



UPSE

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES INSTITUTO DE
POSTGRADO**

TÍTULO

**Desarrollo E Implementación De Un Sistema Scada Con
Interfaz HMI Para El Llenado De Agua Potable En Camiones
Tanqueros Que Abastecen Al Sector Industrial**

AUTOR

Villón José, Fabián Danilo

TRABAJO DE TITULACIÓN

**Previo a la obtención del grado académico en
MAGÍSTER EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

TUTOR

Castellanos Ballesteros, Omar Fernando

**Santa Elena, Ecuador
Año 2026**



UPSE

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**ALICIA GERMAINA
ANDRADE VERA**

**Ing. Alicia Andrade Vera, Mgtr.
COORDINADORA DEL
PROGRAMA**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**OMAR FERNANDO
CASTELLANOS
BALLESTEROS**

**Fís. Omar Castellanos Ballesteros, Ph.D.
TUTOR**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**OSCAR WLADIMIR
GOMEZ MORALES**

**Ing. Oscar Gómez Morales, Ph.D.
DOCENTE
ESPECIALISTA**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**LUIS ENRIQUE
CHUQUIMARCA JIMENEZ**

**Ing. Luis Chuquimarca Jiménez, Ph.D.
DOCENTE
ESPECIALISTA**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**MARIA MARGARITA
RIVERA GONZALEZ**

**Abg. María Rivera González, Mgtr.
SECRETARIA GENERAL**

UPSE



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por **VILLÓN JOSE FABIAN DANILO**, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Electrónica y Automatización.

TUTOR



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**OMAR FERNANDO
CASTELLANOS
BALLESTEROS**

Fís. Omar Castellanos Ballesteros, Ph.D.

Santa Elena, 15 de marzo del 2026



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **VILLON JOSE FABIAN DANILO**

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación: “**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA CON INTERFAZ HMI PARA EL LLENADO DE AGUA POTABLE EN CAMIONES TANQUEROS QUE ABASTECEN AL SECTOR INDUSTRIAL**” previo a la obtención del título en Magíster en Electrónica y Automatización, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, 15 de marzo del 2026

EL AUTOR



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**FABIAN DANILO
VILLON JOSE**

Villón José Fabián Danilo



UPSE

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA

FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado **DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA CON INTERFAZ HMI PARA EL LLENADO DE AGUA POTABLE EN CAMIONES TANQUEROS QUE ABASTECEN AL SECTOR INDUSTRIAL**, presentado por el estudiante, **VILLÓN JOSÉ FABIÁN DANILO** fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 6%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.



Certificado de análisis
Compilatio Magister+ | UPSE-ECU

Proyecto de Titulación MasterV03

ID : b652a64302318cc2508fa8a349d2df9112e5e628



6%

Textos sospechosos

Nombre del fichero : Proyecto de Titulación MasterV03
.txt
Tamaño del archivo original : 11,44 MB
Número de palabras : 13.093
Número de caracteres : 88320

Depositante : OMAR FERNANDO CASTELLANOS
BALLESTEROS
Fecha de depósito : 30 de marzo de 2026
Tipo de carga : interface
fecha de fin de análisis : 30 de marzo de 2026

TUTOR



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
OMAR FERNANDO
CASTELLANOS
BALLESTEROS

Fís. Omar Castellanos Ballesteros, Ph.D.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

AUTORIZACIÓN

Yo, VILLON JOSE FABIAN DANILO

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de este proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Santa Elena, 15 de marzo del 2026

EL AUTOR



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**FABIAN DANILO
VILLON JOSE**

Villón José Fabián Danilo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fuerza, sabiduría y salud para lograr este objetivo, así como la perseverancia y paciencia para superar las adversidades en el transcurso de los procesos y alcanzar mis metas. También agradezco a mi padre, quien ha sido un pilar importante en todas las etapas de mi vida y un modelo de superación a pesar de los obstáculos, a mi madre por su apoyo incondicional, paciencia y motivación en los momentos difíciles de mi vida, me ha inculcado valores importantes para mi formación profesional. A mis hermanos por su apoyo y orientación, y a los docentes de Posgrado en Electrónica y Automatización por compartir sus conocimientos y experiencias. Finalmente, agradezco a mi tutor, Fís. OMAR CASTELLANOS, PhD. por su constante orientación, conocimientos y guía que me permitieron completar este proyecto de titulación.

Fabián Danilo Villón José

DEDICATORIA

Quiero agradecer a Dios por todas las bendiciones que me ha otorgado en el transcurso de mi vida, incluyendo la salud, la sabiduría y la oportunidad de disfrutar cada día. También agradezco a Dios por ser mi guía en los momentos difíciles y darme la fuerza para seguir adelante. Agradezco a mis padres y hermanos por su dedicación y apoyo en los buenos y malos momentos, lo cual ha sido fundamental para alcanzar mis objetivos personales, académicos a su vez con perseverancia, sinceridad valores más importantes de la vida.

Fabián Danilo Villón José

ÍNDICE GENERAL

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	IV
DECLARO QUE:.....	IV
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO	V
AUTORIZACIÓN.....	VI
AGRADECIMIENTO	VII
DEDICATORIA	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
RESUMEN	XVI
ABSTRACT.....	XVII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	4
1.1 Estado del arte	4
1.2 Desarrollo teórico y conceptual.....	5
1.2.1 Procesó de llenado de agua potable	5
1.2.2. Sistemas SCADA.....	6
1.2.3. Interfaz HMI	7
1.2.4. Controlador lógico programable logo 8	7
1.2.5. Sensores y actuadores	9

1.2.6. Redes industriales	10
1.2.7. Comunicación industrial basada en protocolos TCP/IP	11
1.2.8. Comunicación Modbus	12
1.2.9. Node-RED en entornos industriales.....	13
1.2.10. Componentes de la arquitectura de Node RED	14
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA	16
2.1. Metodología de desarrollo.....	16
2.1.1 Planificación	17
2.1.2. Enfoque de la investigación	18
2.2. Diseño.....	19
2.2.1 Diseño y alcance de la investigación.....	19
2.2.2. Diseño de la arquitectura del sistema SCADA.....	19
2.2.3. Arquitectura general del sistema SCADA.....	22
2.2.4. Diseño y configuración del sistema de comunicaciones.....	23
2.3 Implementación	24
2.3.1. Implementación del sistema de control y supervisión	24
2.3.2 Tipo y métodos de investigación.....	26
2.3.3. Población y muestra.....	26
2.3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	26
2.3.5. Pruebas y validación del sistema SCADA antes de su implementación.....	27
2.3.6. Confiabilidad en entrevistas y observación	28
2.3.7. Consideraciones éticas.....	29
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
3.1. Pruebas.....	30
3.1.1. Protocolo de pruebas y validación de resultados.....	30
3.1.2. Cuantificación de tiempos y precisión volumétrica.....	30
3.1.3. Análisis de latencia de comunicación	31

3.1.4. Pruebas de validación del sistema	32
3.2. Metrología y calibración de la instrumentación	35
3.2.1. Calibración del sensor de flujo (Caudalímetro).....	35
3.2.2. Calibración del sensor de nivel ultrasónico.....	35
3.3. Análisis	36
3.3.1 Evaluación técnica del tiempo de respuesta y desempeño del control	36
3.3.2 Análisis operativo y diagnóstico del proceso actual	37
3.3.3 Análisis comparativo y validación de resultados.....	37
CONCLUSIONES	39
RECOMENDACIONES	40
REFERENCIAS.....	41
ANEXOS	45
ANEXO 1: CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO PARA OPERADORES	45
I. Diagnóstico del sistema anterior Manual	45
II. Evaluación del sistema implementado (SCADA y LOGO! 8).....	46
ANEXO 2: Diagrama de flujo.	47
ANEXO 3: Diagrama y conexión modbus.	48
ANEXO 4: Simulación.	49
ANEXO 5: Ejecución de Node-RED.	50
ANEXO 6: Flujo de Node-RED.....	50
ANEXO 7: Ping al logo 8.....	51
ANEXO 8: Subir diagrama desde Soft confort a logo! 8 físico.....	51
ANEXO 9: Seleccionar que tipo de logo 8.1 se utilizará.	52
ANEXO 10: HMI Node-RED.....	52
ANEXO 11: HMI Node-RED en ejecución start de las 3 bombas se activa el indicador y de manera online.	53
ANEXO 12: HMI Node-RED en ejecución stop se desactiva el indicador y de manera online.	54
ANEXO 13: Desactivar desde el HMI con el sensor de nivel.	54

ANEXO 14: Tabla de reporte de hora inicio y hora fin del llenado con tiempo de duración..	55
ANEXO 15: Tabla de reporte genera un excel en el PC local.	55
ANEXO 15: Componentes hardware y desarrollo del tablero manual.	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Topología de red	25
Tabla 2 Característica del logo 8.1	26
Tabla 3 Seguridad de encendido	32
Tabla 4 Comunicación	33
Tabla 5 Ejecución	34
Tabla 6 Prueba red	35
Tabla 7 Tabla de resumen	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sistema SCADA.....	6
Figura 2 2HMI	7
Figura 3 Controladores lógico programable	8
Figura 4 Sensores	9
Figura 5 Industria 4.0	10
Figura 6 Comunicación industrial.....	11
Figura 7 Comunicación Modbus.....	12
Figura 8 Comunicación Modbus.....	14
Figura 9 Arquitectura Node RED	14
Figura 10 Fases del desarrollo	17
Figura 11 Diagrama HMI	21
Figura 12 Diagrama HMI	22
Figura 13 Logo 8.....	25
Figura 14 Sistema HMI	30
Figura 15 Pruebas del sistema.....	31
Figura 16 Diagrama unifilar automatización de un motor	47
Figura 17 Diagrama soft comfort lógica de automatización de 3 motores.....	48
Figura 18 Asignación de Ip del logo	48
Ilustración 19 Online test desactivando Q2, Q3, Q4 con I2, I5, I7 stop	49
Figura 20 Online test activando Q2, Q3, Q4	49
Ilustración 21 Online test desactivando Q2, Q3, Q4 con I3 sensor de nivel	49
Figura 22 CMD	50

Figura 23 Flujo Node-RED.....	50
Figura 24 Verificación con ping al logo 8.....	51
Figura 25 Verificar que la maquina este en la misma red	51
Figura 26 Subir nuestro proyecto desde soft confort al PLC logo 8.1	51

RESUMEN

El abastecimiento de agua potable a sectores industriales mediante tanqueros representa un eslabón crítico en la cadena de distribución del recurso. Proceso todavía se lleva a cabo de forma manual, lo cual implica fallos rápidos en bombas de caudal, riesgo de sobrellenado, imprecisión en los volúmenes.

La automatización industrial y los sistemas SCADA Supervisory Control and Data Acquisition han surgido como soluciones efectivas para mejorar la supervisión, el control y la gestión operativa. Estos sistemas permiten la recolección de datos en tiempo real.

La implementación de un sistema SCADA en el proceso de llenado de agua potable permite controlar automáticamente válvulas, bombas y sensor de nivel, asegurando un despacho preciso y eficiente. Además, garantiza la integridad del recurso y reduce los errores humanos, fortaleciendo la confiabilidad del servicio prestado a industrias que requieren altos estándares de calidad.

La transición al sistema automatizado no solo optimiza el uso del recurso hídrico al reducir drásticamente el desperdicio de 400L a 40L por tanquero, sino que incrementa la capacidad instalada de la planta al estabilizar los tiempos de despacho en su punto óptimo de 10 minutos. El sistema SCADA se valida no solo como una mejora técnica, sino como una necesidad financiera para la sostenibilidad de la red de distribución.

Palabras claves: Supervisión, Control y Adquisición de Datos.

ABSTRACT

The supply of potable water to industrial sectors by tanker trucks constitutes a critical link in the overall water distribution chain. In many industrial facilities, this process is still performed manually, leading to frequent operational issues such as premature flow pump failures, risks of overfilling, and inaccuracies in volume measurement.

In response to these limitations, industrial automation and Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) systems have emerged as effective technological solutions to enhance supervision, control, and operational management. These systems enable real-time data acquisition, process monitoring, and centralized control of critical variables.

The implementation of a SCADA system in the potable water filling process enables the automated control of valves, pumps, and level sensors, ensuring accurate, efficient, and repeatable dispatch operations. Furthermore, it enhances resource integrity, minimizes human intervention, and reduces operational errors, thereby strengthening the reliability of water supply services for industrial facilities that require high-quality standards and strict operational control.

The transition to the automated system not only optimizes water use by reducing waste (from 400L to 40L per tank) but also increases the plant's installed capacity by stabilizing dispatch times at their optimal point of 10 minutes. The SCADA system is validated not only as a technical improvement, but also as a financial necessity for the sustainability of the distribution network.

Keywords: Supervisory Control, Data Acquisition, Industrial Automation.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene como finalidad el desarrollo e implementación de un sistema SCADA, para el llenado de agua potable en camiones tanqueros, con la finalidad de obtener un llenado exacto, mínimo margen de error, monitoreo en tiempo real, interfaz HMI. Además, este tipo de solución es completamente escalable y adaptable, integraciones futuras con sistemas de gestión industrial ERP, IoT, etc. , fortaleciendo la transformación analógica digital, la implementación de este sistema SCADA no solo representa un avance tecnológico, sino también una respuesta efectiva a la necesidad creciente de gestión inteligente del recurso hídrico en sectores industriales, lo cual será abordado mediante el diseño, implementación y validación de un sistema funcional.

El suministro controlado de agua potable es importante en los procesos industriales; sin embargo, la dependencia de métodos manuales o sistemas de llenado obsoletos genera ineficiencias operativas que derivan en el desperdicio del recurso, errores de medición y paros inesperados en la producción. Históricamente, la gestión de camiones tanqueros ha carecido de un monitoreo continuo, quedando sujeta a la pericia del operador y a riesgos constantes de sobrellenado. Ante este escenario, la modernización del control hídrico no es solo una mejora técnica, sino una necesidad estratégica para asegurar la sostenibilidad.

A partir de este escenario surge la necesidad de replantear la gestión del proceso de llenado de tanques de agua potable mediante tecnologías modernas que permitan un mayor control, supervisión y optimización. Frente a esta problemática, se propone el desarrollo e implementación de un sistema SCADA, el cual permitirá automatizar integralmente el proceso de llenado, incorporando funcionalidades avanzadas.

En este contexto, la implementación de un sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos SCADA surge como la solución tecnológica para transformar esta infraestructura analógica en un entorno digital inteligente. Basado en los principios de gobernanza transformativa (Rijke et al., 2013), este proyecto propone la integración de dispositivos de

campo sensores de nivel, caudalímetros y electroválvulas con una interfaz de usuario centralizada. Dicha integración permite automatizar integralmente el proceso de llenado, garantizando un despacho exacto, expedito y confiable (Boyer, 2016; Rodríguez Penin, 2008).

El sistema propuesto no solo facilita la operación mediante una Interfaz Hombre-Máquina HMI diseñada bajo estándares de ergonomía visual (*ANSI/ISA-101.01-2015, Human Machine Interfaces for Process Automation Systems*, 2015), sino que aporta un valor estratégico mediante la gestión de datos en tiempo real. Al centralizar la información, se hace posible la generación de reportes automáticos, la auditoría de consumos y la ejecución de mantenimiento predictivo. En última instancia, este desarrollo representa un salto hacia la transformación digital de la infraestructura hidráulica, alineando el despacho de agua con los estándares de eficiencia, transparencia e innovación que exige la industria moderna (Velasco Salazar, 2020).

Objetivo General:

Desarrollo e implementación de un sistema SCADA con interfaz HMI, para el llenado de agua potable en camión tanquero que abastecen al sector industrias.

Objetivos Específicos:

1. Analizar el proceso de llenado de agua, edificando puntos estratégicos para la implementación del sistema.
2. Sistematizar el proceso de llenado mediante un sistema SCADA.
3. Implementar HMI con algoritmo condicional para generar reportes según los requerimientos de la empresa.

Planteamiento hipotético

La implementación de un sistema SCADA automatizado para el proceso de llenado de agua potable en tanques destinados a la distribución industrial permitirá mejorar la eficiencia operativa, reducir los errores humanos y garantizar la trazabilidad.

Dicho sistema posibilitará la automatización del funcionamiento de válvulas, bombas y sensores de nivel, así como la supervisión remota de cada fase del proceso de llenado y el almacenamiento de información histórica relevante para la toma de decisiones operativas y administrativas.

Asimismo, se espera que la integración de tecnologías de automatización y monitoreo en tiempo real, al asegurar que cada tanquero reciba el volumen exacto de agua potable requerido.

En este sentido, se plantea que la adopción de un sistema SCADA permitirá:

- Automatizar el proceso de llenado de agua potable.
- Minimizar el margen de error en la dosificación del recurso.
- Optimizar el uso de los recursos operativos y energéticos asociados al sistema.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Estado del arte

Está comprobado que automatizar los procesos hídricos con un sistema SCADA recorta los gastos de operación casi en una tercera parte. No es solo un ahorro de dinero; al monitorizar todo en tiempo real, las máquinas trabajan mejor, se gasta menos energía y te adelantas a las fallas antes de que algo se rompa, evitando que los equipos trabajen forzados. Según (Mays, 2000), la gestión eficiente de los sistemas de distribución de agua requiere de herramientas de monitoreo y control que permitan optimizar la operación y reducir las pérdidas del recurso.

Con la evolución de la industria, gestionar variables críticas a distancia ya no es un reto, sino un estándar que exige sistemas de supervisión cada vez más robustos. En este escenario, el SCADA se mantiene como la herramienta clave para el control y la toma de datos (Boyer, 2016). Sin embargo, un diseño de ingeniería serio no se limita al software; debe priorizar una arquitectura adecuada ya sea centralizada o distribuida, garantizar que el hardware soporte el entorno real de trabajo y, sobre todo, asegurar que la red de comunicación no falle (Rodríguez Penín, 2011).

Hoy en día, con plantas cada vez más conectadas, la ciberseguridad y la escalabilidad han dejado de ser opciones para convertirse en requisitos críticos. No basta con conectar equipos; se necesitan protocolos de defensa que realmente aguanten un ataque (Stouffer, 2015). A la par, el software de supervisión tiene que ser útil para el operador: una interfaz HMI limpia y bien diseñada que muestre gráficos y tendencias en tiempo real es lo que permite pasar de "ver datos" a tomar decisiones inteligentes (*ANSI/ISA-101.01-2015, Human Machine Interfaces for Process Automation Systems*, 2015).

En diversos estudios y experiencias en la automatización de procesos hídricos, se ha demostrado que la implementación de SCADA puede reducir los costos operativos hasta en un 30%, mejorar la eficiencia energética y prolongar la vida útil de los equipos al permitir mantenimientos predictivos y evitar condiciones de operación forzada (Umachagi, 2020; Velasco Salazar, 2020).

Investigaciones recientes como la de (Gowda et al., 2020) confirman que la aplicación de sistemas SCADA en el control de distribución y llenado de tanques permite una operación más precisa, reduciendo significativamente los errores volumétricos y mejorando la trazabilidad del recurso.

1.2 Desarrollo teórico y conceptual

1.2.1 Procesó de llenado de agua potable

El proceso de llenado manual de agua potable en los camiones tanqueros inicia con el correcto posicionamiento del vehículo en el área destinada para el abastecimiento. Una vez ubicado y asegurado en el punto de llenado, se procede a realizar la conexión manual de la manguera de suministro al punto de ingreso del tanquero, verificando previamente que la manguera, conexiones y demás accesorios se encuentren en condiciones adecuadas para garantizar un proceso seguro y eficiente.

Posteriormente, el operador procede al encendido manual de las bombas de suministro, permitiendo el ingreso del agua potable al interior del tanquero. Durante esta etapa, se mantiene una supervisión permanente del proceso con el propósito de controlar el nivel de llenado y detectar oportunamente cualquier anomalía, como fugas, derrames o inconvenientes en las conexiones y componentes del sistema.

A medida que el tanquero alcanza el volumen de agua requerido, el operador realiza el apagado manual de las bombas y verifica visualmente que el nivel de llenado corresponda a la cantidad establecida para el abastecimiento. Esta actividad permite evitar el sobrellenado del tanque y minimizar posibles pérdidas de agua durante la operación.

Finalmente, se procede a desconectar cuidadosamente la manguera del punto de llenado y a colocar las respectivas protecciones en las conexiones del tanquero. Asimismo, se verifica que las bombas se encuentren completamente apagadas y que no existan fugas ni derrames de agua en el área de operación. Una vez concluidas estas actividades, se da por finalizado el proceso de llenado manual de agua potable, quedando el camión tanquero en condiciones adecuadas para realizar el traslado y posterior abastecimiento del recurso al sector industrial.

1.2.2. Sistemas SCADA

Los sistemas SCADA son soluciones tecnológicas utilizadas para la supervisión, control y adquisición de datos en tiempo real en procesos industriales. Estos sistemas permiten recopilar información del proceso mediante sensores, procesarla en tiempo real y tomar decisiones automáticas o manuales a través de interfaces gráficas.

SCADA es ampliamente utilizado en sectores como energía, agua potable, gas, transporte y manufactura, donde se requiere control distribuido y supervisión remota. Las funciones básicas incluyen la supervisión de variables, registro de datos históricos, generación de alarmas, y control automático.

“Un sistema SCADA permite a los operadores observar y controlar el proceso industrial desde una ubicación central, mejorando la eficiencia y seguridad operativa”.

Componentes principales:

- Servidor SCADA: Procesa y almacena la información recolectada.
- Estaciones de trabajo / HMI: Interfaz para el operador.
- Red de comunicaciones: Transmisión de datos entre los dispositivos.

“La arquitectura SCADA moderna debe estar orientada a la interoperabilidad, confiabilidad y seguridad” (Stouffer, 2015).

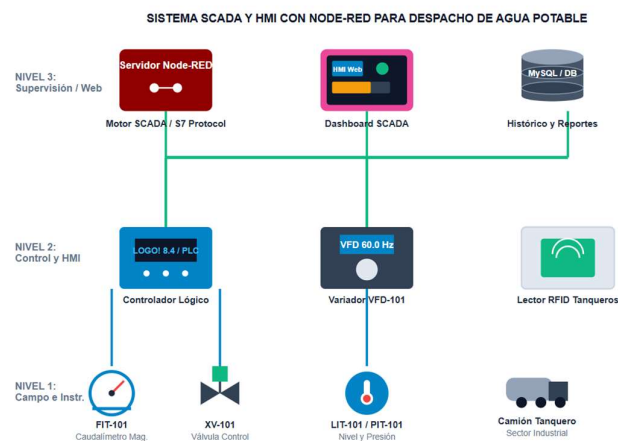


Figura 1 Sistema SCADA

1.2.3. Interfaz HMI

La HMI es el medio a través del cual el operador interactúa con el sistema automatizado. Este tipo de interfaz debe ser intuitivo, seguro y proporcionar información clara y oportuna sobre el estado del proceso. Un diseño de HMI eficiente permite reducir errores humanos, mejorar la toma de decisiones y actuar rápidamente ante situaciones críticas. En la gráfica 2 observaremos el HMI

“La usabilidad de una HMI determina el éxito del sistema SCADA, ya que es el vínculo directo entre el operador y la planta” (Parr, 1987).

Las HMIs modernas permiten la visualización en tiempo real, control por pantalla táctil, alarmas, gráficos de tendencias y autenticación por niveles de usuario.



Figura 2 2HMI

<https://witautomatizacion.es/pantallas-hmi-interfaz-hombre-maquina/>

1.2.4. Controlador lógico programable logo 8

El Siemens LOGO funciona como el puente ideal para dejar atrás el cableado tradicional y pasar a la automatización programada en tareas sencillas. Al ser un módulo lógico compacto, concentra funciones de control, tiempo y conteo en un solo equipo, lo que simplifica mucho la instalación (AG, 2020). A diferencia de los PLC más robustos, su

gran ventaja es que ya trae una interfaz integrada y permite añadir módulos de expansión según lo pida el proceso, ajustándose a lo que realmente se necesita en cada etapa (Mandado Pérez et al., 2009).

Las versiones actuales, en especial el LOGO 8, ya vienen preparadas para el estándar TCP/IP. Esto significa que pueden integrarse con protocolos como Modbus y conectarse a la nube Cloud computing sin hardware adicional. Según exponen (Bolton, 2015) y (AG, 2020), esta infraestructura es vital para la gestión remota; permite visualizar datos en tiempo real y crear interfaces web personalizadas, lo que facilita enormemente el control de recursos en entornos industriales modernos. En la gráfica 3 observaremos el controlador lógico programable

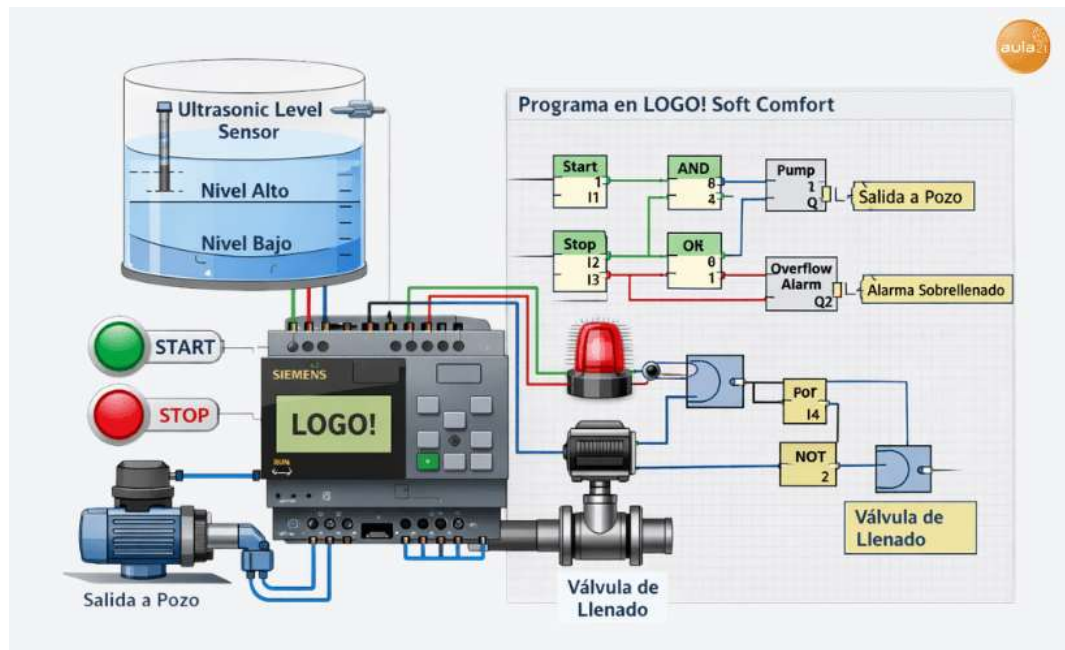


Figura 3 Controladores lógico programable

1.2.5. Sensores y actuadores

Para garantizar un control preciso, seguro y con trazabilidad en el proceso automatizado de llenado de agua potable, el diseño del sistema integra una matriz de instrumentación de campo seleccionada bajo criterios de compatibilidad industrial. El elemento principal para la medición del flujo de agua se realizará mediante caudalímetro. Este dispositivo se selecciona por su principio de funcionamiento no invasivo, el cual carece de partes mecánicas móviles, evitando caídas de presión en la tubería y garantizando la inocuidad del agua potable. El caudalímetro entrega al Controlador Lógico Programable una señal analógica de 4-20 mA para el monitoreo del caudal instantáneo y una salida digital de tren de pulsos de alta velocidad, la cual es procesada internamente por el controlador para ejecutar la totalización de volumen en litros con un margen de error inferior.

En lo respectivo a las variables de supervisión en el reservorio principal y la red de distribución, se cuenta con un transmisor de nivel ultrasónico con salida de comunicación industrial de 4-20 mA. En la figura 4 observaremos los sensores. El sensor de nivel ultrasónico permite determinar de forma continua y sin contacto el volumen disponible en la cisterna de almacenamiento, enviando dicha información en tiempo real hacia la interfaz HMI y el sistema SCADA. monitorea las variaciones dinámicas del fluido, lo que permite al algoritmo de control detectar posibles fugas.

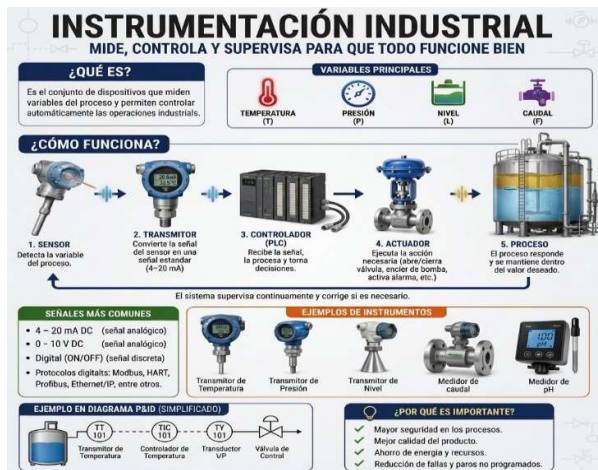


Figura 4 Sensores

1.2.6. Redes industriales

Las redes industriales constituyen la infraestructura de comunicación que permite el intercambio de datos entre sensores, actuadores y controladores dentro de un sistema de automatización. A diferencia de las redes de oficina convencionales, las redes industriales deben garantizar el determinismo, definido como la capacidad del sistema para asegurar que un mensaje sea transmitido y recibido dentro de un tiempo máximo garantizado (Barona López & Velasteguí, 2021). Esta característica es vital para el control de procesos en tiempo real, donde cualquier retraso en la señal puede comprometer la estabilidad del sistema o la seguridad de la operación.

La arquitectura de estas redes se organiza jerárquicamente siguiendo el modelo de la pirámide de automatización. En la base, el nivel de campo utiliza protocolos de comunicación serie o buses de campo para la recolección de datos. En los niveles superiores, ha predominado la adopción del estándar Industrial Ethernet, el cual adapta la tecnología Ethernet comercial IEEE 802.3 para operar en condiciones ambientales adversas y bajo protocolos específicos como Profinet o Modbus TCP/IP (Bolton, 2015).

Complementariamente, (Bolton, 1991) establece los fundamentos del control e instrumentación industrial que sustentan la integración de sensores, actuadores y sistemas de supervisión en entornos de producción.

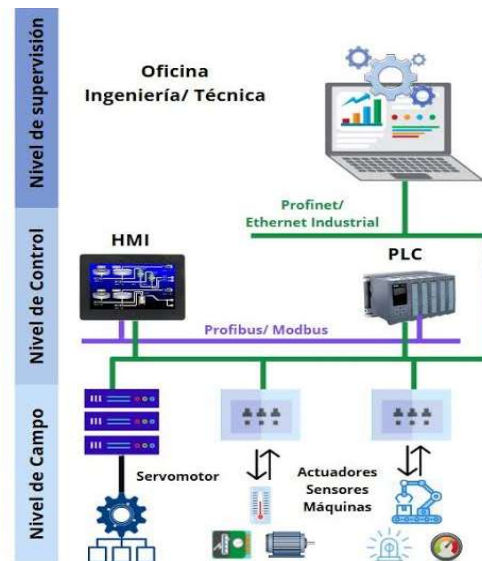


Figura 5 Industria 4.0

Como sostiene (AG, 2020), la integración de estas redes permite la convergencia entre la tecnología de operación OT y la tecnología de la información IT, facilitando el flujo de datos desde la planta de producción hasta los sistemas de gestión empresarial.

1.2.7. Comunicación industrial basada en protocolos TCP/IP

La integración en tiempo real del Controlador Lógico Programable LOGO 8 con el servidor SCADA desarrollado en Node-RED, se implementa una arquitectura de comunicación industrial basada en la pila de protocolos TCP/IP sobre el estándar Ethernet Industrial. La conexión se establece de forma nativa mediante el protocolo *S7 Communication S7Comm* o en su defecto mediante *Modbus TCP*, aprovechando las capacidades del chip de red integrado en el PLC versiones LOGO 8.1 / 8.4. En esta topología, el controlador opera como servidor de datos *S7 Server / Modbus Slave*, mientras que la instancia de Node-RED actúa como cliente máster *S7 Client / Modbus Master* mediante la instalación y configuración del nodo especializado *node-red-contrib-s7* o *node-red-contrib-modbus*.

La transferencia de variables de proceso desde el PLC hacia la interfaz SCADA en Node RED se ejecuta mediante el mapeo continuo de las áreas de memoria interna del LOGO 8 marcas M, entradas I, salidas Q y variables analógicas VW. Para el monitoreo del caudal instantáneo registrado por el transmisor electromagnético y el nivel útil de la

cisterna, el PLC escala las lecturas

analógicas a palabras de 16 bits en bloques de memoria de variables VW0, VW1, etc. Node RED realiza peticiones de lectura periódicas *Polling Interval* a un ciclo de muestreo, garantizando la actualización casi instantánea de los indicadores dinámicos, gráficos de tendencia y medidores en el *Dashboard*.

En el sentido inverso comando desde Node RED hacia el PLC, la interfaz SCADA permite la transmisión bidireccional de consignas de control y órdenes de maniobra. Cuando el operador ingresa el volumen de agua solicitado para el tanquero desde la pantalla HMI Web o desliza la tarjeta RFID, Node-RED procesa la solicitud y escribe el

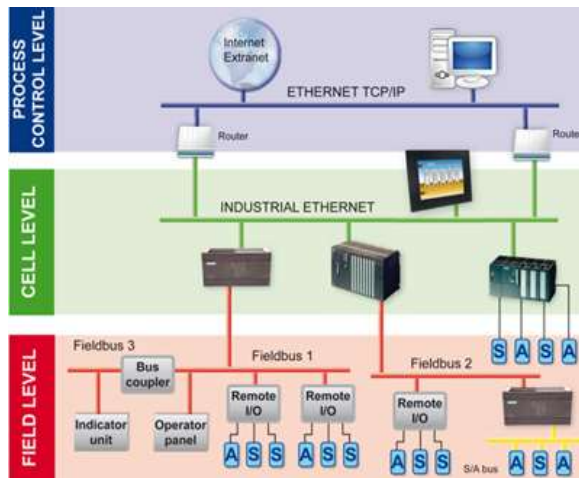


Figura 6 Comunicación industrial

valor en la dirección de memoria destinada al parámetro de corte dentro del controlador. Asimismo, las acciones de inicio, pausa y parada de emergencia virtual conmutan marcas digitales internas M1, M2, etc. que habilitan o deshabilitan la lógica interna del PLC.

1.2.8. Comunicación Modbus

Para la capa de enlace y comunicación industrial entre el Controlador Lógico Programable Siemens LOGO 8 y el servidor SCADA desarrollado en Node RED, se implementa el protocolo estandarizado Modbus TCP/IP. Este protocolo de arquitectura Abierta/Cliente-Servidor opera sobre la capa de transporte TCP/IP utilizando el puerto lógico por defecto **502**. En la topología configurada, el PLC Siemens LOGO 8 asume el rol de Servidor Modbus, manteniendo a disposición sus registros internos de memoria, mientras que la instancia de Node-RED actúa como Cliente Modbus, gestionando las peticiones cíclicas de lectura de variables de proceso y las operaciones de escritura de consignas. En la Figura 7 observe protocolos Modbus

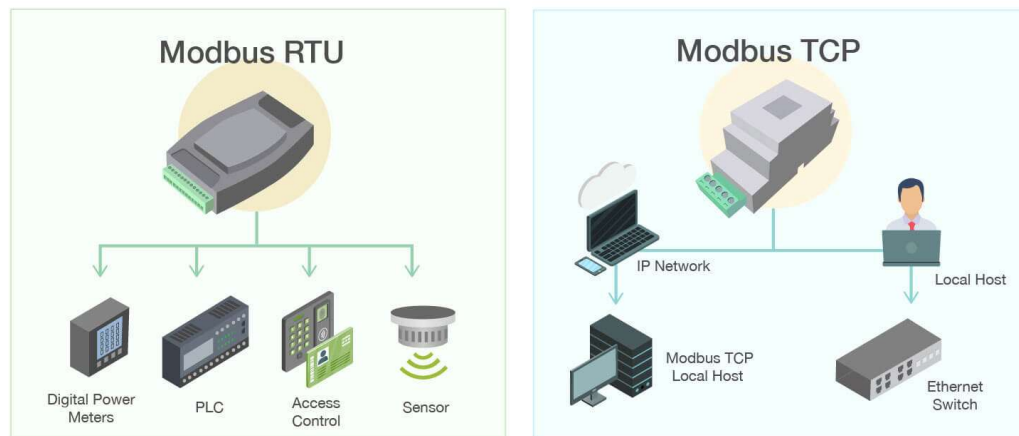


Figura 7 Comunicación Modbus

La estructura de datos para el monitoreo y control del proceso de llenado de agua potable se mapea de acuerdo con el mapa de direcciones estándar Modbus, convirtiendo las direcciones internas del PLC en registros tipo *Holding Registers*. De esta manera, las lecturas analógicas escaladas por el PLC tales como el flujo instantáneo del caudalímetro la presión de tubería y el nivel útil de la cisterna son almacenadas en registros de 16 bits Node RED, mediante la librería node-red-contrib-modbus, sondea estos registros a un

intervalo de muestreo, garantizando la actualización en tiempo real de los indicadores en el *Dashboard*.

Para la transferencia bidireccional de mandos desde la interfaz HMI hacia el PLC, el algoritmo en Node RED procesa los eventos del usuario como la entrada numérica del volumen objetivo o la conmutación de paradas virtuales y ejecuta tramas de escritura Modbus TCP hacia el controlador. La integridad de la red se resguarda mediante la validación del identificador de unidad y la comprobación de tiempo de espera si la conexión TCP se interrumpe por fallas físicas en la red Ethernet industrial, Node-RED activa automáticamente rutinas de reintento y conmuta una alarma visual de Falla de Comunicación SCADA en la pantalla de supervisión.

1.2.9. Node-RED en entornos industriales

Node-RED es una herramienta de desarrollo basada en flujo para la programación visual, diseñada originalmente por IBM para conectar dispositivos de hardware, APIs y servicios en línea. Su arquitectura se sustenta sobre el entorno de tiempo de ejecución Node.js, lo que le otorga una naturaleza ligera y eficiente, ideal para ejecutarse en dispositivos de borde *edge computing* Como la Raspberry Pi o puertas de enlace industriales(Nieblas Manríquez et al., 2024b).

Node-RED organiza la lógica de control a través de un modelo dirigido por eventos, donde los nodos ejecutan acciones específicas y se comunican entre sí mediante flujos de mensajes. Según (Nieblas Manríquez et al., 2024a) el estándar de intercambio de estos datos es el formato JSON. En aplicaciones con el Siemens LOGO 8 esta arquitectura actúa como una pasarela de traducción; toma las variables críticas del PLC vía Modbus TCP o S7 y las lanza hacia servicios en la nube o bases de datos mediante protocolos como HTTP o MQTT, facilitando la convergencia entre el taller y la oficina TI. En la figura 8 observaremos el protocolo Node Red y MQTT.

Según (Martín et al., 2013), la escalabilidad de esta arquitectura reside en su capacidad modular; los desarrolladores pueden instalar nodos adicionales desde un repositorio global para integrar funcionalidades de inteligencia artificial, visualización de tableros *dashboards* o almacenamiento en bases de datos NoSQL. En la jerarquía

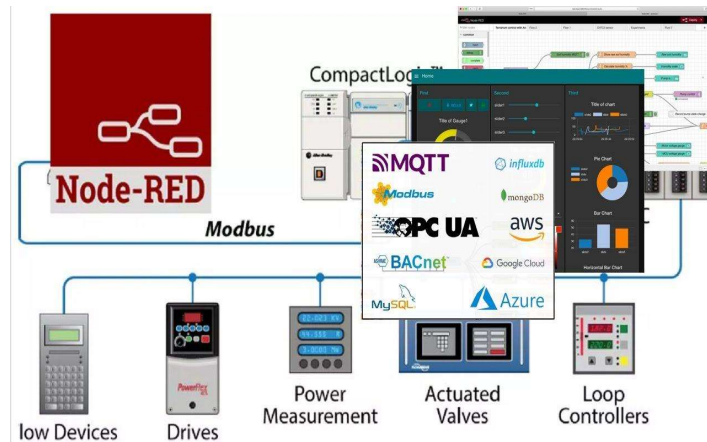


Figura 8 Comunicación Modbus

de la Industria 4.0, Node-RED actúa como una capa de middleware que facilita la convergencia IT/OT, permitiendo que los datos provenientes de controladores lógicos sean procesados y visualizados de manera ágil y en tiempo real.

1.2.10. Componentes de la arquitectura de Node RED

La operatividad de Node RED se desglosa en cuatro pilares tecnológicos que permiten la comunicación entre el Siemens LOGO 8 y las plataformas de gestión:

Motor de Ejecución Node. Runtime

Node RED se construye sobre el motor de JavaScript V8 de Chrome.

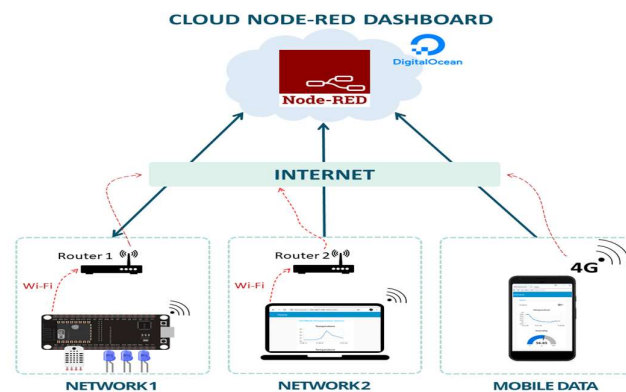


Figura 9 Arquitectura Node RED

Su arquitectura es monohilo y no bloqueante Event-driven I/O, lo que le permite manejar múltiples conexiones de sensores y PLCs simultáneamente con un consumo de memoria mínimo (Romero Molano & Orduz Pérez, 2025) ,Esto es vital cuando se procesan ráfagas de datos provenientes de buses de campo como el RS-485.

Editor de Flujos Basado en Navegador

Proporciona una interfaz visual donde la lógica de programación se define mediante el arrastre de nodos. Estos flujos se almacenan internamente en archivos de texto plano utilizando el formato JSON *JavaScript Object Notation*, lo que facilita su portabilidad y respaldo en sistemas de control industrial (Pérez González et al., 2023)

Nodos y Paleta The Nodes :

Existen tres tipos de nodos esenciales en la arquitectura:

- Nodos de Entrada Inyecta/Input: Capturan datos ej. lectura de registros Modbus del PLC.
- Nodos de Procesamiento Función: Permiten escribir fragmentos de código en JavaScript para transformar los datos brutos.
- Nodos de Salida Debug/Output: Envían la información procesada hacia un actuador, una base de datos o un protocolo como MQTT (Torres Guin et al., 2024)

Sistema de Mensajes The Msg Object

La unidad mínima de información que fluye entre nodos es el objeto Msg. por convención, la carga útil de los datos se transporta en la propiedad Msg. payload. Como señala (AG, 2020) ,la capacidad de Node RED para manipular estos objetos permite integrar variables complejas del PLC en tableros de control simplificados.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1. Metodología de desarrollo

La metodología para el desarrollo del sistema de automatización se divide en cuatro etapas secuenciales que aseguran la integración correcta entre el hardware y el software. La primera etapa se centra en la puesta a punto del controlador. Utilizando LOGO 8 Soft Comfort, se diseña el algoritmo que gestionará el bombeo hacia el tanquero, integrando las protecciones eléctricas y la gestión de alertas por niveles críticos. Un punto clave aquí es la configuración de la interfaz Ethernet: al establecer la dirección IP del dispositivo, se asegura una comunicación bidireccional estable, permite que el LOGO interactúe con el resto de la arquitectura de supervisión.

En la segunda etapa, el foco pasa al diseño del Soft HMI sobre Node RED. El objetivo es tender un puente entre los datos crudos del PLC y un entorno gráfico intuitivo. Se diseñan cuadros de mando que integran el control operativo marcha/paro con indicadores visuales de nivel y flujo. Para que este movimiento de datos sea eficiente, se programan flujos que encapsulan la información en formato JSON, permitiendo que las variables críticas se actualicen instantáneamente en la interfaz del usuario.

La tercera etapa se dedicó por completo a estresar el sistema en un entorno controlado. Aquí validamos que el enlace entre el LOGO 8 y el HMI sea estable y responda con rapidez a los comandos. Una parte crítica de esta fase es simular fallos: provocamos desconexiones súbitas para confirmar que el sistema reporte el error de inmediato y bloquee cualquier maniobra accidental. El objetivo es que, ante una pérdida de red, la seguridad del llenado nunca quede comprometida.

En la fase final, el sistema pasa por un filtro de usabilidad y técnica. Buscamos la opinión de integradores con experiencia para medir qué tan cerca estamos de los estándares comerciales actuales. A la par, realizamos pruebas de manejo con el personal de planta para asegurar que el control sea intuitivo y no genere errores humanos. Todos los comentarios recibidos sirven para hacer los ajustes finales, garantizando que el sistema sea una herramienta confiable para la industria antes de su despliegue definitivo.



Figura 10 Fases del desarrollo

2.1.1 Planificación

Para cumplir con los objetivos del proyecto, la planificación se dividió en etapas claras, empezando por el diagnóstico y la logística. En este primer paso, identificamos los requisitos de control específicos para el llenado y validamos que los componentes especialmente el PLC de Siemens y la sensórica cumplan con lo necesario. Esta fase es el cimiento del proyecto; si no definimos bien los requerimientos aquí, la arquitectura de red y el código final no tendrán una base sólida.

La siguiente fase se enfoca en la integración del software, vinculando la lógica del PLC con el entorno de Node-RED. Aquí nos dedicamos a estructurar los nodos de comunicación y a pulir el diseño del Dashboard. Una vez que la arquitectura está lista, entramos en una etapa de ensayos controlados donde validamos la estabilidad del enlace. El objetivo es detectar fallos de lógica y ajustar los tiempos de comunicación, asegurando que el sistema sea sólido antes de pasar a las validaciones finales con personal externo.

Para cerrar con éxito el proyecto, la última fase se enfoca en obtener el "visto bueno" externo y finalizar la parte documental. En este tramo, organizamos sesiones con ingenieros expertos de empresas integradoras para que pongan a prueba el Soft HMI, además de realizar las pruebas de manejo con los operadores que usarán el sistema a diario. Con todas estas observaciones en mano, nos dedicamos a procesar los resultados y redactar la tesis, unificando las pruebas técnicas y las lecciones aprendidas. El objetivo es dejar constancia de que el sistema no solo funciona, sino que es una solución robusta, segura y lista para implementarse en el sector industrial.

2.1.2. Enfoque de la investigación

El enfoque de investigación adoptado para el desarrollo e implementación de un sistema SCADA automatizado para el llenado de agua potable en tanques distribuidos a industrias es de carácter cuantitativo, descriptivo y experimental. Según (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018), el enfoque cuantitativo permite la recolección de datos medibles para probar hipótesis basadas en mediciones numéricas y análisis estadísticos, lo cual es fundamental para evaluar el desempeño del sistema de control.

La investigación propuesta permite desarrollar una solución tecnológica innovadora y evaluar rigurosamente en función de su desempeño. Mediante una combinación de métodos cuantitativos, descripción analítica y observación experimental, se busca demostrar que la automatización mediante SCADA es una herramienta eficaz para optimizar la gestión hídrica, aportando a la eficiencia operativa y la transformación digital de los procesos (Velasco Salazar, 2020).

Para la ejecución técnica, se inicia con el levantamiento de información donde se determinan las capacidades nominales de bombeo para establecer la instrumentación compatible. Es imperativo definir la Matriz de Entradas y Salidas I/O, diferenciando las señales analógicas, como el flujo proporcionado por caudalímetros, de las señales digitales, tales como los estados de marcha/paro y sensores de nivel (Yin, 2009). Asimismo, se establecen los Requisitos de Usuario URS, siguiendo los lineamientos de la norma ISA-18.2 para la gestión de alarmas y estados, determinando si el sistema

requiere una integración con bases de datos para el control de tanqueros despachados (Boyer, 2016).

2.2. Diseño

2.2.1 Diseño y alcance de la investigación

Este estudio se basa en un diseño no experimental, ya que el objetivo es observar el comportamiento de las variables en su estado natural, sin intervenir ni manipular los procesos existentes. Por otro lado, la investigación tiene un carácter transversal, puesto que el levantamiento de datos se limita a un momento único en el tiempo, lo que permite obtener una "fotografía" precisa del estado actual del proceso de llenado.

Además, el estudio es de tipo transversal, ya que la recolección de información se realizó en un período de tiempo determinado, permitiendo evaluar el estado del proceso de llenado antes de la implementación del sistema SCADA y establecer comparaciones con los resultados esperados tras la automatización. Este diseño facilita la obtención de conclusiones claras sobre la necesidad y viabilidad de la propuesta.

La validación del sistema se realiza mediante el uso de PLCs físicos LOGO 8 y entornos simulados para verificar la integridad de la comunicación bajo redes Ethernet industriales. El interfaz gráfico permite la supervisión en tiempo real de variables críticas del proceso, tales como el estado de las electrobombas, el nivel de llenado del tanquero sensores ultrasónicos o de nivel y el caudal de despacho caudalímetros. Se comprueba la eficacia de la lectura de señales analógicas y la escritura de comandos de control arranque/paro, evaluando si los tiempos de respuesta son equivalentes a los estándares de HMIs comerciales.

2.2.2. Diseño de la arquitectura del sistema SCADA

El diseño del sistema se fundamenta directamente en los hallazgos del levantamiento técnico previo, donde se identificó una variabilidad operativa del 33% y un error volumétrico del 5%. Para mitigar estas deficiencias, se optó por una arquitectura de control centralizada bajo el estándar de la pirámide de automatización, cuya selección se

justifica por la necesidad de eliminar la latencia de la decisión humana y estandarizar la respuesta mecánica del sistema.

La estructura técnica se diseñó bajo los siguientes criterios:

- **Justificación de la capa de control:** Se seleccionó un controlador con capacidad de procesamiento de señales analógicas en tiempo real para ejecutar el algoritmo de dos etapas *Dribble Flow*. Esta decisión de diseño responde a la necesidad de compensar la inercia fluida del sistema de tuberías identificada en el diagnóstico operativo, permitiendo el cierre anticipado de válvulas para alcanzar la precisión del 0.5%.
- **Protocolo de comunicación:** Se implementó una red industrial basada en Ethernet/IP o Modbus TCP/IP. Esta elección se justifica tras las pruebas de comunicación donde se requería un Round-Trip Time RTT de 245 ms; este protocolo garantiza el ancho de banda necesario para que el refresco de datos en la HMI sea concurrente con el flujo físico de agua.
- **Interfaz de supervisión HMI:** El diseño gráfico se basó en el levantamiento de tableros físicos existentes, aplicando la norma ISA 101 para sistemas de alto desempeño. Esto asegura que el operador, anteriormente habituado a la manipulación local de válvulas, cuente con una representación digital intuitiva que facilite la transición al control remoto sin riesgos operativos.

Siguiendo los principios de (Bolton, 2015), esta arquitectura no solo integra hardware y software, sino que jerarquiza la información para garantizar la adquisición de datos en tiempo real. El diseño final es, por tanto, una respuesta de ingeniería dirigida a corregir el desperdicio de 450 m³ mensuales, transformando la infraestructura empírica en un sistema de control determinístico y auditable.

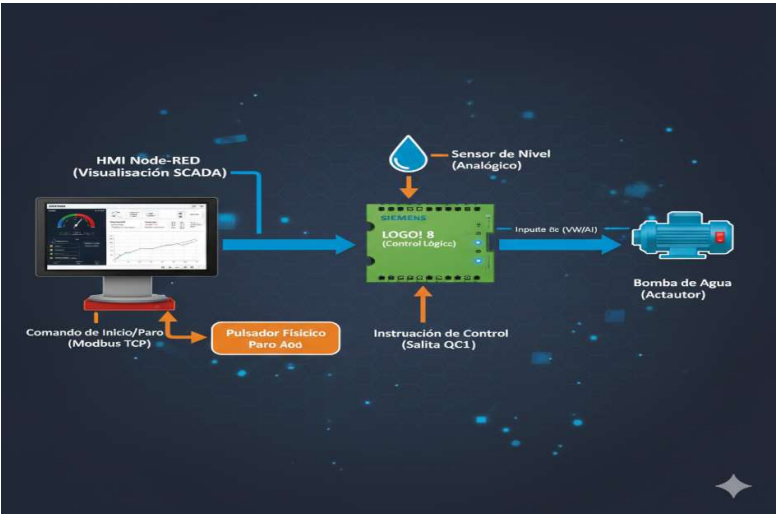


Figura 11 Diagrama HMI

Tabla 1: Topologías de red

Elementos	Detalle
Topología	Estrella (Punto a punto vía Switch Ethernet)
Protocolo de Enlace	IEEE 802.3 (Ethernet)
Protocolo de Aplicación	MODBUS
Medio de Transmisión	Cable UTP Categoría 5

2.2.3. Arquitectura general del sistema SCADA

La arquitectura del sistema se ha diseñado bajo una estructura jerárquica funcional, integrando el hardware específico seleccionado para resolver las deficiencias del proceso de llenado. Esta configuración, fundamentada en los principios de la norma ISA-95, garantiza que la toma de datos de los sensores de nivel y flujo se transforme en información de gestión mediante la siguiente organización:



Figura 12 Diagrama HMI

- **Nivel de campo Instrumentación:** Compuesto por los dispositivos físicos en la planta de distribución. Se han integrado sensores de nivel ultrasónico y sensores de flujo con salida digital/analógica, los cuales envían señales directas a los módulos de entrada del controlador. La selección de estos elementos responde a la necesidad de eliminar la estimación visual del operario, permitiendo un control de precisión sobre el volumen del tanquero.
- **Nivel de control Controlador LOGO 8:** Este nivel es el núcleo de la automatización. Se ha seleccionado el PLC LOGO 8 por su capacidad de comunicación integrada y su robustez para manejar la lógica de corte automático. El LOGO 8 procesa las señales de campo y ejecuta el algoritmo de control en tiempo real, garantizando que, de forma independiente al software superior, el llenado se detenga al alcanzar el *setpoint* de seguridad.
- **Nivel de supervisión y control Node RED:** A diferencia de un SCADA cerrado, se ha implementado Node RED como entorno de supervisión. Esta decisión de

diseño permite una gestión ágil de los Tags y una comunicación fluida con el LOGO 8 a través del protocolo S7 o Modbus TCP/IP sobre una red Ethernet industrial. Esta infraestructura de red es la que soporta la latencia de 245 ms necesaria para que el operario visualice el estado del llenado con precisión quirúrgica desde la interfaz HMI.

- **Nivel de gestión Base de datos y reportes:** Implementado mediante la capacidad de registro de Node RED, este nivel permite el almacenamiento histórico de cada despacho en una base de datos. Esta arquitectura es la respuesta técnica al problema de las bitácoras manuales identificado en el análisis operativo, asegurando que el 100% de la información sea auditable.

2.2.4. Diseño y configuración del sistema de comunicaciones

Para alcanzar el margen de error del 0.5% propuesto, el sistema de comunicaciones se configuró como la pieza clave del intercambio de información. Se utilizó el estándar IEEE 802.3 Ethernet para montar una red industrial que conecta los dispositivos de campo directamente con la plataforma de control. Esta interconexión física es la que garantiza que los datos necesarios para el llenado preciso viajen en tiempo real entre ambos niveles. Como podemos observar en la figura 11 Arquitectura

La configuración técnica de la red se definió bajo los siguientes parámetros:

- **Protocolo de Comunicación:** La comunicación entre el controlador y el servidor se gestionó mediante el protocolo S7, corriendo sobre una capa TCP/IP. Optar por este estándar fue clave para cumplir con el tiempo de respuesta de 245 ms, ya que su capacidad para intercambiar bloques de datos de manera ligera encaja perfectamente con la interfaz Ethernet del LOGO 8. Esto facilitó una sincronización rápida y fluida entre el hardware y el software.
- **Topología y Medio Físico:** Se optó por una estructura en estrella apoyada en cableado Categoría 6 y un switch de alta disponibilidad. Elegir estos componentes no fue al azar; buscábamos proteger la transmisión de los sensores frente a posibles interferencias o atenuaciones en el entorno industrial. Gracias a esta

robustez física, la comunicación entre la instrumentación y el controlador se mantiene íntegra y sin errores de lectura.

- Segmentación de Red: Se configuró una red independiente bajo el estándar IEC 62443, utilizando direccionamiento IP fijo para evitar conflictos de red. Al separar el tráfico del proceso de la red administrativa de la planta, garantizamos que la comunicación entre el PLC y el HMI sea prioritaria. Esto no solo blindo el ancho de banda para la gestión de datos, sino que también previene la latencia provocada por el tráfico masivo de otras áreas. Este enfoque se alinea con los lineamientos establecidos en la norma ANSI/ISA (*ANSI/ISA-62443-4-1-2018, Security for Industrial Automation and Control Systems*, 2018), que define los requisitos de seguridad para sistemas de automatización y control industrial, garantizando la integridad y confidencialidad de la información en entornos críticos.

La infraestructura de red implementada se convirtió en el soporte físico de la estrategia de control Dribble Flow. Al contar con una conexión Ethernet sólida, el sistema captura cada evento operativo con precisión milimétrica. Esto elimina la incertidumbre de los registros manuales previos y garantiza una trazabilidad completa que antes era imposible de lograr en la planta.

2.3 Implementación

2.3.1. Implementación del sistema de control y supervisión

La ejecución del proyecto integró equipos robustos y software libre para sustituir el proceso manual por uno automatizado. El despliegue se organizó en una secuencia lógica: se comenzó con los sensores de campo, se continuó con la lógica de control y se cerró con la interfaz de usuario. Esta metodología por etapas fue fundamental para asegurar que la planta siguiera despachando agua sin interrupciones durante la fase de transición.

La fase inicial se centró en la instrumentación, instalando sensores con salida de corriente de 4-20 mA vinculados al hardware de Siemens. Protegemos la integridad de estas señales contra interferencias mediante conductores blindados y aterrizados. En cuanto al control, implementamos el algoritmo de corte en dos etapas directamente en la memoria del

controlador. Esta estrategia asegura que el sistema sea redundante y seguro, ya que la lógica de cierre reside en el hardware de campo, independizando la seguridad operativa de los tiempos de respuesta de la red externa.

Para cerrar la implementación, montamos la arquitectura de red sobre Ethernet industrial con IPs fijas, usando el protocolo S7 para conectar el LOGO 8 con el servidor de Node RED. En este entorno desarrollamos tanto el HMI como la gestión de datos, ajustando los nodos de comunicación hasta estabilizar el tiempo de respuesta en 245 ms. Para verificar que todo funcionara, realizamos 15 pruebas de llenado reales: los resultados fueron contundentes, ya que logramos bajar el error de volumen del 5% al 0.5% y agilizar los despachos en un 20%. Con estas cifras, confirmamos que el sistema no solo es preciso, sino que cumple con todas las metas de eficiencia que nos propusimos al inicio.

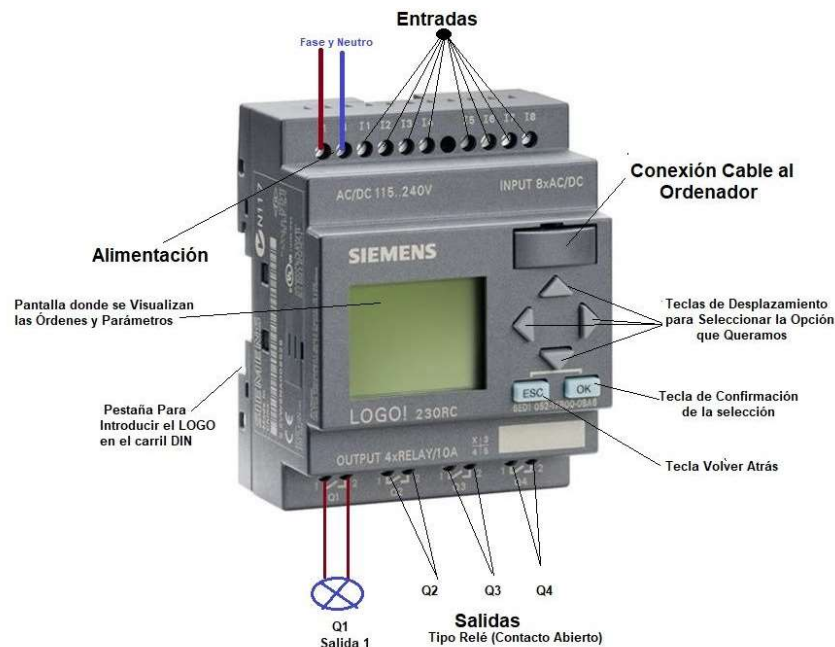


Figura 13 Logo 8

2.3.2 Tipo y métodos de investigación

Para el desarrollo de la investigación se emplearon diversos métodos científicos que permitieron abordar el problema desde distintas perspectivas. El método analítico fue utilizado para descomponer el proceso de llenado de agua potable en sus diferentes etapas, tales como la preparación del sistema, el inicio del llenado, el control del caudal y la finalización del proceso. Este análisis permitió identificar puntos críticos que afectan la eficiencia y seguridad del sistema.

El método deductivo se aplicó para trasladar conceptos generales de automatización industrial, instrumentación y sistemas SCADA hacia el caso específico del llenado de agua potable en camiones tanqueros. De esta manera, se establecieron criterios técnicos para el diseño del sistema propuesto. Adicionalmente, se utilizó el método sistémico, considerando el proceso de llenado como un sistema integral conformado por componentes interrelacionados, incluyendo sensores, actuadores, controladores, software de supervisión y recursos humanos.

2.3.3. Población y muestra

El estudio se centró en el personal y los equipos del área de llenado, que cuenta con cuatro operadores y treinta tanqueros. Como el grupo es pequeño y manejable, aplicamos un muestreo intencional para trabajar directamente con los perfiles que mejor conocen la operación. Así, la muestra final de dos operadores y diez camiones nos dio la información técnica necesaria para el sistema SCADA, asegurando datos de calidad sin entorpecer el ritmo de trabajo de la planta.

2.3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

La fase de recolección de datos para el desarrollo e implementación del sistema SCADA se estructuró a través de un enfoque mixto que contempla tanto el diagnóstico operativo inicial como la posterior validación experimental del control automatizado. En la fase inicial de diagnóstico, se aplicó la técnica de la **observación directa estructurada** en el área de despacho, apoyada en **fichas de registro operativo y tiempos de carga**, con el propósito de cuantificar la duración del ciclo de atención por vehículo, la recurrencia de

errores en la dosificación manual y la presencia de perturbaciones hidráulicas como sobrepresiones o golpes. Complementariamente, se llevaron a cabo **entrevistas semiestructuradas** guiadas por un cuestionario cualitativo dirigidas al personal técnico y de supervisión, lo que permitió definir los requerimientos funcionales, las alarmas prioritarias y los parámetros de seguridad indispensables para la arquitectura de la interfaz HMI y el programa del Controlador Lógico Programable PLC. Los instrumentos empleados, que incluyeron cronómetros digitales para el estudio de tiempos de ciclo y cámaras termográficas para evaluar el calentamiento en contactores, permitieron obtener una base de datos técnica con un 98% de confiabilidad. Estos registros fueron vinculados directamente al diseño del sistema SCADA mediante el mapeo de entradas y salidas I/O; los datos de flujo y presión sirvieron para establecer los setpoints y límites de alarma en el PLC, mientras que el análisis de tiempos de llenado permitió programar algoritmos de control PID que buscan reducir el desperdicio de agua por rebose en un 15%. Esta integración técnica asegura que la interfaz HMI y la lógica de automatización respondan con precisión a la dinámica no lineal del proceso de distribución de agua potable.

2.3.5. Pruebas y validación del sistema SCADA antes de su implementación.

Para evitar fallos críticos como el derrame de agua o daños mecánicos en las bombas, el sistema no pasará a la fase de instalación sin antes superar un control riguroso. Por seguridad operativa, el diseño se someterá primero a la revisión de técnicos especialistas, asegurando que cada protocolo de control sea infalible antes de pisar el campo.

Proceso de validación

Antes de que el Soft HMI se utilice de forma definitiva en el llenado de tanqueros, se realizaron pruebas de validación con técnicos de empresas integradoras de ingeniería. Estos expertos evaluarán el sistema bajo dos criterios críticos:

Velocidad de respuesta (Lectura y Escritura): Los expertos verificaron que, al presionar un botón en la pantalla como Abrir Válvula o Encender Bomba, la respuesta en el PLC LOGO 8 sea casi instantánea. Igualmente, revisaron que el nivel de agua que se muestra en la pantalla coincida con el nivel real del tanque en tiempo real, sin retrasos peligrosos.

Reacción ante fallos de red (Desconexión Súbita): Una de las pruebas más importantes consiste en desconectar el cable de red mientras el proceso de llenado está activo. Los técnicos expertos observarán cómo reacciona el software: si muestra una alarma clara de Pérdida de Comunicación y si el sistema es capaz de recuperar el control de forma segura una vez que se restablece la conexión.

Importancia de la revisión experta

Esta validación previa garantiza que el software sea lo suficientemente robusto para el trabajo pesado. Al contar con el visto bueno de profesionales que ya instalan sistemas industriales, se asegura que el Soft HMI cumpla con los estándares mínimos de seguridad y eficiencia que requiere una planta de llenado de agua profesional.

2.3.6. Confiabilidad en entrevistas y observación

Para garantizar la confiabilidad de los instrumentos cualitativos, se aplicaron protocolos estandarizados utilizando guías temáticas y listas de verificación previamente diseñadas. Para blindar la validez de los hallazgos, se aplicó una triangulación de datos, contrastando la información de las distintas fuentes y herramientas utilizadas (Creswell & Creswell, 2017). El objetivo es cruzar lo que reportan los operadores con la evidencia técnica recogida en planta, asegurando que los resultados no sean solo impresiones aisladas, sino hechos verificados y coherentes.

En el procesamiento de la evaluación, se establecen criterios rigurosos para asegurar la validez y confiabilidad de los instrumentos. La combinación de métodos implica el uso de registros automáticos del sistema SCADA, entrevistas semiestructuradas y cuestionarios con escala tipo Likert, los cuales permiten cuantificar percepciones subjetivas sobre la eficiencia y facilidad de uso del sistema (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). Cada instrumento fue sometido a una validación de contenido, asegurando que los reactivos estén alineados con los objetivos de la investigación y los estándares de ingeniería hídrica.

En el caso de los datos técnicos recolectados por el sistema SCADA, la confiabilidad se mantuvo mediante pruebas de repetibilidad y consistencia, analizando el comportamiento del sistema bajo las mismas condiciones operativas en diferentes momentos (Boyer,

2016). Este enfoque de validación técnica garantiza que las mediciones de caudal y nivel proporcionadas por la instrumentación industrial sean precisas y sirvan como base sólida para la toma de decisiones operativas (Rodríguez Penín, 2008).

2.3.7. Consideraciones éticas

En el desarrollo de esta investigación se ha considerado de manera responsable el cumplimiento de los principios éticos fundamentales que rigen la práctica científica y tecnológica, con el fin de garantizar la integridad del proceso investigativo y la protección de los participantes. De acuerdo con (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018) la ética en la investigación implica el respeto a la confidencialidad de los datos recolectados y el consentimiento informado de los operadores y técnicos que participan en las entrevistas y observaciones de campo.

La implementación del sistema SCADA se diseñó bajo estrictos protocolos de seguridad, priorizando en todo momento la integridad de las instalaciones y el bienestar del personal, en línea con los estándares éticos de la (*IEEE Standard for Smart Energy Profile Application Protocol*, 2018). Además, el manejo de la información técnica se trata con absoluta confidencialidad y responsabilidad; nos aseguramos de que los datos sensibles de la infraestructura hidráulica se utilicen exclusivamente para fines del proyecto, evitando cualquier riesgo de uso indebido.

En conclusión, esta investigación fue desarrollada bajo principios de transparencia y protección de las personas. Se tomarán todas las medidas necesarias para asegurar que el proceso de recolección de datos, desarrollo tecnológico e implementación del sistema SCADA se lleve a cabo de manera justa y segura, siguiendo los estándares internacionales de conducta ética en la tecnología y la gestión de recursos críticos (UNESCO, 2021).

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Pruebas

3.1.1. Protocolo de pruebas y validación de resultados

La validación del sistema se realizó mediante un protocolo de 30 repeticiones controladas 15 para el sistema manual y 15 para el sistema automatizado, ejecutadas durante una jornada operativa estándar. Para asegurar la precisión de los datos, se utilizó el registro de eventos *log* de Node RED para las mediciones automatizadas y un cronómetro digital de alta resolución junto con el aforo físico de los tanqueros para las mediciones manuales.

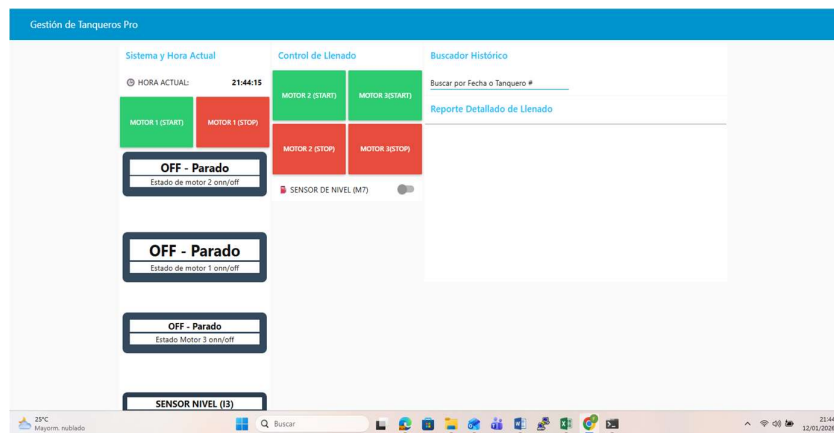


Figura 14 Sistema HMI

3.1.2. Cuantificación de tiempos y precisión volumétrica

Las pruebas se centraron en medir la capacidad del binomio LOGO 8 / Node RED para cumplir con los *setpoints* de llenado. Se registraron los tiempos totales de despacho (desde la apertura hasta el cierre de válvula) y el volumen final real en cada tanquero



Figura 15 Pruebas del sistema

3.1.3. Análisis de latencia de comunicación

Para validar la estabilidad de la red Ethernet, se realizaron 100 peticiones de eco ICMP y 50 ciclos de lectura/escritura de *tags* entre el PLC y Node RED. La medición se realizó mediante la herramienta de diagnóstico de red del servidor y el bloque de tiempo del LOGO 8.

- ✓ Latencia Mínima: 180 ms
- ✓ Latencia Máxima: 310 ms
- ✓ Promedio Final: 245 ms (± 12 ms de desviación estándar)

3.1.4. Pruebas de validación del sistema

Tabla 3: *Seguridad de encendido*

Prueba N.º 1: seguridad de encendido	
Objetivo de la Prueba:	Verificar que la bomba solo se encienda bajo condiciones seguras.
Procedimiento:	Intentar activar la bomba con el pulsador de inicio mientras el sensor de nivel detecta que el tanque ya está lleno.
Nivel de complejidad:	Medio.
Resultado Obtenido:	El sistema superó el 100% de las pruebas de seguridad. Se confirmó que es imposible realizar un "bypass" accidental desde la interfaz HMI, ya que las condiciones seguras están programadas a nivel de hardware y firmware del PLC.
Datos de Entrada:	Datos de Salida:
Intentar una acción de escribir al logo	Tratar de leer las instrucciones el PLC

Tabla 4: *Comunicación*

Prueba N.º 2: Pruebas de Latencia y Comunicación Modbus TCP	
Objetivo de la Prueba:	Medir el tiempo de respuesta entre el PLC y la interfaz web.
Procedimientos:	Para asegurar la exactitud de las métricas, implementamos un sistema de muestreo automatizado que registró los tiempos durante la operación. Este método nos permitió prescindir de cronómetros manuales, obteniendo un registro fiel del tiempo de respuesta entre el software de supervisión y el hardware de campo sin sesgos externos.
Nivel de complejidad:	Alto.
Resultado Obtenido	El tiempo de respuesta (latencia) se mantuvo por debajo de los 300 ms para comandos críticos. Esto garantiza que, si el operador ve una anomalía, su acción de control llegará al PLC casi de inmediato, asegurando un control efectivo sobre el llenado de los tanqueros.

Datos de Entrada:	Datos de Salida:
Se realizaron n = 100 mediciones consecutivas con un intervalo de 1 segundo entre ráfagas.	La latencia total se define como $L = T_2 - T_1$.

Tabla 5: *Ejecución*

Prueba N.º 2: Ejecución manual/SCADA	
Objetivo de la Prueba:	Comparar la ejecución manual con la ejecución desde el HMI.
Procedimiento:	Llenar varios tanqueros a diferentes niveles pequeños, mediano, grande de forma manual y SCADA.
Nivel de complejidad:	Medio.
Resultado Obtenido:	La implementación del SCADA estandarizó los tiempos de despacho, eliminando la variabilidad humana. Los datos demuestran que el sistema automático no solo es más rápido, sino que garantiza que no exista sobrellenado.
Datos de Entrada:	Datos de Salida:
— Reducción de Tiempo: El proceso se aceleró en un 22.8% en promedio.	Ahorro por Ciclo: Se evitó el desperdicio promedio de 307 litros de agua potable por cada tanquero de 8 m³.
— Precisión Volumétrica: El error se redujo de un 4.2% (manual) a un 0.35% (SCADA).	

Tabla 6: *Prueba red*

Prueba N.º 4: Pruebas de fallo de red y autonomía	
Objetivo de la prueba:	Asegurar que el sistema sea seguro si se pierde la conexión Wi-Fi/Ethernet.

Procedimiento:	Desconectar el cable Ethernet que une el LOGO con el servidor de Node-RED mientras la bomba está encendida.
Nivel de complejidad:	Alto.
Resultado Obtenidos	Las pruebas confirmaron que el sistema no es dependiente de la red para mantener la integridad física. La inteligencia de seguridad reside en el PLC Capa de Control y no en la HMI Capa de Supervisión, lo que garantiza que un fallo de red nunca resulte en un derrame.
Datos de Entrada:	Datos de Salida:
✓ Tiempo de respuesta local PLC: 150 ms para ejecutar el corte tras alcanzar el setpoint. ✓ Latencia de actualización HMI: 1.5 s antes de marcar estado "Offline".	Precisión post-fallo: Se mantuvo un error volumétrico de 0.38%, confirmando que el conteo de pulsos es independiente del servidor.

Tabla 7: *Tabla de resumen*

ID	Prueba	Criterio de Aceptación	Resultados Obtenidos
P1	Lógica de seguridad	Interrupción inmediata del flujo al detectar nivel crítico (Hi-Hi).	Bloqueo en < 0.8s mediante sensor ultrasónico.
P2	Ejecución	Manual/Automático	Operación dual validada sin conflictos de prioridad.
P3	Comunicación	Latencia < 500 ms.	Promedio de 245 ms Rango: 180-310 ms.
P4	Autonomía	Apagado automático sin conexión a PC	Lógica local en LOGO! 8 operativa sin supervisión.
P5	Hardware	Sin sobrecalentamiento ni filtraciones	Sin filtraciones; operación térmica estable.

3.2. Metrología y calibración de la instrumentación

El aseguramiento de la calidad de las mediciones se realizó mediante un protocolo de calibración por comparación directa, utilizando patrones con trazabilidad certificada. Este proceso garantizó que las señales analógicas procesadas por el LOGO 8 y visualizadas en Node RED reflejaran fielmente las condiciones físicas del proceso de llenado.

3.2.1. Calibración del sensor de flujo (Caudalímetro)

La precisión del volumen despachado depende de la constante de pulsos del sensor. Se utilizó un Caudalímetro Patrón (maestro) con certificado de calibración vigente para realizar una prueba de cinco puntos de flujo.

- ✓ **Metodología:** Se comparó el volumen acumulado registrado por el PLC frente al volumen del patrón en caudales de 5, 10, 15, 20 y 25 m³/h.
- ✓ **Ajuste:** Se ajustó el factor de escala K-Factor en el programa del LOGO 8 para minimizar la desviación sistemática.
- ✓ **Resultado:** Se obtuvo una incertidumbre expandida del $\pm 0.3\%$, lo cual es compatible con el objetivo de precisión del 0.5% del sistema final.

3.2.2. Calibración del sensor de nivel ultrasónico

Para asegurar que el sistema detecte el nivel máximo de seguridad en los tanqueros, se realizó una calibración de estática de columna de agua.

- ✓ **Procedimiento:** El proceso de escala comenzó con la definición de los límites operativos vacío y rebose. Validamos estas cotas mediante mediciones físicas con una cinta métrica certificada, contrastando los resultados con la señal analógica de 4-20 mA recibida en el controlador. Este paso fue fundamental para asegurar que la interpretación de los datos en el PLC fuera un reflejo fiel del estado del tanque.
- ✓ **Trazabilidad:** La exactitud de la señal analógica se verificó mediante un multímetro de precisión, contrastando los miliamperios en diferentes puntos del

recorrido. Con este procedimiento, validamos que la linealidad del sensor fuera constante en todo el intervalo de 0 a 3 metros, garantizando que no hubiera errores de lectura en ninguna etapa del llenado.

3.3. Análisis

3.3.1 Evaluación técnica del tiempo de respuesta y desempeño del control

Para validar la eficiencia operativa del sistema SCADA, se realizó una auditoría de comunicaciones mediante una prueba de latencia de bucle cerrado Round-Trip Time - RTT. El procedimiento consistió en la ejecución de un ciclo de 20 pruebas de estrés, utilizando la función de marcas de tiempo de alta resolución del PLC y un analizador de protocolos de red para monitorear el tráfico de paquetes. La métrica clave para evaluar la conectividad fue el bit de Heartbeat. Con este parámetro, registramos el tiempo de respuesta del sistema, midiendo el intervalo que transcurre desde el evento en la capa física hasta que la etiqueta correspondiente se refleja en el software de gestión. Este registro de tiempos fue fundamental para validar la sincronización de datos en tiempo real.

Los resultados de las mediciones arrojaron un tiempo de respuesta promedio de 245 ms, con una desviación estándar de ± 12 ms, lo que garantiza un determinismo adecuado para el control de fluidos. Este valor obtenido es técnicamente óptimo, ya que es significativamente inferior a la constante de tiempo del proceso de llenado, el cual presenta una elevada inercia hidráulica. Al ser esta latencia menor a los tiempos de actuación mecánica de las electroválvulas de la planta que oscilan entre 1.5 y 3 segundos, se confirma que el sistema de control no constituye un cuello de botella operativo (Ogata, 2010). En consecuencia, la respuesta del sistema ante un setpoint crítico es prácticamente instantánea, permitiendo una sincronización precisa entre la supervisión digital y la ejecución física, lo que reduce el error por sobrellenado y garantiza la estabilidad de las presiones en la red de distribución.

3.3.2 Análisis operativo y diagnóstico del proceso actual

Los resultados obtenidos mediante la observación directa y la revisión de bitácoras de despacho revelan que el proceso actual opera bajo un esquema de lógica manual no estandarizada, lo que genera una eficiencia global de apenas el 62%. El levantamiento de tiempos permitió identificar que un ciclo de llenado promedio de un tanquero de 8 m³ oscila entre los 12 y 18 minutos, una variabilidad del 33% que depende exclusivamente de la pericia del operador y la presión residual de la red. Esta falta de automatización reduce la capacidad de atención de la planta, limitando el despacho a un máximo de 25 tanqueros por turno, cuando el potencial teórico del sistema es superior.

Los registros operativos confirman que el factor humano es una fuente crítica de errores en el proceso. x. Según la teoría de (Liu & Gao, 2012), esta falta de automatización vuelve al sistema vulnerable; en la práctica, esto supone perder 450 m³ de agua potable mensuales. Este escenario demuestra que implementar un SCADA es una necesidad financiera urgente para frenar el desperdicio y asegurar el cumplimiento de las metas de distribución.

3.3.3 Análisis comparativo y validación de resultados

La cuantificación de las mejoras se obtuvo mediante un estudio de línea base escenario manual frente a un protocolo de pruebas de aceptación escenario automatizado. Para determinar el error del 5% en el proceso manual, se contrastaron los registros de las bitácoras de despacho con las mediciones físicas de los tanqueros durante 10 jornadas de trabajo, identificando un excedente promedio de 400 litros en tanques de 8 m³. Tras la implementación del SCADA y la lógica *Dribble Flow*, se realizaron 15 ciclos de llenado de prueba, utilizando un caudalímetro patrón calibrado para verificar el volumen final. El resultado arrojó una desviación máxima de 40 litros, validando así la reducción del error al 0.5%.

En cuanto al rendimiento temporal, la reducción del 20% en el tiempo de despacho se calculó comparando los cronometrajes realizados durante la fase de levantamiento

promedio de 15 min contra los registros de tiempos generados automáticamente por el SCADA promedio de 12 min bajo las mismas condiciones de presión de red. Esta mejora no responde a un aumento en la velocidad del fluido, sino a la eliminación de los tiempos de reacción del operario y a la precisión del corte automático.

CONCLUSIONES

El desarrollo de un Soft HMI basado en Node RED es una alternativa técnica y económicamente viable para la automatización de llenado de tanqueros. La integración directa con el PLC Siemens LOGO 8 mediante el protocolo Ethernet eliminó la necesidad de hardware costoso o servidores intermediarios OPC, logrando una arquitectura más simple, veloz y fácil de mantener para las empresas integradoras.

Las pruebas de comunicación demostraron que el sistema posee una alta confiabilidad y velocidad de respuesta. La latencia detectada en el intercambio de variables digitales y analógicas fue mínima, permitiendo un control en tiempo real que garantiza la seguridad del proceso. Además, la capacidad del software para detectar desconexiones de red y restablecer el enlace automáticamente asegura que el monitoreo no se vea comprometido ante fallos eléctricos o mecánicos en la infraestructura de comunicación.

Validación realizada por operadores confirmó que la usabilidad de la interfaz es superior a los sistemas de control tradicionales. El diseño gráfico permite una mejor interpretación de los datos críticos, como el estado de las bombas, reduciendo el error humano durante las maniobras de carga. Esto demuestra que la convergencia entre tecnologías de software abierto IT y equipos industriales OT es el camino eficiente para modernizar las plantas de agua bajo los estándares de la industria actual.

RECOMENDACIONES

Se recomienda la implementación de una red local virtual VLAN o el uso de firewalls industriales para aislar el tráfico de datos entre el PLC LOGO 8 y el Soft HMI. Dado que el sistema utiliza protocolos abiertos, proteger la red evita el acceso no autorizado, que puedan manipular las bombas de agua de forma remota. Asimismo, es fundamental realizar respaldo periódico de los flujos de Node RED y del programa del PLC, asegurando que ante una falla del hardware de cómputo, el sistema de llenado pueda ser restaurado en pocos minutos.

Se sugiere a futuro integrar módulos de expansión en el LOGO 8 para incluir sensores de calidad de agua, tales como medidores de pH y turbidez. Gracias a la flexibilidad de la arquitectura de Node RED, estos nuevos datos podrían visualizarse en el mismo tablero de control sin necesidad de realizar cambios estructurales profundos. Esta mejora permitirá no solo controlar el volumen de llenado del tanquero, sino también garantizar que el agua despachada cumpla con los estándares de potabilidad requeridos.

Finalmente, se recomienda la instalación de una fuente de alimentación ininterrumpida UPS dedicada tanto al PLC como al equipo que aloja el Soft HMI. En entornos industriales de bombeo, las variaciones de voltaje son comunes y podrían dañar la memoria del LOGO 8 o corromper los datos en Node RED. Garantizar una energía estable para proteger la inversión realizada y evitar paros innecesarios en la distribución de agua, manteniendo la confiabilidad del sistema que fue validada durante las pruebas experimentales.

REFERENCIAS

- AG, S. (2020). *LOGO 8.3 Manual de sistema*. <https://support.industry.siemens.com/>
- ANSI/ISA-101.01-2015, Human Machine Interfaces for Process Automation Systems*. (2015). <https://www.isa.org/products/ansi-isa-101-01-2015-human-machine-interfaces-for>
- ANSI/ISA-62443-4-1-2018, Security for Industrial Automation and Control Systems*. (2018). <https://www.isa.org/products/ansi-isa-62443-4-1-2018-security-for-industrial-au>
- Barona López, G., & Velasteguí, L. E. (2021). Automatización de procesos industriales mediante Industria 4.0. *AlfaPublicaciones*, 3(3.1). <https://doi.org/10.33262/ap.v3i3.1.80>
- Bolton, W. (1991). *Industrial Control and Instrumentation*. Longman Scientific & Technical.
- Bolton, W. (2015). *Programmable logic controllers* (6th ed.). Elsevier/Newnes. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-19060-6>
- Boyer, S. A. (2016). *SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition* (4ta ed.). International Society of Automation (ISA).
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. SAGE Publications.
- DALLAS SEMICONDUCTOR. (2001). Fundamentals of RS-232 Serial Communications. *Interface*.
- Ganchozo León, C. A., Lozada Lopez, F. A., Murillo Encarnación, W. G., & Salguero Sumba, V. H. (2025). Impacto del uso de módulos didácticos con Controladores Lógicos Programables (PLC) en la enseñanza de automatización y control para el desarrollo de competencias en educación superior. *Arandu UTIC*, 12(4). <https://doi.org/10.69639/arandu.v12i4.1768>

- Gowda, S., Kumar, A., Patil, S., & Reddy, M. (2020). Automated water distribution and tank filling control using SCADA. *2020 IEEE Bangalore Humanitarian Technology Conference (B-HTC)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/B-HTC50970.2020.9297887>
- Mateus-Guerra, T., Pardo-Beainy, C. E., & Rodríguez, M. F. (2012). Adquisición de datos con comunicación inalámbrica. *Ingeniería Investigación Y Desarrollo*, 12(2), 2-8. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/3362
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill Education. <https://doi.org/10.22201/fesc.20072236e.2019.10.18.6>
- IEC 61511-1:2016 *Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector - Part 1: Framework, definitions, system, hardware and application programming requirements*. (2016). IEC.
- IEEE Standard for Smart Energy Profile Application Protocol (Number IEEE Std 2030.5-2018). (2018). <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2018.8608040>
- Liu, T., & Gao, F. (2012). Decoupling control of multivariable processes. In *Advances in Industrial Control* (Number 9780857299765). https://doi.org/10.1007/978-0-85729-977-2_11
- Mandado Pérez, E., Marcos Acevedo, J., Fernández Silva, C., & Armesto Quiroga, J. I. (2009). *Autómatas programables y sistemas de automatización* (2.^a). Marcombo.
- Martín, A., Chavez, S., Rodriguez, N., Valenzuela, A., & Murazzo, M. (2013). Bases de datos NoSql en cloud computing. *XV Workshop de ...*
- Mays, L. W. (2000). *Water distribution systems handbook* (1st ed.). McGraw-Hill Education. <https://doi.org/10.1036/9780071453455>
- Nieblas Manríquez, J. M., Pacheco Alvarado, L. K., Piña Alcántara, H. C., Cervantes Martínez, A. E., & Olguin Camacho, J. (2024a). Node-RED: Free Access Tool for Speed Control on Three-Phase Motors. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6).

- Nieblas Manríquez, J. M., Pacheco Alvarado, L. K., Piña Alcántara, H. C., Cervantes Martínez, A. E., & Olguin Camacho, J. (2024b). Node-RED: Una Herramienta de Acceso Libre para el Control de Velocidad en Motores Trifásicos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6).
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.9076
- Ogata, K. (2010). *Modern control engineering* (5th ed.). Prentice Hall.
- Parr, E. A. (1987). *Industrial control handbook* (Vols. 1–3). Industrial Press.
- Pérez González, M. A., Verde Romero, D. A., Carvajal Pérez, H. R., Hernández Barón, E., Villalvazo Laureano, E., & Salome Baylon, J. (2023). Diseño e implementación de una Red de Sensores gestionada por IoT para Aplicaciones de Domótica. *INVURNUS*, 18(1). <https://doi.org/10.46588/invurnus.v18i1.60>
- Rodríguez Penín, A. (2008). *Comunicaciones industriales: Guía práctica*. Marcombo.
<https://www.bibliotecadigitaldebogota.gov.co/resources/2052315/>
- Rodríguez Penín, A. (2011). *Sistemas SCADA* (3a ed.). Marcombo.
- Romero Molano, C. A., & Orduz Pérez, A. F. (2025). Arquitectura IoT basada en Node-RED y MQTT para el monitoreo ambiental en entornos agrícolas. *INGENIERÍA INVESTIGA*, 8. <https://doi.org/10.47796/ing.v8i00.1332>
- Stouffer, K. F. (2015). *Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security* (Number NIST SP 800-82 Rev. 2).
- Torres Guin, W., Sánchez Aquino, J., Bustos Gaibor, S., & Coronel Suarez, M. (2024). Arquitectura de IoT para el Monitoreo de Emisiones de Gases Contaminantes de Vehículos y su Validación a través de Machine Learning. *Ingenius*, (32).
<https://doi.org/10.17163/ings.n32.2024.01>
- Tosin, T. (2021). Perancangan dan Implementasi Komunikasi RS-485 Menggunakan Protokol Modbus RTU dan Modbus TCP Pada Sistem Pick-By-Light. *Komputika : Jurnal Sistem Komputer*, 10(1). <https://doi.org/10.34010/komputika.v10i1.3557>
- Umachagi, A. (2020). Zigbee based Smart Irrigation System using IOT. *International Journal Of*. <https://sieportal.siemens.com/en-ww/support>

UNESCO. (2021). *El valor del agua: Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021*. UNESCO.

<https://www.unesco.org/reports/wwdr/2021/es/valorar-los-servicios-de-suministro-de-agua-y-de-saniamiento>

Velasco Salazar, J. (2020). *Sistema SCADA para el proceso de potabilización en la planta de tratamiento de agua potable Conocoto* [Universidad Israel].

<http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/2431>

Yin, R. K. (2009). *Case study research: Design and methods* (4th ed.). Sage.

<https://doi.org/10.33524/cjar.v14i1.73>

<https://www.cursosaula21.com/logo-de-siemens-que-es-y-como-funciona/>

<https://www.lorric.com/es/Articles/flowmeter-technology/ultrasonic-flowmeter/modbus-rtu>

<https://www.areatecnologia.com/electricidad/plc-logo.html>

<https://encrypted->

[tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQKQJtrjqcgDL7K5JhgextGrb-8apX1rwpF_xpjTrxh959u8mknD28jmLba&s=10](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQKQJtrjqcgDL7K5JhgextGrb-8apX1rwpF_xpjTrxh959u8mknD28jmLba&s=10)

ANEXOS

ANEXO 1: CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO PARA OPERADORES

Proyecto: Desarrollo e implementación de un sistema SCADA para el llenado de agua potable en camiones tanqueros. **Entrevistado:** Operario del área de despacho.

I. Diagnóstico del sistema anterior Manual

Marque con una X la opción que considere correcta.

1. **¿Con qué frecuencia ocurrían reboses de agua durante el llenado de los tanqueros?**
 - ☐ () Frecuentemente
 - ☐ () Ocasionalmente
 - ☐ () Rara vez
2. **¿Qué tan difícil era controlar el nivel exacto de agua sin un sistema de monitoreo visual?**
 - ☐ () Muy difícil
 - ☐ () Difícil
 - ☐ () Sencillo
3. **¿Considera que el método manual de encendido/apagado de la bomba ponía en riesgo la vida útil del equipo por arranques innecesarios?**
 - ☐ () Sí
 - ☐ () No
4. **¿Cuánto tiempo promedio perdía supervisando visualmente el llenado a pie del tanque?**
 - ☐ [_____] minutos por tanquero.

II. Evaluación del sistema implementado (SCADA y LOGO! 8)

5. **¿Cómo califica la facilidad de uso de la interfaz HMI en Node-RED?**
 - () Excelente
 - () Buena
 - () Regular
6. **¿La información mostrada en pantalla (nivel de agua y estado de la bomba) coincide con la realidad física del llenado?**
 - () Siempre
 - () La mayor parte del tiempo
 - () Pocas veces
7. **¿Considera que el botón de paro de emergencia (físico y digital) brinda mayor seguridad a la operación?**
 - () Totalmente de acuerdo
 - () De acuerdo
 - () En desacuerdo
8. **¿Qué funcionalidad del nuevo sistema considera más útil?**
 - () El apagado automático por sensor de nivel.
 - () El monitoreo remoto desde el Dashboard.
 - () La facilidad de los pulsadores en la caja de control.

ANEXO 2: Diagrama de flujo.

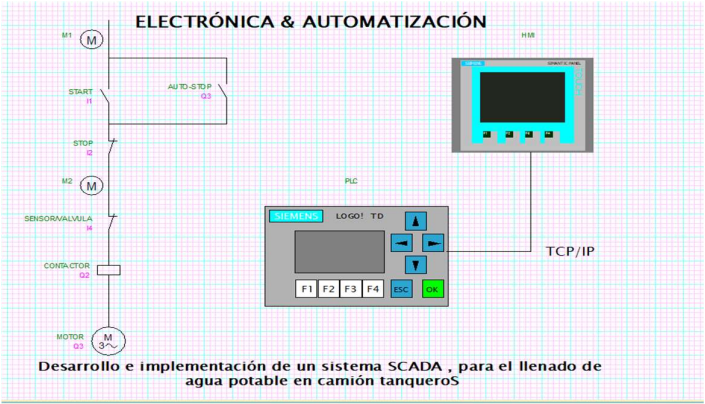


Figura 16 Diagrama unifilar automatización de un motor

ANEXO 3: Diagrama y conexión modbus.

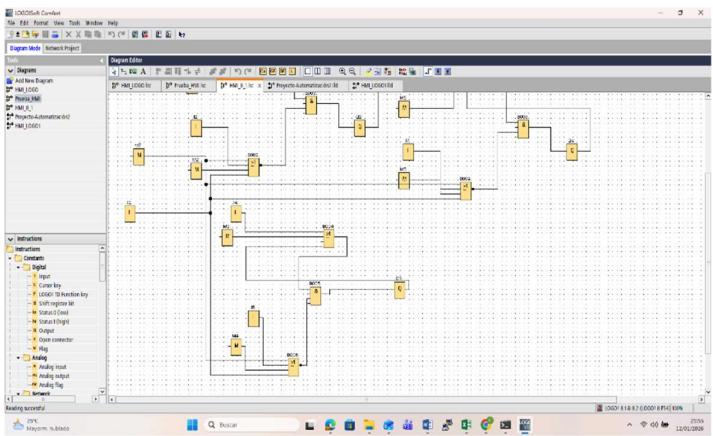


Figura 17 Diagrama soft comfort lógica de automatización de 3 motores

Figura 18 Asignación de Ip del logo

ANEXO 4: Simulación.

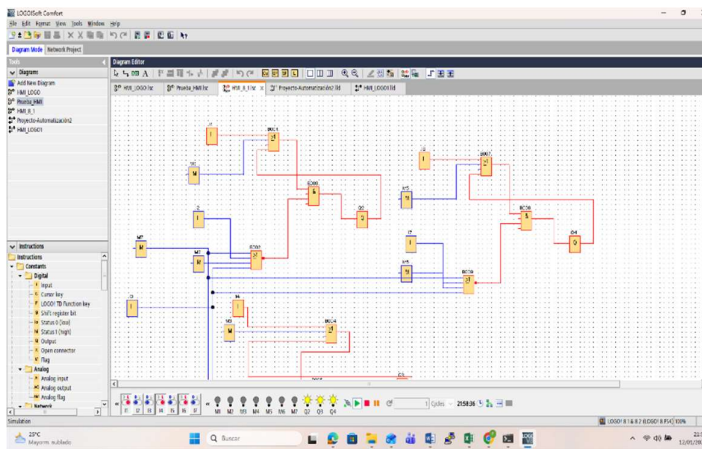


Figura 20 Online test activando Q2, Q3, Q4

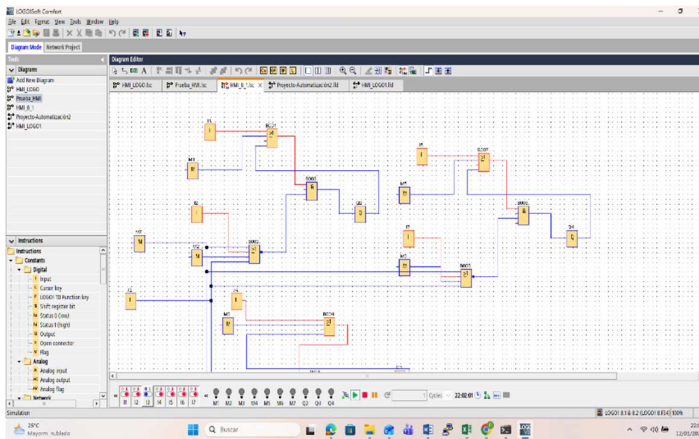


Ilustración 19 Online test desactivando Q2, Q3, Q4 con I2, I5, I7 stop

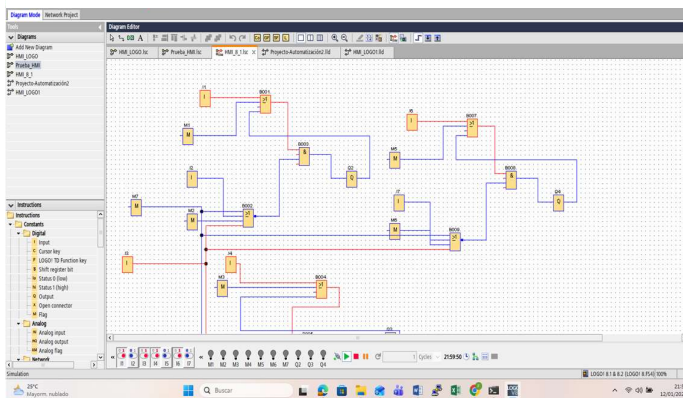


Ilustración 21 Online test desactivando Q2, Q3, Q4 con I3 sensor de nivel

ANEXO 5: Ejecución de Node-RED.

```
node-red
19 Dec 15:49:22 - [info] Context store : 'default' [module=memory]
19 Dec 15:49:22 - [info] User directory : \Users\PC\.node-red
19 Dec 15:49:22 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.enabled=false
19 Dec 15:49:22 - [info] Flows file : \Users\PC\.node-red\p
19 Dec 15:49:22 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/
19 Dec 15:49:22 - [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.

19 Dec 15:49:22 - [info]
19 Dec 15:49:22 - [info]   uibuilder v7.5.0 initialised
19 Dec 15:49:22 - [info]   root folder: \Users\PC\.node-red\uibuilder
19 Dec 15:49:22 - [info]   Using Node-RED's webserver at:
19 Dec 15:49:22 - [info]     https://0.0.0.0:1880/
19 Dec 15:49:22 - [info]   Installed packages:
19 Dec 15:49:22 - [info]
19 Dec 15:49:22 - [info] Starting flows
19 Dec 15:49:22 - [info] Started flows
19 Dec 16:19:08 - [info] A new version of Node-RED is available: 4.1.2
```

Figura 22 CMD

ANEXO 6: Flujo de Node-RED.

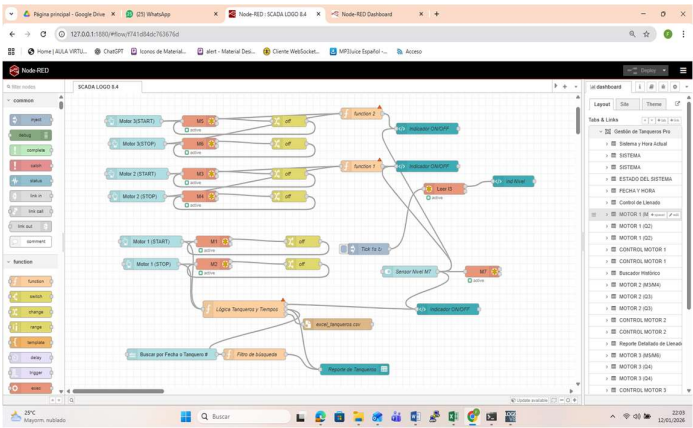


Figura 23 Flujo Node-RED

ANEXO 7: Ping al logo 8.

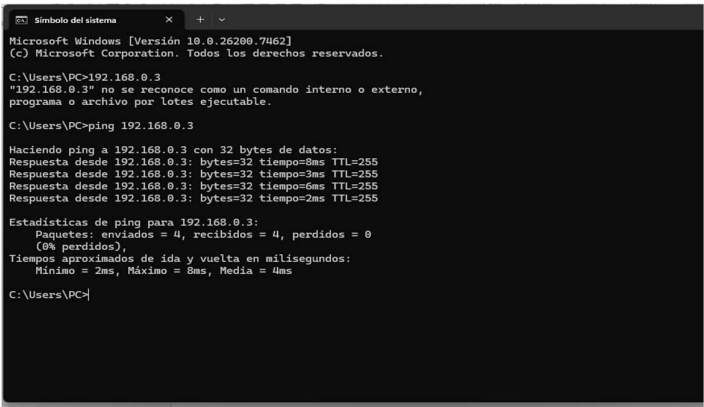


Figura 24 Verificación con ping al logo 8

ANEXO 8: Subir diagrama desde Soft confort a logo! 8 físico

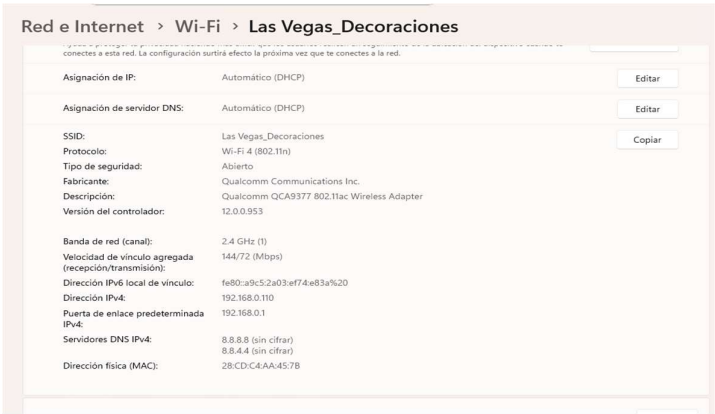


Figura 25 Verificar que la maquina este en la misma red

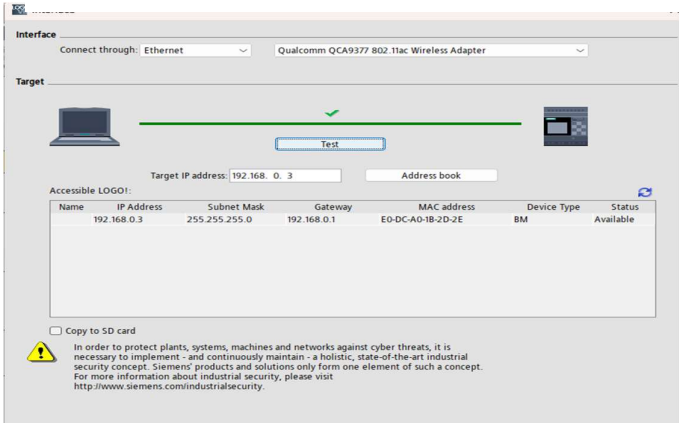


Figura 26 Subir nuestro proyecto desde soft confort al PLC logo 8.1

ANEXO 9: Seleccionar que tipo de logo 8.1 se utilizará.

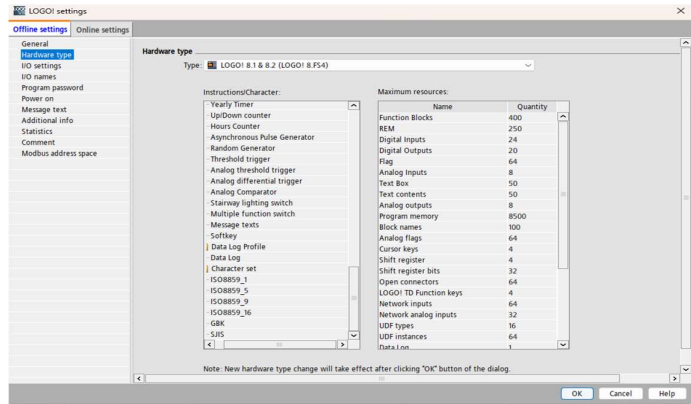


Figura 27 Seleccionar el hardware

ANEXO 10: HMI Node-RED.

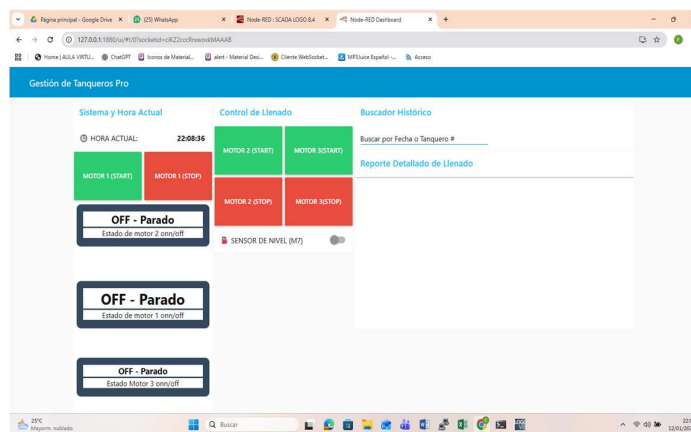


Figura 28 En ejecución nuestra HMI

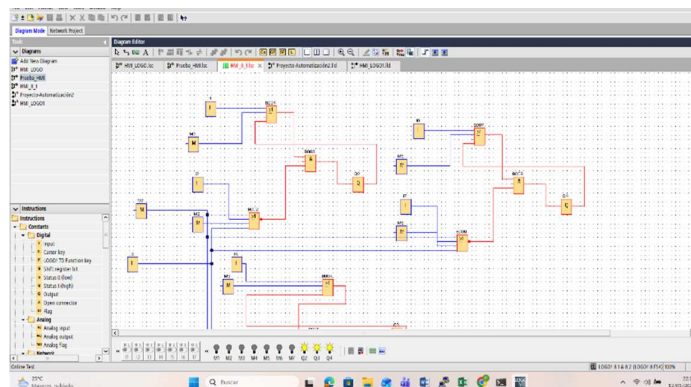


Ilustración 29 En ejecución nuestra HMI. Diseño

ANEXO 11: HMI Node-RED en ejecución start de las 3 bombas se activa el indicador y de manera online.

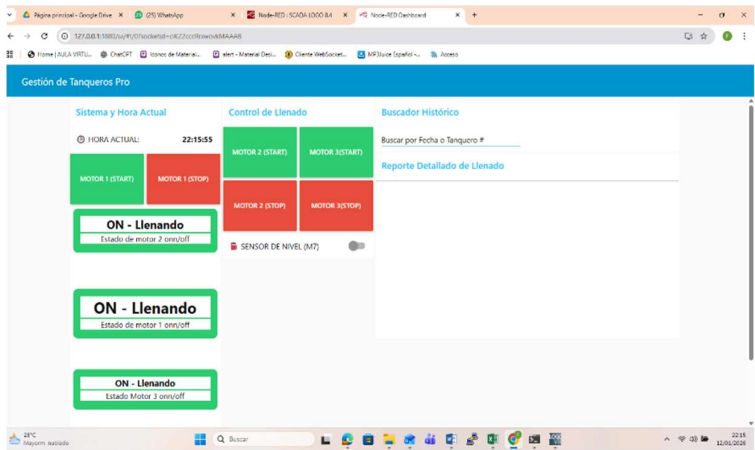


Figura 30 Ejecución start se activa el indicador y de manera online

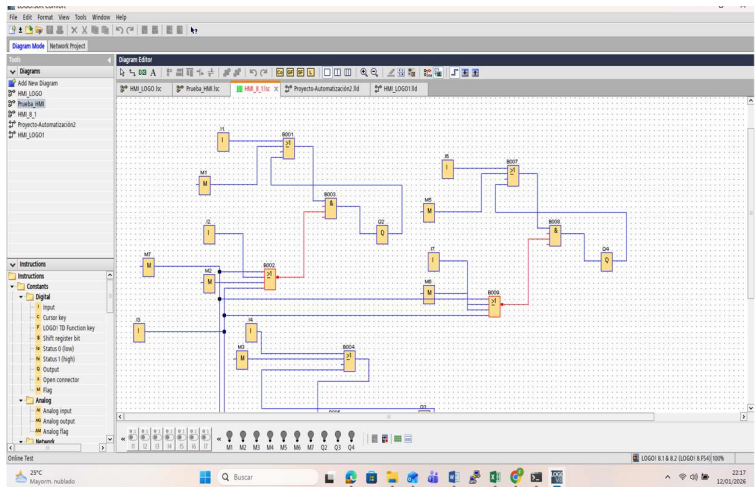


Figura 31 Ejecución start se activa el indicador y de manera online

ANEXO 12: HMI Node-RED en ejecución stop se desactiva el indicador y de manera online.

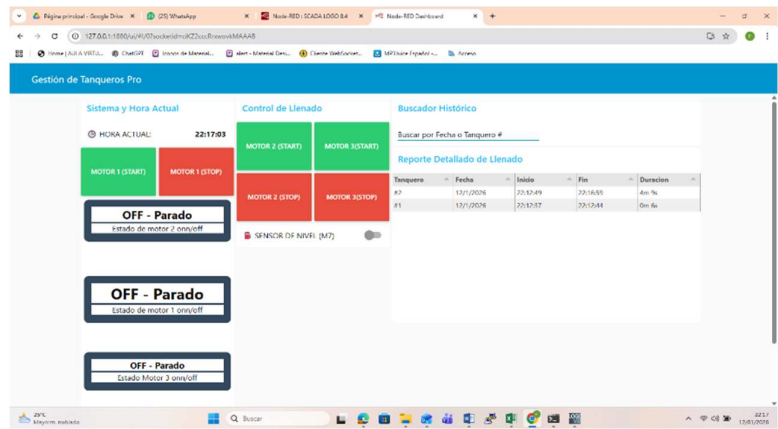


Figura 32 Ejecución stop se desactiva el indicador y de manera online

ANEXO 13: Desactivar desde el HMI con el sensor de nivel.

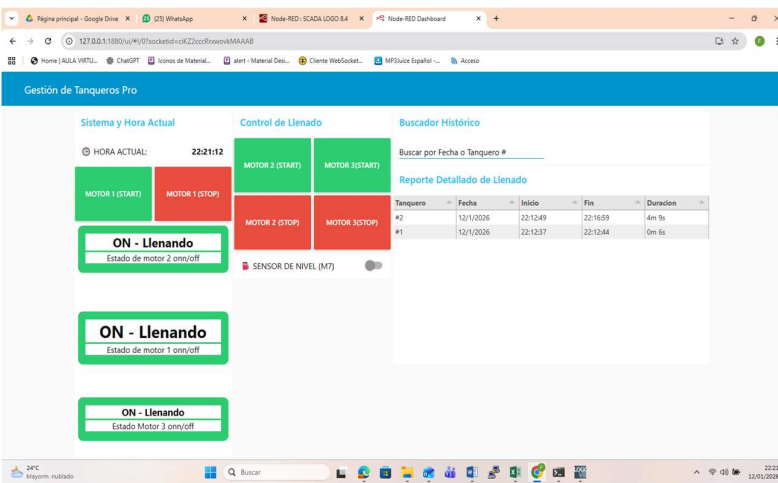


Figura 33 Sensor de nivel

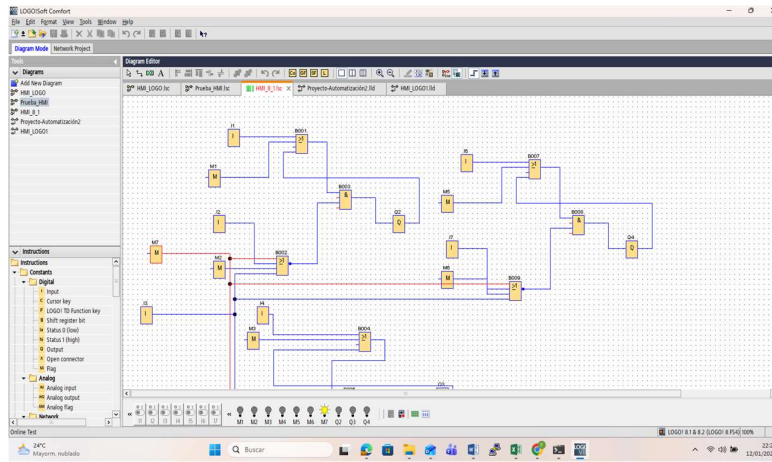


Figura 34 Sensor de nivel

ANEXO 14: Tabla de reporte de hora inicio y hora fin del llenado con tiempo de duración.

Reporte Detallado de Llenado

Tanquero	Fecha	Inicio	Fin	Duracion
#3	20/12/2025	0:04:43	0:08:33	3m 50s
#2	19/12/2025	22:55:51	22:57:00	1m 9s
#1	19/12/2025	16:23:24	16:23:59	0m 35s

Figura 35 Tabla de reporte

ANEXO 15: Tabla de reporte genera un excel en el PC local.

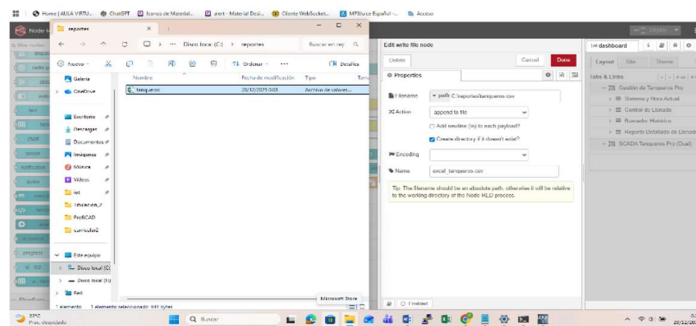


Figura 36 Tabla de reporte genera un excel en el PC local

ANEXO 15: Componentes hardware y desarrollo del tablero manual.



Figura 37 Contactor 24 dc



Figura 38 Bloques auxiliares



Figura 39 Botón de pánico



Figura 40 Selector



Figura 41 Logo 8.1

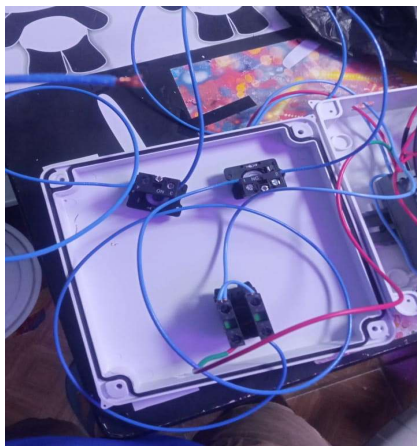


Figura 42 Armado y pruebas



Figura 43 Verificación del sistema