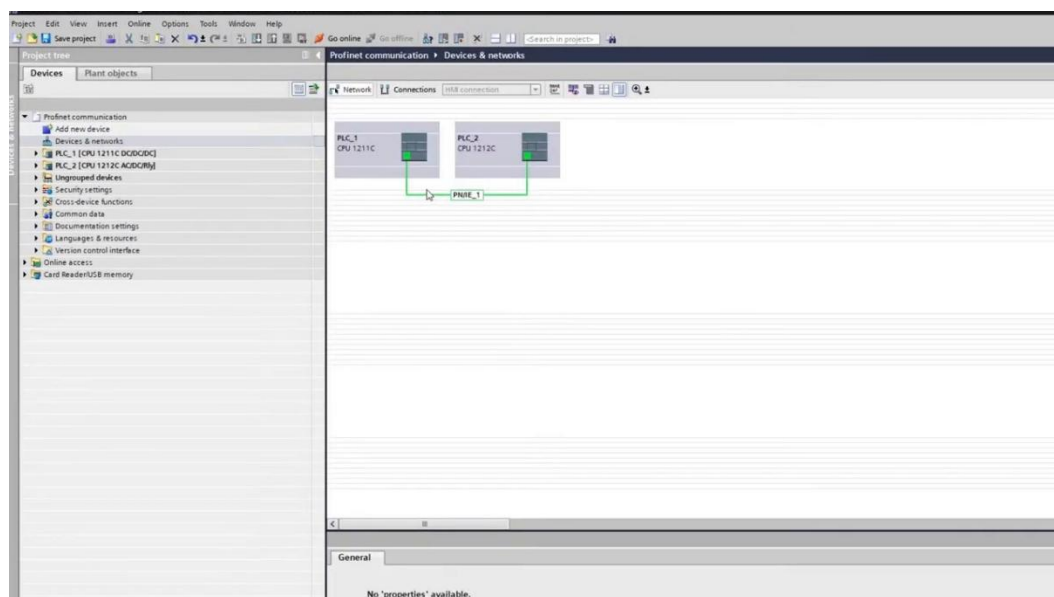
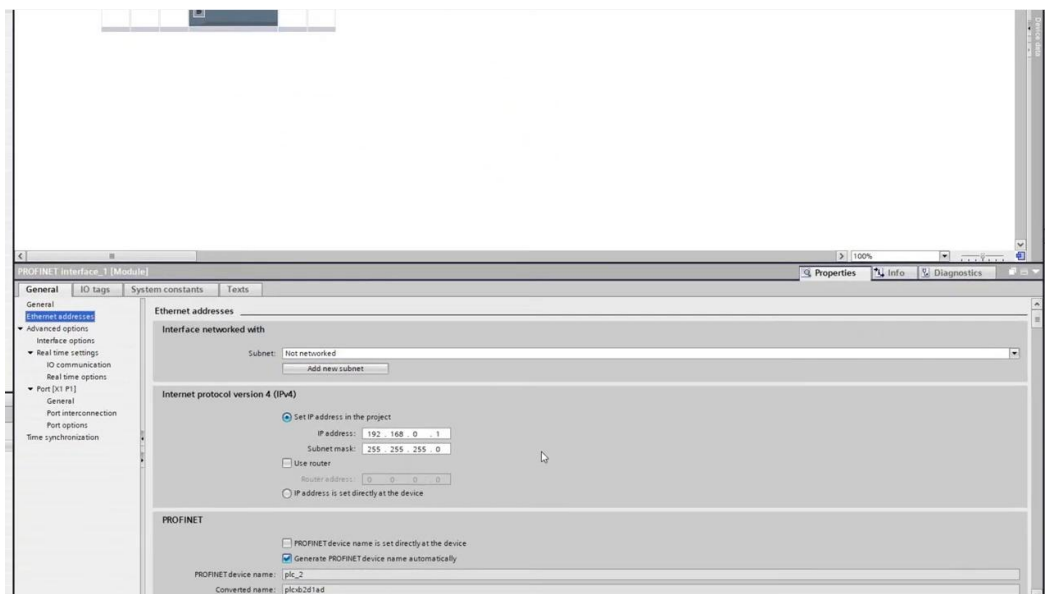


NOTA: Los tres PLC pueden estar en el mismo proyecto y en la misma subred, pero cada uno debe tener nombre, interfaz y dirección IP únicos. No reutilice la misma IP.

2. Configurar las direcciones IP

- Seleccione la interfaz PROFINET del PLC.
- Entre a Properties > Ethernet addresses.

- Seleccione Set IP address in the project.
- Asigne una IP diferente a cada PLC, pero dentro de la misma subred. Ejemplo de laboratorio: PLC_1 = 192.168.0.20, PLC_2 = 192.168.0.1 y PLC_3 = 192.168.0.3. Si esas direcciones ya existen en su red, use otras libres.
- Mantenga la misma máscara de subred para los tres equipos, por ejemplo 255.255.255.0, si la red de la práctica es /24.
- Guarde y compile la configuración de hardware.

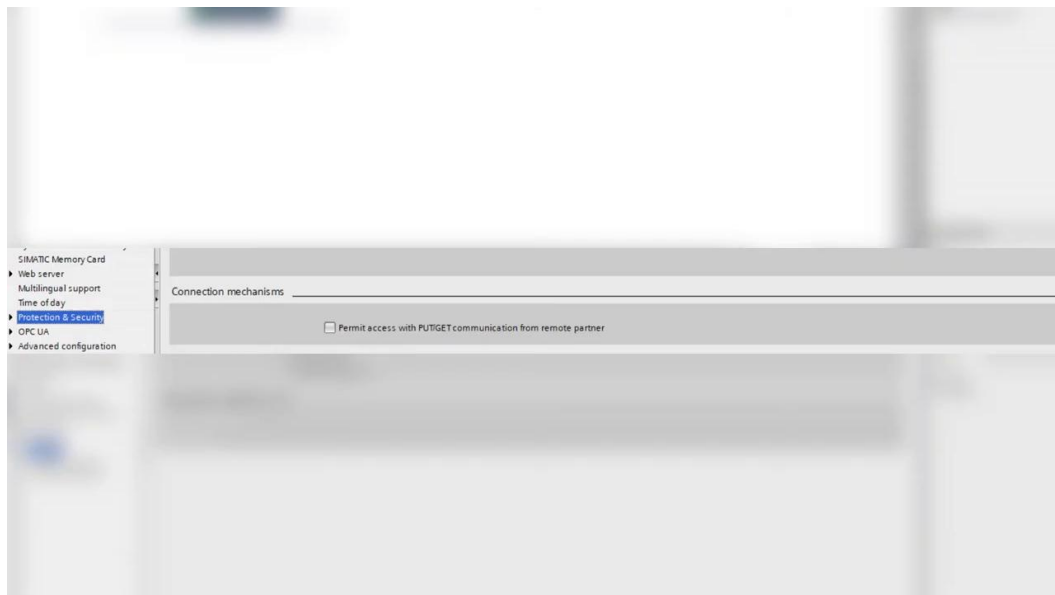


3

2.1 Requisito indispensable: permitir PUT/GET

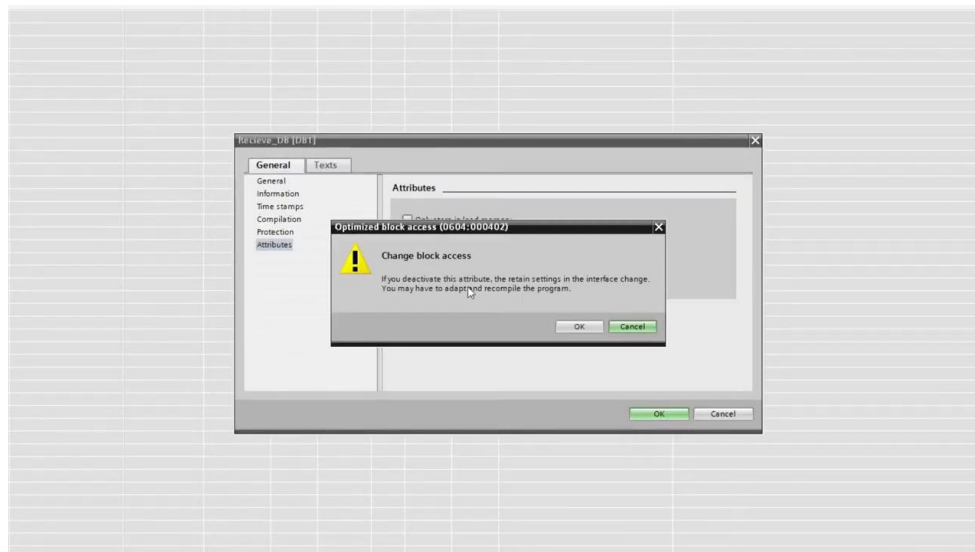
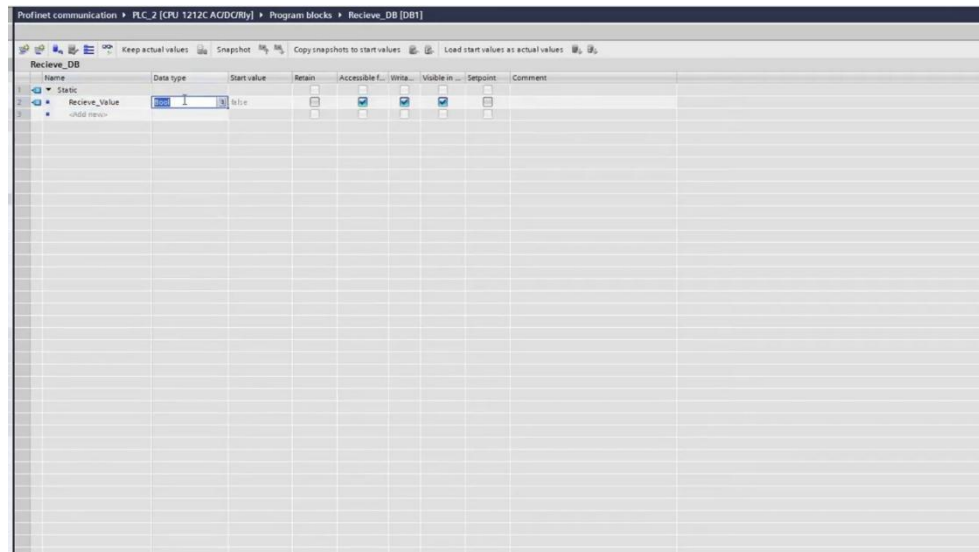
Antes de intentar configurar ADDR_1, configure la comunicación. Este paso es el que evita una gran parte de los errores que aparecen posteriormente.

- Seleccione el CPU que actuará como receptor/partner.
- Abra Properties del CPU.
- Entre a Protection & Security / Protection (el nombre exacto depende de la versión de TIA Portal).
- Busque Connection mechanisms.
- Active: "Permit access with PUT/GET communication from remote partner".
- Repita el ajuste en el CPU que deba aceptar acceso remoto. Compile y descargue la configuración a los PLC cuando corresponda.



3. Crear el DB que será leído/escrito

- En Program blocks del CPU, cree un Global DB.
- Añada una variable sencilla para la primera prueba, por ejemplo Send_Value de tipo INT.
- Si se va a usar una dirección absoluta como DB1.DBX0.0, abra las propiedades del DB y desactive Optimized block access.
- Acepte el aviso de recompilación y vuelva a compilar. La captura del video muestra exactamente el aviso que aparece al cambiar este atributo.



4. Crear la conexión S7 y entender "Local" vs "Partner"

Este es el punto que responde directamente a la duda de "¿escojo cualquier PLC?". No: el Local se determina por el CPU que ejecuta la instrucción.

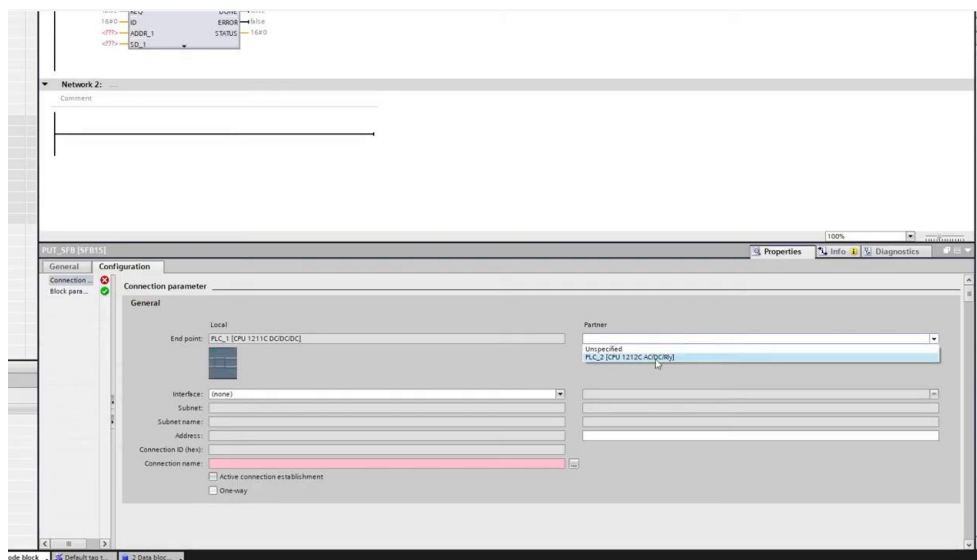
4.1. ¿Cuál debe ser el PLC local?

Si el bloque GET/PUT está programado en PLC_3, entonces PLC_3 es el Local. El PLC al que se accede es el Partner. Por ejemplo: PLC_3 → PLC_2 significa Local = PLC_3 y Partner = PLC_2.

- GET: el Local ejecuta GET y lee datos desde el Partner hacia su propia memoria.
- PUT: el Local ejecuta PUT y escribe datos en la memoria del Partner.
- Por eso no se selecciona el PLC “más conveniente”; se selecciona el CPU desde el cual se ejecuta la instrucción.

4.2. Crear la conexión

- Abra Devices & networks.
- Entre a la pestaña Connections.
- Seleccione el tipo S7 connection.
- Seleccione como endpoint Local el PLC donde se ejecutará el GET/PUT. Para la práctica comentada por el profesor, si el bloque está en PLC_3: Local = PLC_3.
- Seleccione como Partner el PLC que contiene el DB remoto. Ejemplo: Partner = PLC_2.
- Asigne un Connection ID/Local ID que sea único dentro del CPU local. No lo invente después en el bloque: el ID usado por GET/PUT debe corresponder al ID de esa conexión.
- Defina el nombre de la conexión, por ejemplo S7_PLC3_PLC2.
- Verifique que interfaz, subred y dirección del partner se hayan rellenado correctamente.
- Compile la configuración de hardware y conexiones.



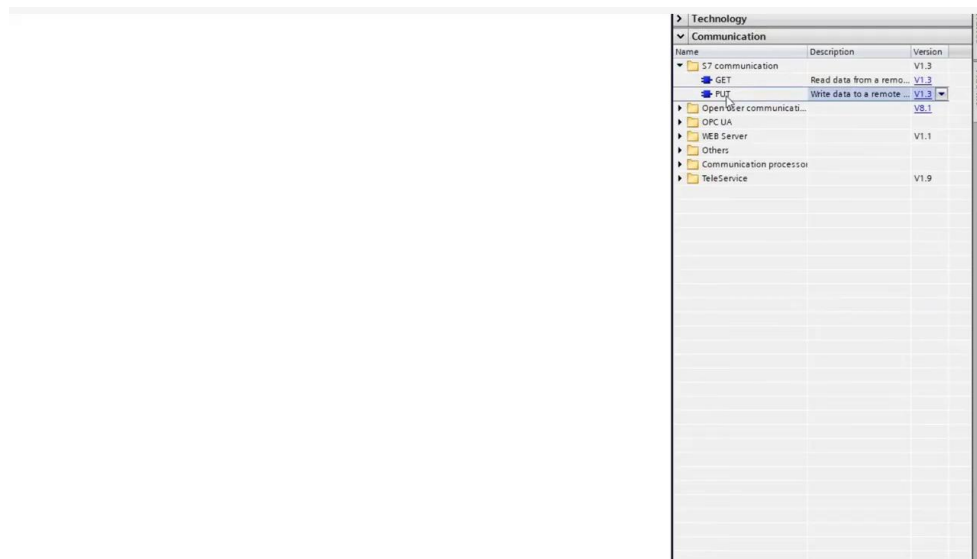
4.3. Seleccionar la conexión dentro del bloque

- Inserte GET o PUT en el OB1 del PLC local.
- Seleccione el bloque.
- Abra Properties/Inspector > Configuration.

- Entre a Connection parameters.
- Seleccione los endpoints Local y Partner.
- En Connection name, seleccione la S7 connection creada anteriormente.
- Compruebe el Connection ID. Ese mismo ID debe aparecer en la entrada ID del bloque.

5. ¿Dónde se encuentra GET y cómo se inserta?

- Abra el OB1 del PLC local.
- En el panel de Instructions, expanda Communication.
- Abra S7 communication.
- Allí aparecen GET (lectura de datos remotos) y PUT (escritura de datos remotos).
- Arrastre GET al Network 1 si la práctica exige lectura remota. El video, en cambio, muestra PUT, por lo que las capturas siguientes corresponden a PUT.

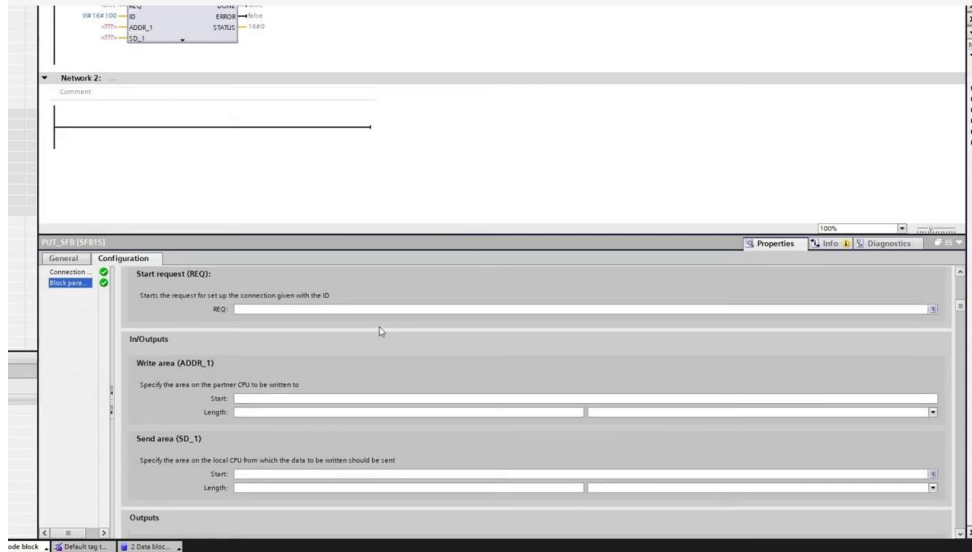


6. Configurar los parámetros sin que ADDR_1 quede en error

6.1. Orden correcto de configuración

- PLCs agregados y con IP únicas.
- PLCs conectados a la misma subred PROFINET.
- PUT/GET habilitado en el/los CPU que deban aceptar acceso remoto.
- DB remoto creado y, si se usa direccionamiento absoluto, con Optimized block access desactivado.

- S7 connection creada con Local = CPU que ejecuta GET/PUT y Partner = CPU remoto.
- Connection ID definido.
- GET/PUT insertado en el OB1.
- Connection parameters completados y Connection name seleccionado.
- Finalmente se configuran ADDR_1 y RD_1/SD_1.

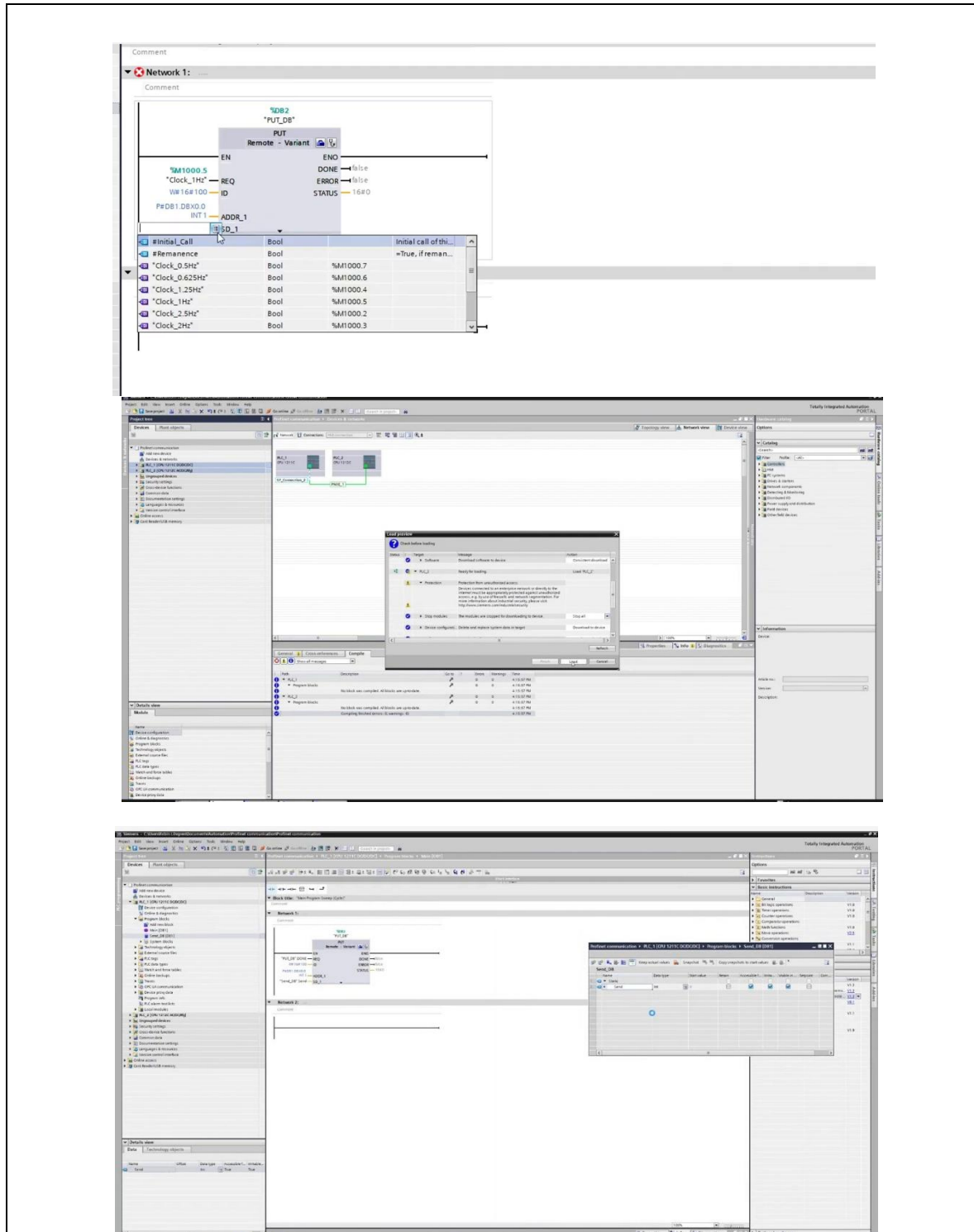


7. Prueba se hace para demostrar que funciona

La prueba debe demostrar algo más que “no aparece error”. Hay que demostrar que el valor realmente viajó de un CPU al otro.

7.1. Prueba recomendada con un INT

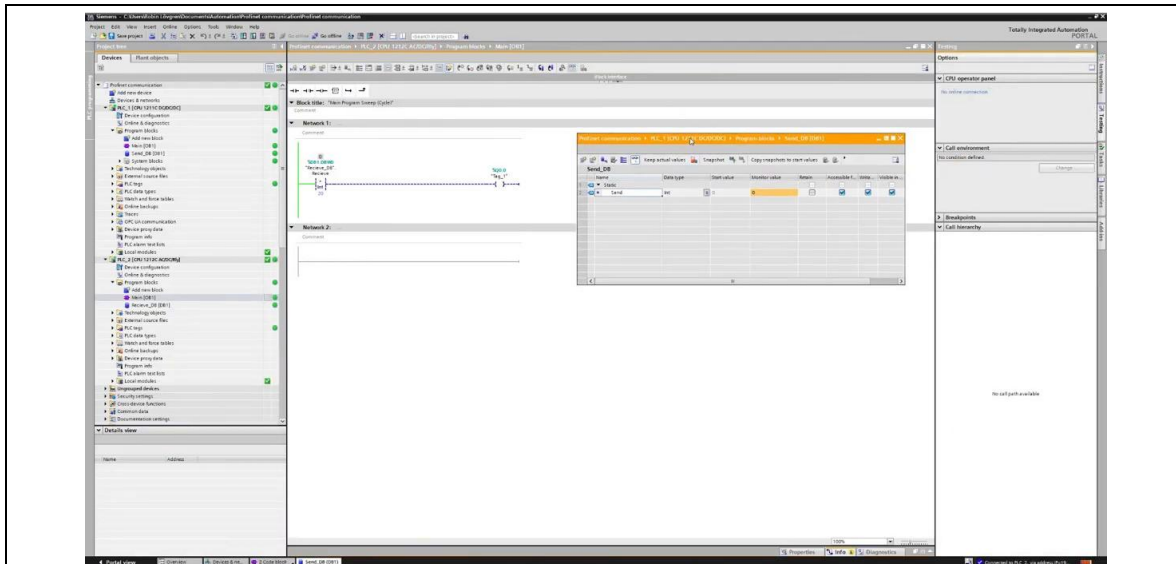
- En el DB del PLC emisor cree Send_Value = 1234, por ejemplo.
- En el DB del PLC receptor cree Receive_Value con el mismo tamaño de dato.
- Descargue hardware y programa a los PLC.
- Ponga ambos CPUs en RUN.
- Active REQ mediante un flanco ascendente. Para una prueba controlada puede usar un bit manual o una marca de reloj.
- Observe DONE, ERROR y STATUS.
- Abra una Watch table/monitorización y observe Send_Value y Receive_Value.
- Cambie Send_Value a otro valor, por ejemplo 5678, vuelva a generar REQ y confirme que Receive_Value cambió al mismo valor.
- Repita varias veces. Una comunicación correcta debe transferir los datos sin ERROR y con STATUS de finalización correcta.



ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023



8.2. Qué debe registrar en el informe

- Nombre del PLC Local y Partner.
- IP de ambos PLC.
- Nombre de la conexión S7.
- Local ID / Connection ID.
- DB remoto y dirección utilizada en ADDR_1.
- DB local y dirección utilizada en RD_1 o SD_1.
- Valor enviado y valor recibido.
- Estado DONE, ERROR y STATUS.
- Captura de la Watch table antes y después de la transferencia.

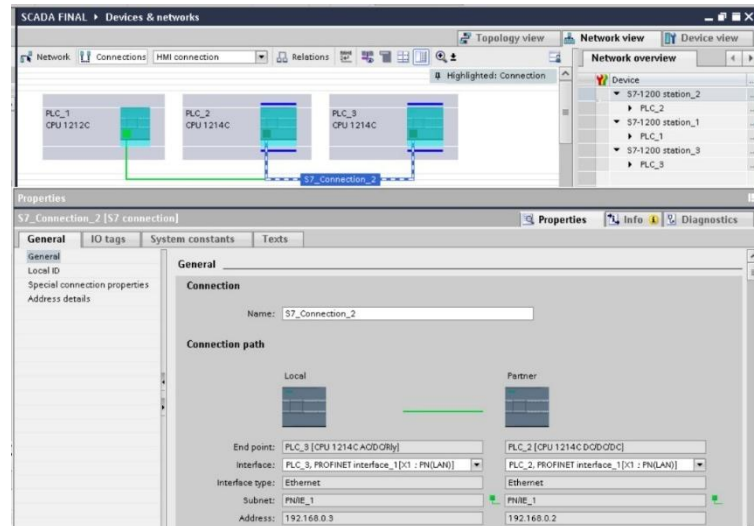
9. Configuración de la red y creación de S7 connection

Posteriormente se configuró la red lógica entre PLC dentro de TIA Portal. Para ello se siguieron los siguientes pasos:

1. Abrir Devices & Networks
2. Seleccionar el PLC cliente
3. Crear conexión de comunicación
4. Seleccionar PLC servidor
5. Elegir conexión tipo S7 Connection

La conexión S7 permite que el PLC cliente acceda a direcciones de memoria remotas del PLC servidor.

Durante esta configuración TIA Portal genera automáticamente un Connection ID, el cual será utilizado por el bloque GET.



10. Fundamento de la función get

La instrucción GET (SFB14) se utiliza para leer datos almacenados en un PLC remoto.

Su secuencia de funcionamiento es:

1. El PLC cliente activa la solicitud
2. Se consulta la memoria remota
3. El PLC servidor responde
4. El dato se almacena localmente

Parámetros principales:

Parámetro Función

REQ	Activa lectura
ID	Identificador de conexión
ADDR_1	Dirección remota
RD_1	Variable local
NDR	Dato recibido
ERROR	Error
STATUS	Diagnóstico

11. Implementación del bloque GET en tia portal

Una vez configurada la conexión S7, se implementó la instrucción GET (SFB14) dentro del bloque principal del PLC cliente.

En la arquitectura desarrollada:

- PLC 1 (192.168.0.1) actúa como cliente, ya que ejecuta la instrucción GET.
- PLC 3 (192.168.0.3) actúa como servidor, proporcionando los datos solicitados.

El bloque GET permite que el PLC cliente consulte periódicamente direcciones de memoria remotas del PLC servidor, copiando los datos recibidos en variables locales para su posterior procesamiento.

12. Configuración del bloque GET

Los parámetros configurados fueron:

Parámetro	Valor	Descripción
REQ	%M0.6	Señal de activación
ID	W#16#100	Identificador conexión S7
ADDR_1	P#MB0.0 BYTE 1	Dirección remota
RD_1	%MB10	Variable local destino

Descripción de salidas del bloque:

NDR (New Data Received)

Indica que la lectura fue exitosa.

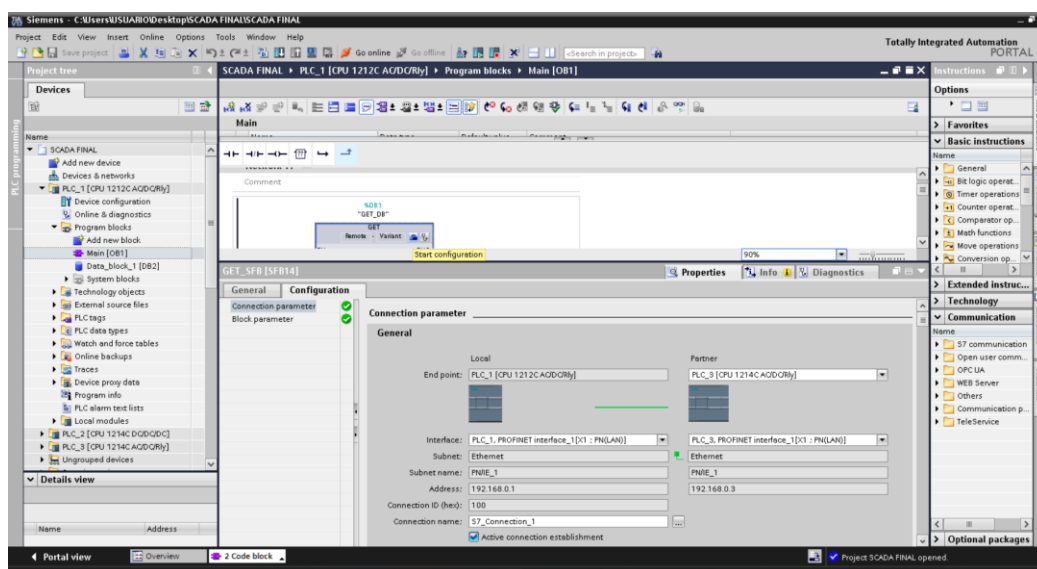
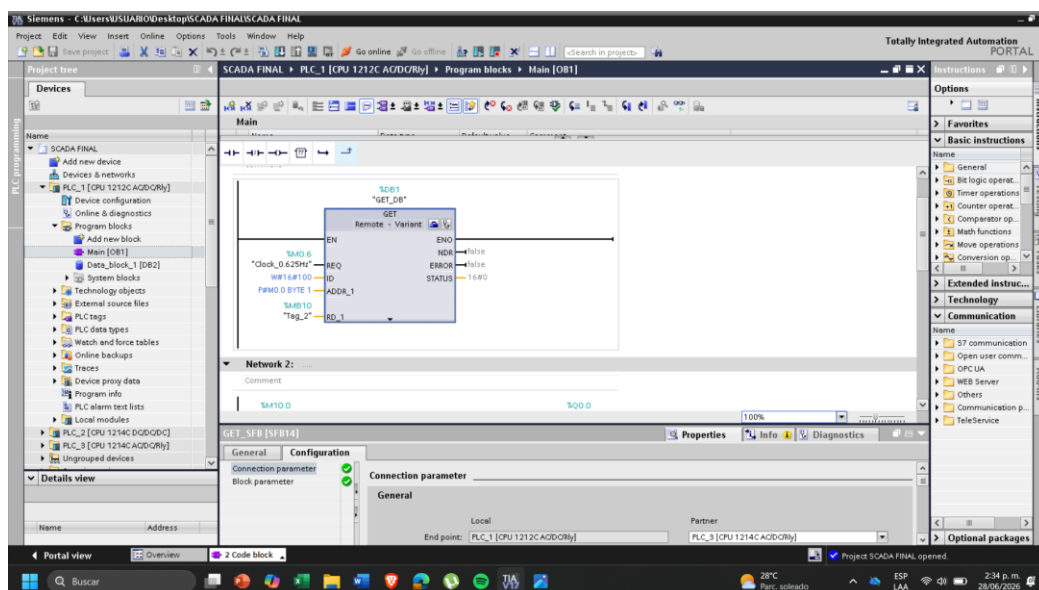
ERROR

Se activa cuando ocurre un fallo de comunicación.

STATUS

Entrega un código hexadecimal de diagnóstico para detectar errores o estados internos del bloque.

El bloque GET_DB [DB1] corresponde al Data Block de instancia generado automáticamente por TIA Portal para administrar internamente la ejecución del bloque GET.



13. Secuencia de funcionamiento del GET

El proceso de lectura remota ocurre de la siguiente manera:

Paso 1

Se activa la señal REQ.

Paso 2

El bloque GET utiliza el ID de conexión S7.

Paso 3

Se accede a la dirección remota configurada en ADDR_1.

Paso 4

El PLC servidor entrega el dato solicitado.

Paso 5

El dato leído se copia en RD_1.

Paso 6

Si la lectura fue exitosa:

- NDR = TRUE
- ERROR = FALSE

14. Verificación de la comunicación

Para verificar el correcto funcionamiento se realizaron pruebas de lectura entre PLC.

Durante las pruebas se comprobó:

- Comunicación estable
- Lectura correcta de datos
- Transferencia sin pérdidas

- Actualización en tiempo real

Se monitorearon los estados:

- NDR
- ERROR
- STATUS

para verificar la salud de la conexión.

Entregables

Elaborar un informe de la práctica de laboratorio. El informe debe cumplir con las normas técnicas colombianas para la presentación de trabajos escritos (NTC-1486). El informe no debe exceder las 10 páginas. Este debe contener: La identificación de la práctica, Marco conceptual, procedimiento, resultados y análisis; conclusiones y bibliografía

Bibliografía para consultar

[1] Tomado de: Recursos de educación observatorio Tecnológico, Gobierno de España
<http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/ca/component/content/article/502monografico-lenguajes-de-programacion?start=2>

[2] Tomado de: ABC Electronics
<http://www.abcinnova.com/articulos-e-informacion/18-ique-es-un-plc-y-que-beneficiostiene.html>

[3] Pagina Web Siemens LOGO!
www.siemens.com/logo

Manual LOGO! <http://support.automation.siemens.com/WW/view/en/30041319>