

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Diseño de un sistema de control y automatización para
garantizar la operatividad y la continuidad del servicio
de agua potable en la estación de bombeo del centro
poblado de Huamanmarca – Huayucachi - 2025**

Jhon Elvis Galarza Carhuamaca

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Jezzy James Huaman Rojas
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 9 de Octubre de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Diseño de un Sistema de Control y Automatización para Garantizar la Operatividad y la Continuidad del Servicio de Agua Potable en la Estación de Bombeo del Centro Poblado de Huamanmarca - Huayucachi - 2025

Autores:

1. Jhon Elvis Galarza Carhuamaca – Carrera profesional Ingeniería Eléctrica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 17 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- | | | |
|---|--|--|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI ☒ | NO ☐ |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 10 | SI ☒ | NO ☐ |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI ☐ | NO ☒ |

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ASESOR

Ing. Jezzy James Huaman Rojas

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi asesor de tesis por su valiosa orientación y apoyo durante todo el proceso de investigación y desarrollo de este proyecto. Asimismo, agradezco al personal técnico de la Estación de Bombeo de Huamanmarca por facilitar el acceso a la información y las instalaciones necesarias para la ejecución del estudio.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado de manera especial a mi madre, por ayudarme de manera incondicional, sentando en mis bases muchos valores, así como el deseo de superación y formarme como una persona de bien. También a mis hijos, que son la razón por las cuales hago el esfuerzo cada día en formarme y ser un ejemplo para ellos, ya que ellos inspiran en mí la motivación de seguir creciendo y alcanzar mis metas.

ÍNDICE

ASESOR	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I	15
1.1 Planteamiento y formulación del problema	15
1.1.1 Planteamiento del problema.....	15
1.1.2 Formulación del problema.....	17
1.2 Objetivos	18
1.2.1 Objetivo general.....	18
1.2.2 Objetivos específicos	18
1.3 Hipótesis de la investigación	18
1.3.1 Hipótesis general.....	18
1.3.2 Hipótesis específicas.....	18
1.4 Justificación	19
1.4.1 Técnica	19
1.4.2 Económica	19
1.4.3 Teórica.....	19
1.4.4 Ambiental	20
1.4.5 Importancia	20
1.5 Alcance	20
1.5.1 Alcance temporal	20
1.5.2 Alcance geográfico	20
1.6 Limitaciones	21
1.6.1 Limitación social	21
1.6.2 Limitación de información	21

1.7	Operacionalización de variables	21
CAPÍTULO II.....		23
MARCO TEÓRICO		23
2.1	Antecedentes de la investigación	23
2.1.1	Artículos científicos	23
2.1.2	Tesis.....	27
2.2	Bases teóricas.....	31
2.2.1	Sistema de control y automatización	31
2.2.2	Operatividad y continuidad	45
2.2.3	Desbordamientos en reservorios de sistemas de bombeo.....	48
2.2.4	Definición de términos básicos.....	49
CAPÍTULO III		53
METODOLOGÍA.....		53
3.1	Tipo de investigación.....	53
3.1.1	Nivel de investigación.....	53
3.1.2	Enfoque de investigación	53
3.1.3	Método de investigación	53
3.1.4	Diseño de la investigación	54
3.1.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	54
3.1.6	Población y muestra	54
3.2	Materiales y métodos.....	55
3.2.1	Matriz morfológica	55
CAPÍTULO IV.....		65
RESULTADOS.....		65
4.1	Diseño del sistema	65
4.1.1	Diagramas eléctricos y de control	65
4.1.2	Configuración de sensor ultrasónico hc-sr04	67
4.1.3	Configuración de PLC Logo	69
4.1.4	Simulación del arranque del motor en PSIM	71
4.1.5	Configuración de nodered.....	73
4.1.5.9	Flujo general del sistema de control y automatización de la estación de agua potable del CP.	84
4.1.6	Inversión.....	87
4.1.7	Pruebas y validación.....	88
4.1.8	Evaluación funcional del sistema mediante cuadro de cotejo.....	88

4.1.9	Validación de modelo experimental.....	92
4.2	Presentación de resultados	92
4.2.1	Resultados descriptivos.....	92
4.2.2	Frecuencia de desbordes del reservorio.....	94
4.2.3	Costos operativos	96
4.2.4	Prueba de hipótesis.....	98
4.2.5	Hipótesis general.....	105
4.2.6	Resumen de hallazgos	106
4.3	Discusión de resultados.....	106
CONCLUSIONES		108
RECOMENDACIONES		109
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		110
ANEXOS		114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz morfológica	55
Tabla 2. Comparativo de características de controlador	56
Tabla 3. Comparativo de características de microcontrolador	57
Tabla 4. Comparativo de características de sensor.....	57
Tabla 5. Comparativo de características de interfaz gráfica	58
Tabla 6. Comparativo de características de Interfaz	59
Tabla 7. Comparativo de características de Protocolo de comunicación	60
Tabla 8. Tiempo operativo sin el sistema de control y automatización	93
Tabla 9. Tiempo operativo con el sistema de control y automatización	94
Tabla 10. Frecuencia de desbordes del reservorio elevado	95
Tabla 11. Frecuencia de desborde del reservorio con el sistema de control y automatización	96
Tabla 12. Costos operativos del sistema de bombeo.....	97
Tabla 13. Costos Operativos con el sistema de control y automatización	98
Tabla 14. Prueba de normalidad de los datos utilizando el estadístico Shapiro-Wilk	99
Tabla 15. Comparación del tiempo operativo antes y después del sistema de control y automatización	99
Tabla 16. Resumen de la prueba U de Mann-Whitney del tiempo operativo antes y después	101
Tabla 17. Comparación de eventos de desborde antes y después del sistema de control y automatización	101
Tabla 18. Resumen de la prueba U de Mann-Whitney de la frecuencia de desbordes antes y después	103
Tabla 19. Comparación de los costos operativos antes y después del sistema de control y automatización	103
Tabla 20. Resumen de la prueba U de Mann-Whitney los costos operativos antes y después	105
Tabla 21. Comparación de indicadores operativos	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Lectura de señal de corriente 10mA - valor digital 492.....	24
Figura 2. Escenario del proceso de llenado y vaciado de un tanque simulado	24
Figura 3. Diagrama de estructura de flujo de datos en Node-RED.....	25
Figura 4. Diagnóstico de la latencia de ida y vuelta, utilizando.....	26
Figura 5. Parámetros del modelo.....	27
Figura 6. Tablero de control de motores	28
Figura 7. Punto de monitoreo – Estación de bombeo	29
Figura 8. Programación en lenguaje LADDER.....	29
Figura 9. Pantalla de Arquitectura de comunicación	30
Figura 10. Resultados de las pruebas del sistema domótico con Node-Red	31
Figura 11. Arranque directo, circuito de fuerza y control	33
Figura 12. Relación de corriente entre arranque directo y arranque estrella-triángulo	34
Figura 13. Control manual de un motor eléctrico	35
Figura 14. Control semiautomático de un motor eléctrico	36
Figura 15. Modelo de control automático	37
Figura 16. Beneficios de la automatización en sistemas de bombeo.....	42
Figura 17. Componentes lot en un sistema de bombeo	43
Figura 18. Modelo de referencia del sistema de control y automatización	45
Figura 19. Curva de corriente en arranque directo.....	61
Figura 20. Curva de corriente en estrella triangulo	61
Figura 21. Infraestructura de comunicación de sistema de bombeo	63
Figura 22. Circuito de fuerza arranque estrella triangulo	66
Figura 23. Circuito de mando arranque estrella triangulo	66
Figura 24. Programación en Arduino IDE.....	67
Figura 25. Configuración de Arduino según requerimientos	68
Figura 26. Establecimiento de comunicación con PLC	69
Figura 27. Configuración de PLC - Ladder	70
Figura 28. Circuito estrella triangulo en bloque funcional	71
Figura 29. Simulación de arranque directo en PSIM	72
Figura 30. Simulación de arranque estrella – triángulo en PSIM	72
Figura 31. Inicio de Node – red en sistema operativo Windows.....	73
Figura 32. Entorno de configuración de Node-Red.....	74

Figura 33. Conexionado de Arduino y Sensor ultrasónico	75
Figura 34. Comunicación serial entre Node-Red y Arduino	75
Figura 35. Comunicación con protocolo S7 A	76
Figura 36. Comunicación con protocolo S7 Siemens B	76
Figura 37. Comunicación entre Node-Red y telegram	77
Figura 38. Almacenamiento y consulta de datos en SQLite	78
Figura 39. Indicador de nivel en Dashboard	79
Figura 40. Indicador de estado - Motor apagado.....	80
Figura 41. Indicador de estado - Motor Encendido.....	80
Figura 42. Operación modo manual en dashboard.....	81
Figura 43. Selección de modo de operación en Dashboard	81
Figura 44. Cuadro de eventos registrados en la base de datos SQLite.....	82
Figura 45. Asignación de Túnel para acceso remoto.....	83
Figura 46. Flujo General del proyecto	84
Figura 47. Dashboard de monitoreo del proyecto	85
Figura 48. Representación de Dashboard en teléfono Móvil.....	86
Figura 49. Pruebas de Dashboard – Modo Manual.....	89
Figura 50. Pruebas Dashboard - modo automático.	90
Figura 51. Verificación de conectividad entre Node-Red y PLC	90
Figura 52. Registro de eventos en base de datos Dashboard	91
Figura 53. Notificaciones de estado de Nivel de agua mediante telegram	92
Figura 54. Prueba de comparación de medianas de los tiempos operativos antes y después	100
Figura 55. Prueba de comparación de medianas de la frecuencia de desbordes antes y después	102
Figura 56. Prueba de comparación de medianas de los costos operativos antes y después	104

RESUMEN

En este trabajo se desarrolló un sistema de control y automatización para la estación de bombeo de agua potable del centro poblado de Huamanmarca. Este sistema consistió en la integración de un controlador lógico programable (PLC) con sensores de nivel instalados en el reservorio de distribución. Asimismo, se implementó un sistema de supervisión basado en Node-RED con panel de control (dashboard) para la visualización de parámetros en tiempo real, incorporando tecnología de internet de las cosas (IoT) que permitió la operación remota y la generación de alarmas ante niveles críticos.

Este trabajo consistió en diseñar un sistema automatizado orientado a incrementar el tiempo operativo del servicio de agua potable, disminuir la frecuencia de eventos de desbordamiento en el reservorio, así como optimizar los costos operativos de operación.

La investigación fue aplicada y de nivel tecnológico explicativo, orientada a resolver un problema real mediante una solución tecnológica específica. El diseño fue validado con una maqueta funcional que simuló condiciones reales, comprobando su efectividad.

Los resultados demostraron un aumento significativo del tiempo operativo del servicio, reducción de frecuencia de eventos de desbordamiento y disminución de costos de operación y mantenimiento, mejorando la confiabilidad del sistema. En conclusión, la automatización, el monitoreo remoto y las alertas preventivas constituyen una solución integral que garantiza la continuidad del servicio, optimiza recursos y contribuye al bienestar de la población.

Palabras clave: automatización; continuidad del servicio; monitoreo remoto; Node-RED; sistema de bombeo; sistema IoT

ABSTRACT

In this work, a control and automation system was developed for the potable water pumping station of the Huamanmarca community. This system consisted of the integration of a programmable logic controller (PLC) with level sensors installed in the distribution reservoir. Likewise, a supervision system based on Node-RED with a control panel (dashboard) was implemented for real-time parameter visualization, incorporating Internet of Things (IoT) technology that enabled remote operation and the generation of alarms at critical levels.

This work focused on designing an automated system aimed at increasing the operational time of the potable water service, reducing the frequency of overflow events in the reservoir, and optimizing operating costs.

The research was applied and explanatory at a technological level, oriented toward solving a real problem through a specific technological solution. The design was validated with a functional prototype that simulated real conditions, confirming its effectiveness.

The results showed a significant increase in service operating time, a reduction in the frequency of overflow events, and a decrease in operation and maintenance costs, thereby improving system reliability. In conclusion, automation, remote monitoring, and preventive alerts constitute a comprehensive solution that ensures service continuity, optimizes resources, and contributes to the well-being of the population.

Keywords: automation; service continuity; remote monitoring; Node-RED; pumping system; IoT system

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial, considerado una condición fundamental para la conservación de la vida. Actualmente, cerca de 2 000 millones de personas en el mundo carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura. En el caso del Perú, aproximadamente 3,3 millones de personas no tienen acceso a una red pública de agua potable.

En paralelo, el avance científico y tecnológico ha experimentado un crecimiento acelerado en los últimos años. Diversos sectores vienen desarrollando proyectos innovadores en los que la tecnología desempeña un papel crucial. En ese contexto, resulta necesario fomentar el desarrollo de nuevas tecnologías aplicables al quehacer diario, ya que estas no solo incrementan el confort, sino también mejoran la eficiencia de los servicios básicos. Gracias a estos avances, es posible imaginar soluciones que hace poco parecían inalcanzables.

No obstante, en el Perú aún existen localidades que permanecen al margen de estos desarrollos. Un ejemplo claro es el sistema de bombeo de agua potable del centro poblado de Huamanmarca, el cual opera de forma manual y brinda un servicio discontinuo. En ese sentido, esta investigación plantea la siguiente interrogante: ¿De qué manera el sistema de control y automatización influye en la operatividad y continuidad de servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025? En consecuencia, la presente tesis se estructuró de la siguiente manera:

El Capítulo I, planteó el problema de estudio, incluyendo la formulación del problema general, los objetivos y las hipótesis correspondientes.

El Capítulo II, desarrolló el marco teórico, y se analizó estudios previos y estableciendo las bases conceptuales necesarias para comprender el enfoque de investigación.

El Capítulo III, describió la metodología utilizada, y se detalló los procedimientos, modelos y herramientas empleados en el diseño e implementación del sistema automatizado.

El Capítulo IV, presentó los resultados obtenidos, junto con su respectivo análisis técnico y económico.

Finalmente, se incluyeron las conclusiones generales y las recomendaciones orientadas a la replicabilidad y mejora futura del proyecto

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

El acceso al agua potable es un derecho humano fundamental reconocido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU); sin embargo, aproximadamente 2 000 millones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura [1]. Esta carencia compromete la salud pública y la sostenibilidad ambiental, generando un impacto social y económico significativo a nivel global [2]. La automatización y modernización de los sistemas de abastecimiento de agua se han consolidado como tendencias internacionales orientadas a optimizar el uso y garantizar la calidad del recurso hídrico [3].

En América Latina y el Caribe, a pesar de contar con alrededor del 30 % del agua dulce mundial, la región enfrenta serias dificultades en la gestión y distribución del recurso debido a la falta de infraestructura adecuada y a una deficiente gestión institucional [4]. Asimismo, los efectos del cambio climático han incrementado la frecuencia de sequías e inundaciones, afectando la seguridad hídrica y la producción agrícola [5]. En respuesta a estos desafíos, la incorporación de tecnologías de automatización en estaciones de bombeo ha sido recomendada como estrategia para mejorar la eficiencia y resiliencia de los sistemas hídricos en zonas rurales [6].

En el Perú, aproximadamente 3.5 millones de personas carecen de acceso a agua potable segura, especialmente en áreas rurales y periurbanas, lo que incrementa el riesgo de propagación de enfermedades de origen hídrico[7]. Según la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), la baja cobertura de servicios de saneamiento y agua potable se relaciona con la insuficiente inversión y la falta de mantenimiento en infraestructuras críticas [8]. En este contexto, la automatización de estaciones de bombeo se presenta como una alternativa viable para mejorar la eficiencia en el suministro y reducir las pérdidas ocasionadas por fallas técnicas u operativas [9].

En el centro poblado de Huamanmarca, distrito de Huayucachi, región Junín, en la actualidad, el servicio de agua potable se encuentra administrado por la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS), esta organización se encuentra denominado como Asociación Comunal de Servicios de Saneamiento del Centro Poblado de Huamanmarca – Chanchas (ACOSSAN), el sistema de bombeo de agua potable fue construido en 1995 y actualmente cuenta con 1 200 usuarios, el sistema de bombeo está ubicado en el barrio Huaucus del centro poblado. La forma de obtención del agua se realiza a través de la filtración del agua subterránea existente en el área, para ello se construyeron piscinas filtrantes, lugar donde se almacena para su posterior bombeo hacia el reservorio elevado que cuenta con una capacidad de 50m³ de agua., el reservorio elevado se encuentra ubicado a unos 300 metros de la estación de bombeo con una diferencia de altura de 30 metros las cuales están interconectadas por una tubería de presión de 6 y 4 pulgadas.

El servicio de agua potable se limita a un promedio de 6 horas diarias comprendidos desde las 6:00 am a 11:00 am, es por ello que los usuarios tienden a realizar el almacenamiento de agua en baldes, bidones y tanques para poder cubrir su necesidad de agua durante el resto del día, sin embargo esto genera riesgos significativos para la salud, puesto que el almacenamiento de agua favorece a la proliferación de microorganismos, bacterias y parásitos los cuales provocan enfermedades gastrointestinales y otras afecciones.

La operación de la estación se realiza de forma manual, lo que genera una dependencia directa del operador para su funcionamiento. Esta forma de trabajo provoca problemas frecuentes, como eventos de desbordamiento de agua en el reservorio elevado, lo cual incide en la pérdida de energía eléctrica desaprovechada y el desperdicio de agua potable

para la población. Además, el manejo manual del sistema exige mayor tiempo de intervención del personal, lo que implica un gasto constante en horas de trabajo. A su vez, a falta de control preciso en el encendido y apagado de las bombas ocasiona un uso innecesario de energía eléctrica y un desgaste acelerado de los equipos, elevando los gastos de mantenimiento y reduciendo la vida útil de los componentes.

Es por ello que nace la necesidad de contar con un sistema de control y automatización con la finalidad de tener el control del sistema de bombeo, visualizar los niveles de agua en el reservorio en tiempo real, realizar una operación remota y contar con alarmas en caso de desborde de agua en el reservorio.

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1 Problema general

¿De qué manera el sistema de control y automatización influye en la operatividad y continuidad de servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025?

1.1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo influye el sistema de control y automatización en el tiempo operativo del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025?
- ¿Cómo influye el sistema de control y automatización en la frecuencia de desbordamiento del reservorio del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025?
- ¿Cómo influye el sistema de control y automatización en los costos operativos del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar la influencia del sistema de control y automatización en la operatividad y continuidad del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar la influencia del sistema de control y automatización en el tiempo operativo del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025.
- Determinar la influencia del sistema de control y automatización en la frecuencia de desbordamiento del reservorio del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025.
- Determinar la influencia del sistema de control y automatización en los costos operativos del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025.

1.3 Hipótesis de la investigación

1.3.1 Hipótesis general

El sistema de control y automatización mejora significativamente la operatividad y continuidad del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025.

1.3.2 Hipótesis específicas

- El sistema de control y automatización aumenta significativamente el tiempo operativo del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025.
- El sistema de control y automatización reduce significativamente la frecuencia de desbordamiento del reservorio del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025.

- El sistema de control y automatización reduce significativamente los costos operativos del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025.

1.4 Justificación

1.4.1 Técnica

La propuesta abordó una solución concreta mediante la integración de tecnologías modernas de automatización, como el software Node-RED para el monitoreo remoto y el control de procesos, y el uso de un PLC como controlador principal. Estas tecnologías permitieron desarrollar un diseño eficiente, adaptable y de bajo costo operativo. Además, se aplicaron principios de ingeniería de control, lo que garantizó la viabilidad técnica y la escalabilidad futura del sistema.

1.4.2 Económica

La automatización de la estación de bombeo se justificó económicamente en función de la optimización de los costos operativos y el mejor aprovechamiento de los recursos disponibles, generando un impacto positivo en la gestión del presupuesto de la Asociación Comunal de Servicios de Saneamiento del Centro Poblado de Huamanmarca – Chanchas.

1.4.3 Teórica

Desde el enfoque teórico, esta investigación se sustentó en los principios del control automático, entendido como el conjunto de métodos y técnicas para regular el comportamiento de sistemas dinámicos mediante retroalimentación y control realimentado [10]. Asimismo, se apoyó en la teoría de sistemas, que concibe a la estación de bombeo como un sistema abierto compuesto por subsistemas interrelacionados que transforman energía en un flujo de agua potable, requiriendo coordinación y control para mantener su equilibrio operativo [11].

De igual forma, se consideró la teoría de confiabilidad, que establece modelos para estimar la probabilidad de funcionamiento sin fallas de un sistema durante un periodo determinado, lo cual es esencial en sistemas de abastecimiento de agua donde la continuidad del servicio es crítica [12].

El estudio propuso un modelo que integró dispositivos y algoritmos para optimizar el funcionamiento de sistemas hidráulicos, aportando al desarrollo del conocimiento aplicado en el campo de la automatización de servicios públicos. En particular, se contribuyó al entendimiento de cómo los sistemas SCADA simplificados —como aquellos desarrollados con Node-RED— pueden implementarse en zonas rurales o con recursos limitados. Este aporte teórico puede servir como referencia para futuras investigaciones orientadas al diseño y evaluación de sistemas automatizados en el sector hidráulico rural.

1.4.4 Ambiental

Desde una perspectiva ambiental, el uso eficiente del agua contribuyó a evitar el desabastecimiento de este recurso vital, que resulta esencial tanto para las personas como para la flora y fauna del entorno. El sistema diseñado permitió una gestión más racional del recurso hídrico, y evitar su desaprovechamiento.

1.4.5 Importancia

La importancia de este proyecto radicó en su capacidad para satisfacer las necesidades de la población respecto al tiempo de acceso al servicio de agua. Asimismo, permitió establecer un control sobre los componentes del sistema de bombeo, eliminando la necesidad de intervención diaria por parte del operador. Este avance representó un paso significativo hacia la mejora de las condiciones de vida de los habitantes, fomentando a su vez el desarrollo de los procesos productivos en la región.

1.5 Alcance

1.5.1 Alcance temporal

La presente investigación se enfocó en el diseño de un sistema de automatización y monitoreo para estaciones de bombeo, considerando los avances tecnológicos desarrollados en los últimos cinco años en el campo de la automatización industrial.

1.5.2 Alcance geográfico

El sistema de bombeo analizado se encuentra ubicado en el centro poblado de Huamanmarca, distrito de Huayucachi, provincia de Huancayo, departamento de Junín, específicamente en el barrio Huacus. Toda la investigación se llevó a cabo en este punto geográfico, incluyendo la recolección de datos, pruebas y validaciones. El punto de

distribución también se encuentra dentro de los límites del centro poblado, por lo que los resultados obtenidos están referidos únicamente a esta localidad.

1.6 Limitaciones

1.6.1 Limitación social

El éxito del sistema también dependió en gran medida del uso responsable del agua por parte de la población. Si bien la automatización permitió mejorar la continuidad y eficiencia del servicio, en contextos como el del centro poblado de Huamanmarca, donde no existen medidores domiciliarios que regulen o registren el consumo individual, persiste el riesgo de un uso inadecuado o excesivo del recurso. Esta situación puede traducirse en un mayor desperdicio de agua y en la reducción de los beneficios esperados del sistema. Además, la falta de cultura de cuidado del agua y la ausencia de mecanismos de control social o comunitario refuerzan esta limitación, haciendo necesario complementar el sistema tecnológico con programas de sensibilización y educación ambiental orientados a fomentar prácticas de consumo responsable en la población beneficiaria.

1.6.2 Limitación de información

La investigación también enfrentó dificultades en la obtención de datos relacionados con el tipo de monitoreo y la operación del sistema existente, debido a la escasa bibliografía específica y a la limitada documentación técnica sobre estaciones de bombeo en zonas rurales con condiciones similares a las de Huamanmarca. Esta falta de información dificultó la construcción de un marco de referencia sólido basado en antecedentes directos. Sin embargo, se mitigó esta limitación mediante la observación directa en campo, lo que permitió recopilar información relevante a partir del análisis del funcionamiento real de la estación de bombeo, complementando así la ausencia de registros escritos con evidencia empírica y práctica.

1.7 Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Autor:	Galarza Carhuamaca Jhon Elvis
Título:	Diseño de un Sistema de Control y Automatización para Garantizar la Operatividad y la Continuidad del Servicio de Agua Potable en la Estación de Bombeo del Centro Poblado de Huamanmarca – Huayucachi - 2025

Problema	¿De qué manera el diseño del sistema de control y automatización influirá en la operatividad y continuidad del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025?	
	Independiente	Dependiente
Variables	Sistema de control y automatización	Operatividad y continuidad
Definición conceptual	Es el proceso mediante el cual se estructura, configura y planifica un sistema compuesto por elementos tecnológicos (hardware y software) que permite el control automático y la supervisión remota de procesos industriales o de infraestructura crítica, como los sistemas de bombeo de agua potable [13].	Se refiere a la capacidad de una instalación para mantenerse en funcionamiento de manera continua, estable y sin interrupciones, garantizando el cumplimiento de los parámetros operativos establecidos para un servicio esencial como el agua potable[14].
Definición operacional	El sistema de control y automatización se mide a través de la implementación de un prototipo funcional compuesto por PLC, sensor de nivel y una interfaz de supervisión mediante Node-Red.	La operatividad y continuidad se evalúa mediante indicadores que permiten medir el desempeño del sistema de bombeo; como el tiempo operativo, el número de desbordes y los costos operativos.
Hipótesis H1	La implementación de un sistema de control y automatización mejora significativamente la operatividad y continuidad del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025.	

Variable Independiente	Sistema de control y automatización		
Dimensiones o Sub Variables	Indicador	Tipo de Variable	Técnica de Recolección - Determino
Nivel de automatización	Grado de automatización	Cualitativa	Ficha de observación
Capacidad de monitoreo	Visualización de variables	Cualitativa	Ficha de observación
Tiempo de respuesta	Tiempo entre evento y acción	Cualitativa	Ficha de observación

Variable Dependiente	Operatividad y continuidad		
Dimensiones o Sub Variables	Indicador	Tipo de Variable	Instrumento
Tiempo operativo	Horas de disponibilidad de servicio	Cuantitativa	Ficha de registro
Frecuencia de desbordamiento	Número de eventos de desborde	Cuantitativa	Ficha de registro
Costo operativo	Costo mensual	Cuantitativa	Ficha de registro

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Artículos científicos

En el artículo de Ortega et al [15]. “Adquisición de señales analógicas de instrumentación con LOGO Soft V8.3 mediante generador de señales y el sensor PT100”, el propósito de este estudio fue el registro variables físicas en LOGO Soft V8.3, utilizó un generador de señales y un sensor PT100, para probar las entradas de señales analógicas y digitales y ver el comportamiento del PLC Logo. Usan un método de investigación cuantitativa. Como resultado se logró diseñar un dispositivo generador de señales analógicas con entradas de corriente de 4 a 20mA y entradas de voltaje de 0 a 10 V, así como las señales digitales con entradas 1 y 0, por lo cual se logra ver el comportamiento de PLC y su integración con el software de configuración LOGO Soft. En conclusión, el proyecto demostró la estabilidad del generador de señales y su correcta interacción con el PLC para la adquisición de datos eléctricos, aplicando principios de instrumentación y automatización. Este avance constituyó una etapa clave para la futura integración de las variables físicas en plataformas IoT. Aunque el estudio logró demostrar la estabilidad y correcta interacción entre un generador de señales analógicas y el PLC LOGO mediante el software LOGO Soft V8.3, su enfoque se limitó únicamente a la prueba y simulación de entradas analógicas y digitales sin abordar la implementación en un sistema automatizado real. No se consideró la integración de sensores para el monitoreo continuo, ni la aplicación de control automático en procesos industriales o de servicio.

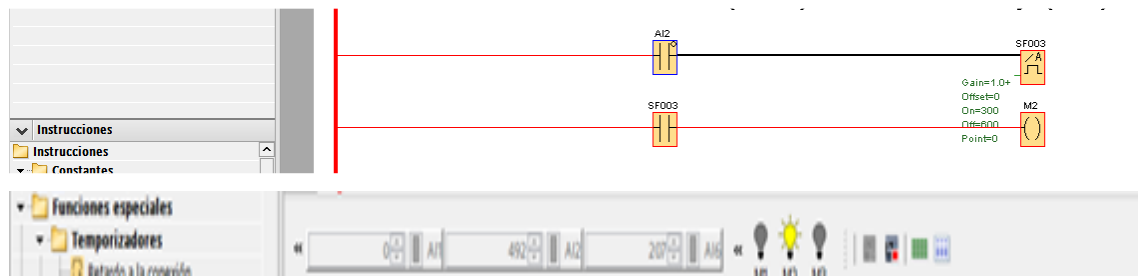


Figura 1. Lectura de señal de corriente 10mA - valor digital 492

Fuente: Ortega et al [15].

El artículo de Reino et al [16]. “Panel de monitoreo y control remoto de un proceso industrial utilizando la plataforma ubidots y nodered”, presentaron una simulación de un proceso industrial de llenado y vaciado de tanques, en el que se emplearon software 3D y programas de PLC. La propuesta integró plataformas como Node-RED y Ubidots a través de la comunicación S7 para visualizar y controlar variables en un dashboard. Como resultado se logró realizar la simulación 3D del llenado de un tanque acondicionando un mando manual, automático y a su vez con un controlador PID para realizar la descarga y carga de líquidos. En conclusión, se logró la conexión del PLC con el software Node-Red mediante la comunicación S7. Además, se visualizaron las variables en el dashboard, y se controló el proceso. El estudio se limitó a un entorno simulado y no contempló la implementación en un sistema real, ni contempló la integración con sensores físicos para monitoreo continuo ni la gestión de alarmas ante condiciones críticas. Estos vacíos justificaron la necesidad de la presente investigación, que busca desarrollar un sistema automatizado con monitoreo en tiempo real, operación remota, integración de sensores físicos y alertas preventivas para optimizar la gestión y reducir costos.



Figura 2. Escenario del proceso de llenado y vaciado de un tanque simulado

Fuente: Reino et al. [16]

Nieblas et al. [17] en su tesis Node-Red: Una Herramienta de Acceso Libre para el Control de Velocidad en Motores Trifásicos, enfatizan en la utilización del Node-Red para el control de velocidad de motores trifásicos. Se utilizó la metodología del ciclo de Deaming en creación de prototipos, como resultado se logró demostrar que Node-Red es una herramienta ideal para el control de velocidad de motores trifásicos porque se pudo controlar con una precisión de $\pm 0.5\%$ igualando a los sistemas embebidos como los variadores de frecuencia. El estudio destacó la efectividad de Node-RED para el control preciso de velocidad en motores trifásicos. Sin embargo, su enfoque se centró exclusivamente en el control de velocidad, sin incluir la integración con sistemas de monitoreo en tiempo real, adquisición de variables físicas mediante sensores ni la implementación de sistemas de alarma o gestión remota. Por ello, la presente investigación amplía estos aspectos al diseñar un sistema completo de control y monitoreo que integra PLC, sensores, Node-RED, IoT y alarmas preventivas.

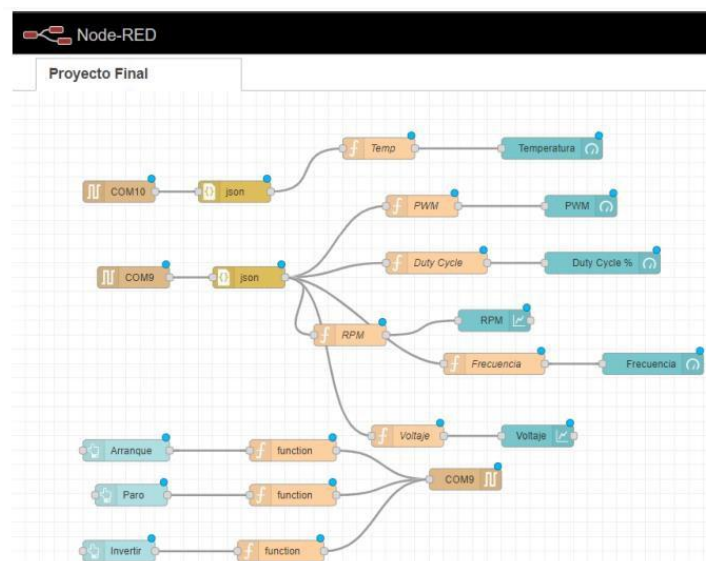


Figura 3. Diagrama de estructura de flujo de datos en Node-RED.

Fuente: Nieblas et al.[17].

Ventura et al. [18] en su investigación: Rendimiento para la interoperabilidad entre Raspberry pi, ESP8266 y PLC con Node-Red para el IIoT, evaluaron la viabilidad para la integración de microcontroladores como ESP8366, Raspberry pi con PLC para el intercambio de datos a través de Node-Red. Como resultado se logró medir la latencia

del servidor donde se encuentra instalado el Node-Red con los microcontroladores a través del comando ping, verificando la comunicación. En conclusión, se confirmó que los microcontroladores son dispositivos confiables para el intercambio de datos a nivel industrial y que son compatibles con la gestión de protocolos como Node-Red. El estudio evaluó la interoperabilidad entre microcontroladores como ESP8266 y Raspberry Pi con PLC usando Node-RED, verificando la comunicación y latencia en un entorno industrial. Sin embargo, la investigación se centró en aspectos de conectividad y desempeño de la red, sin abordar la integración completa de sensores físicos con PLC usando protocolos serial o ethernet, es importante definir los protocolos de comunicación para evitar pérdida de datos y que se garantice la correcta comunicación entre los dispositivos.

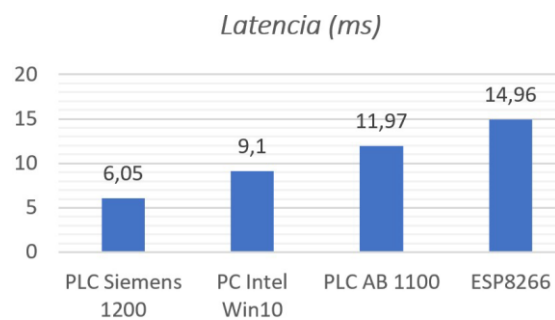


Figura 4. Diagnóstico de la latencia de ida y vuelta, utilizando

Fuente. VenturaJ et al.[18].

Valagao et al. [19] en su artículo: Aplicación de IoT al control y monitoreo de un sistema de recuperación de energía, tuvo como objetivo realizar la medición de los parámetros eléctricos de generación de energía a través de la generación hidráulica, creando una interfaz de monitoreo y control a través de Node-Red y una base de datos históricos en MySQL, la medición de parámetros se realizó a través del medidor de energía iEM3155. Como resultado se evaluó el trabajo del sistema diseñado, obteniendo las variables y parámetros de energía eléctrica y almacenando datos de mediciones en una base de datos, en conclusión, se aplicó el IoT y monitoreo de energía en tiempo real y control remoto, haciendo el uso protocolos modbus y MQTT. El estudio implementó IoT para el monitoreo y control de un sistema de recuperación de energía hidráulica, utilizando Node-RED, bases de datos MySQL y protocolos Modbus y MQTT para la adquisición y almacenamiento de datos eléctricos en tiempo real. Sin embargo, no realizaron un

sistema de alarmas o notificaciones que permitiera detectar cambios bruscos en la generación de energía o consumos elevados. Este aspecto resulta fundamental, ya que la implementación de alertas facilita la toma de decisiones rápidas frente a problemas operativos, reduciendo el riesgo de fallas y optimizando la respuesta ante situaciones críticas.



Figura 5. Parámetros del modelo

Fuente. Valagao et al [19].

2.1.2 Tesis

En la tesis de Gallardo, y Castro [20] “Automatización y control de motores eléctricos con logo 8”, se enfocó en el dimensionamiento y desarrollo de un tablero de control de motores donde se usa un PLC Logo V8, el cual tuvo como objetivo implementar un módulo didáctico para los estudiantes y docentes, como resultado se logró realizar las configuraciones del PLC Logo V8 en su software de configuración LOGO soft Confort. También se diseñó e implementó un tablero de control de motores, para arranques directos, estrella triángulo e inversión de giro, este tablero fue dimensionado con capacidad para controlar motores hasta 3HP de potencia. Sin embargo, no contemplaron la incorporación de un sistema de monitoreo que permitiera supervisar y gestionar el funcionamiento de los motores desde una interfaz, como ver estado de los motores, tipo de rotación horario o antihorario. Esta función es esencial ya que ayuda a visualizar el estado de funcionamiento de los componentes dando un entorno de monitoreo automatizado.



Figura 6. Tablero de control de motores

Fuente. Gallardo, y Castro [20].

En la tesis de Muñoz [21] “Mejoramiento del sistema de bombeo para el control de inundaciones y desbordes unidad minera Ticlio – Volcan S.A.A”. El propósito del proyecto fue realizar un mejoramiento del sistema de bombeo para tener el control de las inundaciones o desbordes en la unidad minera Volcan. La metodología partió de la obtención de datos que fue a través del plan de gestión de inundaciones y desbordes. Como resultados; se logró realizar el diseño de ingeniería para la construcción de muros de contención y la ubicación estratégica de las cámaras de bombeo. Además, se enfatizó en el monitoreo de deformación en los muros de contención de las estaciones de bombeo. En conclusión, la validación del diseño de muros y la adecuada ubicación de las cámaras de bombeo, contribuyó significativamente a reducir riesgos de inundaciones y desbordes. También enfatizaron la importancia del monitoreo de todo el sistema de bombeo.



Figura 7. Punto de monitoreo – Estación de bombeo

Fuente. Muñoz [21].

El trabajo tesis de Paitan [22] titulada “Diseño de un sistema de bombeo para reducir los costos en el consumo de energía eléctrica en la empresa HYDROELECTRO SAC Lima 2023”, El sistema de bombeo diseñado en la tesis redujo el consumo de energía eléctrica principalmente mediante la implementación de un sistema de presión constante, el uso de bombas hidráulicas eficientes y la incorporación de variadores de frecuencia, que ajustan la velocidad de las bombas según la demanda, optimizaron el uso de energía. Además, en casos de sistemas con energía solar fotovoltaica, se aprovechó la generación de energía renovable para disminuir la dependencia de la red eléctrica convencional, reduciendo costos asociados. La reducción en el consumo de energía eléctrica se logró en un porcentaje cercano al 33%, basado en estudios similares y en los análisis realizados en la tesis, lo cual se reflejó en menores costos operativos y menores requisitos de potencia consumida.



Figura 8. Programación en lenguaje LADDER

Fuente. Paitan [22].

El trabajo tesis de Chero [23] titulada “Diseño de un Sistema de Bombeo Automatizado para suministrar agua potable con bajo costo de operación y continuidad de servicio”. El enfoque del proyecto incluyó el cálculo de los conductores eléctricos a partir de la tensión y corriente de carga, el diseño de tableros conforme a normativas vigentes y la incorporación de variables de control en el sistema automatizado. También, el análisis morfológico para el sistema de bombeo, el diseño y elección de componentes eléctricos, programación de software y análisis económico. Como metodología se estableció como una investigación aplicada haciendo el uso del método científico. Como resultado se logró realizar el diseño del sistema de bombeo automatizado que comprendió el correcto funcionamiento de sensores de fluido, presión y nivel, haciendo el uso de PLC y HMI. Además, determinaron que el sistema podrá dotar de servicio de agua potable las 24 horas del día, estableciendo 3 bombeos por día garantizando la continuidad de servicio a un 98%. dejando 2% para eventos inoportunos y trabajos de mantenimiento.

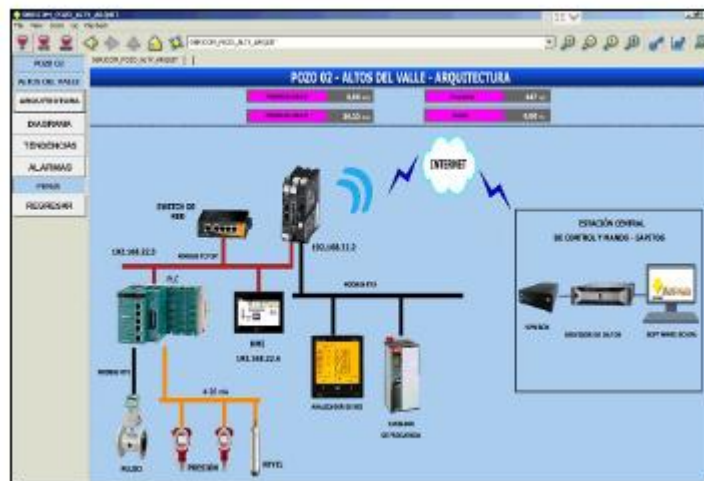


Figura 9. Pantalla de Arquitectura de comunicación

Fuente: Chero [23].

En la Tesis de Erraez y Gualli [24] “Optimización de un sistema domótico con nodered para detección y prevención de incendios en ambientes residenciales y comerciales empleado en el laboratorio de telecomunicaciones”. El objetivo fue optimizar la eficiencia y seguridad de los sistemas de prevención de incendios en entornos residenciales y comerciales, a través de la implementación de Node-RED en el laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, sede

Guayaquil, como resultado se comprobó que el sistema es capaz de realizar la detección y prevención de incendios de manera eficaz integrando Node-Red, También se realizó la configuración de un sistema de alarmas con Telegram el cual se activa cuando se genere un evento de incendio.

Si bien el sistema propuesto cumple con toda la funcionalidad requerida como solución, sin embargo, no se mencionan detalles sobre indicadores económicos los cuales son fundamentales para establecer los beneficios del proyecto y evaluar su viabilidad al momento de implementarlo, permitiendo sustentar de manera objetiva el impacto y la rentabilidad de la propuesta.

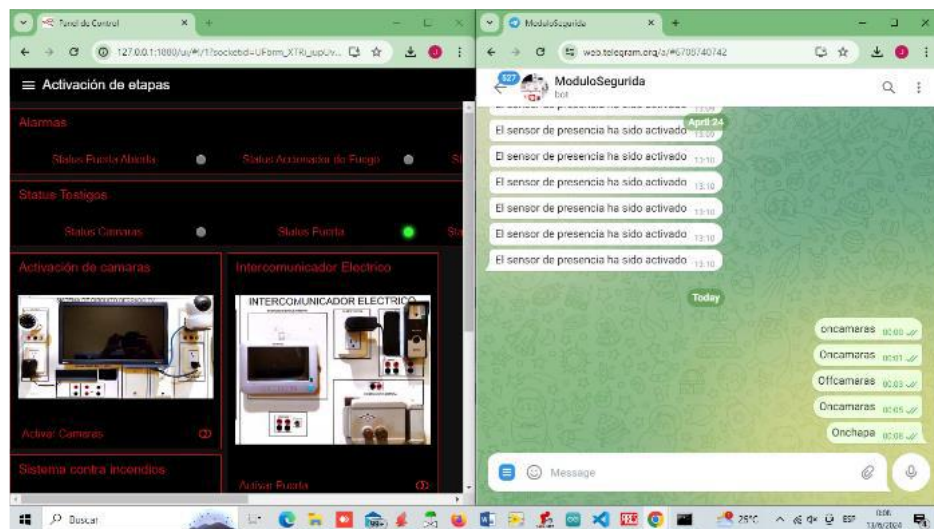


Figura 10. Resultados de las pruebas del sistema domótico con Node-Red

Fuente. Erraez, y Gualli[24].

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Sistema de control y automatización

2.2.1.1 Relevancia de la automatización en estaciones de bombeo

- Reducción de costos operativos: La automatización reduce la necesidad de intervención humana constante, lo que disminuye los costos asociados al personal y al mantenimiento [25].
- Optimización del consumo energético: La implementación de sistemas de control avanzados permite regular el funcionamiento de las bombas según

la demanda real y las condiciones del entorno, lo que contribuye a un uso más eficiente de la energía [25].

- Aumento de la fiabilidad del suministro: La automatización asegura una operación continua y estable, reduciendo el riesgo de fallos y garantizando un suministro constante de agua potable [25].

2.2.1.2 Sistema de control y automatización

El diseño de sistemas de automatización se refiere al proceso de planificación, estructuración e implementación de soluciones tecnológicas que permiten controlar procesos de forma automática, minimizando la intervención humana. Este diseño implica la selección adecuada de sensores, controladores lógicos programables (PLC), interfaces de usuario, y sistemas de comunicación, con el fin de lograr un funcionamiento eficiente, seguro y confiable en entornos industriales o de servicios esenciales como el abastecimiento de agua potable. El objetivo principal es mejorar la eficiencia operativa, la precisión en el control y la continuidad del proceso [26].

2.2.1.3 Arranque de motores eléctricos

2.2.1.3.1 Arranque directo

Este tipo de arranque implica conectar el motor directamente a la red eléctrica. entonces se dice que el motor arrancará con sus características naturales, por lo cual puede causar elevados niveles de corriente al momento de arranque ya que se da un arranque brusco; sin embargo, es un método económico con un par de arranque elevado. Véase el diagrama en la figura 11.

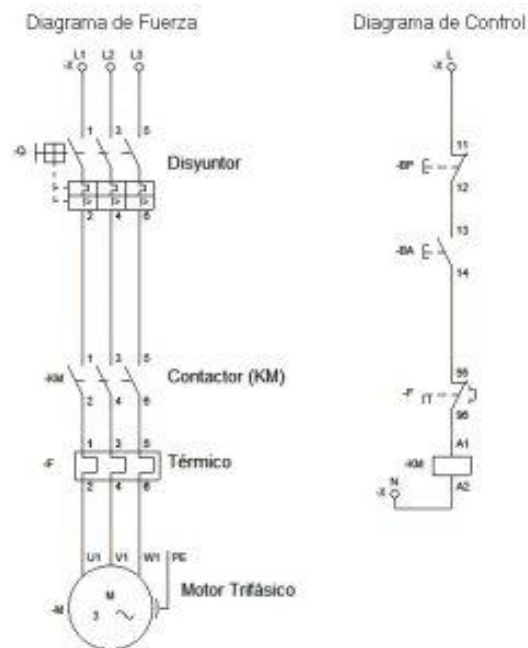


Figura 11. Arranque directo, circuito de fuerza y control

Fuente: Torres y Yáñez et al.[25] .

2.2.1.3.2 Arranque estrella triángulo

Los sistemas de arranque de motores eléctricos son fundamentales para proteger los equipos ante sobretensiones, corrientes elevadas y esfuerzos mecánicos durante el encendido. En el contexto de estaciones de bombeo, la elección del método de arranque tiene un impacto directo en el consumo energético, la vida útil del motor y la eficiencia operativa.

Este sistema reduce la corriente de arranque utilizando una conexión en estrella en los primeros segundos y luego cambia a conexión triángulo para operar a plena carga. Aunque es una solución económica, no permite un control progresivo ni flexible del par motor, por lo que puede generar golpes hidráulicos en aplicaciones como bombeo [27].

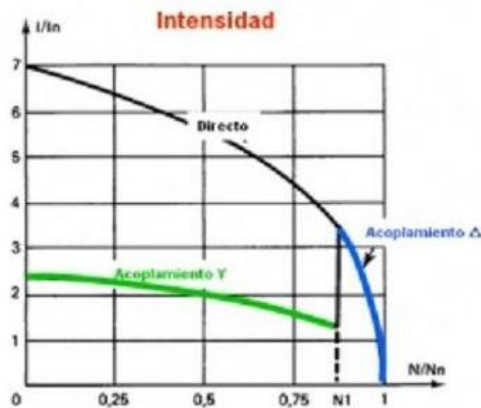


Figura 12. Relación de corriente entre arranque directo y arranque estrella-triángulo

Fuente: Torres y Yáñez et al.[25] .

2.2.1.4 Generalidades de sistema de control

2.2.1.4.1 Control manual

Es uno de los métodos de arranque de motores más usados y generalmente son de acción manual, las cuales tienen instalados todos los componentes en un lugar cercano a los equipos a energizar, en caso estos equipos presenten fallas el operador puede detener de forma rápida ya que se encuentra cerca el tablero de control, este sistema se usa básicamente para poder energizar sistemas de poca potencia, porque no es de vital importancia implementar sistemas de protección ni detención de anomalías.

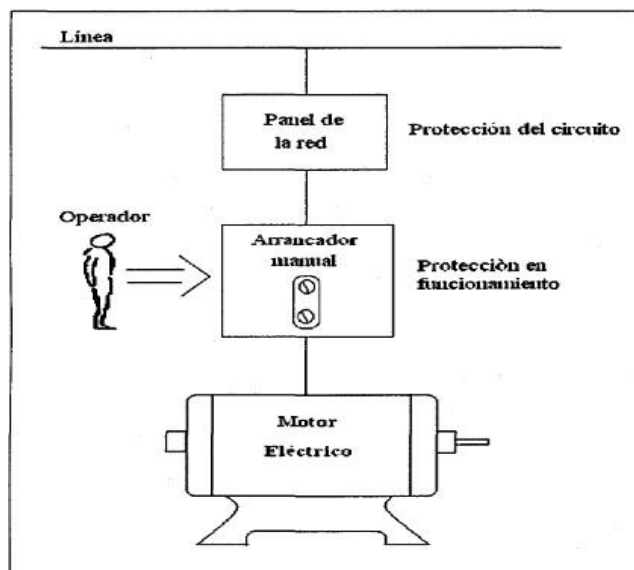


Figura 13. Control manual de un motor eléctrico

Fuente: Torres y Yáñez et al.[25] .

2.2.1.4.2 Control semiautomático

Este método hace el uso de arrancadores electromagnéticos, así como también los pulsadores, pilotos de señalización y dispositivos análogos. Estos dispositivos se usan para facilitar las acciones de mando en el proceso de control, el tablero alimentador y controlador puede estar ubicado en un lugar estratégico donde pueda visualizar las variables que es manipulado por el motor, este tipo de control es utilizado en el sector industrial, por ejemplo, los centros de control de motores (CCM), son una estación donde se encuentran los tableros y se manipularan los motores [20]. En plantas concentradoras se hace una combinación de control semiautomático y control manual, ya que se tiene una CCM en una estación centralizada y también cuenta con pulsadores cerca de los motores básicamente en encendido, parada y parada de emergencia.

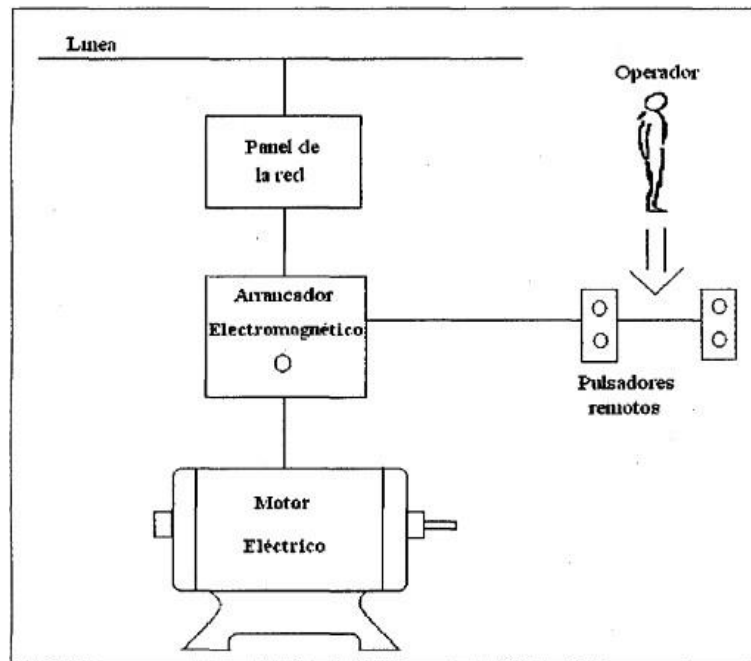


Figura 14. Control semiautomático de un motor eléctrico

Fuente: Torres y Yáñez et al.[25] .

2.2.1.4.3 Control automático

Control conformado por contactores y acoplamiento de contactos, lo cuales se activan al energizar sus respectivas bobinas que la componen, tiene como función cerrar el circuito de fuerza de los motores, en este tipo de control generalmente los pulsadores se reemplazan por sensores que cambian de estado referente a un a variable de configuración, por ello el control automático viene a ser unos de los procesos más tecnológicos que limitan en un elevado porcentaje la intervención de los operadores en el sistema [20].

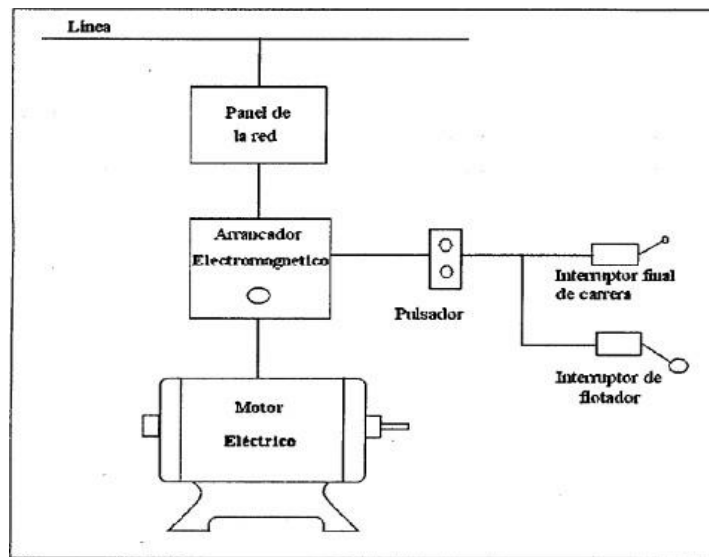


Figura 15. Modelo de control automático

Fuente: Torres y Yáñez et al.[25] .

2.2.1.5 Automatización de procesos

La automatización de procesos implica el uso de sistemas de control y tecnologías de la información para gestionar equipos y procesos industriales, disminuyendo la necesidad de intervención humana. En este ámbito, se emplean diversas estrategias para aumentar la eficiencia operativa, reducir costos y minimizar errores humanos [20]. El progreso tecnológico ha posibilitado la adopción de soluciones automáticas en múltiples sectores, incluidos los sistemas de distribución de agua potable, donde es fundamental optimizar la gestión de recursos esenciales.

Uno de los beneficios más destacados de la automatización es el aumento en la precisión y la disminución del tiempo de respuesta frente a variaciones en las condiciones operativas. En los sistemas de bombeo de agua, esta tecnología facilita la adaptación dinámica de los parámetros de funcionamiento, como el encendido y apagado de motores, la supervisión de niveles y el control a distancia, todo con el objetivo de asegurar un servicio eficiente y continuo [20].

En los sistemas de automatización modernos, el control automático permite incrementar la eficiencia, reducir errores operativos y garantizar la estabilidad del proceso, siendo un componente fundamental en sectores como el industrial, energético o de servicios básicos como el agua potable.

2.2.1.6 Interfaz de monitoreo

2.2.1.6.1 ¿Qué es un SCADA?

El término Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) hace referencia a un sistema de supervisión, control y adquisición de datos que permite a los operadores monitorear y controlar procesos industriales en tiempo real desde una interfaz gráfica centralizada. Un sistema SCADA está compuesto por sensores, controladores, interfaces HMI (Human Machine Interface), servidores de bases de datos y software especializado [25].

Los SCADA son ampliamente utilizados en plantas de tratamiento de agua, estaciones de bombeo, redes eléctricas, fábricas y sistemas de distribución, ya que permiten visualizar el estado de procesos, registrar datos históricos, generar alarmas y tomar decisiones operativas rápidamente. Su implementación mejora significativamente la eficiencia, seguridad y continuidad de los servicios automatizados [25].

2.2.1.6.2 Node-RED como herramienta SCADA

Node-RED es una herramienta de desarrollo basada en flujo, creada por IBM, que permite la integración de hardware y servicios en línea. Gracias a su interfaz gráfica intuitiva, permite construir dashboards personalizados para monitorear y controlar procesos en tiempo real, lo cual lo convierte en una solución ligera y eficiente para sistemas tipo SCADA, especialmente en aplicaciones locales o de pequeña escala [28].

Node-RED permite la visualización de variables como presión, caudal, temperatura o nivel de agua, así como la generación de alertas, almacenamiento de datos y control remoto de dispositivos mediante protocolos estándar como MQTT, Modbus o S7. Su versatilidad y código abierto lo hacen ideal para ser integrado en sistemas de automatización basados en PLCs o microcontroladores [28].

2.2.1.7 Sistema de comunicación y adquisición de datos

2.2.1.7.1 Telemetría

La telemetría es una tecnología que permite la medición y transmisión de datos a distancia, desde un sistema o equipo remoto hacia un centro de control, utilizando medios como radiofrecuencia, redes móviles, internet u otros canales de comunicación digital.

En los sistemas de automatización de agua potable, la telemetría juega un papel clave al permitir el monitoreo continuo de variables operativas como niveles de agua, presión, caudal y estado de bombas. Esta información se transmite en tiempo real hacia un sistema central (SCADA o interfaz web), lo que permite una respuesta rápida ante fallos, toma de decisiones basada en datos, reducción de costos operativos y mejora en la continuidad del servicio.

La implementación de sistemas de telemetría es esencial en zonas rurales o de difícil acceso, ya que garantiza la supervisión y control remoto sin la necesidad de presencia física continua [29].

2.2.1.7.2 Ventajas de interfaces web con protocolos MQTT o Modbus TCP/IP

Las interfaces web basadas en protocolos como MQTT o Modbus TCP/IP ofrecen una solución moderna, accesible y eficiente para la supervisión y control remoto de sistemas automatizados. Estas interfaces permiten el acceso desde navegadores sin necesidad de software especializado, facilitando la interacción desde cualquier lugar con conexión a internet [30].

El protocolo Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) está diseñado para entornos de baja latencia y consumo energético, ideal para aplicaciones en Internet de las Cosas (IoT). Por su parte, Modbus TCP/IP es ampliamente usado en la industria debido a su sencillez, compatibilidad con múltiples equipos y fiabilidad.

Ambos protocolos permiten una integración fluida con plataformas SCADA ligeras como Node-RED, lo cual simplifica la recolección de datos, visualización de variables y toma de decisiones en tiempo real. Además, estas interfaces reducen costos de

implementación, son escalables, y se adaptan fácilmente a diferentes tipos de redes industriales [30].

2.2.1.7.3 Ethernet vs. comunicación serial en automatización

En la automatización industrial, los sistemas de comunicación pueden clasificarse en dos grandes tipos: seriales (como RS-232 y RS-485) y basados en Ethernet (como Modbus TCP/IP, Profinet, EtherNet/IP). Ambos tienen aplicaciones específicas según los requerimientos del sistema [30].

Los protocolos seriales han sido ampliamente utilizados por su simplicidad, bajo costo y fiabilidad en distancias cortas. Sin embargo, presentan limitaciones en cuanto a velocidad de transmisión, direccionamiento de múltiples dispositivos y escalabilidad.

Por otro lado, Ethernet industrial ofrece mayor velocidad de transmisión, capacidad para integrar múltiples dispositivos, interoperabilidad con tecnologías IT y acceso remoto en tiempo real. Esto la convierte en la infraestructura preferida para sistemas modernos de automatización y monitoreo, permitiendo integrar PLCs, sensores, SCADA y almacenamiento en red.

Aunque los sistemas seriales aún se utilizan en aplicaciones específicas o sistemas legados, Ethernet ha tomado el liderazgo en entornos donde se requiere flexibilidad, conectividad avanzada y expansión futura [30].

2.2.1.8 Relación entre automatización y ahorro energético

La automatización de procesos industriales, especialmente en sistemas de bombeo, permite optimizar el uso de la energía eléctrica mediante la gestión inteligente del encendido, la velocidad de operación y la demanda real del sistema. Los controladores lógicos programables (PLC), en conjunto con interfaces SCADA o Node-RED, permiten recopilar datos, supervisar el comportamiento de las bombas en tiempo real y adaptar su funcionamiento para evitar consumos innecesarios [25].

Los beneficios principales incluyen:

- Reducción de tiempos de operación innecesarios, mediante sensores que activan o desactivan los motores según niveles de agua u horarios programados.
- Evitar el funcionamiento en vacío o en condiciones ineficientes, que elevan el consumo.
- Uso de arranques suaves o variadores de frecuencia, que disminuyen los picos de corriente eléctrica durante el arranque.
- Monitoreo continuo, que permite detectar fugas o pérdidas de presión, ajustando la operación para mantener la eficiencia.

Estos factores se traducen en ahorro económico y energético, mayor vida útil de los equipos y mejora de la sostenibilidad del sistema.

2.2.1.9 Generalidades del elemento automático

2.2.1.9.1 Controladores lógicos programables (PLC)

Un Controlador Lógico Programable (PLC) es un equipo electrónico desarrollado para controlar procesos industriales a través de la ejecución de instrucciones lógicas predefinidas en un programa. Los PLC son esenciales en la automatización de sistemas de bombeo, ya que permiten la integración de sensores y actuadores, gestionando de forma eficiente el arranque, parada y control del motor, así como el monitoreo de variables de proceso como los niveles de agua [18].

El PLC recibe señales de entrada de sensores de nivel colocados tanto en el punto de obtención del agua como en el punto de distribución, y en función de estas señales, ejecuta las órdenes necesarias para operar la bomba.

2.2.1.9.2 Sensor de nivel

Los sensores de nivel son dispositivos encargados de medir la cantidad de líquido presente en un tanque o depósito. Estos sensores son fundamentales en sistemas de bombeo para garantizar que la bomba no opere en vacío, lo que podría dañarla. En el proyecto, se utilizarán sensores de nivel tanto en la zona de captación de agua como en la de distribución, lo que permitirá mantener el control sobre la cantidad de agua disponible y evitar interrupciones en el servicio.

Entre los tipos de sensores de nivel más utilizados se encuentran los de flotador, los ultrasónicos y los de presión diferencial. En aplicaciones de bombeo, los sensores ultrasónicos o de presión son frecuentemente preferidos por su precisión y capacidad para operar en entornos adversos [30].

2.2.1.9.3 Beneficios de la automatización

La implementación de un sistema automatizado de control en una estación de bombeo trae consigo numerosos beneficios, representados en la siguiente figura

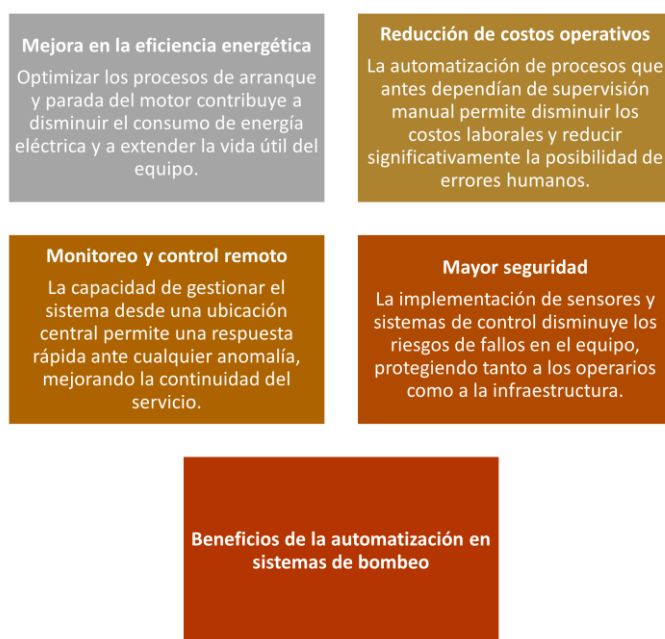


Figura 16. Beneficios de la automatización en sistemas de bombeo

Fuente: Elaboración propia

2.2.1.9.4 Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las Cosas IoT, hace referencia a la conexión de dispositivos a través de internet, lo que permite que interactúen entre sí y recopilen datos en tiempo real para su análisis y gestión. En el ámbito industrial y de servicios, el IoT se ha convertido en una herramienta clave para la supervisión, control y automatización de procesos. Los dispositivos habilitados para IoT pueden intercambiar información con sistemas de control, optimizando el rendimiento y facilitando la toma de decisiones basada en datos.

2.2.1.10 Aplicación del IoT en sistemas de bombeo

En el ámbito de las estaciones de bombeo de agua, la integración de dispositivos IoT facilita la creación de redes inteligentes compuestas por sensores, actuadores y sistemas de control que se comunican entre sí a través de internet. Esto permite la supervisión en tiempo real de aspectos clave del sistema de bombeo, como los niveles de agua, las presiones y otros parámetros esenciales, sin la necesidad de presencia física en la instalación.

Mediante el uso de dispositivos IoT, los operadores pueden acceder a los parámetros en tiempo real desde cualquier ubicación permitiendo una respuesta inmediata ante cualquier evento inusual, como una caída en el nivel de agua o un fallo en el motor [29]. Esta capacidad es particularmente útil en áreas rurales o remotas, como en el centro poblado de Huamanmarca, donde la intervención manual puede ser costosa y lenta.

2.2.1.10.1 Componentes IoT en estaciones de bombeo

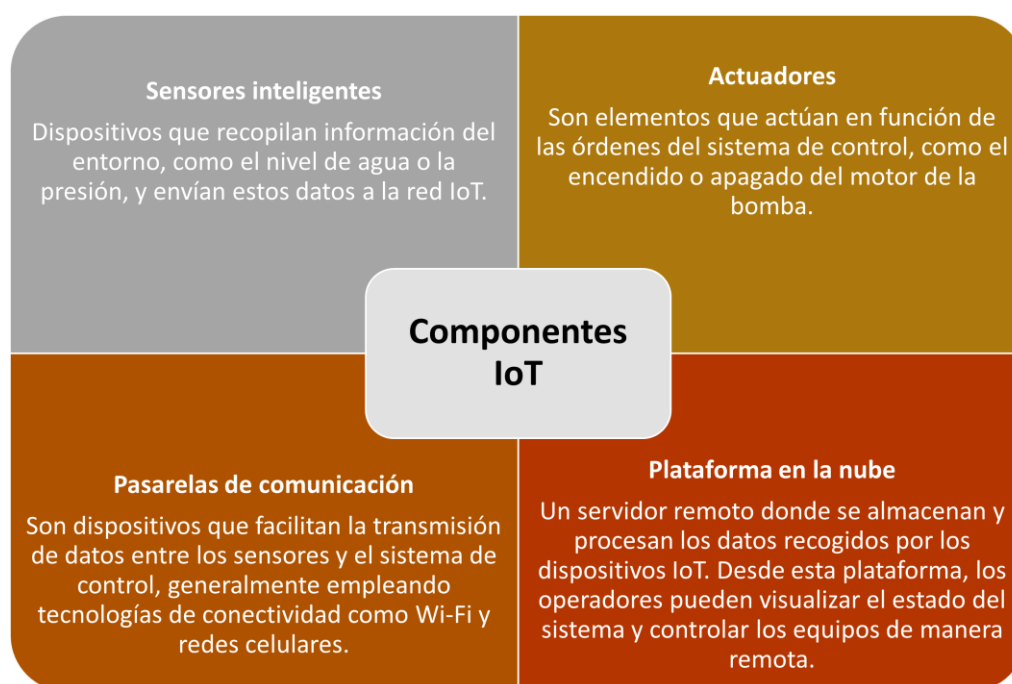


Figura 17. Componentes IoT en un sistema de bombeo

Fuente: Elaboración propia

2.2.1.10.2 Integración del IoT con PLC y SCADA

En el proyecto de automatización de la estación de bombeo de Huamanmarca, el IoT puede integrarse con el PLC y el sistema SCADA para mejorar la capacidad de supervisión y control. Mientras que el PLC se encarga de la lógica de control local y el SCADA ofrece una interfaz para monitorear y controlar el sistema, la tecnología IoT puede expandir estas funcionalidades al proporcionar acceso remoto y en tiempo real desde dispositivos móviles o computadoras fuera de la planta [25].

Esto permitiría que los responsables de la estación de bombeo puedan recibir notificaciones inmediatas sobre el estado del sistema, configurar alarmas basadas en condiciones específicas, y controlar la operación de la bomba desde cualquier lugar con acceso a internet, mejorando la eficiencia y la continuidad del servicio.

2.2.1.10.3 Beneficios del IoT en la automatización de estaciones de bombeo

La inclusión de IoT en sistemas de bombeo ofrece múltiples beneficios, entre los que destacan:

- **Monitoreo en tiempo real:** Posibilita una supervisión continua del sistema, lo que mejora la detección temprana de fallos o anomalías.
- **Mantenimiento predictivo:** Los datos recopilados por los dispositivos IoT permiten predecir cuándo es necesario realizar mantenimiento en el sistema, evitando paradas inesperadas y aumentar la vida útil de los equipos.
- **Optimización del uso de recursos:** El análisis de datos en tiempo real permite optimizar el uso de recursos energéticos y de agua, lo que contribuye a reducir costos y a mejorar la eficiencia operativa.
- **Respuesta rápida a emergencias:** Los operadores pueden actuar de manera inmediata ante situaciones críticas, minimizando el tiempo de inactividad y el impacto en el servicio.

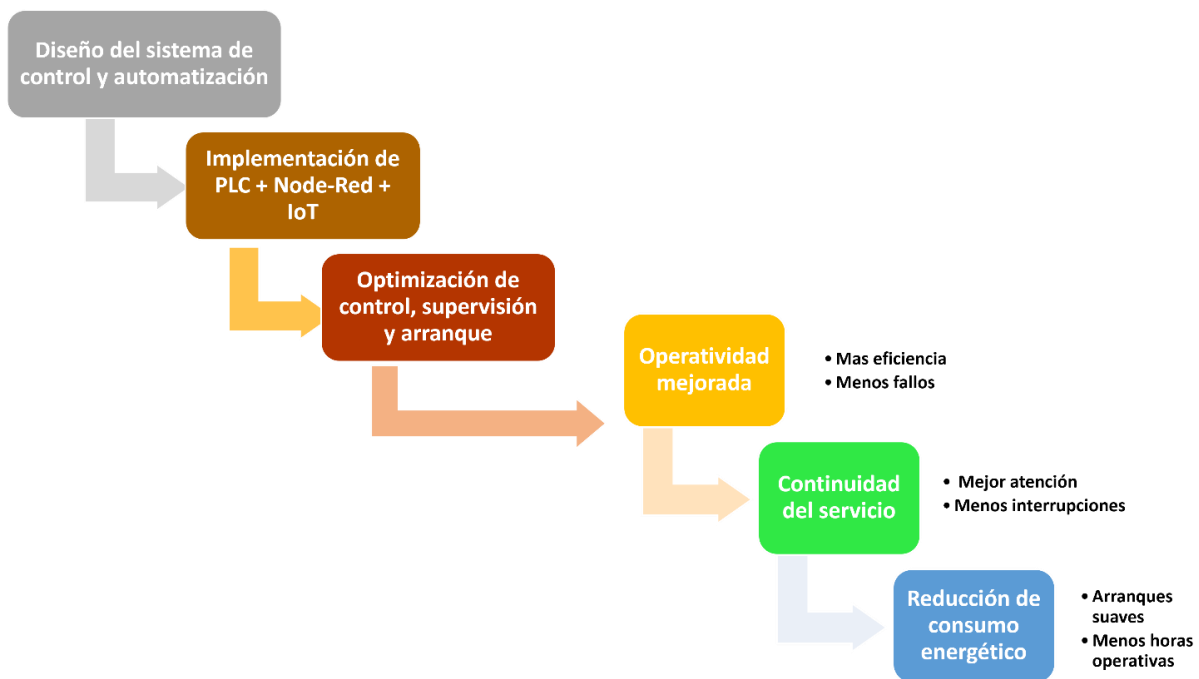


Figura 18. Modelo de referencia del sistema de control y automatización

Fuente: Elaboración propia

2.2.2 Operatividad y continuidad

2.2.2.1 Operatividad

La operatividad se refiere a la capacidad de un sistema para mantenerse en funcionamiento de manera efectiva y segura bajo condiciones normales de operación. En el contexto de sistemas de bombeo, implica que los equipos cumplan su función sin interrupciones, con disponibilidad técnica y mínima necesidad de intervención humana [31].

2.2.2.1.1 La confiabilidad operativa

Se define como la capacidad de un sistema para desempeñar sus funciones requeridas, bajo condiciones establecidas, durante un período determinado sin fallos. En sistemas de automatización y bombeo, se relaciona directamente con indicadores como el Mean Time Between Failures (MTBF), que cuantifica el tiempo promedio de operación continua antes de que ocurra una falla.

Una alta confiabilidad operativa implica menor frecuencia de interrupciones, mantenimiento menos frecuente y mayor disponibilidad del sistema, aspectos fundamentales para garantizar la continuidad del servicio de agua potable [32].

2.2.2.1.2 Los indicadores de desempeño en sistemas hidráulicos

Son herramientas esenciales para medir la eficiencia, eficacia y continuidad del servicio de agua potable. Entre los más relevantes se encuentran:

- Índice de continuidad del servicio (ICS): mide el tiempo diario de disponibilidad del agua potable para los usuarios.
- Frecuencia de interrupciones: número promedio de cortes de servicio en un periodo determinado.

Estos indicadores permiten evaluar la calidad del servicio prestado por una estación de bombeo y tomar decisiones técnicas para mejorar la operatividad y sostenibilidad del sistema [32].

2.2.2.2 Continuidad del servicio

La continuidad del servicio hace referencia a la disponibilidad permanente del suministro, en este caso, de agua potable, sin interrupciones prolongadas. Está relacionada con la confiabilidad del sistema hidráulico y con la capacidad de respuesta ante fallas operativas, garantizando que los usuarios reciban el recurso en forma constante y adecuada [31].

2.2.2.2.1 Normas sobre calidad del servicio de agua potable

La continuidad del servicio de agua potable está regulada por diversas normas técnicas y sanitarias a nivel nacional e internacional. Estas normas establecen criterios mínimos de calidad, disponibilidad y seguridad sanitaria del recurso hídrico para el consumo humano.

En Perú, la entidad responsable es la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), la cual, mediante el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS

N.º 031-2010-SA), establece que el agua debe proveerse de manera continua, segura y con presión suficiente para garantizar el bienestar de la población [33].

A nivel internacional, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que los servicios de agua deben garantizar una provisión continua y confiable como parte fundamental del derecho humano al agua. La interrupción frecuente del servicio representa un riesgo para la salud pública, especialmente en zonas vulnerables [34].

2.2.2.2 Factores que afectan la continuidad del servicio

La continuidad del servicio de agua potable puede verse interrumpida por una serie de factores técnicos, operacionales, climáticos y administrativos que comprometen la entrega constante del recurso hídrico. Entre los principales se encuentran:

- Fallos en el sistema de bombeo, ya sea por desgaste de componentes, deficiencia en el mantenimiento o mala calidad de los equipos.
- Cortes eléctricos, especialmente en zonas rurales donde no existe infraestructura de respaldo o automatización.
- Deficiencias en la gestión operativa, como la falta de personal capacitado, la ausencia de sistemas de monitoreo o la intervención manual no planificada.
- Contingencias naturales, como lluvias intensas o sequías prolongadas, que afectan tanto la captación como la demanda del recurso.
- Limitaciones tecnológicas, como la falta de integración de sistemas SCADA, sensores o alarmas remotas que alerten sobre fallas inminentes.

La implementación de sistemas de automatización con controladores lógicos programables (PLC) y plataformas de monitoreo remoto ha demostrado ser eficaz para mitigar estos factores, al permitir un control constante, reacciones automáticas ante fallas y decisiones informadas [31].

2.2.2.3 Eficiencia energética

La eficiencia energética consiste en el uso óptimo de la energía para realizar una tarea determinada. En sistemas de bombeo automatizados, esto implica que los equipos consuman la menor cantidad de energía posible para garantizar un servicio de calidad,

lo que se logra mediante el uso de variadores de frecuencia, controladores lógicos programables (PLC), y estrategias de operación programadas [31].

En estaciones de bombeo, la eficiencia energética depende de:

- El rendimiento de las bombas y motores eléctricos.
- El tipo de arranque utilizado (por ejemplo, arranque estrella-triángulo frente a variadores de frecuencia).
- El sistema de control implementado, que puede optimizar el encendido/apagado según la demanda real.
- La automatización y monitoreo continuo, que permite ajustar procesos en tiempo real.

2.2.3 Desbordamientos en reservorios de sistemas de bombeo

Los desbordamientos en reservorios son un problema recurrente en los sistemas de abastecimiento de agua potable y en las instalaciones de bombeo. Estos eventos ocurren cuando el volumen de agua almacenada supera la capacidad del reservorio, generando pérdidas de recurso, daños estructurales y riesgos de contaminación en la infraestructura y el entorno [21].

Desde el punto de vista hidráulico, el desbordamiento se produce cuando la tasa de entrada de agua al reservorio, proporcionada por el bombeo, es mayor que la tasa de salida hacia la red de distribución o hacia el consumo, sin que exista un mecanismo de control que regule dicho balance. En la práctica, esto se debe a factores como:

Fallas en los sistemas de control o supervisión, que impiden detener el bombeo cuando se alcanza el nivel máximo permitido.

Variaciones en la demanda de consumo, que reducen la extracción de agua mientras el bombeo continúa en operación.

Ausencia de dispositivos de medición o alarma que anticipen condiciones críticas.

Periodos de bombeo sobredimensionados, comunes en operaciones manuales sin supervisión constante.

Las consecuencias de los desbordes incluyen la pérdida de agua potable, el aumento de los costos operativos, la erosión de terrenos aledaños, el deterioro de estructuras de concreto y el riesgo de contaminación por contacto con aguas externas [21].

2.2.4 Definición de términos básicos

Actuadores: son los dispositivos y componentes que se encuentran instalados directamente en la máquina o en el sistema a controlar, que al recibir una señal generan movimientos y acciones para un proceso [24].

Bombas centrífugas: son maquinarias de uso para el bombeo de agua y otros líquidos, generalmente están compuestas por un motor y una bomba unida por un sello mecánico, el cual impide que el agua filtre hacia los componentes del motor.

Control: Utilizando un sistema de comunicaciones industriales de alta capacidad, se logra el control en tiempo real de múltiples estaciones remotas. En estos casos, comúnmente se emplea una RTU configurada como maestra cuando las estaciones se encuentran a grandes distancias [30].

Control automático: Detalla la implementación de diferentes componentes y dispositivos que están vinculados a un proceso, donde se extraen diferentes tipos de magnitudes, que sean capaces de cambiar a través de las condiciones o el tiempo.

Dashboard: Es una interfaz visual que presenta información de manera organizada y en tiempo real, permitiendo la supervisión y análisis de datos de un sistema. Generalmente, incluye gráficos, indicadores, tablas y otros elementos interactivos que facilitan la interpretación de la información. En entornos como Node-RED, un dashboard se utiliza para visualizar y controlar dispositivos, mostrando datos recopilados de sensores, bases de datos. Su principal objetivo es proporcionar una vista clara y centralizada del estado del sistema [25].

Estrés térmico: El estrés térmico en los devanados de un motor se refiere al impacto del calor generado durante el funcionamiento del motor en los diferentes componentes de los

devanados, como los hilos de cobre o aluminio y las capas de aislamiento utilizadas para protegerlos. Cuando el motor está en funcionamiento, se genera calor debido a la resistencia eléctrica del devanado y a las pérdidas de energía asociadas. Este calor puede provocar un aumento de la temperatura en los devanados [20].

IEC: La International Electrotechnical Commission (IEC) es una organización internacional que se encarga de desarrollar y promover estándares globales en los ámbitos de la electricidad, la electrónica y las tecnologías asociadas [30].

IoT: El Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) hace referencia a la interconexión de dispositivos físicos a través de internet, lo que posibilita la recopilación, el intercambio y el análisis de datos en tiempo real. Estos dispositivos, que incluyen sensores, actuadores, electrodomésticos y sistemas industriales, están equipados con tecnología que les permite comunicarse entre sí y con otras plataformas digitales sin necesidad de intervención humana directa. Gracias al IoT, se pueden automatizar procesos, optimizar recursos y mejorar la eficiencia en diversos sectores como la domótica, la salud, la industria y la agricultura [19].

JavaScript: Es un lenguaje de programación interpretado, orientado a eventos y ampliamente utilizado en el desarrollo web. Se distingue por su capacidad de ejecutarse directamente en el navegador del usuario, lo que facilita la creación de páginas web dinámicas e interactivas. Además, es un lenguaje de alto nivel y multiparadigma, lo que le permite soportar programación estructurada, funcional y orientada a objetos. Debido a su compatibilidad con diversas plataformas y su amplia comunidad de desarrolladores, JavaScript se ha consolidado como una tecnología clave en el desarrollo de aplicaciones web y móviles [16].

JSON; (JavaScript Object Notation) Es un formato de intercambio de datos ligero y fácil de leer tanto para humanos como para máquinas. Su estructura en pares clave-valor y organiza los datos mediante objetos y arreglos, lo que lo hace muy versátil para la transmisión y almacenamiento de información. Aunque su sintaxis deriva de JavaScript, es un estándar independiente y compatible con numerosos lenguajes de programación.

Nodo: Es un bloque de construcción dentro del editor visual que realiza una tarea específica, como recibir datos, procesarlos o enviarlos a otro destino. Cada nodo tiene entradas y/o salidas que permiten la conexión con otros nodos para crear flujos de trabajo automatizados. Los nodos pueden representar sensores, dispositivos IoT, bases de datos o cualquier otro elemento dentro de un sistema interconectado [16].

PLC: (Programmable Logic Controller) Es una computadora de propósito general utilizada en sistemas automatizados dentro del sector industrial. Desempeña un papel clave en el desarrollo de diversos tipos de automatización, ya que se emplea para controlar las maquinarias y procesos industriales.

RTU: (Remote Terminal Unit) es una unidad de terminales remotos utilizada en sistemas de automatización y control. Estas unidades son dispositivos electrónicos que se utilizan para recopilar datos en tiempo real de sensores y equipos ubicados en lugares remotos, como estaciones de bombeo, plantas industriales o subestaciones eléctricas, y transmitir esos datos a una ubicación central para su monitoreo y control [35].

Sensores: “son dispositivos que se encuentran instalados directamente en el sistema, así como los equipos que se desean controlar, el Plc detecta a estos dispositivos validando así la posición de la máquina o sistema” [8], generalmente tienden a cambiar por factores físicos o mecánicos, cerrando circuitos o también abriéndose.

Sensor de nivel: es un equipo electrónico que mide el nivel de agua u otros líquidos que existen en un depósito, el cual cuenta con tres contactos, NO, NC y común, estos sirven para poder abrir y cerrar circuitos en los cuales están instalados.

Sistema de arranque de motor: viene a ser el conjunto de dispositivos capaces de intervenir en el encendido y apagado del motor, estos hacen el uso de la energía eléctrica y generalmente son en baja tensión, los cuales pueden activar circuitos de gran magnitud de tensión.

Sistema SCADA: (Supervisory Control And Data Acquisition) es un software que permite el acceso remoto a un conjunto de variables codificadas presentes en un proceso. Gracias

a sus herramientas de comunicación, es posible controlar y supervisar todo el proceso en tiempo real [28].

Transformación de energía: El motor convierte la energía eléctrica en energía mecánica mediante las interacciones de campo y flujo magnético generados en el bobinado del estator, que actúan sobre el rotor.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación

La presente investigación fue de tipo aplicada, ya que tuvo como finalidad resolver un problema técnico específico: mejorar la operatividad y continuidad del servicio de agua potable en una estación de bombeo mediante un sistema automatizado. “la investigación aplicada busca generar conocimiento con valor práctico para solucionar problemáticas reales de la sociedad o el entorno técnico” [36].

3.1.1 Nivel de investigación

El nivel fue explicativo, porque se desarrolló un prototipo funcional con tecnologías de automatización, control y monitoreo remoto; el cual permitió analizar la influencia del sistema diseñado sobre la operatividad y continuidad del servicio. “Este tipo de investigación se orienta a validar soluciones técnicas con evidencia experimental y análisis del comportamiento del sistema” [36].

3.1.2 Enfoque de investigación

Se utilizó un enfoque cuantitativo, dado que se recolectaron y procesaron datos medibles: tiempos de respuesta, costos operativos, frecuencia de paradas y tiempo operativo. “Este enfoque permite analizar de forma objetiva la relación entre variables” [7].

3.1.3 Método de investigación

El método de investigación empleado fue experimental-tecnológico, basado en la validación funcional de un prototipo, “El método experimental en ingeniería permite

evaluar soluciones mediante la observación controlada de un sistema diseñado, especialmente útil en proyectos con base tecnológica” [7].

3.1.4 Diseño de la investigación

Los diseños pre-experimentales son aquellos que únicamente trabajan con un grupo experimental y no cuentan con un grupo de control [37].

El diseño adoptado en la presente investigación fue pre-experimental de validación de prototipo, porque se trabajó solo con un grupo experimental donde se evaluó la influencia del sistema de control automatizado en la continuidad y operatividad de sistema de bombeo de agua potable.

3.1.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para el presente estudio, se empleó la técnica de la observación estructurada, la cual permite obtener información directa sobre el funcionamiento del sistema de bombeo en condiciones reales de operación. “La técnica de observación es un método utilizado en investigación científica y en estudios sociales para recolectar datos. Consiste en el registro sistemático y detallado de comportamientos, eventos, procesos o fenómenos en un ambiente natural o controlado” [38].

El instrumento utilizado fue una lista de cotejo, que permitió evaluar el cumplimiento de criterios técnicos del diseño y funcionamiento del sistema implementado. La lista fue elaborada considerando las dimensiones e indicadores definidos en la matriz de operacionalización de variables.

Asimismo, se empleó la ficha de registro para recolectar datos correspondientes a la variable dependiente.

3.1.6 Población y muestra

La población de la presente investigación estuvo conformada por los meses de operatividad de la estación de bombeo desde su construcción lo cual es de 360 meses (30 años).

La muestra estuvo compuesta por 12 meses de operatividad pertenecientes al período del año 2024. El tipo de muestreo fue no aleatorio por conveniencia.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Matriz morfológica

Para el diseño del proyecto se usó de la matriz morfológica el cual ayudó a realizar la elección de las tecnologías a utilizar y poder evaluar sus aspectos técnicos en base a experiencias, durabilidad, costos y garantías que cuentan estos dispositivos.

Tabla 1. Matriz morfológica

Componente	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Controlador	 PLC Logo - Siemens	 PLC Schneider Electric		
Microcontrolador	 Arduino	 Raspberry PI		
Sensor	 Sensor de presión	 Sensor capacitivo	 Sensor ultrasónico	 Electronivel
Interfaz gráfica	 LabVIEW	 Node-Red	 WinCC	 SCADA
Protocolo de comunicación	 W I-Fi	 Ethernet		
Interfaz de comunicación	 RS-485	 Serial		

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.1 Justificación de la elección de componentes

3.2.1.1.1 Controlador:

PLC LOGO Siemens

Se eligió el PLC Siemens LOGO 8.4 debido a su menor costo frente al PLC del Schneider M221, también a su compatibilidad nativa con IoT mediante MQTT, servidor web y conexión a la nube sin módulos adicionales, lo que facilita el monitoreo y control remoto del sistema.

Tabla 2. Comparativo de características de controlador

Aspecto	Siemens LOGO 8.4	Schneider Modicom M221
Precio aproximado	S/. 540.00	S/. 1200.00
Interfaces externas	Ethernet integrado, servidor web,	RS-485, USB, compatible Ethernet/serial
Capacidades de E/S	4 salidas digitales/8 entradas digitales / 4 entradas analógica.	7 salidas digitales/9 entradas digitales / 5 entradas analógica
Facilidad de programación	Software intuitivo LOGO Soft Comfort,	Programación vía SoMachine
Conectividad en IoT	Nativo: MQTT, alertas por email y web	Sin protocolos IoT integrados por defecto

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.1.2 Microcontrolador

Arduino

La elección del Arduino Uno R3 frente al Raspberry Pi 4 fue principalmente por su bajo costo, ya que su precio es hasta tres veces menor. En cuanto a conectividad IoT, aunque requiere módulos externos para Wi-Fi o Ethernet, estos resultaron económicos y adaptables según las necesidades. Además, su consumo energético es muy bajo, lo que lo hace ideal para aplicaciones de control y monitoreo que requieren funcionamiento continuo sin generar altos costos de energía.

Tabla 3. Comparativo de características de microcontrolador

Característica	Arduino Uno R3	Raspberry Pi 4 (4GB)
Precio aproximado	S/. 45.00	S/. 411.00
Tipo de dispositivo	Microcontrolador	Microcomputadora
Velocidad de reloj	16 MHz	1.5 GHz
Memoria RAM	2 KB	4 GB
Conectividad IoT	Requiere módulos externos	Wi-Fi y Ethernet integrados
Sistema operativo	No posee	Linux u otros OS
Consumo energético	Muy bajo	Moderado

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.1.3 Sensor

Sensor ultrasonido

Se eligió el sensor ultrasónico debido a su buena relación costo–beneficio, ofreciendo una precisión alta a un precio demasiado bajo. Su tecnología permitió una integración sencilla con sistemas IoT, facilitando el monitoreo remoto del nivel de agua en tiempo real.

Tabla 4. Comparativo de características de sensor

Sensor	Principio de medición	Precisión	Costo aprox. (S/.)	Integración IoT	Mantenimiento
Sensor de presión	Mide la presión ejercida por el agua	Alta	150.00	Media	Medio
Sensor capacitivo	Detecta cambios en la capacitancia por presencia de líquido	Media-Alta	50.00	Media	Medio
Sensor ultrasónico	Mide el tiempo de retorno de ondas ultrasónicas	Alta	10.00	Alta	Bajo
Electronivel	Detecta el nivel mediante electrodos en contacto con el agua	Media	72.00	Baja	Alto

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.1.4 Interfaz gráfica

Node-Red

Se eligió Node-RED debido a que es una herramienta gratuita y de código abierto, lo que eliminó costos de licencia, y ofreció alta compatibilidad con IoT mediante soporte nativo para protocolos como MQTT. Además, su bajo consumo de recursos permitió ejecutarlo en hardware económico como Raspberry Pi, reduciendo el costo total del proyecto y facilitando la integración con el PLC y servicios en la nube.

Tabla 5. Comparativo de características de interfaz gráfica

Característica	Node-RED	LabVIEW	WinCC	SCADA tradicional
Costo de licencia	Gratuito	Alto	Alto	Alto a muy alto
Compatibilidad IoT	Muy alta, soporta MQTT, REST nativamente	Media, requiere módulos adicionales	Alta, pero centrada en entornos industriales Siemens	Media-Alta, depende del proveedor y módulos
Requerimientos de hardware	Bajos	Medios-Altos	Medios-Altos	Altos, según proveedor
Flexibilidad de integración	Muy alta	Alta, con drivers específicos	Alta con hardware Siemens	Variable según proveedor
Escalabilidad	Alta, fácil migrar y ampliar flujos	Alta	Alta	Alta
Soporte y documentación	Comunidad amplia, soporte gratuito	Soporte oficial de pago	Soporte oficial Siemens	Soporte de cada proveedor

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.1.5 Interfaz de comunicación

Ethernet

Se eligió Ethernet debido a su alta estabilidad y velocidad de transmisión de datos, lo que garantiza una comunicación continua y sin interrupciones. Además, su bajo consumo energético y fiabilidad frente a interferencias lo convirtieron en la mejor opción para un sistema que requiere monitoreo y control en tiempo real.

Tabla 6. Comparativo de características de Interfaz

Característica	Wi-Fi	Ethernet
Costo de implementación	Bajo (requiere módulo inalámbrico)	Medio (requiere cableado e infraestructura)
Velocidad de transmisión	Alta, pero variable (dependiente de la señal)	Alta y estable
Confiabilidad	Media (susceptible a interferencias)	Alta (muy estable)
Alcance	Menor de 20 a 40 metros	Limitado por la longitud del cable (100 m aprox.)
Consumo energético	Bajo-medio (según módulo)	Bajo

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.1.6 Protocolo de comunicación

Serial

Se eligió el protocolo Serial por su simplicidad, bajo costo y amplia compatibilidad con dispositivos, lo que facilitó la integración sin necesidad de hardware adicional. Para las distancias cortas del proyecto, ofreció un rendimiento confiable y suficiente, reduciendo tiempo y costos de implementación.

Tabla 7. Comparativo de características de Protocolo de comunicación

Característica	RS-485	Serial
Facilidad de implementación	Requiere configuración y adaptación a red multipunto	Muy fácil de implementar, conexión directa
Compatibilidad con equipos comerciales	Limitada, más común en entornos industriales	Alta, presente en gran variedad de dispositivos y PCs
Costo de hardware adicional	Puede requerir convertidores/adaptadores	Generalmente no requiere adaptadores
Disponibilidad de puertos	Menos común en equipos modernos	Muy común en equipos y microcontroladores
Velocidad suficiente para aplicaciones básicas	Sí, pero requiere configuración	Sí, de forma directa y sencilla

Fuente: Elaboración propia

En conclusión, los criterios de costo, eficiencia y compatibilidad IoT justificaron la elección de Siemens LOGO 8.4, Arduino Uno, sensor ultrasónico, Node-RED, comunicación Ethernet y protocolo Serial.

3.2.1.2 Simulación del arranque del motor en PSIM

Como parte del proceso de diseño del sistema de automatización, se realizó una simulación en el software PSIM para analizar el comportamiento del arranque del motor bajo el esquema estrella-triángulo. Esta simulación permitió prever el comportamiento eléctrico del sistema, validar la reducción de corriente de arranque respecto al arranque directo, y reforzar el criterio técnico para la selección del tipo de arranque. Los parámetros utilizados en la simulación corresponden a las características del motor implementado en la maqueta, y los resultados obtenidos fueron consistentes con las pruebas físicas del prototipo.

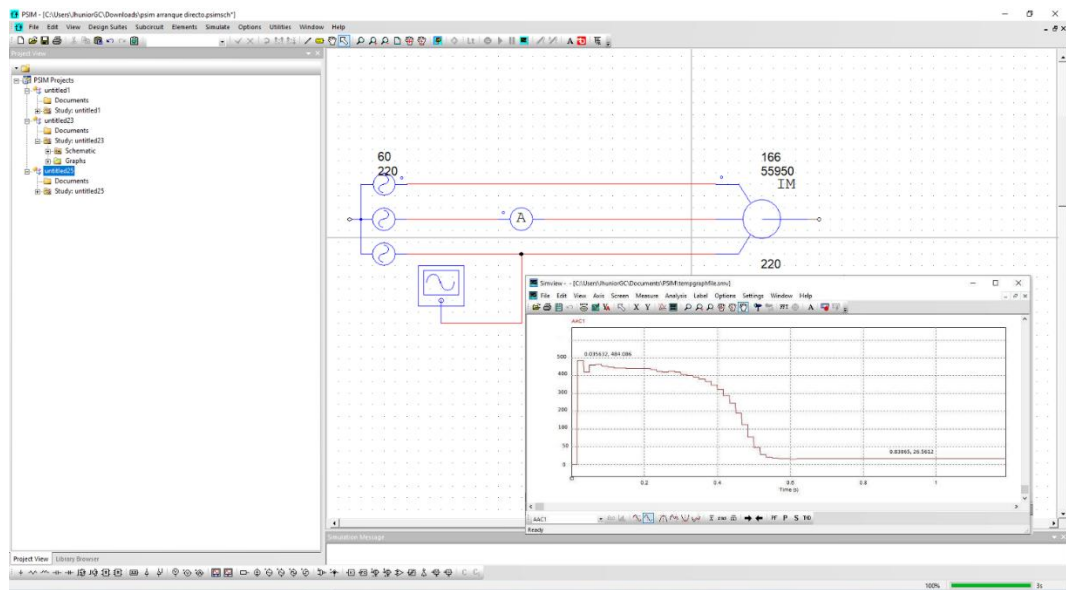


Figura 19. Curva de corriente en arranque directo

Fuente: Elaboración propia

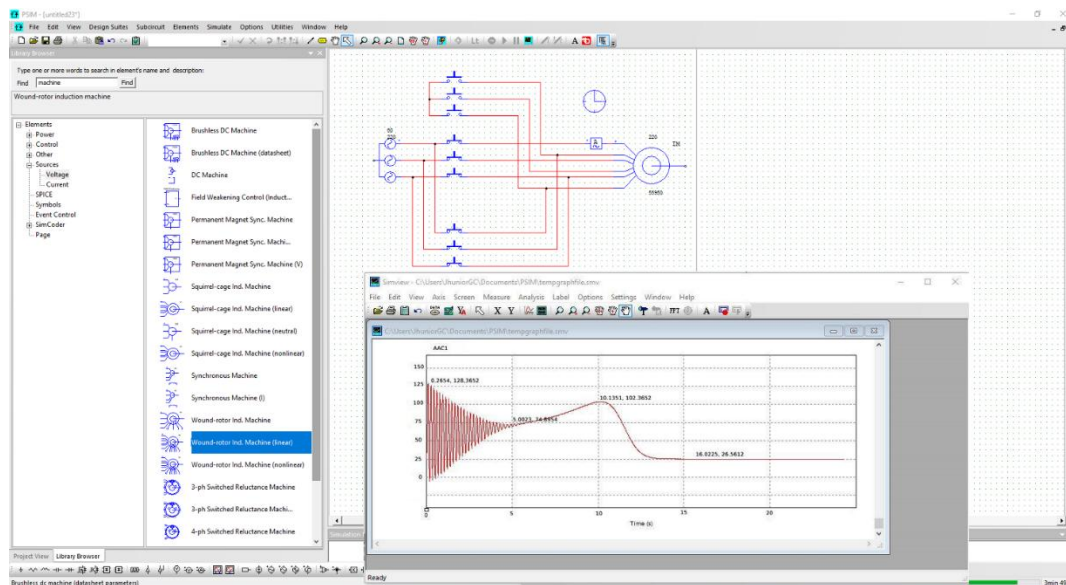


Figura 20. Curva de corriente en estrella triangulo

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2.1 Determinación de la corriente de arranque

a) Cálculo de corriente de arranque en arranque directo

Convertir HP a kW

$$P(\text{kW}) = 40\text{HP} \times 0.746 = 29.84\text{kW}$$

Calculamos la corriente nominal

$$I = \frac{P \times 1000}{\sqrt{3} \times V \times n \times fp}$$

$$I = \frac{29.84 \times 1000}{\sqrt{3} \times 220 \times 0.9 \times 0.85} = 102.7 \text{ A}$$

Calculamos la corriente de arranque

$$I_a = 6 \times 102.7 = 616.2 \text{ A}$$

b) Cálculo de corriente de arranque en estrella triángulo.

Este método reduce la corriente de arranque a aproximadamente **1/3 (o 0.33)** de la que se tendría en arranque directo, porque en la fase estrella la tensión aplicada es menor.

Usando el valor anterior de arranque directo:

$$I_{a, E-T} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times I_{a, \text{directo}} = 0.58 \times 616.2 = 357.4\text{A}$$

3.2.1.3 Arquitectura de comunicación

INFRAESTRUCTURA DE COMUNICACIÓN- SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO DEL CENTRO POBLADO DE HUAMANMARCA

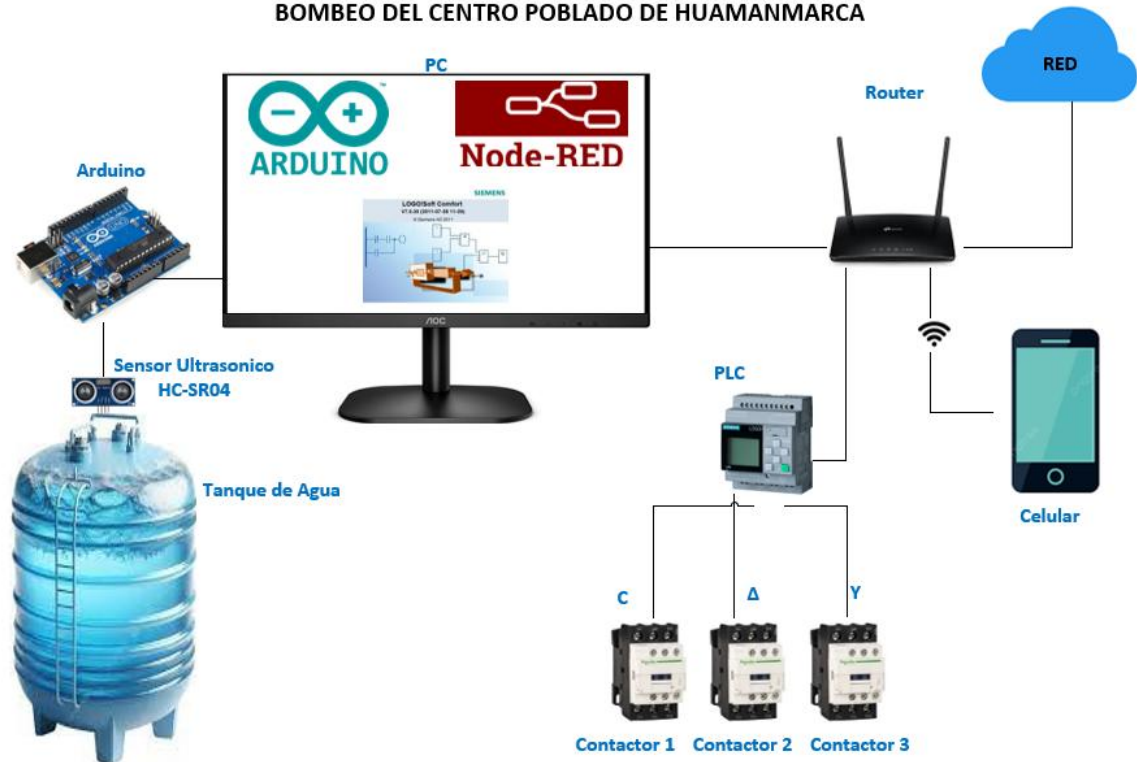


Figura 21. Infraestructura de comunicación de sistema de bombeo

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.4 Modo de operación

3.2.1.4.1 Modo automático

En el modo de funcionamiento automático, el encendido y apagado del motor del sistema de bombeo se gestionó de manera autónoma en función de las lecturas proporcionadas por el sensor ultrasónico HC-SR04. Este sensor, instalado en la parte superior del depósito, midió continuamente la distancia al nivel del agua, el cual se pudo determinar si el tanque está lleno, medio lleno o vacío. Cuando el nivel es inferior del umbral configurado, el sistema enciende automáticamente el motor para iniciar el llenado, y lo apaga cuando se alcanza el nivel superior establecido. Todo este proceso fue supervisado y controlado a través de la lógica implementada en Node-RED, la cual toma decisiones sin intervención humana directa.

3.2.1.4.2 Modo manual IoT

En el modo de funcionamiento manual bajo un enfoque IoT, el encendido del motor que controla el sistema de bombeo se realizó de forma remota a través de una interfaz gráfica (dashboard) desarrollada en Node-RED. Esta interfaz, accesible desde cualquier dispositivo con conexión a red local o internet, permitió al usuario activar o desactivar el motor mediante botones virtuales. Al pulsar el botón correspondiente, se envía una señal digital que es procesada por el sistema de control (PLC o Node-RED), lo que desencadena la activación del motor. Este modo permitió al operador tener un control directo del sistema y en tiempo real, sin la necesidad de presencia física en el lugar donde se encuentra los equipos, representando una solución moderna en este tipo de aplicaciones.

3.2.1.5 Softwares utilizados

3.2.1.5.1 Node-red

Se utilizó como interfaz de supervisión y control, permitiendo visualizar el nivel de agua, activar el motor manual o automáticamente, y gestionar la comunicación con otros componentes del sistema.

3.2.1.5.2 Logo Soft Comfort

Se empleó para programar la lógica de control del motor en función del nivel de agua y para la comunicación mediante el protocolo S7.

3.2.1.5.3 Arduino IDE

Se empleó para programar el Arduino encargado de medir la distancia mediante el sensor ultrasónico HC-SR04 y transmitir esos datos al Node-Red.

3.2.1.5.4 SQLite

Se utilizó para almacenar eventos relacionados con el encendido y apagado del motor, junto con la marca de tiempo correspondiente, lo que permitió llevar un historial de funcionamiento y calcular el tiempo de operación.

3.2.1.5.5 BotFather y telegram

Se utilizó para establecer la comunicación entre el sistema de bombeo y el usuario y/o operador, enviando notificaciones en tiempo real sobre el estado del motor, alertas por niveles de agua, y otros eventos relevantes.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Diseño del sistema

El diseño propuesto para la estación de bombeo de agua potable del centro poblado de Huamanmarca consistió en la integración de un controlador lógico programable (PLC), encargado de procesar las señales provenientes de sensores ultrasónicos de nivel instalados en el reservorio. Este sistema fue complementado con una plataforma de supervisión desarrollada en Node-RED, que incluye un panel de control (dashboard) para la visualización en tiempo real de parámetros operativos. Además, se incluyó un base de datos para el almacenamiento de los eventos del sistema de bombeo, registrando tiempo de bombeo y número de bombeos por día. Por otro lado, se incorporó tecnología IoT que permite la operación remota del sistema y la generación de alarmas automáticas ante la detección de niveles críticos que puedan afectar la continuidad del servicio o comprometer la seguridad de los equipos.

Adicionalmente se incorporó un método de arranque estrella triángulo a través del PLC, para evitar el incremento excesivo de la corriente de arranque al momento de encender la bomba.

4.1.1 Diagramas eléctricos y de control

Los diagramas eléctricos y control se realizaron en el software Eplan en la versión 2.9 debido a que esta versión cuenta con funcionalidades simples y ofrece una interfaz intuitiva, así como generación automática de esquemas y compatibilidad con otros sistemas CAD, Esta versión mejoró la productividad al automatizar las conexiones y

planos, siendo ideal para proyectos en electricidad, telecomunicaciones y automatización.

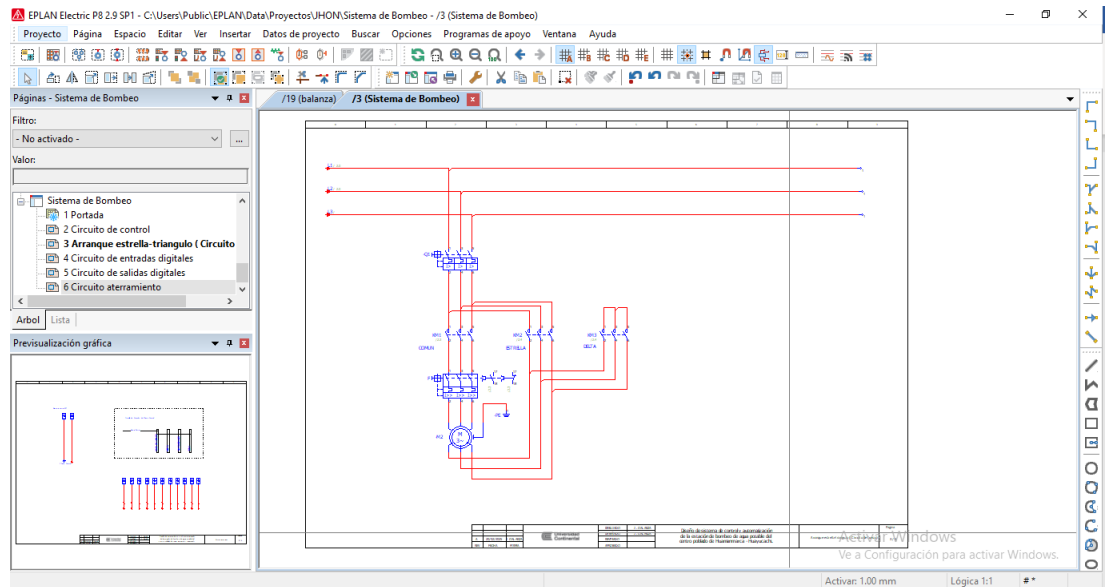


Figura 22. Circuito de fuerza arranque estrella triángulo

Fuente: Elaboración propia

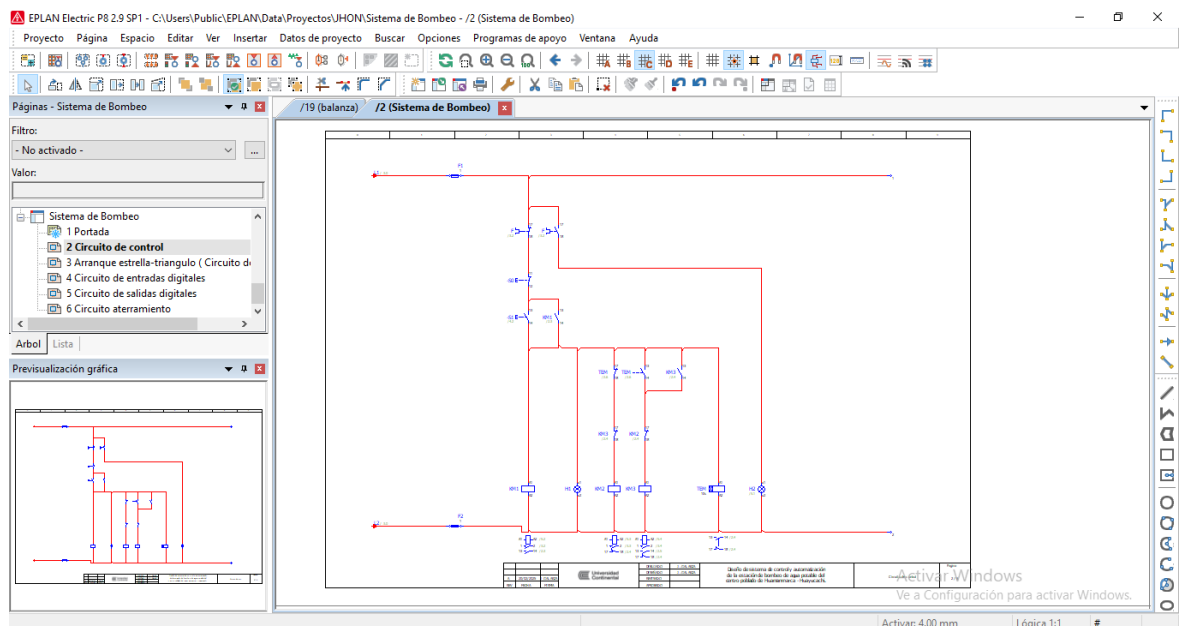
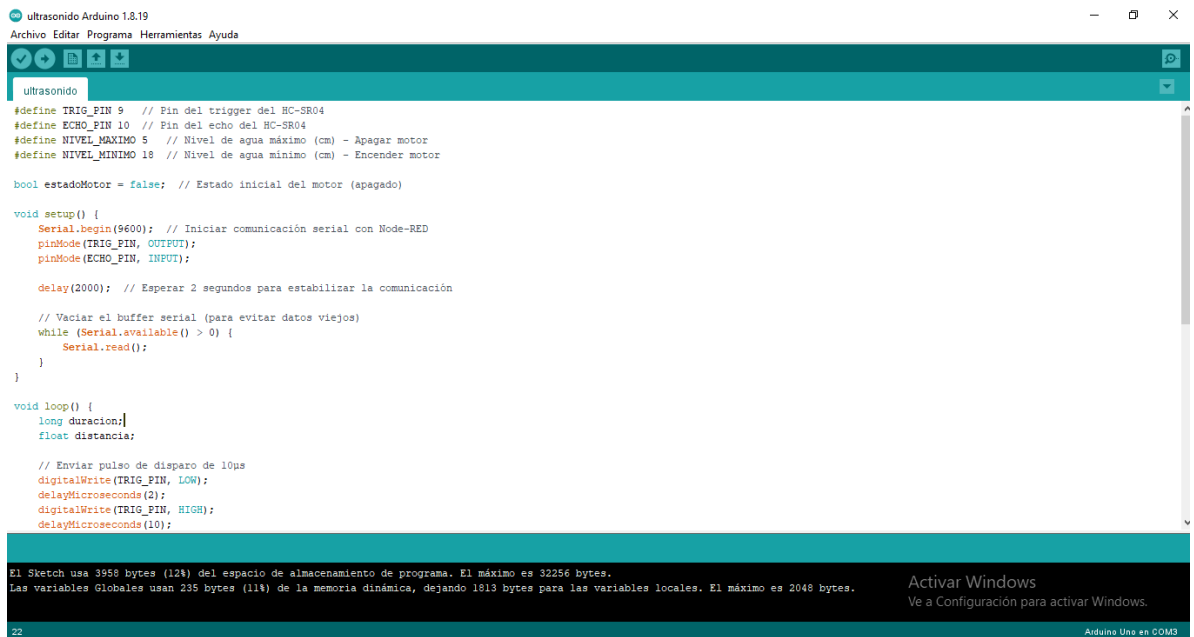


Figura 23. Circuito de mando arranque estrella triángulo

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Configuración de sensor ultrasónico hc-sr04

La configuración del sensor ultrasónico HC-SR04 se realizó a través de software Arduino para ello se ingresó al Arduino IDE, el cual es su entorno de configuración.



```
ultrasonido Arduino 1.8.19
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

ultrasonido
#define TRIG_PIN 9 // Pin del trigger del HC-SR04
#define ECHO_PIN 10 // Pin del echo del HC-SR04
#define NIVEL_MAXIMO 5 // Nivel de agua máximo (cm) - Apagar motor
#define NIVEL_MINIMO 18 // Nivel de agua mínimo (cm) - Encender motor

bool estadoMotor = false; // Estado inicial del motor (apagado)

void setup() {
  Serial.begin(9600); // Iniciar comunicación serial con Node-RED
  pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);
  pinMode(ECHO_PIN, INPUT);

  delay(2000); // Esperar 2 segundos para estabilizar la comunicación

  // Vaciar el buffer serial (para evitar datos viejos)
  while (Serial.available() > 0) {
    Serial.read();
  }
}

void loop() {
  long duracion;
  float distancia;

  // Enviar pulso de disparo de 10µs
  digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
  delayMicroseconds(10);

  El Sketch usa 3959 bytes (12%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32256 bytes.
  Las variables Globales usan 235 bytes (11%) de la memoria dinámica, dejando 1813 bytes para las variables locales. El máximo es 2048 bytes.
  22 Arduino Uno en COM3
```

Figura 24. Programación en Arduino IDE

Fuente: Elaboración propia

Inicialmente se determinó los pines por los cuales se enviarán y recibirán los pulsos del sensor ultrasónico HC-SR04, en nuestro caso se eligió el pin 9 para el envío de señal y el pin 10 para recibir el retorno de señal, se definió la variable **nivel_máximo 5**, que corresponde a un nivel máximo de 5 cm y el **nivel_mínimo 18** se considera a los 18cm, estas medidas varían según la distancia a la que se quiere controlar, en este caso se configuró referente al reservorio elevado.

Además, se estableció la variable **estadoMotor**, el cual estableció que el motor se encuentra apagado inicialmente. Por otro lado, la función **setup** estableció la comunicación serial con una velocidad de 9600 baudios esto para realizar la conexión con el nodered.

La función **loop** generó un pulso ultrasónico de 10us para medir la distancia, además se calculó la distancia basada en el tiempo de pin echo.



```
ultrasonido Arduino 1.8.19
Archivo Editor Programa Herramientas Ayuda

ultrasonido
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);

// Medir el tiempo de eco
duracion = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH);

// Convertir tiempo en distancia (velocidad del sonido: 343 m/s o 0.0343 cm/us)
distancia = (duracion * 0.0343) / 2;

// Lógica para activar/desactivar el motor
if (distancia <= NIVEL_MAXIMO && estadoMotor) {
  estadoMotor = false; // Apagar el motor
}
else if (distancia >= NIVEL_MINIMO && !estadoMotor) {
  estadoMotor = true; // Encender el motor
}

// ● ELIMINAMOS TEXTO INNECESARIO Y SOLO ENVIAMOS JSON LIMPIO
Serial.print("{\"nivel\":");
Serial.print(distancia, 2); // Limitar a 2 decimales
Serial.print(", \"estado\":");
Serial.print(estadoMotor ? "true" : "false");
Serial.println("}"); // Línea nueva para delimitar JSON

delay(1000); // Esperar 1 segundo antes de la siguiente medición
}
```

El Sketch usa 3958 bytes (12%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32256 bytes.
Las variables Globales usan 235 bytes (11%) de la memoria dinámica, dejando 1813 bytes para las variables locales. El máximo es 2048 bytes.

Activar Windows
Ve a Configuración para activar Windows.

Arduino Uno en COM3

Figura 25. Configuración de Arduino según requerimientos

Fuente: Elaboración propia

Para convertir el tiempo en distancia se tomó en cuenta lo siguiente:

- La velocidad del sonido 343m/s, para poder transformarlas en las unidades que trabajamos se convirtió a cm/us obteniendo 0.0343 cm/us.

Para calcular la distancia:

$$\text{Distancia} = (\text{duración} * 0.0343) / 2$$

También se realizó las condicionales para controlar el motor, cuando la distancia sea menor o igual a **nivel_máximo** envía un dato llamado **false** y cuando la distancia es mayor o igual el **nivel_mínimo**, envía el dato denominado **true**.

La última parte del código, se refiere a enviar los datos a Nodered solamente el dato JSON el cual es una notación de objeto en el lenguaje JavaScript que es el lenguaje de configuración de Nodered, este caso se envió según el nivel de agua en el tanque enviando un false o true.

Cabe destacar que se configuró un **DELAY** para que pueda realizar la lectura cada segundo. Todos los datos se enviaron a Node-red por el protocolo serial.

4.1.3 Configuración de PLC Logo

4.1.3.1 Configuración de comunicación entre PLC LOGO y Router

El PLC fue configurado con la dirección IP 192.168.0.3 el cual se encuentra por default, en nuestro servidor se agregó una IP del mismo rango del PLC para garantizar la comunicación entre los equipos. el puerto estándar para comunicación S7. En Node-RED se utilizó el nodo “S7 in/out” para intercambiar datos, permitiendo la lectura del estado del motor y el envío de comandos de encendido/apagado en modo manual.

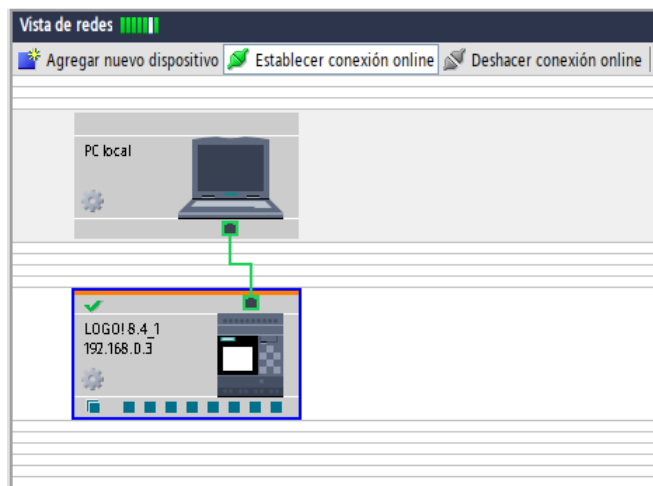


Figura 26. Establecimiento de comunicación con PLC

Fuente: Elaboración propia

La configuración del PLC Logo, se realizó mediante el software LOGO Soft Comfort V8.4, inicialmente se descargó la versión 8.3 y después el complemento 8.4. este software proporcionó una interfaz de bloques lógicos que facilitó el diseño de secuencias de control sin necesidad de codificación textual. Además, permitió simular el programa y cargarlo directamente al PLC vía Ethernet.

Se realizó la programación en lenguaje Ladder correspondiente al arranque estrella triángulo, para disminuir picos de corriente al momento del arranque.

En nuestro sistema se tuvo 2 opciones de funcionamiento, el primero fue en modo manual IoT, el cual se usó entradas digitales enviadas desde nodered, con respecto al modo automático fue controlado por la distancia de medición del sensor ultrasónico SR-HC04.

En el desarrollo de la configuración estrella triangulo se realizó el uso de temporizadores de retardo a la conexión y desconexión, para cambiar de estrella a delta, también se usó 3 memorias para asegurar el funcionamiento antes de conectar las salidas del PLC.

La salida del PLC es de tipo RELAY, por ello se realizó el uso de contactores para poder activar el motor trifásico que acciona la bomba centrífuga. Véase en la siguiente figura.

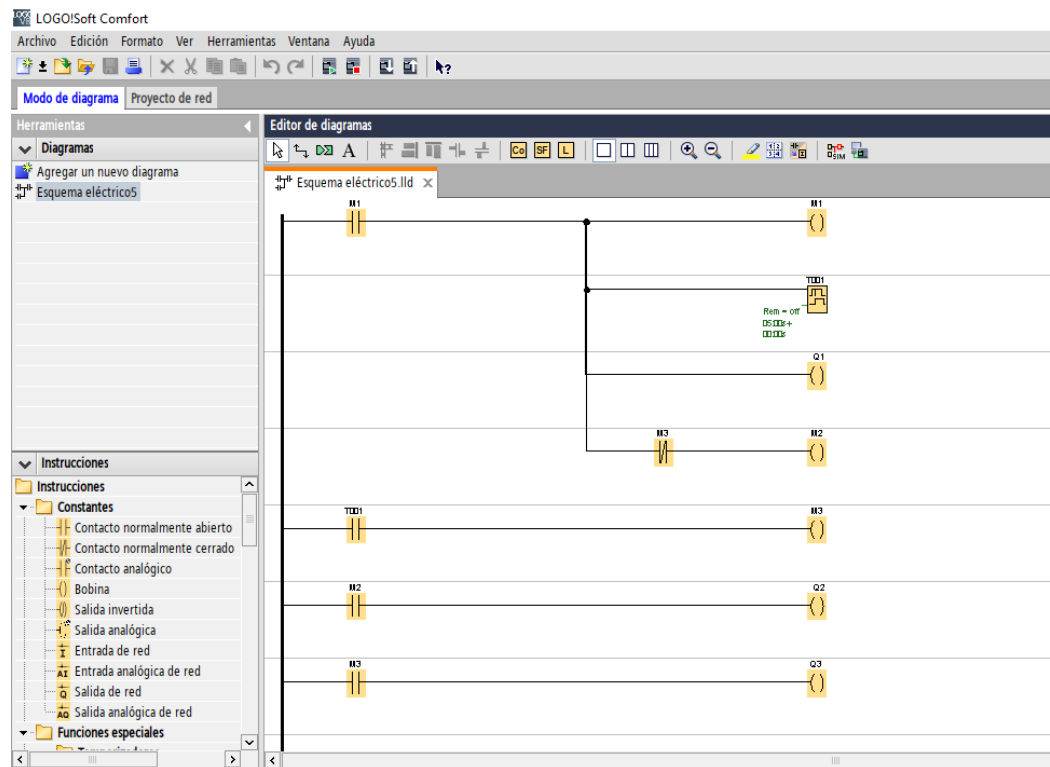


Figura 27. Configuración de PLC - Ladder

Fuente: Elaboración propia

El diseño inicial del sistema de control fue realizado en lenguaje Ladder, debido a su facilidad de interpretación y representación clara de los contactos y bobinas. Esta lógica representó el control de encendido del motor en un arranque estrella donde se aplicó condiciones de seguridad, temporización y señales de entrada. Posteriormente, para su implementación en el software LOGO Soft Comfort, se transformó dicha lógica al formato de bloques funcionales, que es el lenguaje nativo

admitido por el entorno de programación del PLC Siemens. Además, se realizó la simulación, carga y prueba del programa en el dispositivo físico.

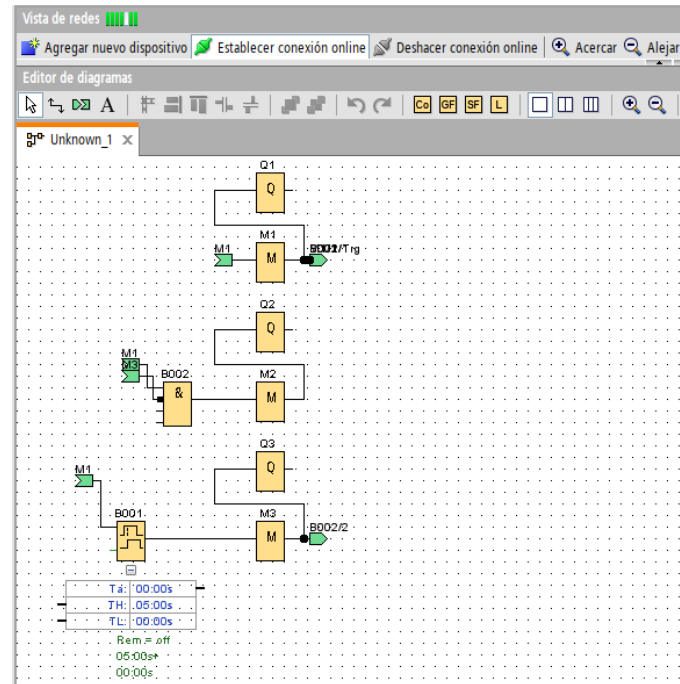


Figura 28. Circuito estrella triángulo en bloque funcional

Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Simulación del arranque del motor en PSIM

La simulación realizada en PSIM permitió validar el comportamiento previsto del motor bajo el esquema de arranque estrella-triángulo. Se observó que la corriente máxima al momento del encendido, en el modo arranque directo, alcanzó los 484.08 A, mientras que con el arranque estrella-triángulo, el pico fue de solo 128.36 A, evidenciando una disminución del 73.5 % en la corriente de arranque.

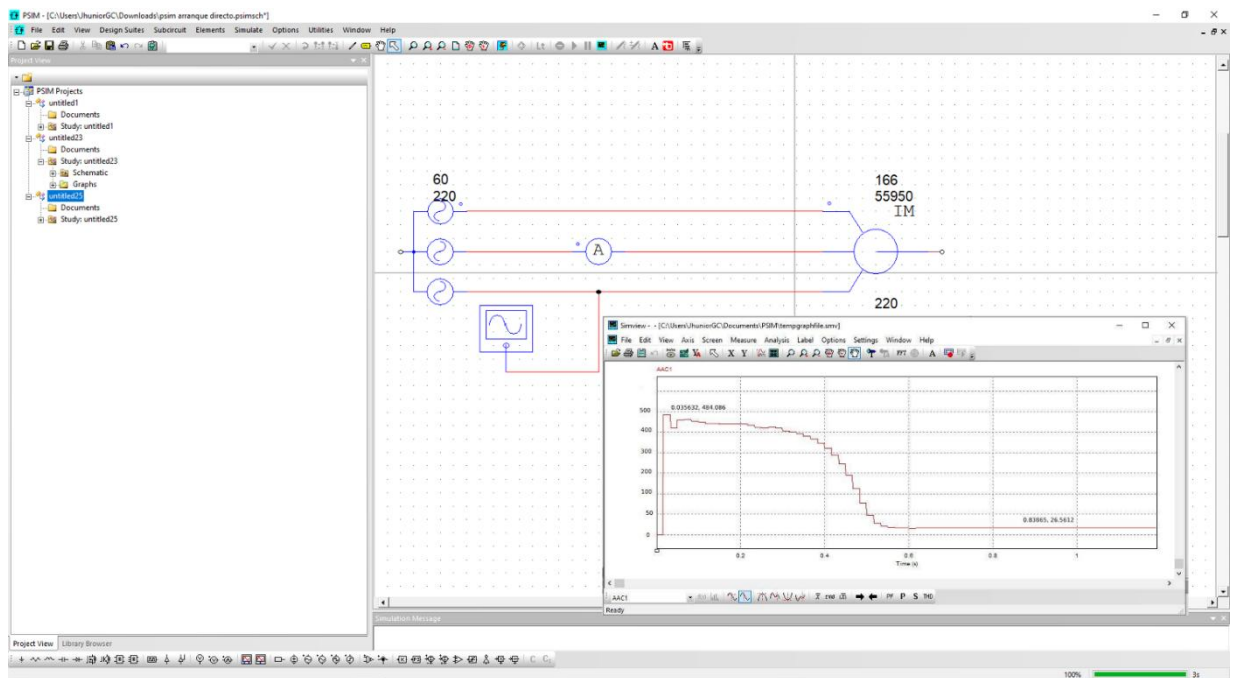


Figura 29. Simulación de arranque directo en PSIM

Fuente: Elaboración propia

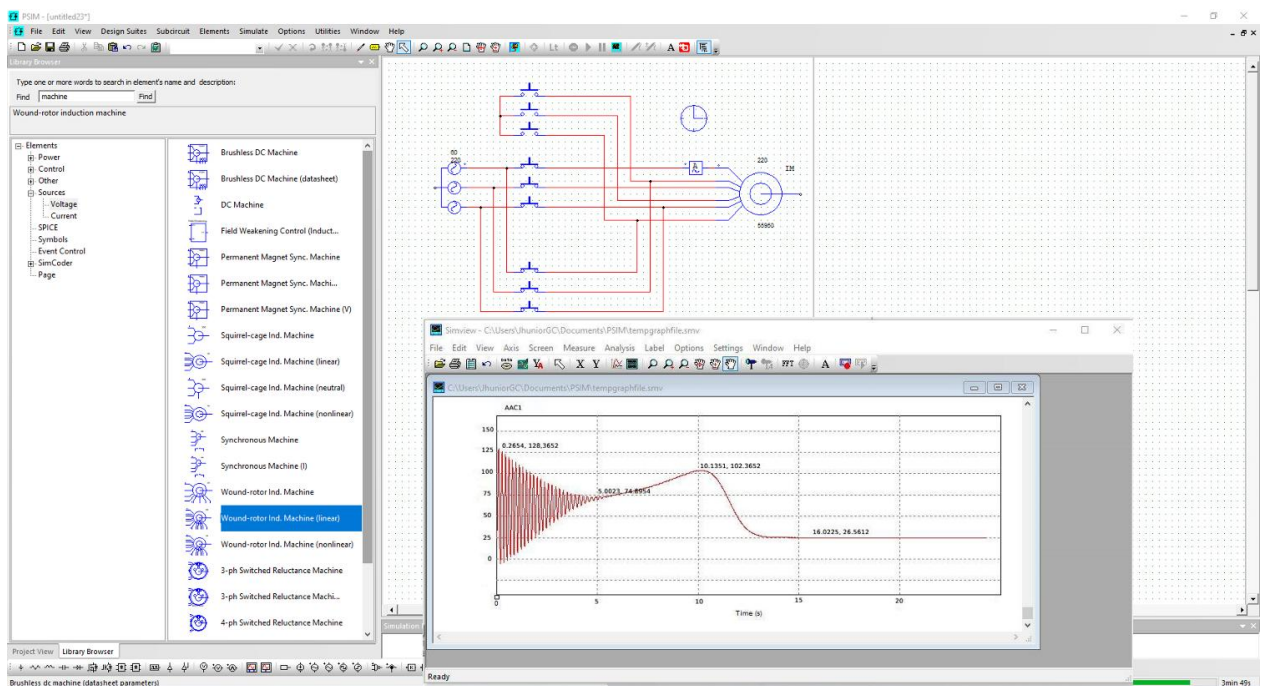


Figura 30. Simulación de arranque estrella – triángulo en PSIM

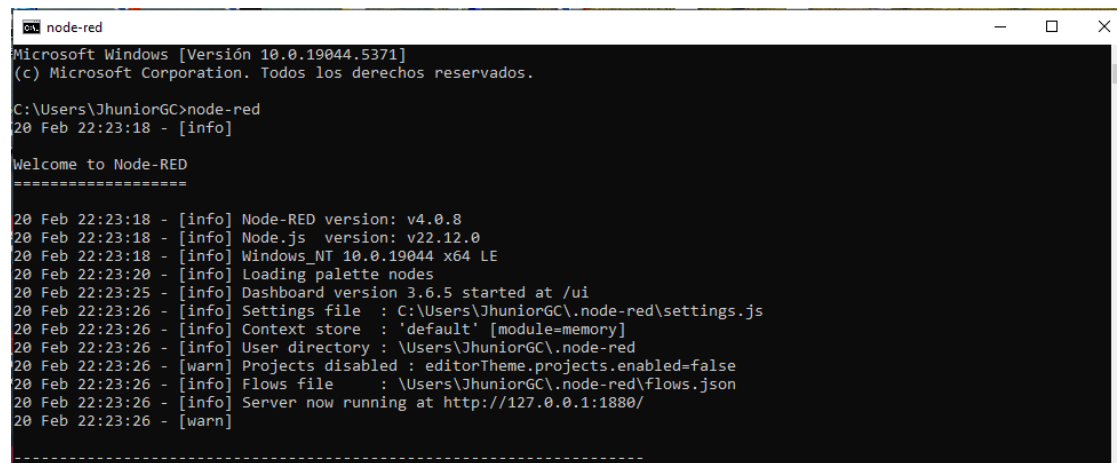
Fuente: Elaboración propia

4.1.5 Configuración de nodered

4.1.5.1 Descripción general

Se utilizó Node-Red como plataforma de monitoreo, control remoto y comunicación IoT, el cual permitió al usuario visualizar el estado del sistema de bombeo, activarlo manualmente, registrar eventos y recibir notificaciones en tiempo real.

4.1.5.2 Iniciar Node-Red en servidor



```
node-red
Microsoft Windows [Versión 10.0.19044.5371]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\JhunionGC>node-red
20 Feb 22:23:18 - [info]

Welcome to Node-RED
=====

20 Feb 22:23:18 - [info] Node-RED version: v4.0.8
20 Feb 22:23:18 - [info] Node.js version: v22.12.0
20 Feb 22:23:18 - [info] Windows_NT 10.0.19044 x64 LE
20 Feb 22:23:20 - [info] Loading palette nodes
20 Feb 22:23:25 - [info] Dashboard version 3.6.5 started at /ui
20 Feb 22:23:26 - [info] Settings file : C:\Users\JhunionGC\.node-red\settings.js
20 Feb 22:23:26 - [info] Context store : 'default' [module=memory]
20 Feb 22:23:26 - [info] User directory : \Users\JhunionGC\.node-red
20 Feb 22:23:26 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.enabled=false
20 Feb 22:23:26 - [info] Flows file : \Users\JhunionGC\.node-red\flows.json
20 Feb 22:23:26 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/
20 Feb 22:23:26 - [warn]
```

Figura 31. Inicio de Node – red en sistema operativo Windows

Fuente: Elaboración propia

Para abrir Node-red en un servidor local inicialmente se debió de haber instalado, ya sea por la página oficial de Node-red o mediante el comando **npm install -g --unsafe-perm node-red**, una vez instalada abre la terminal y se ejecuta el comando **Node-red**, y se espera a que inicie.

Este programa accedió mediante el puerto 1880, por ello para poder abrir el interfaz de configuración se realizó lo siguiente:

- Se escribió en el servidor **localhost:1880**, el cual te dirige a la siguiente interfaz.

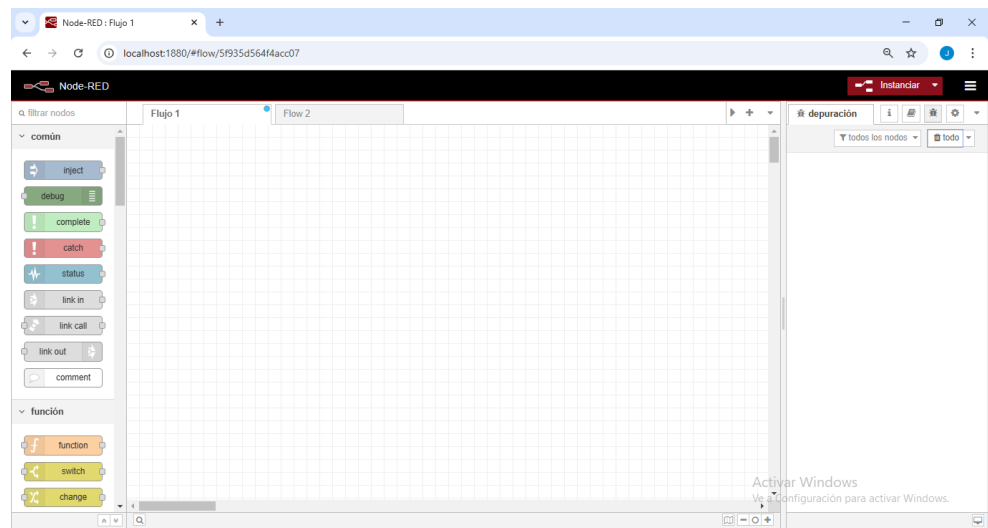


Figura 32. Entorno de configuración de Node-Red

Fuente: Elaboración propia

La interfaz de esta herramienta de programación visual facilitó la creación de aplicaciones conectando nodos en un entorno gráfico, el cual fue ideal para el presente proyecto ya que combinó integraciones con IoT y automatización.

4.1.5.3 Comunicación de Node-Red con Arduino

La comunicación entre Node-RED y el microcontrolador Arduino se realizó a través de una conexión serial, utilizando los nodos serial in disponibles en el entorno de Node-RED. Esta conexión permitió recibir datos en tiempo real desde el sensor ultrasónico conectado al Arduino, encargado de medir la distancia desde la parte superior del tanque hacia el nivel de agua, lo cual representó indirectamente el volumen de agua almacenado. A continuación, se muestra el conexionado entre Arduino y HC-SR04.

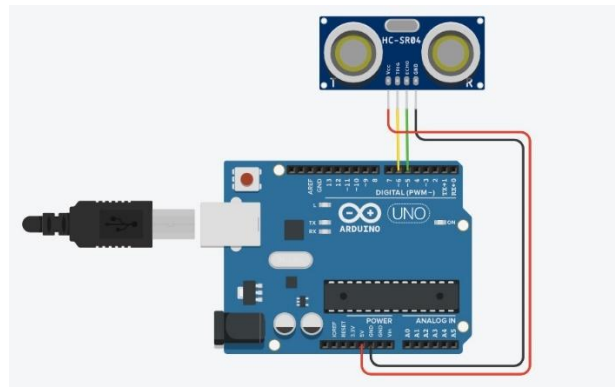


Figura 33. Conexión de Arduino y Sensor ultrasónico

Fuente: Torres y Yáñez et al.[25] .

La velocidad de transmisión de datos se estableció en 9600 baudios. El puerto serial utilizado depende del sistema operativo en uso, siendo COM3 en Windows 10. El formato de transmisión fue estructurado en JSON, permitiendo enviar únicamente el valor de la distancia medida en centímetros de forma clara y directa.

Una vez que los datos son recibidos en Node-RED mediante el nodo serial in, se procesó mediante nodos adicionales para convertirlos a datos booleanos para apagar o encender el motor, además mediante la configuración se realizó el condicionamiento de umbrales de bajo y mínimo nivel de agua. Esto permitió determinar si el nivel de agua se encontraba por debajo del mínimo requerido, activando automáticamente el motor del sistema de bombeo. De este modo, la plataforma Node-RED transformó datos analógicos a digitales. También se agregó un nodo función el cual asigna el valor de nivel el cual facilita la supervisión continua a través del dashboard.

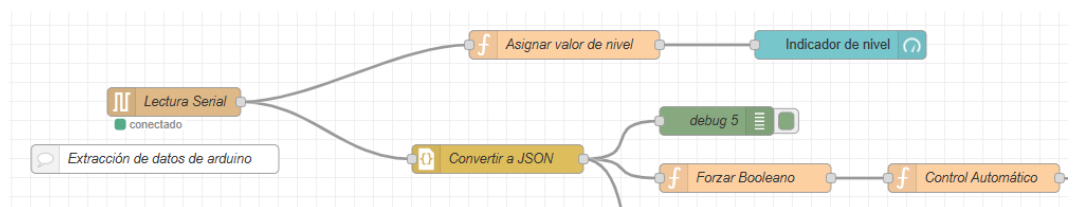


Figura 34. Comunicación serial entre Node-Red y Arduino

Fuente: Elaboración propia

4.1.5.4 Comunicación con PLC Siemens Logo

La comunicación entre Node-RED y el PLC Siemens LOGO se estableció mediante el uso del nodo node-red-contrib-s7, una extensión que permite intercambiar datos en tiempo real con PLC Siemens a través del protocolo S7.

El PLC fue configurado con una IP estática 192.168.0.3, permitiendo su identificación y conexión dentro de la red. se utilizó la dirección DB1,X1104.0 como punto de enlace entre Node-RED y el PLC, permitiendo intercambiar señales de control y supervisión de forma precisa.

El nodo S7 in fue empleado para leer continuamente el estado de las salidas digitales del PLC, reflejando en la interfaz el estado del motor. Por su parte, el nodo S7 out se utilizó para enviar instrucciones desde Node-RED hacia el PLC en modo manual, activando o desactivando el motor según la selección del usuario desde el panel de control.

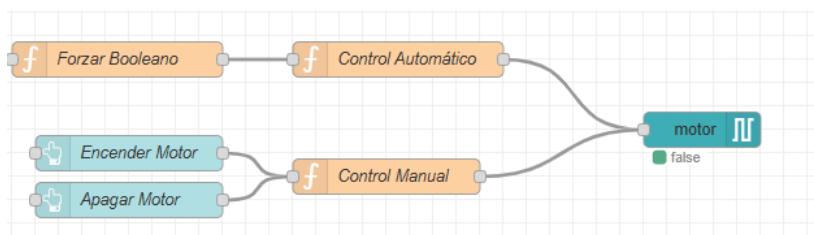


Figura 35. Comunicación con protocolo S7 A

Fuente: Elaboración propia

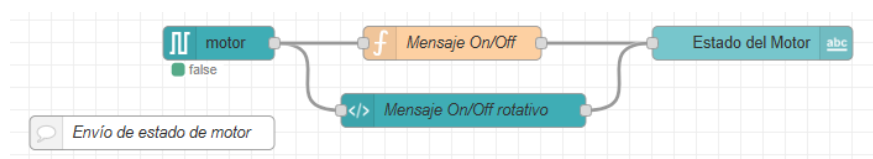


Figura 36. Comunicación con protocolo S7 Siemens B

Fuente: Elaboración propia

4.1.5.5 Comunicación con telegram mediante Botfather

Se realizó con el objetivo de implementar una funcionalidad de notificación remota, se integró la plataforma de mensajería telegram en el sistema mediante la creación de un bot personalizado, configurado a través de BotFather, el cual es una herramienta oficial de Telegram para la gestión de bots. Este bot permitió enviar alertas automáticas directamente al teléfono del operador, informando sobre eventos críticos o cambios en el estado del sistema.

El proceso de configuración incluyó la generación de un token único de autenticación, proporcionado por BotFather, que fue utilizado en Node-RED mediante el nodo node-red-contrib-telegrambot. Este nodo facilitó el envío, así como la recepción de mensajes dentro de los flujos de automatización, permitiendo una comunicación bidireccional con el usuario.

En este proyecto, se configuró principalmente el envío de mensajes automáticos cuando el nivel de agua está por los límites inferiores y superiores, en cuanto el nivel de agua está al límite inferior es para evitar que el reservorio se quede sin abastecimiento de agua hacia la población, mientras que el límite superior es para asegurar que no haya desbordamiento en el reservorio. Las notificaciones son continuas por los que esta funcionalidad permitió al operador mantenerse informado sin necesidad de acceder continuamente a la interfaz gráfica. Gracias a ello el sistema puede operar de forma autónoma y, al mismo tiempo, mantener al usuario al tanto de su comportamiento en tiempo real, incluso fuera del sitio físico.

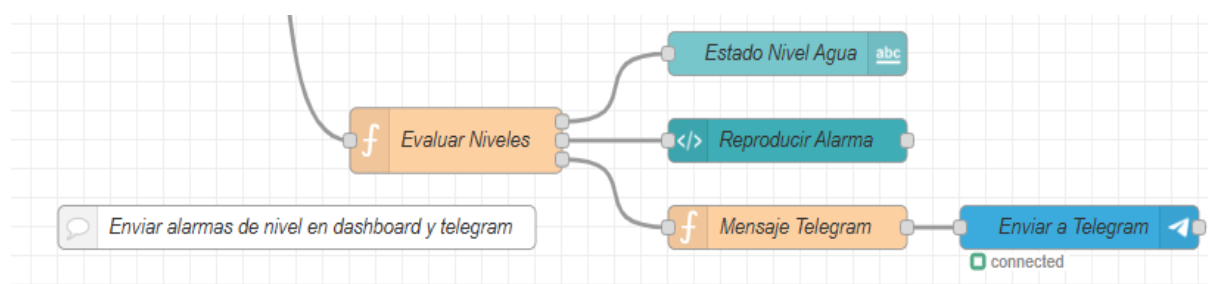


Figura 37. Comunicación entre Node-Red y telegram

Fuente. Elaboración propia

4.1.5.6 Almacenamiento de datos SQLite

Para registrar los eventos del sistema de bombeo, se integró una base de datos local utilizando SQLite, a través del nodo node-red-node-sqlite. El cual permite almacenar datos de manera ligera y rápida sin requerir un servidor externo.

Se creó una tabla denominada eventos_motor, destinada a registrar cada acción de encendido o apagado del motor. Esta tabla cuenta con los siguientes campos: ID (clave primaria autoincremental), evento (tipo de acción: encendido o apagado), fecha y hora, lo que permitió tener un registro detallado del comportamiento del sistema a lo largo del tiempo.

Cada vez que se produce un cambio de estado en el motor, ya sea por acción automática o manual, Node-RED ejecuta una consulta a SQL e ingresa un nuevo registro en la base de datos, garantizando que la marca de tiempo refleje con precisión el momento de la acción.

El almacenamiento de estos datos permitió generar un historial útil para análisis de uso y mantenimiento preventivo. Además, la estructura flexible de SQLite ofreció la posibilidad de exportar los datos a otros formatos, como CSV o Excel, facilitando informes o visualizaciones externas en caso de ser necesario.

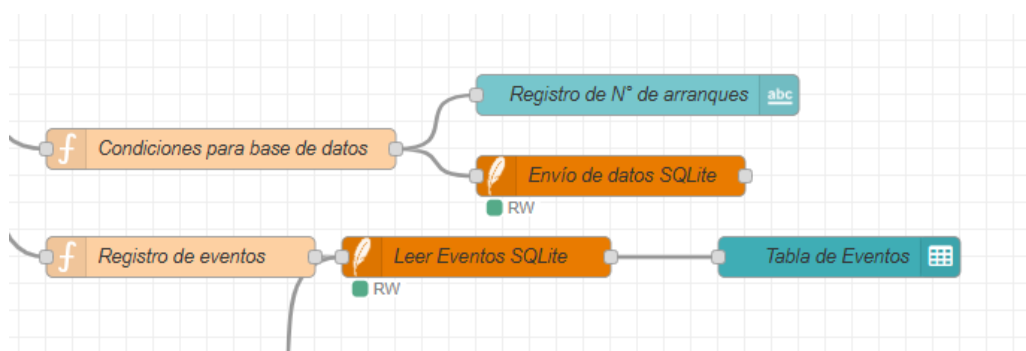


Figura 38. Almacenamiento y consulta de datos en SQLite

Fuente: Elaboración propia

4.1.5.7 Configuración de Dashboard

La interfaz gráfica del sistema fue desarrollada utilizando el nodo Node-red-dashboard, el cual permitió construir paneles web interactivos mediante un entorno visual de fácil manejo. Esta interfaz actuó como puente entre los usuarios y el sistema de control automatizado, que facilitó monitorear en tiempo real el estado de la estación de bombeo y actuar sobre ella desde cualquier dispositivo conectado a la red. A continuación, se describe los principales componentes del dashboard creado.

4.1.5.7.1 Indicadores de nivel

Dentro del panel principal, se incorporó indicadores visuales que muestran el nivel de agua detectado por el sensor ultrasónico. Estos estuvieron distribuidos en paneles configurados en el dashboard.



Figura 39. Indicador de nivel en Dashboard

Fuente: Elaboración propia

4.1.5.7.2 Indicadores de estado de motor

Esta representación sirvió para poder visualizar cuando el motor cambia de estado apagado o encendido, facilitando la interpretación del funcionamiento del sistema.

Este elemento ofreció una visualización clara mediante códigos de color y etiquetas, lo que permitió al usuario tomar decisiones inmediatas. Dependió mucho el modo de operación en la que se encuentre funcionando el sistema.



Figura 40. Indicador de estado - Motor apagado

Fuente: Elaboración propia

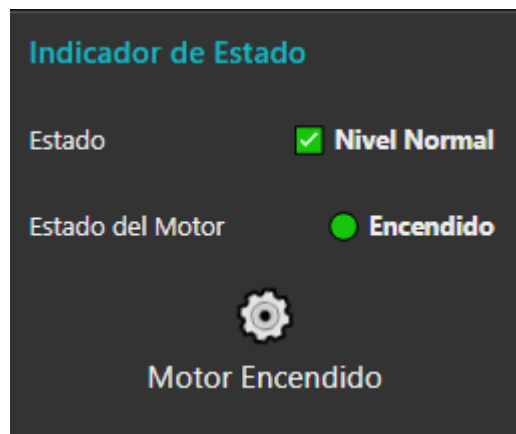


Figura 41. Indicador de estado - Motor Encendido

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se integró **botones digitales** que permiten controlar manualmente el encendido y apagado del motor desde la misma interfaz. Esta funcionalidad corresponde al modo de funcionamiento manual, y fue diseñada para brindar acceso remoto al operador en situaciones donde se requiera activar la bomba por decisión directa, sin depender del sensor.

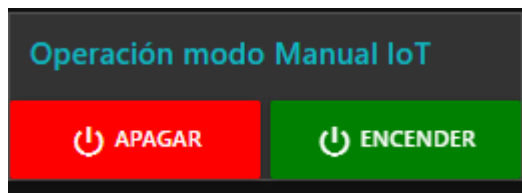


Figura 42. Operación modo manual en dashboard

Fuente: Elaboración propia

4.1.5.7.3 Selección de modo de operación

También se incluyó un **selector de modo**, que permitió alternar entre el funcionamiento automático y manual del sistema. Esta opción permitió poder seleccionar la operación según se requiera, permitiendo que el sistema responda tanto a condiciones físicas (como el nivel de agua) como a instrucciones remotas desde la interfaz.

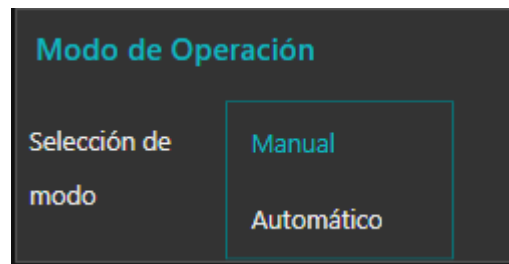


Figura 43. Selección de modo de operación en Dashboard

Fuente: Elaboración propia

4.1.5.7.4 Registro de eventos

Se añadió tablas las cuales trabajan en conjunto con la base de datos SQLite, donde Node-Red consulta estos datos y las muestra en el dashboard tales activaciones, desactivaciones, tiempo de funcionamiento del motor, y contabilizar el número de encendidos de motor. Esto proporcionó un historial básico y visible directamente en el panel, facilitando el seguimiento de las acciones realizadas por el usuario y por el sistema de forma autónoma. En la siguiente figura se muestran los registros realizados en las pruebas correspondientes:

Cuadro de eventos				
N° de arranques de motor				7
ID	Inicio	Fin	Duración (s)	Encendido #
7	2025-04-16 22:18:57	2025-04-16 22:19:08	11	7
6	2025-04-16 19:16:16	2025-04-16 19:23:50	454	6
5	2025-04-16 17:43:13	2025-04-16 17:52:33	560	5
4	2025-04-16 17:38:54	2025-04-16 17:40:49	115	4
3	2025-04-16 17:38:15	2025-04-16 17:38:16	1	3
2	2025-04-16 00:03:35	2025-04-16 00:03:38	3	2
1	2025-04-15 23:29:41	2025-04-15 23:34:41	300	1

Figura 44. Cuadro de eventos registrados en la base de datos SQLite

Fuente: Elaboración propia

4.1.5.8 Acceso remoto mediante Ngrok

Para permitir el acceso remoto al panel de control desarrollado y dashboard de Node-RED, se implementó la herramienta Ngrok, la cual proporcionó túneles seguros a servicios locales a través de Internet.

Ngrok se configuró para exponer el puerto local donde se ejecuta Node-RED en este caso el puerto 1880 a una URL pública temporal generada por el servicio. De este modo, el usuario puede acceder a la interfaz gráfica del sistema de bombeo desde su dispositivo móvil o computadora, sin importar su ubicación geográfica, siempre que cuente con conexión a Internet.

El enlace proporcionado por Ngrok se compartió con el operador del sistema, quien puede abrir la interfaz de control en cualquier navegador web y realizar acciones como el encendido manual del motor, la supervisión del nivel de agua, el cambio de modo de funcionamiento, o la revisión del historial de eventos registrados. Esta funcionalidad es para probar el sistema en condiciones reales de operación remota, realizando un entorno IoT.

```
C:\ngrok.exe - ngrok http 1880
ngrok (Ctrl+C to quit)
Goodbye tunnels, hello Agent Endpoints: https://ngrok.com/r/aep
Session Status      online
Account             Jhon Galarza Carhuamaca (Plan: Free)
Update              update available (version 3.22.1, Ctrl-U to update)
Version             3.22.0
Region              South America (sa)
Latency             128ms
Web Interface       http://127.0.0.1:4040
Forwarding           https://736f-2803-a3e0-15a2-60e0-74-8b66-6aa5-4983.ngrok-free.app -> http://localhost:1880

Connections          ttl      opn      rt1      rt5      p50      p90
0                  0        0.00    0.00    0.00    0.00
```

Figura 45. Asignación de Túnel para acceso remoto

Fuente: Elaboración propia

4.1.5.9 Flujo general del sistema de control y automatización de la estación de agua potable del CP. Huamanmarca

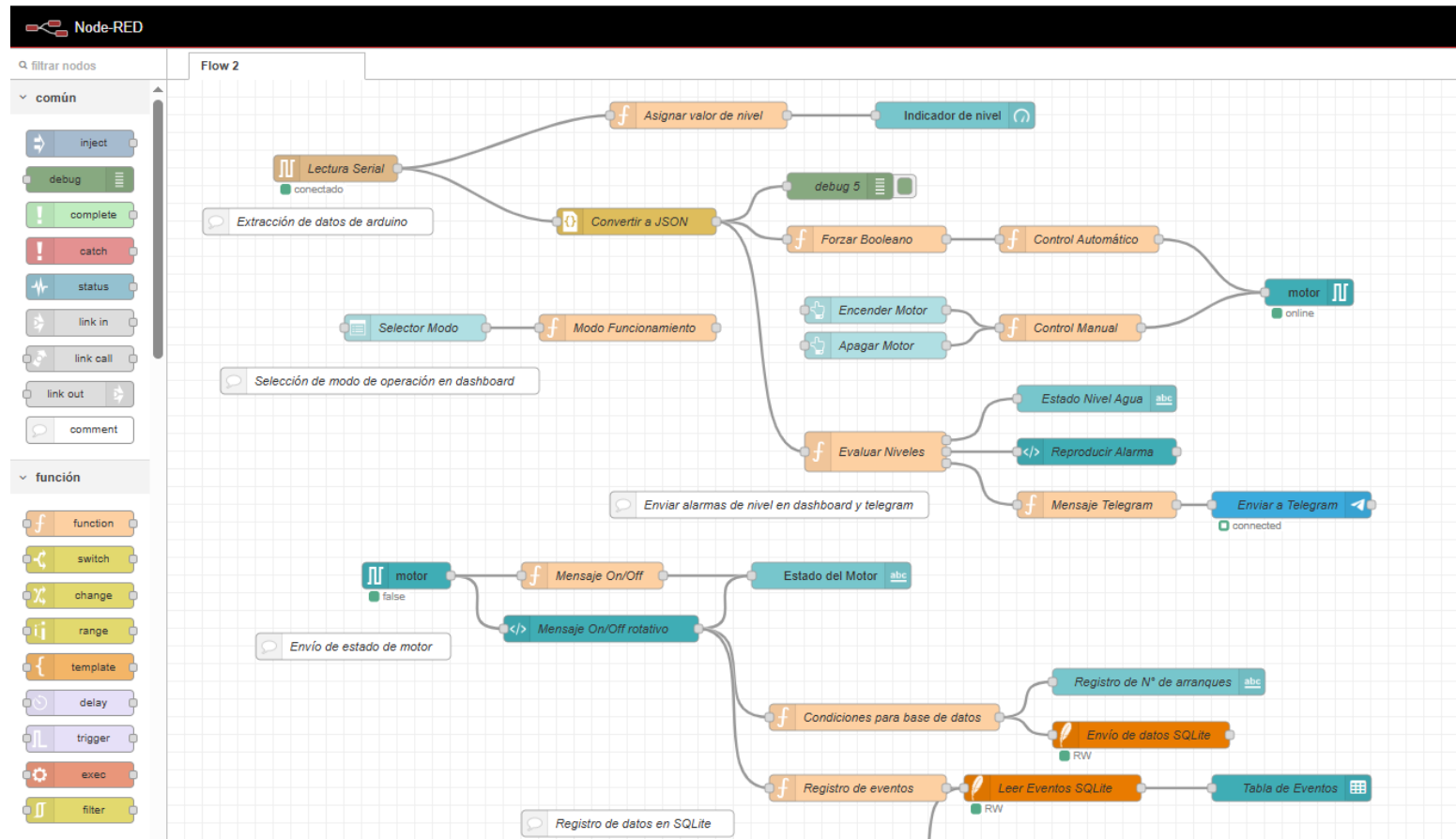


Figura 46. Flujo General del proyecto

Fuente. Elaboración propia

4.1.5.10 Dashboard del sistema de control y automatización de la estación de agua potable del CP. Huamanmarca

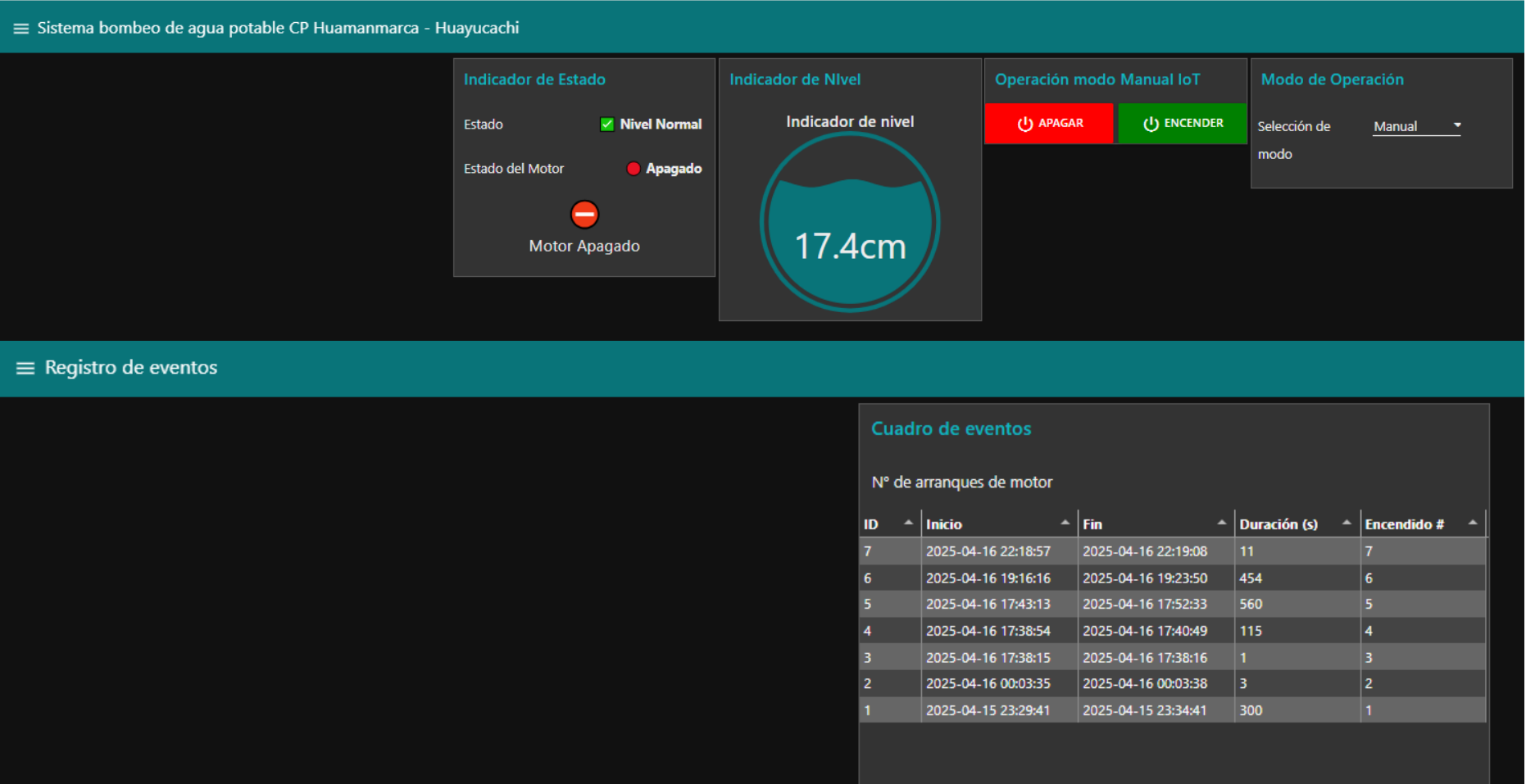


Figura 47. Dashboard de monitoreo del proyecto
Fuente. Elaboración propia

4.1.5.11 Dashboard de sistema de bombeo en versión móvil

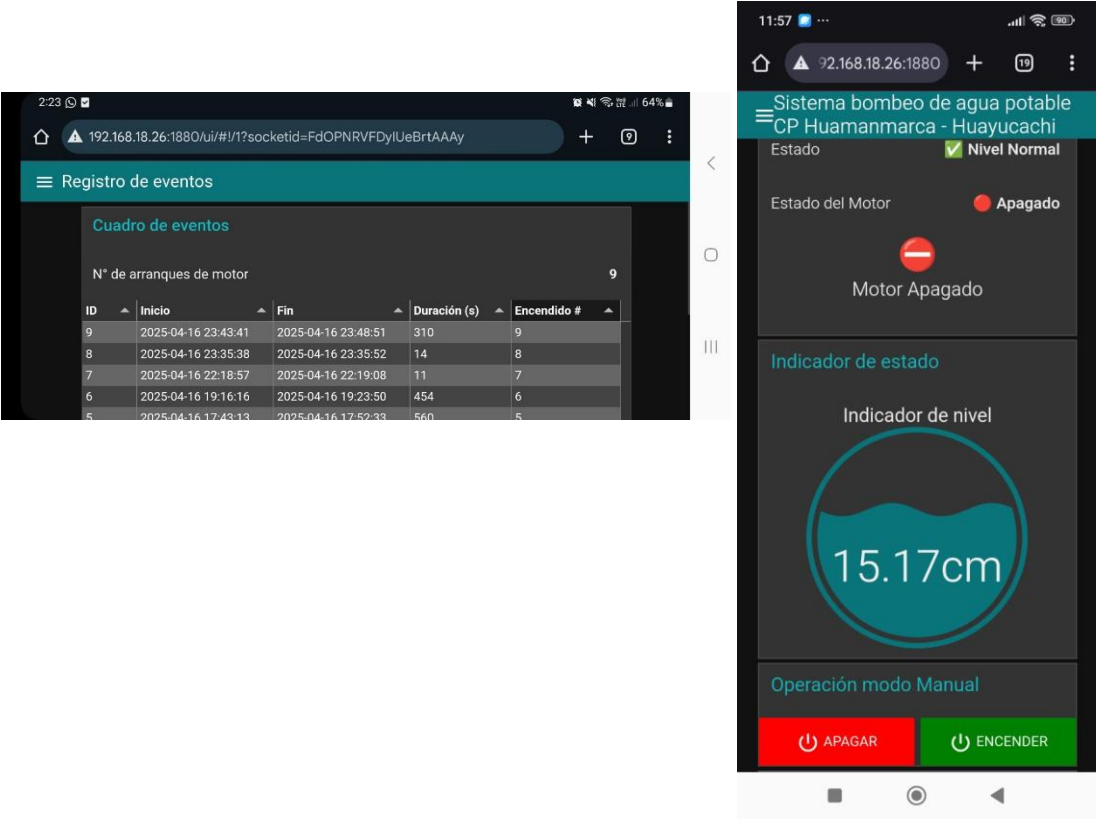


Figura 48. Representación de Dashboard en teléfono Móvil
Fuente: Elaboración propia

4.1.6 Inversión

Tabla 2. Costos de implementación

1.00 “Diseño de sistema de control y automatización de la estación de bombeo de agua potable del centro poblado de Huamanmarca - Huayucachi”			
1.1 REDES PRIMARIAS	Und	cantidad	TOTAL (S/.)
A Suministro de materiales			10,076.00
PLC siemens Logo 8.4	Und	1	586.00
Sensor ultrasónico HC-SR04	Und	1	60.00
PC Computadora	Und	1	1,990.00
Contactores	Und	3	490.00
Arduino Uno	Und	1	100.00
Cables, conectores, canaletas, tuberías, anclajes	Gbl	1	1,500.00
Escritorio	Und	1	480.00
Silla	Und	1	250.00
Tablero de control con placa de montaje	Und	1	2,100.00
Borneras	Und	20	160.00
Relé térmico	Und	1	300.00
Postería 8m- madera	Und	5	1,500.00
Router inalámbrico	Und	1	500.00
Chip postpago (plan)	Und	1	60.00
B Servicios			5,860.00
Excavación de zanjas	Gbl	1	1,500.00
Instalación de postería			1,560.00
Instalación y armado del tablero de control - etiquetado	Gbl	1	1,500.00
Instalación de sensor de nivel	Gbl	1	200.00
Tendido de cables aéreo	Gbl	1	600.00
Instalación de software en servidor	Gbl	1	500.00
C Transporte			1,000.00
Transporte de postería	Gbl	1	700.00
Transporte de personal	Gbl	1	300.00
D Alimentación			800.00
Personal	Gbl	1	800.00
COSTO DIRECTO			17,736.00
EXPEDIENTE TECNICO			2,000.00
INVERSION TOTAL			19,736.00

Fuente: Elaboración propia

En la presente investigación no se desarrolló una evaluación económica detallada (VAN, TIR y B/C), debido a que el alcance del estudio se centró principalmente en el diseño y validación técnica del sistema de control y automatización. El objetivo fue demostrar la viabilidad funcional y operativa del proyecto, garantizando la eliminación de desbordes, la optimización del tiempo de operación y la reducción de costos en la estación de bombeo. Por lo tanto, se consideró suficiente presentar únicamente la inversión requerida para su implementación, dejando la evaluación financiera como una línea de investigación futura orientada a estudios de factibilidad y toma de decisiones.

4.1.7 Pruebas y validación

Después de realizar la construcción y la integración de los componentes del sistema de bombeo se procedió a comprobar la funcionalidad para la validación del correcto funcionamiento del sistema de control y automatización de la estación de bombeo. Estas pruebas se realizaron sobre una maqueta funcional a escala, diseñada para simular el entorno real de operación del centro poblado de Huamanmarca.

4.1.7.1 Ensayos realizados y condiciones de prueba

Para validar la funcionalidad del sistema propuesto, se realizó ensayos con maqueta que replica el funcionamiento de una estación de bombeo de agua potable.

Se ejecutaron un total de 10 ensayos independientes bajo condiciones similares, replicando los escenarios de operación y parada del sistema en función del nivel de agua. En cada ensayo se realizaron 3 repeticiones ($n = 3$), observando:

- La respuesta del motor al alcanzar los umbrales mínimo y máximo de nivel,
- La precisión del sensor en la medición de distancias,
- La latencia de respuesta entre el sensor, el controlador y la interfaz,
- El correcto registro de eventos en la base de datos,
- La recepción de notificaciones en tiempo real vía Telegram.
- El acceso remoto mediante Ngrok desde diferentes redes externas para validar

4.1.8 Evaluación funcional del sistema mediante cuadro de cotejo

Con el propósito de validar el funcionamiento del sistema automatizado de bombeo de agua potable, se aplicó una lista de cotejo técnicas mediante observación directa del prototipo en condiciones simuladas de operación. Véase Anexo N° 02

4.1.8.1 Pruebas de funcionamiento del modo manual

Se comprobó la capacidad del sistema para encender y apagar el motor de bombeo desde la interfaz gráfica de Node-RED utilizando botones virtuales. Esta acción se realizó tanto en red local como a través de acceso remoto mediante Ngrok, validando la respuesta inmediata del PLC Siemens LOGO y el cambio de estado reflejado en los indicadores del panel.

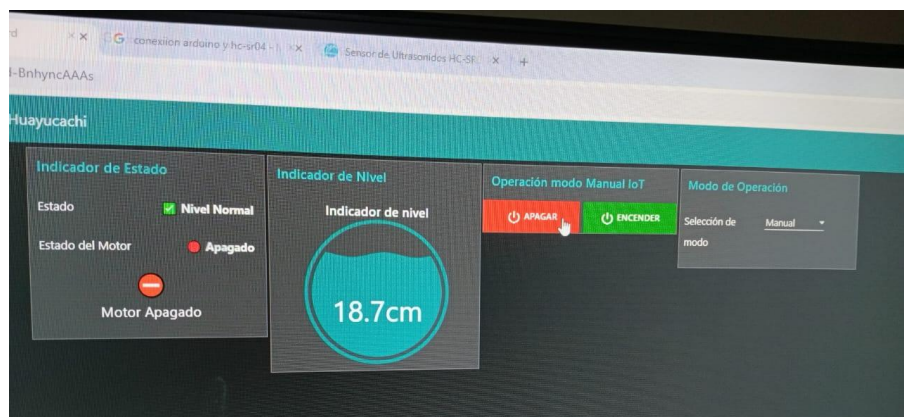
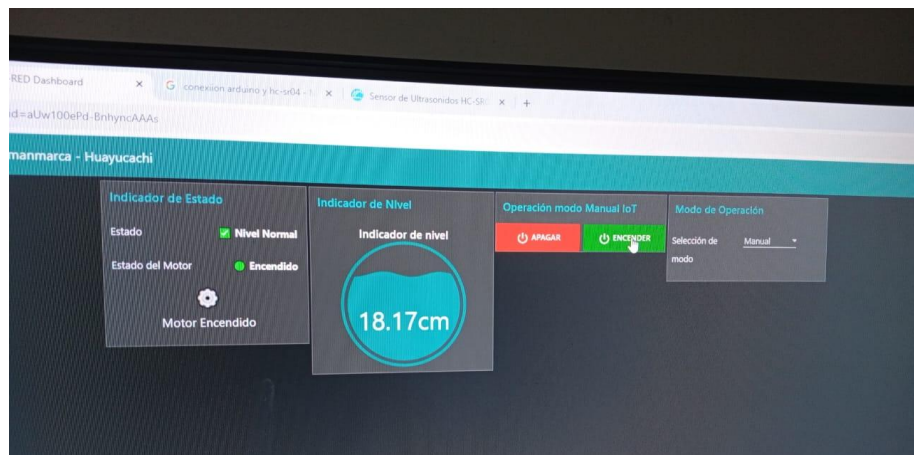


Figura 49. Pruebas de Dashboard – Modo Manual

Fuente: Elaboración propia

4.1.8.2 Pruebas del modo automático

En este modo, se realizó pruebas del sensor ultrasónico conectado al Arduino, el cual mide el nivel de agua en el reservorio. Se verificó que, al superar el umbral de distancia predeterminado (indicando nivel bajo), el sistema activaba automáticamente el motor. Cuando el nivel alcanza su punto máximo, el motor se apagaba. Estas respuestas se realizaron sin intervención del usuario, y se validó la lógica de control automático programada en Node-RED.

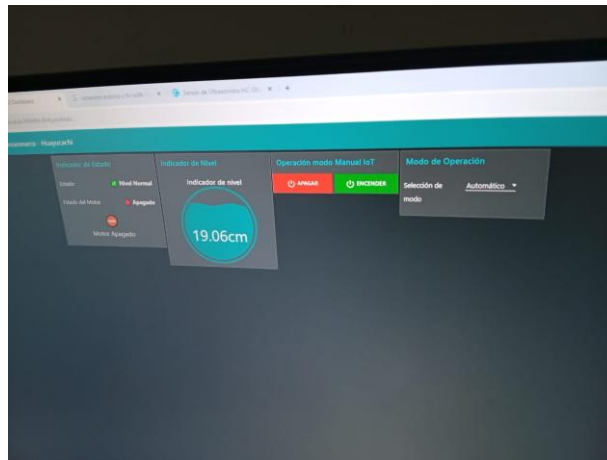


Figura 50. Pruebas Dashboard - modo automático.

Fuente: Elaboración propia

4.1.8.3 Validación de la comunicación entre dispositivos

Se evaluó la integridad de la comunicación entre los diferentes módulos: Arduino, PLC Siemens LOGO, Node-RED, y la base de datos SQLite. No se detectaron pérdidas de señal, retardos significativos, ni errores en la transmisión de datos. La interfaz gráfica reflejó en tiempo real los cambios de estado y las variables del sistema.

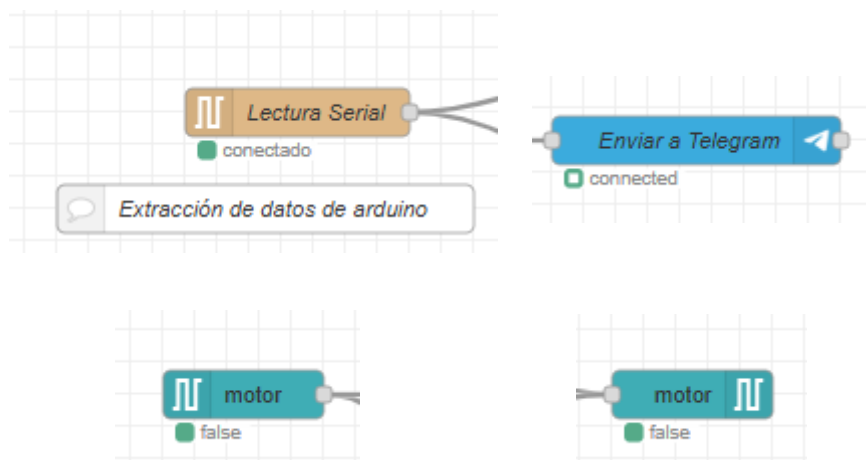
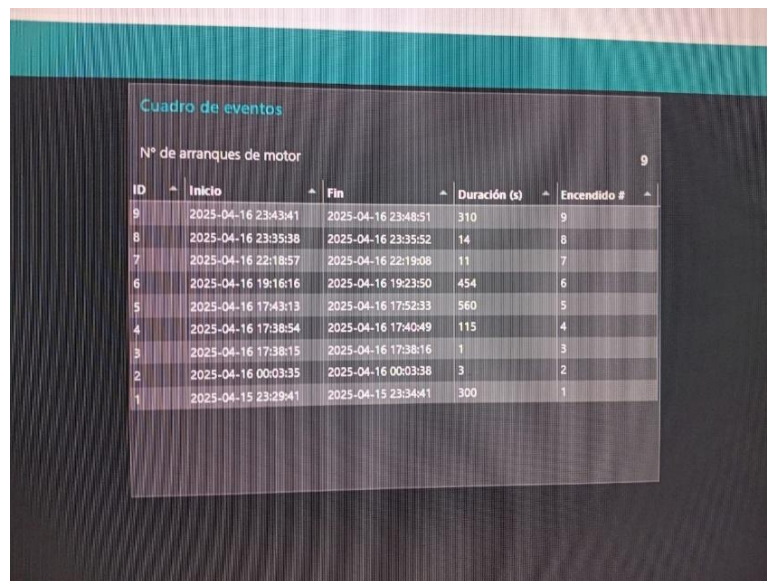


Figura 51. Verificación de conectividad entre Node-Red y PLC

Fuente: Elaboración propia

4.1.8.4 Registro de eventos en base de datos

Se realizó múltiples encendidos y apagados del motor, tanto en modo manual IoT como automático. Cada uno de estos eventos fue correctamente almacenado en la base de datos SQLite, con su correspondiente marca de tiempo, validando el correcto funcionamiento del registro histórico del sistema.



N° de arranques de motor				
ID	Inicio	Fin	Duración (s)	Encendido #
9	2025-04-16 23:43:41	2025-04-16 23:48:51	310	9
8	2025-04-16 23:35:38	2025-04-16 23:35:52	14	8
7	2025-04-16 22:18:57	2025-04-16 22:19:08	11	7
6	2025-04-16 19:16:16	2025-04-16 19:23:50	454	6
5	2025-04-16 17:43:13	2025-04-16 17:52:33	560	5
4	2025-04-16 17:38:54	2025-04-16 17:40:49	115	4
3	2025-04-16 17:38:15	2025-04-16 17:38:16	1	3
2	2025-04-16 00:03:35	2025-04-16 00:03:38	3	2
1	2025-04-15 23:29:41	2025-04-15 23:34:41	300	1

Figura 52. Registro de eventos en base de datos Dashboard

Fuente: Elaboración propia

4.1.8.5 Pruebas de notificaciones por telegram

El bot configurado en telegram envió correctamente mensajes al usuario cada vez que el sistema cambiaba de estado o modo de operación. Estas alertas fueron recibidas de manera oportuna en un dispositivo móvil, demostrando la eficacia del canal de comunicación remoto y la interacción IoT del sistema.



Figura 53. Notificaciones de estado de Nivel de agua mediante telegram

Fuente: Elaboración propia

4.1.9 Validación de modelo experimental

En esta investigación, el uso de la maqueta como prototipo experimental se justificó en función de que reproduce las condiciones esenciales de operación de la estación real. Si bien las dimensiones hidráulicas (volumen del reservorio y caudales) y eléctricas (potencia del motor) fueron reducidas, se mantuvo la proporcionalidad en los parámetros de control relevantes: detección de niveles mediante sensores ultrasónicos, tiempos de respuesta del PLC y lógica de automatización para el encendido y apagado del sistema de bombeo. De este modo, la maqueta aseguró la representatividad funcional necesaria para validar el desempeño del sistema de control y supervisión, garantizando que los resultados obtenidos puedan extrapolarse a la estación real con las debidas consideraciones de escala.

4.2 Presentación de resultados

4.2.1 Resultados descriptivos

4.2.1.1 Tiempo operativo

4.2.1.1.1 Tiempo operativo sin el sistema de control y automatización

Tiempo de operatividad del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi.

Tabla 8. Tiempo operativo sin el sistema de control y automatización

MES	TOTAL, HORAS	HORAS CON SERVICIO
Enero	744	186
Febrero	696	174
Marzo	744	186
Abril	720	180
Mayo	744	186
Junio	720	180
Julio	744	186
Agosto	744	186
Septiembre	720	180
Octubre	744	186
Noviembre	720	180
Diciembre	744	186
TOTAL		2196
Promedio		183.0
Desviación estándar		4.045

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos mostrados en la tabla 8, se obtuvo que, en las condiciones normales de funcionamiento con operación manual del sistema de bombeo, el abastecimiento continuo de agua potable en el centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi se presentó únicamente durante algunas horas al día. De las 8 760 horas que tiene un año, solo se logró abastecer con agua potable durante 2 196 horas, lo que representó el 25,07 % del total. Es decir, menos de la mitad de las horas del día, debido a que el servicio se brindaba aproximadamente de 6:00 a. m. a 11:00 a. m.

4.2.1.1.2 Tiempo operativo con el sistema de control y automatización

Tiempo de operatividad del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi.

Tabla 9. Tiempo operativo con el sistema de control y automatización

MES	TOTAL, HORAS	HORAS CON SERVICIO
Enero	744	372
Febrero	696	348
Marzo	744	372
Abril	720	360
Mayo	744	372
Junio	720	360
Julio	744	372
Agosto	744	372
Septiembre	720	360
Octubre	744	372
Noviembre	720	360
Diciembre	744	372
TOTAL		4392
Promedio		366
Desviación estándar		8.090

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos mostrados en la tabla 9, se observó que en las nuevas condiciones de funcionamiento con el sistema de control y automatización del sistema de bombeo; las horas de abastecimiento diario con agua potable se incrementaron considerablemente en el centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi; de las 8760 horas que tiene un año, se logró abastecer con agua potable durante 4392 horas lo que representó el 50,14% del total, este incremento se debió a que el servicio se brindó aproximadamente desde 6:00 am hasta las 12:00m y luego de 6:00pm hasta las 12:00pm aproximadamente.

4.2.2 Frecuencia de desbordes del reservorio

4.2.2.1.1 Frecuencia de desbordes del reservorio sin sistema de control y automatización

Frecuencia de desbordes en el reservorio del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi.

Tabla 10. Frecuencia de desbordes del reservorio elevado

MES	DÍAS POR MES	NÚMERO DE DESBORDES
Enero	31	1
Febrero	29	2
Marzo	31	2
Abril	30	1
Mayo	31	1
Junio	30	0
Julio	31	2
Agosto	31	3
Septiembre	30	1
Octubre	31	1
Noviembre	30	1
Diciembre	31	1
TOTAL		16
Promedio		1.333
Desviación estándar		0.778

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos mostrados en la tabla 10, se observó que, en las condiciones normales de funcionamiento, con operación manual del sistema de bombeo; esporádicamente por diversas causas se tienen desbordamientos en el reservorio de la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi, esta situación ocasionó desperdicio del líquido elemento, así como gastos de energía eléctrica innecesarios.

4.2.2.1.2 Frecuencia de desbordes con el sistema de control y automatización
Frecuencia de desbordes en el reservorio del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi.

Tabla 11. Frecuencia de desborde del reservorio con el sistema de control y automatización

MES	DÍAS POR MES	NÚMERO DE DESBORDES
Enero	31	0
Febrero	29	0
Marzo	31	0
Abril	30	0
Mayo	31	0
Junio	30	0
Julio	31	0
Agosto	31	0
Septiembre	30	0
Octubre	31	0
Noviembre	30	0
Diciembre	31	0
TOTAL		0
Promedio		0
Desviación estándar		0.000

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos mostrados en la tabla 11, se obtuvo que en las nuevas condiciones de funcionamiento con el sistema de control y automatización del sistema de bombeo; no se produjeron desbordamientos en el reservorio de la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi, ya que los sensores detectaron inmediatamente el nivel de agua y de acuerdo con la configuración dada, bloquearon automáticamente el suministro.

4.2.3 Costos operativos

4.2.3.1.1 Costos operativos sin el sistema de control y automatización

Costos operativos del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi.

Tabla 12. Costos operativos del sistema de bombeo

MES	COSTOS			
	PERSONAL	MANTENIMIENTO	OPERACIÓN	TOTAL
Enero	1500.00	0.00	5890.00	7390.00
Febrero	1500.00	1000.00	5510.00	8010.00
Marzo	1500.00	0.00	5890.00	7390.00
Abril	1500.00	1000.00	5700.00	8200.00
Mayo	1500.00	0.00	5890.00	7390.00
Junio	1500.00	1000.00	5700.00	8200.00
Julio	1500.00	0.00	5890.00	7390.00
Agosto	1500.00	1000.00	5890.00	8390.00
Septiembre	1500.00	0.00	5700.00	7200.00
Octubre	1500.00	1000.00	5890.00	8390.00
Noviembre	1500.00	0.00	5700.00	7200.00
Diciembre	1500.00	1000.00	5890.00	8390.00
TOTAL	18000.00	6000.00	69540.00	93540.00
Promedio	1500.00	500.00	5795.00	7795.00
Desviación estándar	0.00	522.23	128.10	504.57

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos mostrados en la tabla 12, se obtuvo que, en las condiciones normales de funcionamiento, con operación manual del sistema de bombeo; los costos operativos presentaron la siguiente composición: el promedio mensual en personal fue de S/ 1 500,00, en mantenimiento S/ 500,00 y en operación S/ 5 795,00; alcanzándose en total un promedio mensual de S/ 7 795,00 en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi.

4.2.3.1.2 Costos operativos con sistema de control y automatización

Costos operativos del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi.

Tabla 13. Costos Operativos con el sistema de control y automatización

MES	COSTOS			
	PERSONAL	MANTENIMIENTO	OPERACIÓN	TOTAL
Enero	300.00	0.00	6596.80	6896.80
Febrero	300.00	700.00	6171.20	7171.20
Marzo	300.00	0.00	6596.80	6896.80
Abril	300.00	700.00	6384.00	7384.00
Mayo	300.00	0.00	6596.80	6896.80
Junio	300.00	700.00	6384.00	7384.00
Julio	300.00	0.00	6596.80	6896.80
Agosto	300.00	700.00	6596.80	7596.80
Septiembre	300.00	0.00	6384.00	6684.00
Octubre	300.00	700.00	6596.80	7596.80
Noviembre	300.00	0.00	6384.00	6684.00
Diciembre	300.00	700.00	6596.80	7596.80
TOTAL	3600.00	4200.00	77884.80	85684.80
Promedio	300.00	350.00	6490.40	7140.40
Desviación estándar	0.00	365.56	143.47	356.56

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos mostrados en la tabla 13, se observó que en las nuevas condiciones de funcionamiento con el sistema de control y automatización del sistema de bombeo; los costos operativos en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi disminuyeron sustancialmente, ahora se obtuvo la siguiente composición: el promedio mensual en personal descendió a S/ 300,00, en mantenimiento S/ 350,00 y en operación S/ 6 490,40; obteniéndose en total un promedio mensual de S/ 7 140,40, aunque ligeramente se incrementaron algunos componentes, en otros la disminución fue significativa.

4.2.4 Prueba de hipótesis

4.2.4.1 Prueba de normalidad

En primer lugar, se seleccionó el estadístico de prueba más adecuado para realizar la comprobación de las hipótesis, en primer lugar, se verificó si la distribución de los datos sigue una distribución normal, para ello formuló las hipótesis alternativa y nula:

Ho: La distribución es normal

Ha: La distribución no es normal

$\alpha = 0.05$ (nivel de significancia)

Tabla 14. Prueba de normalidad de los datos utilizando el estadístico Shapiro-Wilk

Descripción	Estadístico	gl	Sig.
Costos operativos antes	0.808	12	0.012
Costos operativos después	0.862	12	0.050
Número de desbordes antes	0.841	12	0.029
Número de desbordes después		12	
Tiempo operativo antes	0.732	12	0.002
Tiempo operativo después	0.732	12	0.002

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar los resultados mostrados en la tabla 14, prácticamente en todos los casos se obtuvo que el valor de significancia calculado fue menor al valor establecido ($0,001 < 0,05$); por lo tanto, la regla de decisión consistió en rechazar la hipótesis nula que afirma que la distribución es normal y se acepta la hipótesis alterna que estableció que la distribución de todas las variables no era normal; en consecuencia, para probar las hipótesis de investigación, se utilizó el estadístico no paramétrico U de Mann-Whitney.

4.2.4.2 Hipótesis específica 1

El sistema de control y automatización aumenta el tiempo operativo del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi, 2025

Tabla 15. Comparación del tiempo operativo antes y después del sistema de control y automatización

MES	TOTAL HORAS	HORAS CON SERVICIO	
		ANTES	DESPUÉS
Enero	744	186.0	372.0
Febrero	696	174.0	348.0
Marzo	744	186.0	372.0
Abril	720	180.0	360.0
Mayo	744	186.0	372.0
Junio	720	180.0	360.0
Julio	744	186.0	372.0
Agosto	744	186.0	372.0
Septiembre	720	180.0	360.0
Octubre	744	186.0	372.0
Noviembre	720	180.0	360.0
Diciembre	744	186.0	372.0

Fuente: Elaboración propia

Analizando los datos de la tabla 15, se pudo notar que el tiempo operativo mensual del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca, es decir el tiempo que se brindó agua potable a la población se incrementó considerablemente con el uso del sistema de control y automatización. Para probar la hipótesis específica de que el sistema de control y automatización aumenta el tiempo operativo del servicio de agua potable, se realizó una prueba de comparación de medianas mediante el estadístico U de Mann-Whitney para muestras independientes, considerando:

$H_0: MeA = MeD$ (las medianas son iguales)

$H_a: MeA \neq MeD$ (las medianas son diferentes)

$\alpha = 0,05$ (nivel de significancia)

donde:

MeA: mediana de horas de servicio antes del sistema de control y automatización

MeD: mediana de horas de servicio después del sistema de control y automatización

Se tiene el siguiente resultado mostrado por el software SPSS 26:

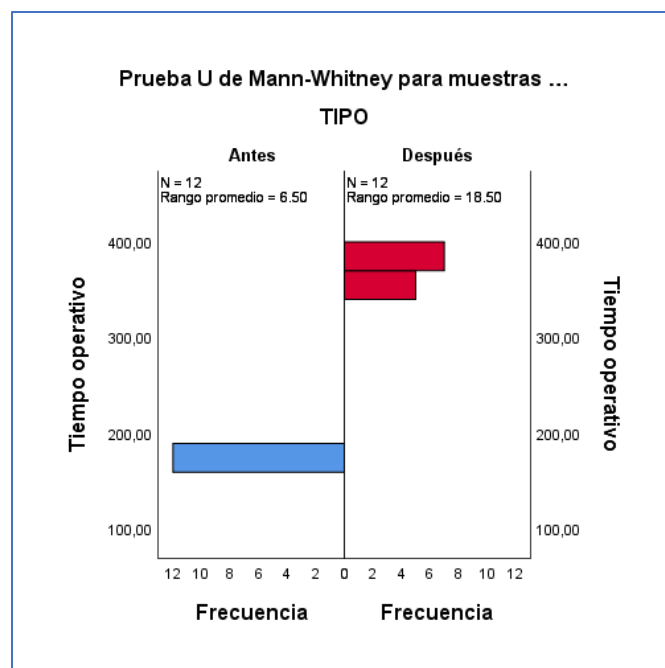


Figura 54. Prueba de comparación de medianas de los tiempos operativos antes y después

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Resumen de la prueba U de Mann-Whitney del tiempo operativo antes y después

Descripción	Valor
N total	24
U de Mann-Whitney	144,000
Estadístico de prueba	144,000
Error estándar	16,816
Estadístico de prueba estandarizado	4,282
Sig. asintótica (prueba bilateral)	,000
Sig. exacta (prueba bilateral)	,000

Fuente: Elaboración propia

Conclusión: como el valor de p es menor al valor de α ($0,000 < 0,05$), se rechazó la hipótesis nula de la igualdad de medianas de ambos grupos y se aceptó la hipótesis alterna que estableció que las medianas antes y después son diferentes, con lo cual quedó demostrada la hipótesis de que el sistema de control y automatización aumentó el tiempo operativo del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi, 2025.

4.2.4.3 Hipótesis específica 2

El sistema de control y automatización reduce la frecuencia de desbordes en el reservorio del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi, 2025.

Tabla 17. Comparación de eventos de desborde antes y después del sistema de control y automatización

MES	NÚMERO DE DÍAS	NÚMERO DE DESBORDES	
		ANTES	DESPUÉS
Enero	31	1	0
Febrero	29	2	0
Marzo	31	2	0
Abril	30	1	0
Mayo	31	1	0
Junio	30	0	0
Julio	31	2	0
Agosto	31	3	0
Septiembre	30	1	0
Octubre	31	1	0
Noviembre	30	1	0
Diciembre	31	1	0

Fuente: Elaboración propia

Analizando los datos de la tabla 10, se notó que el número de desbordes mensuales en el reservorio del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca, disminuyó considerablemente con el uso del sistema de control y automatización. Para probar la hipótesis específica de que el sistema de control y automatización redujo la frecuencia de desbordes en el reservorio del servicio de agua potable, se realizó una prueba de comparación de medianas mediante el estadístico U de Mann-Whitney para muestras independientes, considerando:

Ho: $MeA = MeD$ (las medianas son iguales)

Ha: $MeA \neq MeD$ (las medianas son diferentes)

$\alpha = 0,05$ (nivel de significancia)

donde:

MeA: mediana del número de desbordes en el reservorio antes del sistema de control y automatización

MeD: mediana del número de desbordes en el reservorio después del sistema de control y automatización

Se tiene el siguiente resultado mostrado por el software SPSS 26:

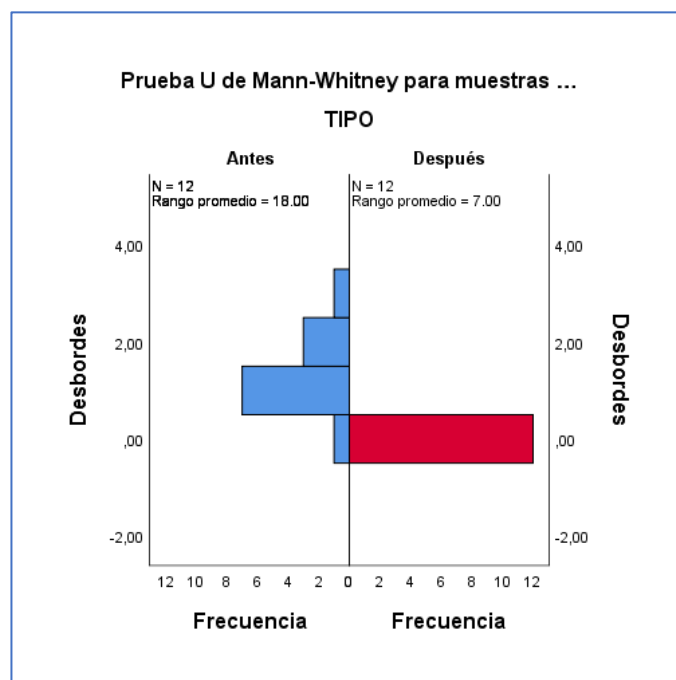


Figura 55. Prueba de comparación de medianas de la frecuencia de desbordes antes y después

Elaboración propia

Fuente:

Tabla 18. Resumen de la prueba U de Mann-Whitney de la frecuencia de desbordes antes y después

Descripción	Valor
N total	24
U de Mann-Whitney	6.000
Estadístico de prueba	6.000
Error estándar	15.643
Estadístico de prueba estandarizado	-4.219
Sig. asintótica (prueba bilateral)	0.000
Sig. exacta (prueba bilateral)	0.000

Fuente: Elaboración propia

Conclusión: como el valor de p fue menor al valor de α ($0,000 < 0,05$), se rechazó la hipótesis nula de la igualdad de medianas de ambos grupos y se aceptó la hipótesis alterna que estableció que las medianas antes y después son diferentes, con lo cual quedó demostrada la hipótesis de que el sistema de control y automatización redujo la frecuencia de desbordes en el reservorio del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi, 2025.

4.2.4.4 Hipótesis específica 3

El sistema de control y automatización reduce los costos operativos del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi, 2025.

Tabla 19. Comparación de los costos operativos antes y después del sistema de control y automatización

MES	NÚMERO DE DÍAS	COSTOS OPERATIVOS	
		ANTES	DESPUÉS
Enero	31	7390.00	6896.80
Febrero	29	8010.00	7171.20
Marzo	31	7390.00	6896.80
Abril	30	8200.00	7384.00
Mayo	31	7390.00	6896.80
Junio	30	8200.00	7384.00
Julio	31	7390.00	6896.80
Agosto	31	8390.00	7596.80
Septiembre	30	7200.00	6684.00
Octubre	31	8390.00	7596.80
Noviembre	30	7200.00	6684.00
Diciembre	31	8390.00	7596.80

Fuente: Elaboración propia

Analizando los datos de la tabla 19, se pudo notar que los costos operativos mensuales del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca, disminuyó sustancialmente con el uso del sistema de control y automatización. Para probar la hipótesis específica de que el sistema de control y automatización reducía los costos operativos en el reservorio del servicio de agua potable, se realizó una prueba de comparación de medianas mediante el estadístico U de Mann-Whitney para muestras independientes, considerando:

Ho: MeA = MeD (las medianas son iguales)

Ha: MeA $\neq$ MeD (las medianas son diferentes)

$\alpha = 0,05$ (nivel de significancia)

donde:

MeA: mediana del costo operativo antes del sistema de control y automatización

MeD: mediana del costo operativo después del sistema de control y automatización

Se tiene el siguiente resultado mostrado por el software SPSS 26:

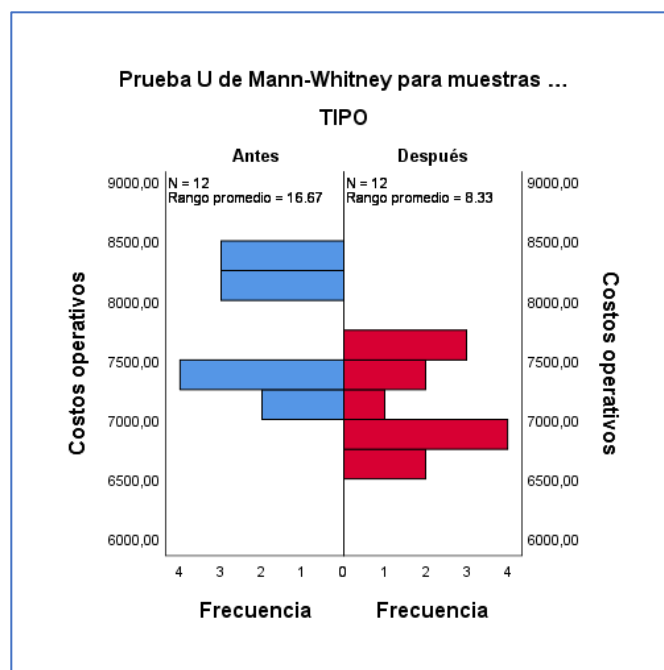


Figura 56. Prueba de comparación de medianas de los costos operativos antes y después

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Resumen de la prueba U de Mann-Whitney los costos operativos antes y después

Descripción	Valor
N total	24
U de Mann-Whitney	22.000
Estadístico de prueba	22.000
Error estándar	17.200
Estadístico de prueba estandarizado	-2.907
Sig. asintótica (prueba bilateral)	0.004
Sig. exacta (prueba bilateral)	0.003

Fuente: Elaboración propia

Conclusión: como el valor de p resultó menor al valor de α ($0,004 < 0,05$), se rechazó la hipótesis nula de la igualdad de medianas de ambos grupos y se aceptó la hipótesis alterna que estableció que las medianas antes y después son diferentes, con lo cual quedó demostrada la hipótesis de que el sistema de control y automatización redujo los costos operativos del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi, 2025.

4.2.5 Hipótesis general

El sistema de control y automatización mejora significativamente la operatividad y continuidad del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025.

Para demostrar la hipótesis general, se tomó en cuenta las hipótesis específicas donde se demostró que con el sistema de control y automatización se logró incrementar el tiempo de operatividad del sistema de bombeo, es decir, ahora los usuarios tienen agua potable durante más horas diariamente; asimismo, se logró demostrar que la frecuencia de desbordes en el reservorio disminuyó considerablemente, entonces ahora gracias a los sensores se podrá bloquear el flujo de agua cuando llega a los niveles establecidos y prácticamente nunca habrá desborde; por otro lado se demostró que los costos operativos disminuyeron sustancialmente con el sistema de control y automatización incidiendo significativamente en los pagos al personal y mantenimiento; como las hipótesis específicas fueron demostradas, concluidos que la hipótesis general que establece que el sistema de control y automatización mejora significativamente la operatividad y continuidad del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025 también queda demostrada.

4.2.6 Resumen de hallazgos

Tabla 21. Comparación de indicadores operativos

Dimensión	Antes	Después	Mejora
Tiempo operativo	183 horas de servicio/mes	366 horas de servicio/mes	+183 horas adicionales al mes (100%)
Frecuencia de desbordes	1.33 desbordes/mes	0 desborde/mes	Eliminación total de desbordes (-100%)
Costos operativos	7795 mensuales	S/. 7140.4 mensuales	Reducción de S/. 654.6 mensuales

Fuente: Elaboración propia

El análisis comparativo de las dimensiones evaluadas evidenció que la implementación del sistema de control y automatización en la estación de bombeo generó mejoras significativas en la operatividad y eficiencia del servicio de agua potable. El tiempo operativo mensual se duplicó, pasando de 183 horas a 366 horas, lo que representó un incremento del 100 % en la disponibilidad del sistema. Asimismo, la frecuencia de desbordes, que antes era en promedio de 1.33 eventos mensuales, se redujo a 0, eliminando totalmente este problema. Finalmente, los costos operativos disminuyeron de S/ 7 795 a S/ 7 140.4, lo que implicó un ahorro de S/ 654.6 mensuales, equivalente a una reducción del 8.4 %.

4.3 Discusión de resultados

El sistema de control y automatización implementado permitió incrementar las horas de servicio de agua potable de 2196 horas a 4392 horas anuales, lo que representa un aumento superior al 100% y confirma una mejora sustancial en la continuidad del servicio. Sin embargo, a diferencia de la tesis de Chero [23], que planteó tres bombeos diarios y un suministro prácticamente continuo (98% de disponibilidad), este trabajo estableció dos bombeos programados por día como una estrategia de racionalización del recurso hídrico. La diferencia radica en que el estudio de Chero no considera el impacto del uso no responsable del agua en contextos donde no existen medidores domiciliarios, situación que puede conducir al desperdicio si el servicio se ofrece durante las 24 horas. En cambio, el presente trabajo incorpora esta variable social y de gestión, proponiendo un servicio de 6 horas por la mañana y 6 horas por la tarde, además de mejorar la continuidad del servicio, promueve el consumo responsable y sostenible del agua en beneficio de la comunidad.

En esta investigación se evidenció una eliminación total de los desbordes del reservorio tras la automatización; se pasó de 16 eventos anuales (promedio 1,33/mes) a 0 eventos, lo que representa una reducción del 100%, respaldada estadísticamente ($U = 6.000$; $p = 0.000$).

Este resultado se alcanzó gracias a la integración de sensores ultrasónicos y un PLC, que no solo interrumpen el bombeo al llegar a los umbrales preestablecidos, sino que además emiten alertas de niveles máximos en caso de fallas en los sensores, lo que permite actuar de manera preventiva y asegurar una operación confiable. En contraste, la tesis de Muñoz [21] reportó una reducción del 80% de los desbordes en la operación minera de Ticlio, donde la abundante presencia de agua proveniente de la laguna Huacracocha, además Logró implementar medidas como la correcta operación de los equipos de bombeo, su monitoreo constante para evitar fallas y el diseño de muros de contención como solución estructural.

En el sistema de control y automatización en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi, los costos operativos mensuales alcanzaron un promedio de S/ 7 140,40, distribuidos en S/ 300,00 por personal, S/ 350,00 en mantenimiento y S/ 6 490,40 en operación. Aunque se observó un ligero incremento en algunos componentes, la disminución en otros fue significativa, generando un ahorro total anual equivalente al 8,40% respecto a las condiciones iniciales (de S/ 7 795,00 a S/ 7 140,40). Es importante destacar que esta reducción se alcanzó aun cuando el sistema de bombeo opera por más tiempo para garantizar un servicio continuo, lo que naturalmente implica un mayor consumo de energía. Por lo tanto, el ahorro logrado refleja no solo una optimización en la operación del sistema, sino también una mayor eficiencia en el uso de recursos. En contraste, la tesis de Paitán [22] logró una reducción cercana al 33% enfocándose en la eficiencia energética mediante bombas hidráulicas eficientes, variadores de frecuencia y, en algunos casos, el uso de energía solar. Mientras el enfoque de Paitán se orientó a la modernización tecnológica y al aprovechamiento de energías renovables, el presente estudio evidencia que la gestión inteligente del bombeo mediante PLC y sensores ultrasónicos, combinada con la racionalización de horarios de bombeo, puede generar ahorros considerables sin necesidad de recurrir a equipos de alta inversión, confirmando así que el control automatizado constituye una alternativa viable.

CONCLUSIONES

- El sistema de control y automatización permitió demostrar que es posible mejorar la operatividad y la continuidad del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi, logrando mayor tiempo de servicio, eliminación de desbordes y reducción de costos operativos.
- El sistema de control y automatización permitió incrementar las horas de servicio de agua potable de 2 196 a 4 392 horas anuales, lo que representa un aumento del 100 % y confirma la mejora en la continuidad del suministro. La programación de dos ciclos de bombeo diarios de 6 horas optimizó la operación del sistema y promovió un uso responsable del recurso hídrico.
- El sistema de control y automatización eliminó en un 100 % los eventos de desbordes del reservorio, pasando de 16 incidentes anuales a 0. Esto fue posible mediante el uso de sensores ultrasónicos y PLC, que interrumpen el bombeo al alcanzar el nivel máximo y envían alertas preventivas en caso de fallas.
- El sistema de control y automatización permitió un ahorro mensual del 8,4 % en los costos operativos (de S/ 7 795,00 a S/ 7 140,40), incluso operando durante más horas para garantizar la continuidad del servicio, lo que valida la eficiencia de la automatización implementada.

RECOMENDACIONES

- Implementar a escala real el sistema de control y automatización propuesto en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi, validando su desempeño en condiciones operativas reales y durante un periodo prolongado de observación. Asimismo, se sugiere documentar los resultados de esta implementación para generar evidencia científica que pueda ser replicada en otros centros poblados rurales con problemáticas similares, contribuyendo así a la mejora de la continuidad y calidad del servicio de agua potable a nivel regional.
- Capacitar al personal de mantenimiento del sistema automatizado y en la gestión eficiente de los horarios de bombeo, con el fin de mantener la disponibilidad del servicio y asegurar que la programación de los ciclos de bombeo responda a la demanda real de la comunidad.
- Establecer un plan de mantenimiento preventivo de sensores y PLC, para mantener el sistema confiable y evitar incidentes de desbordes en el futuro.
- Instalar medidores digitales de consumo eléctrico conectados al dashboard, a fin de evaluar de manera continua la eficiencia energética y plantear estrategias de reducción de costos, como el uso de energías renovables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] UNESCO. *Alianzas y cooperación por el agua*. 2023 [En línea]. Accedido: 25 de mayo de 2025. Disponible en: <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2023/es/download>
- [2] ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Agua para consumo humano*. 2025 [En línea]. Accedido: 25 de mayo de 2025. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- [3] NAVARRO, A. Y DELGADO, R. *Tecnologías para la gestión sostenible del agua*. 2025 [En línea]. Accedido: 25 de mayo de 2025. Disponible en: [https://www.aguanet.com.mx/archivos/Tecnologias para la gestion sostenible del agua.pdf](https://www.aguanet.com.mx/archivos/Tecnologias_para_la_gestion_sostenible_del_agua.pdf)
- [4] SARAVIA, S. *Panorama de los recursos hídricos en América Latina y el Caribe, y propuesta de una transición hídrica sostenible e inclusiva*. 2022 [En línea]. Accedido: 25 de mayo de 2025. Disponible en: https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/can_sesion_1_saravia_matus.pdf
- [5] BRETAS, F. et al. *AGUA PARA EL FUTURO: Estrategia de Seguridad Hídrica para América Latina y el Caribe*. 2020 [En línea]. Disponible en: <https://www.iadb.org/>
- [6] UNICEF. *Sistemas de agua mediante energía solar*. 2025 [En línea]. Accedido: 25 de mayo de 2025. Disponible en: [https://globalwatercenter.org/wp-content/uploads/2024/04/Solar Powered Water Systems Guide 02-2021 Spanish.pdf](https://globalwatercenter.org/wp-content/uploads/2024/04/Solar_Powered_Water_Systems_Guide_02-2021_Spanish.pdf)
- [7] CRUZ, E.; VELAZQUEZ, J.; BRIONES, A. *Formas, Enfoques y Tipos de Investigación*. 2019 [En línea]. Accedido: 6 de julio de 2025. Disponible en: <https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>
- [8] SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO SUNASS. *Informe N.o 024-2022-SU NASS-DPN*. 2022 [En línea]. Accedido: 7 de julio de 2025. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3035050/478379_RGG0242022RRRR.pdf.pdf
- [9] PAYE, O. *Implementación de un sistema automatizado para la descarga en el proceso de control de PH en la unidad Minera San Rafael*. 2024 [En línea]. Accedido: 7 de julio de 2025. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/16012>
- [10] ALCORTA, M. A. *Impacto del control automático e inteligencia artificial*. 2022 [En línea]. Accedido: 11 de agosto de 2025. Disponible en: <https://cienciauanl.uanl.mx/ojs/index.php/revista/article/view/102/92>

- [11] RONQUILLO, C. L. et al. *Teoría General de Sistemas, supuestos subyacentes y no subyacentes para el crecimiento económico empresarial*. ULEAM Bahía Magazine (UBM), vol. 5, n.o 9, pp. 70-78, 2024. doi: 10.56124/ubm.v5i9.010
- [12] CORRAL DE FRANCO, Y. *Validez y confiabilidad en instrumentos de investigación: una mirada teórica*. Revista Ciencias de la Educación, vol. 32, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://orcid.org/0000-0003-2236-1328>
- [13] OGATA, K. *Ingeniería de control moderna*. 2010 [En línea]. Accedido: 28 de mayo de 2025. Disponible en: <https://ingenierovizcaino.com/material/libros/sd/ingenieria-de-control-moderna-ogata-5ed.pdf>
- [14] BARONA, G.; VELASTEGUÍ, L. E. *Automatización de procesos industriales mediante Industria 4.0*. AlfaPublicaciones, vol. 3, n.o 3.1, pp. 84-101, 2021. doi: 10.33262/ap.v3i3.1.80
- [15] ORTEGA, R. C. et al. *Adquisición de señales analógicas de instrumentación con LOGO! Soft V8.3 mediante generador de señales y el sensor PT100*. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, vol. 7, n.o 1, pp. 7865-7880, 2023. doi: 10.37811/cl_rcm.v7i1.5017
- [16] REINO, C. et al. *Panel de monitoreo y control remoto de un proceso industrial utilizando la plataforma Ubidots y Node-RED*. 2023
- [17] NIEBLAS, J. M. et al. *Node-RED: Una herramienta de acceso libre para el control de velocidad en motores trifásicos*. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, vol. 7, n.o 6, pp. 5009-5221, 2024. doi: 10.37811/cl_rcm.v7i6.9076
- [18] TORRES, J.; RUELAS, A. H.; HERRERA, J. R. *Rendimiento para la interoperabilidad entre Raspberry pi, ESP8266 y PLC con Node-RED para el IIoT*. Ingenius, vol. 29, 2023, pp. 90-97. doi: 10.17163/ings.n29.2023.08
- [19] SANCHO, M.; AHRTZ, G.; TELLECHEA, S. *Aplicación de IoT al control y monitoreo de un sistema de recuperación de energía*. 2021 [En línea]. Disponible en: <https://orcid.org/0000-0001-6918-9460>
- [20] GALLARDO, A. Y CASTRO, P. *Automatización y Control de Motores Eléctricos con Logo 8*. 2023 [En línea]. Accedido: 11 de agosto de 2025. Disponible en: <https://repositorio.une.edu.pe/entities/publication/3e80eb81-e894-46a3-a23d-ff2594245fb9>
- [21] MUÑOS, K. *Mejoramiento del sistema de bombeo para el control de inundaciones y desbordes Unidad Minera Ticlio- Volcan S.A.A*. 2022 [En línea]. Accedido: 16 de agosto de 2025. Disponible en: <https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/3681e86b-23a7-4df1-b89c-ae2f28e9681/content>

- [22] PAITAN, D. *Diseño de un sistema de bombeo para reducir los costos en el consumo de energía eléctrica en la empresa HYDROELECTRO SAC Lima 2023*. 2023 [En línea]. Accedido: 31 de julio de 2025. Disponible en: https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/8397/D.Paytan_Tesis_Titulo_Profesional_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [23] AQUINO, C.; ALBERT, L.; CASTRO ANTICONA, M. *Diseño de un Sistema de Bombeo Automatizado para suministrar agua potable con bajo costo de operación y continuidad de servicio*. 2021
- [24] ERRÁEZ, J.; GUALLY, J. *Optimización de un sistema domótico con Node-RED para detección y prevención de incendios en ambientes residenciales y comerciales empleado en el laboratorio de telecomunicaciones*. Guayaquil, 2024
- [25] VILLACRÉS, T. et al. *Automatización y control de estaciones de bombeo con integración a un SCADA para optimizar el suministro de agua potable*. 2024
- [26] PESQUER, L. G.; CIUMBULEA, G. S. *Máquinas y Accionamientos Eléctricos*. 2004
- [27] LEON, C.; CARRILLO, K. *Diseño e implementación de un sistema SCADA basado en el software libre Node-RED para el monitoreo y operación de la planta didáctica MPS PA. Compact Workstation de Festo autores*. 2020 [En línea]. Accedido: 28 de mayo de 2025. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21905/4/UPS-GT003624.pdf>
- [28] ANGELES, L. *Implementación de un sistema de telemetría, automatización y control para reservorios de agua potable utilizando tecnología IoT en la empresa prestadora de servicios de agua potable y alcantarillado Sedapar S. A.* 2024 [En línea]. Accedido: 28 de mayo de 2025. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14728/11/IV_FIN_103_TSP_Angeles_Pato_2024.pdf
- [29] PINOARGOTE, D. *Diseño e implementación de un prototipo didáctico para el monitoreo de sensores a través de una plataforma IoT utilizando protocolos de comunicación MQTT y Modbus TCP/IP*. 2021 [En línea]. Accedido: 28 de mayo de 2025. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21805/4/UPS-GT003605.pdf>
- [30] CHERO, L. A. *Diseño de un Sistema de Bombeo Automatizado para suministrar agua potable con bajo costo de operación y continuidad de servicio*. 2021 [En línea]. Accedido: 2 de octubre de 2022. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/69215>
- [31] SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO. *Sistema de indicadores e índices de la gestión de los prestadores de los servicios de saneamiento*. 2021 [En línea]. Accedido: 28 de mayo de 2025. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2514402/Proyecto%20Normativo.pdf>

- [32] DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL. *Reglamento de la calidad del agua para consumo humano*. 2010 [En línea]. Accedido: 28 de mayo de 2025. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/273650/reglamento-de-la-calidad-del-agua-para-consumo-humano.pdf?v=1561937448>
- [33] ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. 2018 [En línea]. Accedido: 28 de mayo de 2025. Disponible en: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?sequence=1>
- [34] GARCIA, S. *Sistema domótico basado en NodeRED y servicio REST para el control y monitorización del consumo eléctrico*. Sevilla, 2024 [En línea]. Accedido: 6 de julio de 2025. Disponible en: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/94977/fichero/TFG-4977+Garc%C3%ADa+L%C3%B3pez.pdf>
- [35] HERNÁNDEZ, R.; MENDOZA, C. P. *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education, 2018 [En línea]. Accedido: 6 de julio de 2025. Disponible en: <https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>
- [36] HERNÁNDEZ, R. et al. *Metodología de la investigación*. 2014 [En línea]. Accedido: 12 de agosto de 2025. Disponible en: <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- [37] HADI, M. et al. *Metodología de la investigación*. 2025 [En línea]. Accedido: 3 de junio de 2025. Disponible en: <https://editorial.inudi.edu.pe/index.php/editorialinudi/catalog/view/82/124/149>

ANEXOS

ANEXO 1

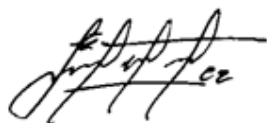
MATRIZ DE CONSISTENCIA

MATRIZ DE CONSISTENCIA						
Diseño de un Sistema de Control y Automatización para Garantizar la Operatividad y la Continuidad del Servicio de Agua Potable en la Estación de Bombeo del Centro Poblado de Huamanmarca - Huayucachi - 2025						
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
GENERAL	GENERAL	GENERAL	Sistema de control y automatización	Nivel de automatización	Grado de intervención	1. TIPO DE ESTUDIO La presente investigación fue de tipo aplicada, ya que tuvo como finalidad resolver un problema técnico específico; mejorar la operatividad y continuidad del servicio de agua potable en una estación de bombeo mediante un sistema automático. 2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN El nivel fue explicativo. 3. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN Se utilizó un enfoque cuantitativo, dado que se recolectaron y procesaron datos medibles. 4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN El método fue experimental tecnológico, basado en la validación funcional de un prototipo. 5. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Se empleó la técnica de la observación estructurada.
¿De qué manera el sistema de control y automatización influye en la operatividad y continuidad de servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025?	Determinar la influencia del sistema de control y automatización en la operatividad y continuidad del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025.	El sistema de control y automatización mejora significativamente la operatividad y continuidad del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025.		Capacidad de monitoreo	Visualización de variables	
				Tiempo de respuesta	Tiempo de evento y acción	
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	Operatividad y continuidad	Tiempo operativo	Horas de disponibilidad de servicio	
¿Cómo influye el sistema de control y automatización en el tiempo operativo del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025?	Determinar la influencia del sistema de control y automatización en el tiempo operativo del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025.	El sistema de control y automatización aumenta significativamente el tiempo operativo del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025.		Frecuencia de desbordes	Número de eventos de desborde	
¿Cómo influye el sistema de control y automatización en la frecuencia de desbordamiento del reservorio del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025?	Determinar la influencia del sistema de control y automatización en la frecuencia de desbordamiento del reservorio del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025.	El sistema de control y automatización reduce significativamente la frecuencia de desbordamiento del reservorio del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025.		Costos operativos	Costo mensual	
¿Cómo influye el sistema de control y automatización en los costos operativos del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025?	Determinar la influencia del sistema de control y automatización en los costos operativos del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025.	El sistema de control y automatización reduce significativamente los costos operativos del servicio de agua potable en la estación de bombeo del centro poblado de Huamanmarca – Huayucachi durante el año 2025.				

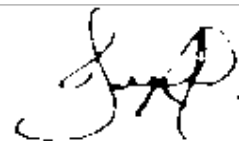
ANEXO 2

CUADRO DE COTEJO

CUADRO DE COTEJO			
Proyecto: Sistema de Control y Automatización de la Estación de Bombeo de Agua Potable Lugar: Centro Poblado de Huamanmarca – Huayucachi Observador: Jezzy James Huaman Rojas Fecha: 12/01/2025 Hora de prueba: 20:05			
N°	Criterio observable	Cumple (✓ / X)	Observaciones técnicas
1	El sensor ultrasónico mide correctamente el nivel de agua	✓	
2	El nivel de agua se representa correctamente en el dashboard de Node-RED	✓	
3	El sistema activa el motor automáticamente al detectar nivel mínimo	✓	
4	El sistema apaga el motor al detectar nivel máximo	✓	
5	La interfaz muestra el estado actual del motor (encendido/apagado)	✓	
6	El usuario puede activar el modo manual desde el dashboard	✓	
7	El sistema permite el encendido/apagado del motor en modo manual	✓	
8	Los eventos de encendido/apagado se registran correctamente en la base de datos	✓	
9	Las alertas de nivel bajo/alto se generan y visualizan oportunamente	✓	
10	El tiempo de respuesta entre la lectura del sensor y la acción del sistema es breve	✓	

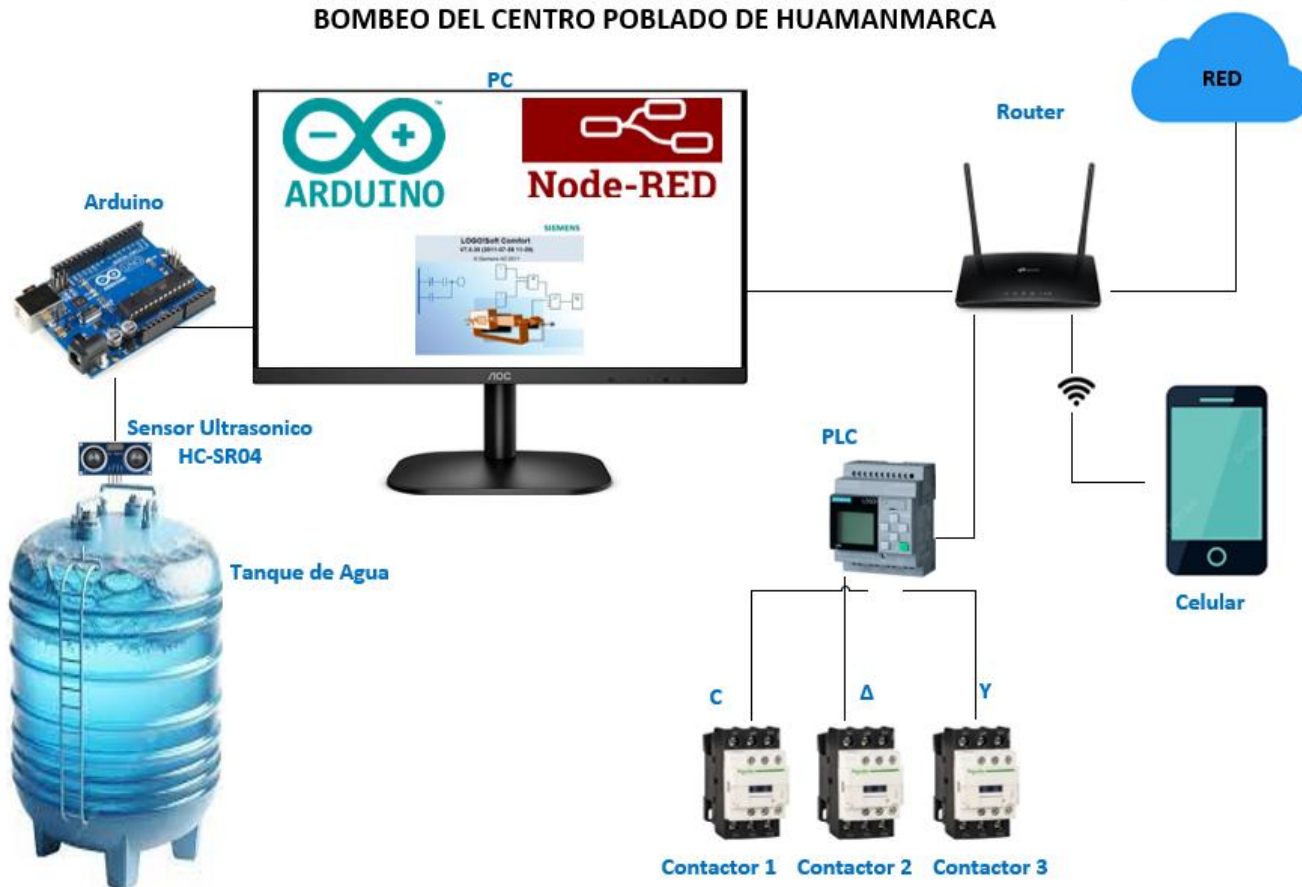


Jhon Elvis Galarza Carhuamaca



Jezzy James Huaman Rojas

INFRAESTRUCTURA DE COMUNICACIÓN- SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO DEL CENTRO POBLADO DE HUAMANMARCA



ANEXO 4

DASHBOARD DE SISTEMA DE CONTROL



≡ Registro de eventos

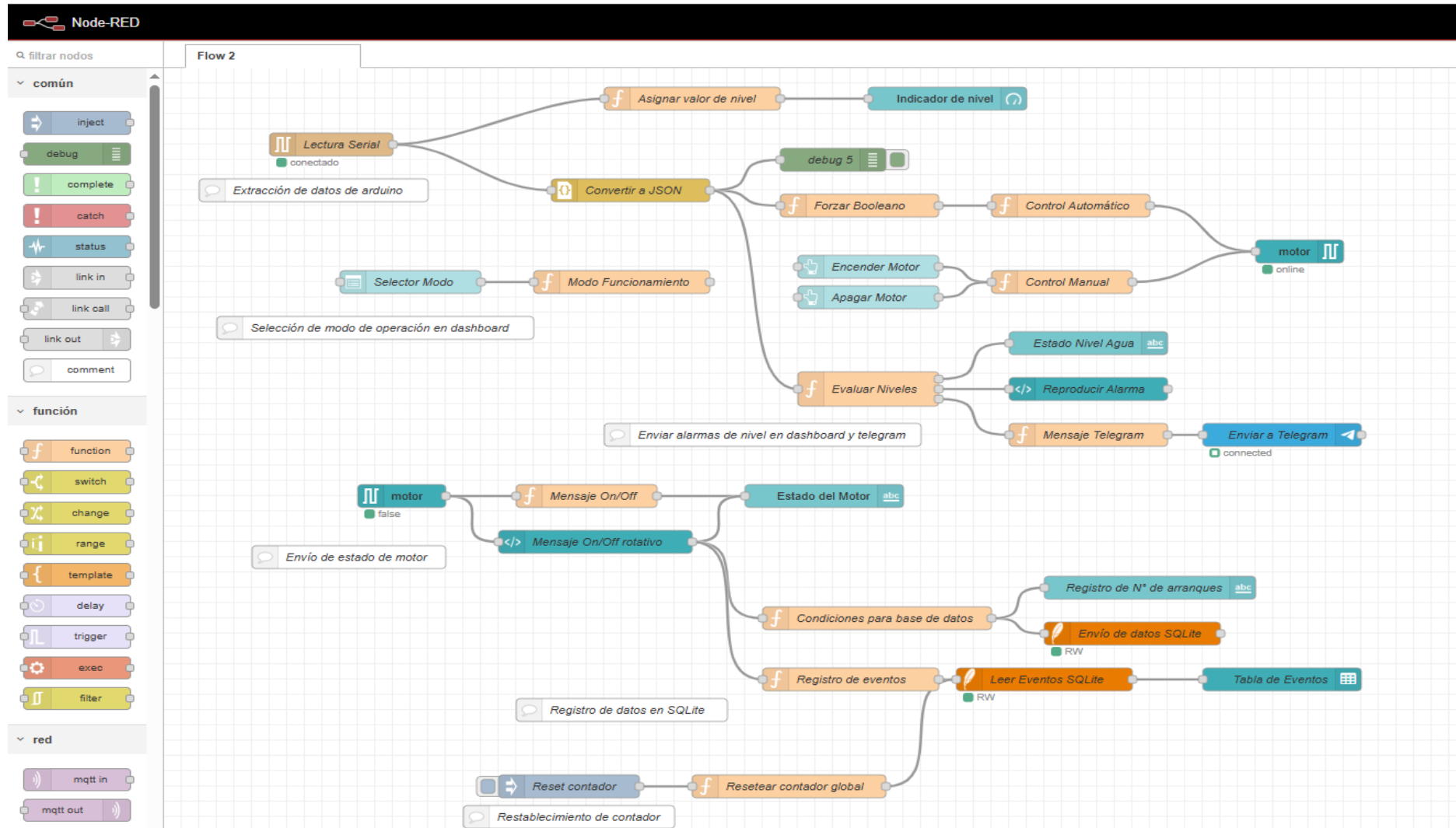
Cuadro de eventos

Nº de arranques de motor

ID ▲	Inicio ▲	Fin ▲	Duración (s) ▲	Encendido # ▲
7	2025-04-16 22:18:57	2025-04-16 22:19:08	11	7
6	2025-04-16 19:16:16	2025-04-16 19:23:50	454	6
5	2025-04-16 17:43:13	2025-04-16 17:52:33	560	5
4	2025-04-16 17:38:54	2025-04-16 17:40:49	115	4
3	2025-04-16 17:38:15	2025-04-16 17:38:16	1	3
2	2025-04-16 00:03:35	2025-04-16 00:03:38	3	2
1	2025-04-15 23:29:41	2025-04-15 23:34:41	300	1

ANEXO 5

DIAGRAMA NODE-RED DE SISTEMA DE CONTROL

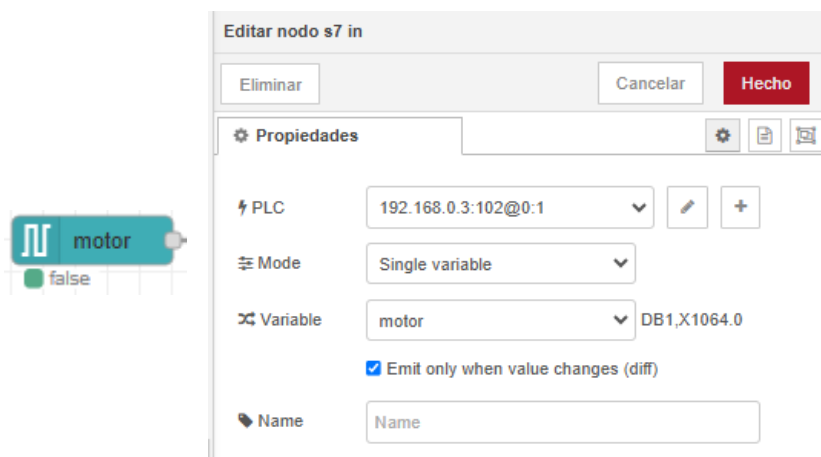


ANEXO 6

CONFIGURACIÓN DE NODE-RED

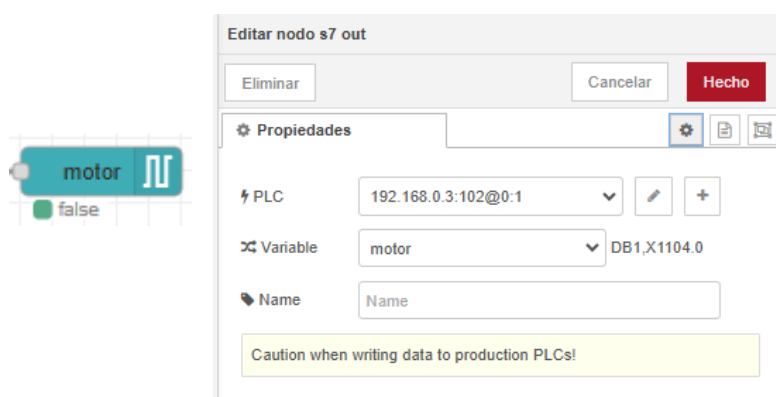
1. Nodo s7 in (Entrada S7)

Este nodo se utilizó para leer datos desde un PLC Siemens mediante el protocolo S7. En este caso, se configuró para leer el estado del motor desde la variable “motor” y envía el valor leído a otros nodos para su procesamiento.



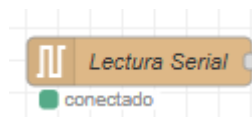
2. Nodo s7 out (Salida S7)

Permitió enviar datos al PLC Siemens para controlar una variable específica. En este caso, se usa para encender o apagar el motor según la lógica del sistema. Suscribe a la variable “motor”



3. Nodo serial in (Entrada Serial)

Recibió datos desde un puerto serial a una velocidad de 9600 baud, utilizado para la lectura de información desde sensores conectados a un microcontrolador - Arduino.



Editar nodo serial in > Editar nodo serial-port

Eliminar Cancelar Actualizar

Propiedades

Nombre:

Serial Port:

Settings

Baud Rate	Data Bits	Parity	Stop Bits
9600	8	None	1

DTR: RTS: CTS: DSR:

Input

Optionally wait for a start character of , then

Split input:

and deliver:

Output

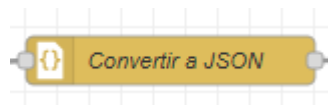
Add character to output messages:

Request

Default response timeout: ms

4. Nodo json

Conviertió los datos seriales recibidos en formato de texto a un objeto JSON, facilitando su procesamiento en Node-RED.



Editar nodo json

Eliminar Cancelar Hecho

Propiedades

Acción:

Propiedad:

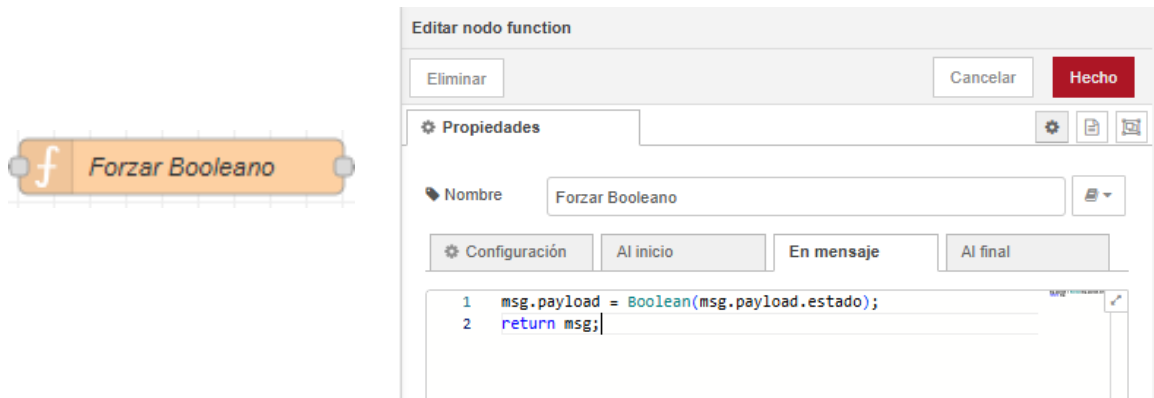
Nombre:

Opciones de objeto a JSON

☐ Formatear cadena JSON

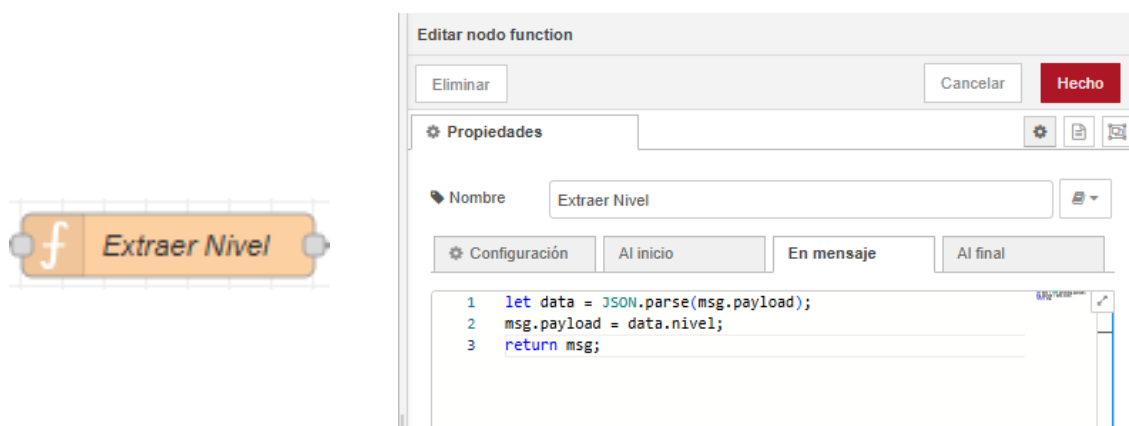
5. Nodo function ("Forzar Booleano")

Conviertió el valor recibido en un dato booleano (true o false), asegurando que el estado del motor se interprete correctamente.



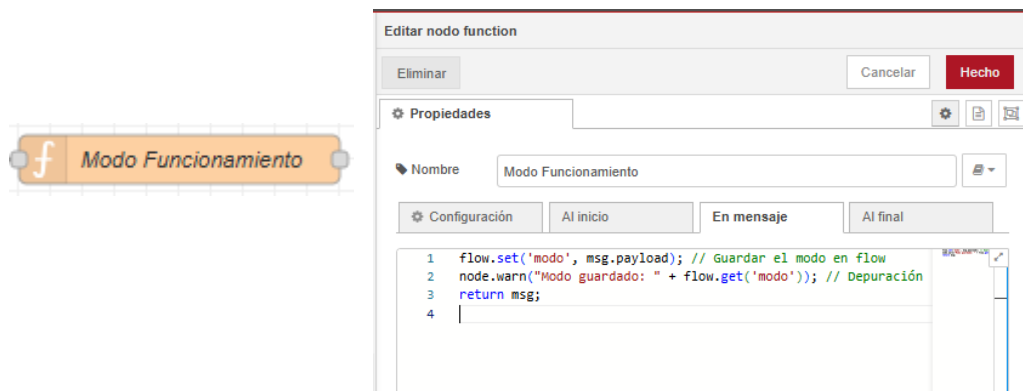
6. Nodo function ("Extraer Nivel")

Recibió el valor de la variable nivel desde el JSON recibido y lo envía a otros nodos para su visualización.



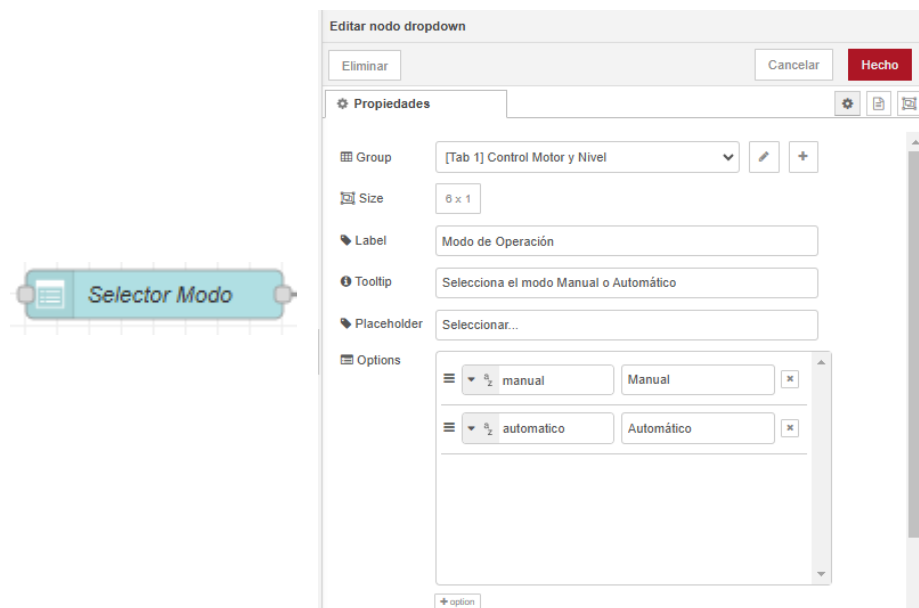
7. Nodo function ("Modo Funcionamiento")

Almacenó el ultimo modo de operación seleccionado, en nuestro caso manual o automático, para que otros nodos puedan acceder a él.



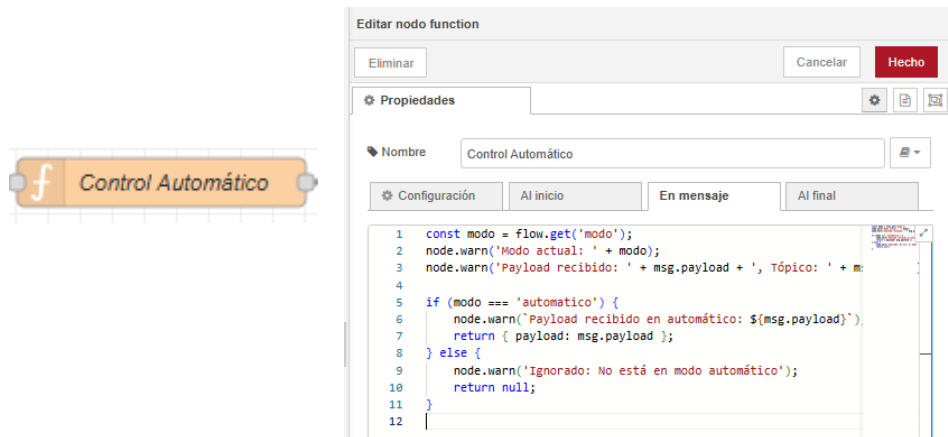
8. Nodo ui_dropdown (Selector de Modo)

Interfaz de usuario que permitió realizar la selección del modo de operación del sistema, selecciona manual o automático.



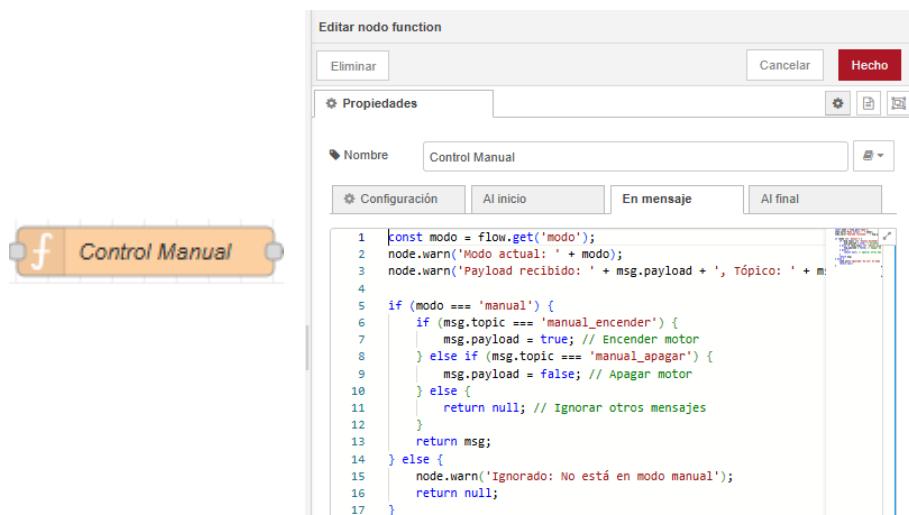
9. Nodo function ("Control Automático")

Evaluó si el sistema está en modo automático y, en caso afirmativo, permite el control del motor según las condiciones establecidas.



10. Nodo function ("Control Manual")

Evaluó si el sistema está en modo manual y permite encender o apagar el motor según la señal de los botones de la interfaz.



11. Nodos ui_button ("Encender Motor" y "Apagar Motor")

Botones de la interfaz gráfica para encender o apagar el motor manualmente.



Editar nodo button

Eliminar Cancelar Hecho

Propiedades

Group [Tab 1] Control Motor y Nivel

Size 3 x 1

Icon optional icon

Label Encender

Tooltip optional tooltip

Color optional text/icon color

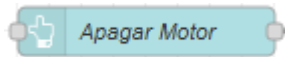
Background optional background color

When clicked, send:

Payload $\frac{a}{z}$ true

Topic $\frac{a}{z}$ manual_encender

If msg arrives on input, emulate a button click: ☐



Editar nodo button

Eliminar Cancelar Hecho

Propiedades

Group [Tab 1] Control Motor y Nivel

Size 3 x 1

Icon optional icon

Label Apagar

Tooltip optional tooltip

Color optional text/icon color

Background optional background color

When clicked, send:

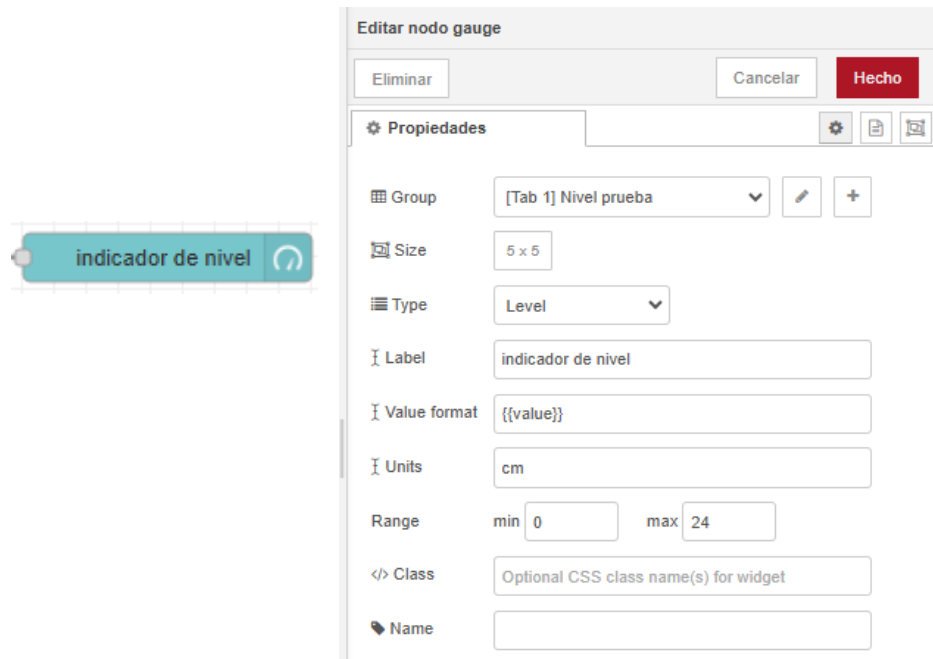
Payload $\frac{a}{z}$ false

Topic $\frac{a}{z}$ manual_apagar

If msg arrives on input, emulate a button click: ☐

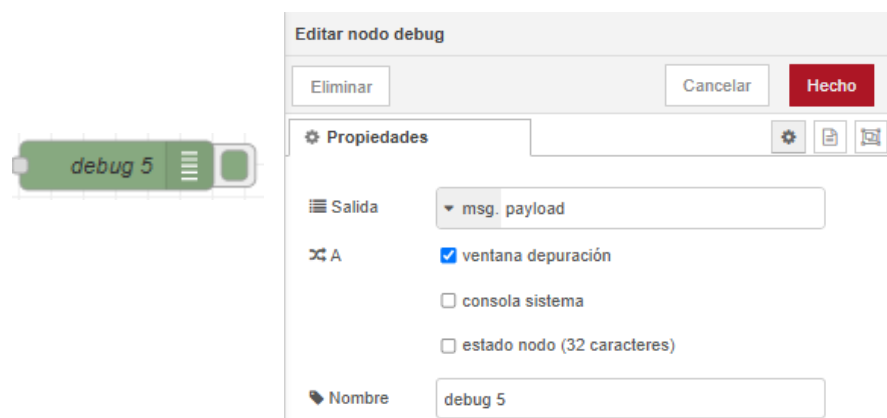
12. Nodo ui_gauge ("Indicador de Nivel")

Mostró el nivel de agua en el tanque con una interfaz visual en forma de indicador.



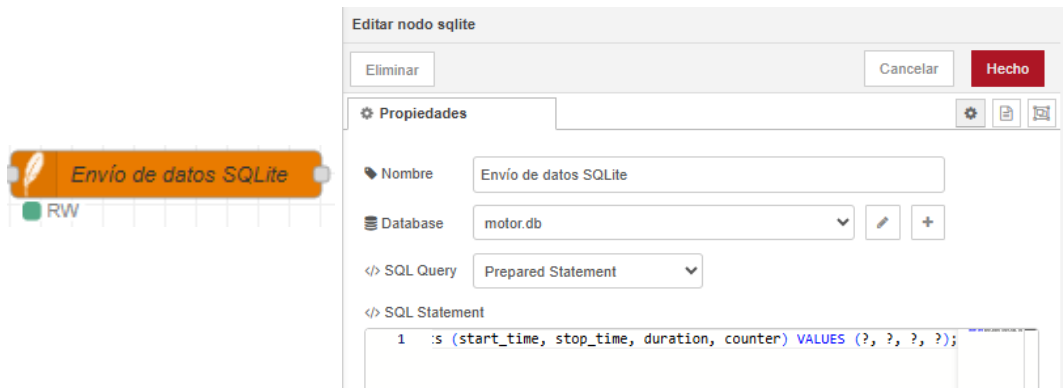
13. Nodo debug

Permitió visualizar los valores de salida de los nodos en la consola de Node-RED para depuración.



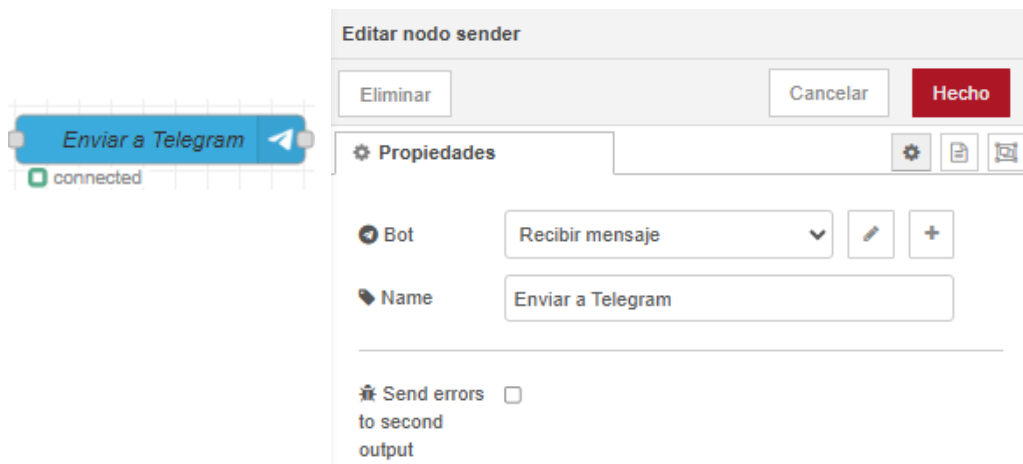
14. Nodo SQLite.

Se usó para interactuar con bases de datos **SQLite**, la cual es una base de datos liviana y muy fácil de usar que guarda los datos en archivos locales.



15. Nodo Telegram

El nodo Telegram nos permitió enviar y recibir mensajes desde Telegram usando un Bot en el mismo aplicativo de Telegram.



16. Nodo tabla

Este nodo sirvió para mostrar datos en forma de tabla en el Dashboard, es aquí donde todos los datos se mostraron. Este nodo se configuró cada uno de las entradas de la tabla como ID, momento de arranque, momento de paro, duración de funcionamiento y contador de encendidos.

Editar nodo table

Eliminar Cancelar Hecho

Propiedades

Group [Registro de eventos] Cuadro de

Size 12 x 7

Nombre Tabla de Eventos

Columns Send data on click ☐

Property	Title	Align	Width	Format
id	ID	left	10px	Plain text
start_time	Inicio	left	25px	Plain text
stop_time	Fin	left	25px	Plain text
duration	Duración (s)	left	20px	Plain text
counter	Encendido #	left	20px	Plain text

ANEXO 7

CÓDIGO DE CONFIGURACIÓN ARDUINO

```
#define TRIG_PIN 9 // Pin del trigger del HC-SR04
#define ECHO_PIN 10 // Pin del echo del HC-SR04
#define NIVEL_MAXIMO 5 // Nivel de agua máximo (cm) - Apagar motor
#define NIVEL_MINIMO 18 // Nivel de agua mínimo (cm) - Encender motor

bool estadoMotor = false; // Estado inicial del motor (apagado)

void setup() {
  Serial.begin(9600); // Iniciar comunicación serial con Node-RED
  pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);
  pinMode(ECHO_PIN, INPUT);

  delay(2000); // Esperar 2 segundos para estabilizar la comunicación

  // Vaciar el buffer serial (para evitar datos viejos)
  while (Serial.available() > 0) {
    Serial.read();
  }
}

void loop() {
  long duracion;
  float distancia;

  // Enviar pulso de disparo de 10µs
  digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);

  // Medir el tiempo de eco
  duracion = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH);

  // Convertir tiempo en distancia (velocidad del sonido: 343 m/s o 0.0343 cm/µs)
  distancia = (duracion * 0.0343) / 2;

  // Lógica para activar/desactivar el motor
  if (distancia <= NIVEL_MAXIMO && estadoMotor) {
    estadoMotor = false; // Apagar el motor
  }
  else if (distancia >= NIVEL_MINIMO && !estadoMotor) {
    estadoMotor = true; // Encender el motor
  }

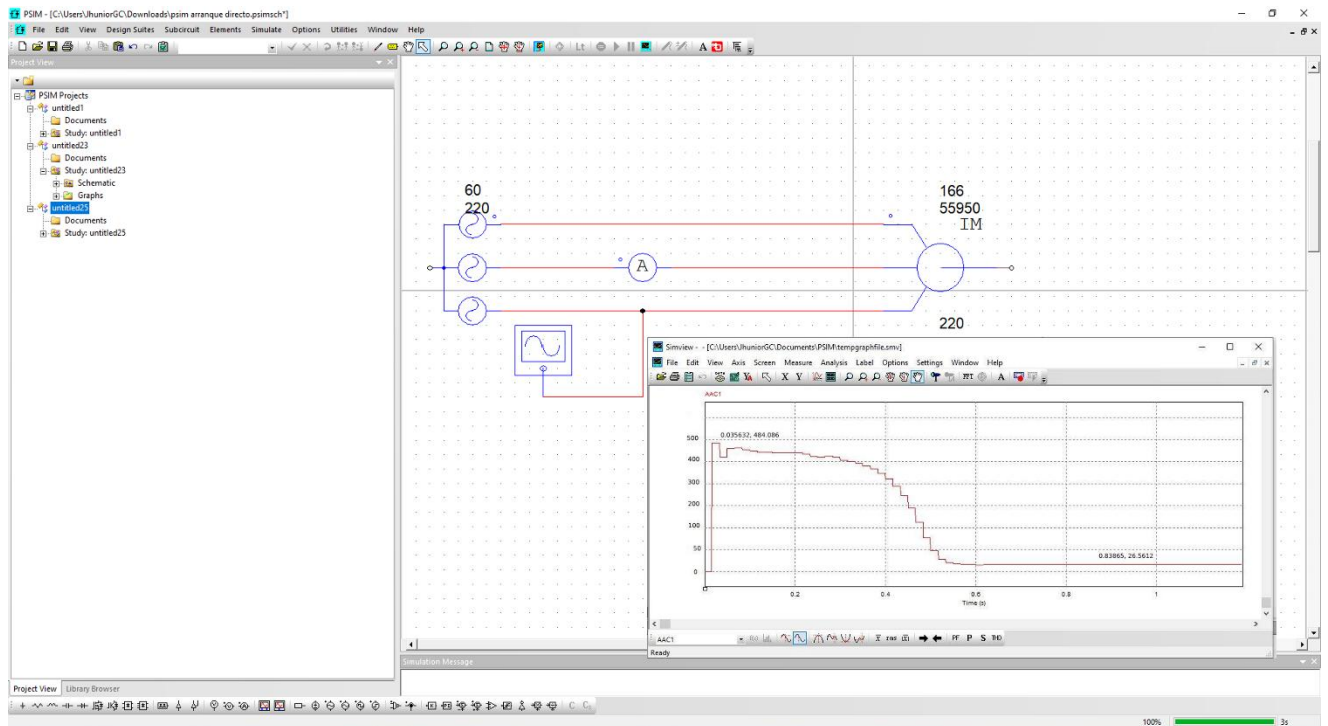
  // ● ELIMINAMOS TEXTO INNECESARIO Y SOLO ENVIAMOS JSON LIMPIO
  Serial.print("{\"nivel\":");
  Serial.print(distancia, 2); // Limitar a 2 decimales
  Serial.print(", \"estado\":");
  Serial.print(estadoMotor ? "true" : "false");
  Serial.println("{}"); // Línea nueva para delimitar JSON

  delay(1000); // Esperar 1 segundo antes de la siguiente medición
}
```

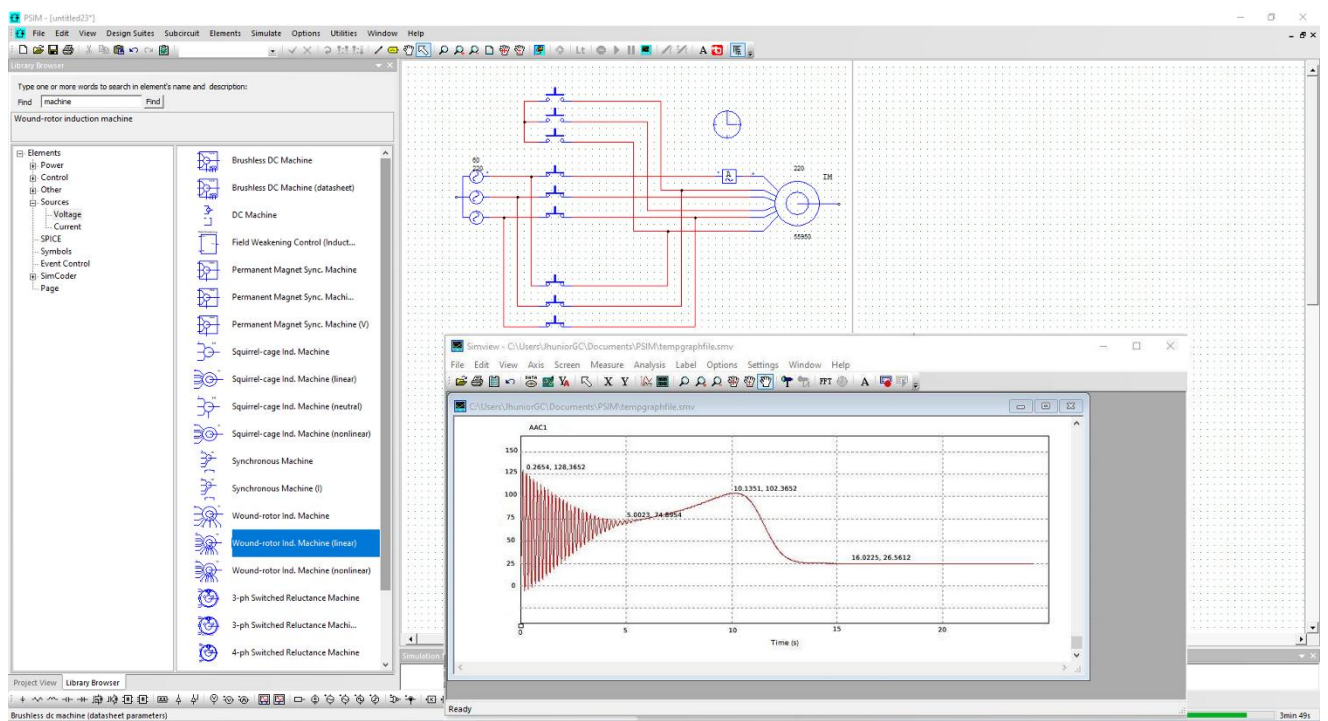

ANEXO 9

COMPARACIÓN ENTRE ARRANQUE DIRECTO Y ESTRELLA - TRIANGULO

ARRANQUE DIRECTO



ARRANQUE ESTRELLA - TRIANGULO



ANEXO 10

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPAMIENTO

PLC

SIEMENS

Data sheet

6ED1052-1FB08-0BA0

LOGO! 230RCE logic module, display PS/I/O: 115V/230V/relay, 8 DI/4 DO, memory 400 blocks, modular expandable, Ethernet, integr. web server, data log, user-defined Web pages, standard microSD card for LOGO! Soft Comfort V8 or higher, older projects executable



Figure similar

Display	
with display	Yes
Installation type/mounting	
Mounting	on 35 mm DIN rail, 4 spacing units wide
Supply voltage	
Rated value (DC)	
• 115 V DC	Yes
• 230 V DC	Yes
permissible range, lower limit (DC)	100 V
permissible range, upper limit (DC)	253 V
Rated value (AC)	
• 115 V AC	Yes
• 230 V AC	Yes
Line frequency	
• permissible range, lower limit	47 Hz
• permissible range, upper limit	63 Hz

Time of day	
Time switching clocks	
• Number	400; Max. 400, function-specific
• Power reserve	480 h
Digital inputs	
Number of digital inputs	8
Digital outputs	
Number of digital outputs	4; Relays
Short-circuit protection	No; external fusing necessary
Relay outputs	
Switching capacity of contacts	
— with inductive load, max.	3 A
— with resistive load, max.	10 A
EMC	
Emission of radio interference acc. to EN 55 011	
• Limit class B, for use in residential areas	Yes
Degree and class of protection	
Degree of protection acc. to EN 60529	
• IP20	Yes
Standards, approvals, certificates	
CE mark	Yes
CSA approval	Yes
UL approval	Yes
FM approval	Yes
developed in accordance with IEC 61131	Yes
according to VDE 0631	Yes
Marine approval	Yes
Ambient conditions	
Ambient temperature during operation	
• min.	-20 °C; No condensation
• max.	55 °C
Ambient temperature during storage/transportation	
• min.	-40 °C
• max.	70 °C
Altitude during operation relating to sea level	
• Ambient air temperature-barometric pressure-altitude	Tmin ... Tmax at 1 080 hPa ... 795 hPa (-1 000 m ... +2 000 m)
Dimensions	
Width	71.5 mm
Height	90 mm

SENSOR ULTRASÓNICO:

<http://www.agelectronica.com>

ULTRASONIC-HC-SR04 SENSOR DE DISTANCIA ULTRASONICO HC-SR04



DESCRIPCIÓN

Sensor de distancia ultrasonico, capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 2 a 450 cm. El funcionamiento del sensor es mediante ultrasonido y cuenta con la electronica encargada de realizar la medición, debido a sus pines de ECHO y TRIGGER. Su uso es tan sencillo como enviar la señal de arranque y medir la anchura del pulso de retorno.

CARACTERÍSTICAS

El sensor HC-SR04 posee dos transductores: un emisor y un receptor piezoeléctricos, además de la electrónica necesaria para su operación. El funcionamiento del sensor es el siguiente: el emisor piezoeléctrico emite 8 pulsos de ultrasonido(40KHz) luego de recibir la orden en el pin TRIG, las ondas de sonido viajan en el aire y rebotan al encontrar un objeto, el sonido de rebote es detectado por el receptor piezoeléctrico, luego el pin ECHO cambia a Alto (5V) por un tiempo igual al que demoró la onda desde que fue emitida hasta que fue detectada, el tiempo del pulso ECO es medido por el microcontrolador y así se puede calcular la distancia al objeto. El funcionamiento del sensor no se ve afectado por la luz solar o material de color negro (aunque los materiales blandos acústicamente como tela o lana pueden llegar a ser difíciles de detectar)

	AG Electrónica S.A.P.I de C.V. República del Salvador N° 20 3do Piso. Teléfono: 55 5130 - 7010 http://www.agelectronica.com		Revisó	JFR
			Revisó	JMLM
			Fecha	15/02/2023

ESPECIFICACIONES

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Corriente de reposo: < 2mA
- Corriente de trabajo: 15mA
- Rango de medición: 2cm a 450cm
- Precisión: $\pm$ 3mm
- Ángulo de apertura: 15°
- Frecuencia de ultrasonido: 40KHz
- Duración mínima del pulso de disparo TRIG (nivel TTL): 10 μ S
- Duración del pulso ECO de salida (nivel TTL): 100-25000 μ S



PINES

- VCC (+5V DC)
- TRIG (Disparo del ultrasonido)
- ECHO (Recepción del ultrasonido)
- GND (Tierra: 0V)

La distancia se puede calcular utilizando la siguiente formula:

$$\text{Distancia(m)} = \{(\text{Tiempo del pulso ECO}) * (\text{Velocidad del sonido}=340\text{m/s})\}$$

El sensor mide el tiempo entre el envío y recepción de un pulso sonoro. Usando el Trigger para al menos 10 μ s de señal de alto nivel, enviado automáticamente ocho pulsos a 40 kHz y detecta si hay una señal de pulso de regreso. Si la señal regresa, a través de un nivel alto, el tiempo de salida del Trigger de alta salida es el tiempo desde el envío de ultrasonidos hasta el retorno y captado en Echo.



	AG Electrónica SAPI de CV República del Salvador Nº 28- 2do Piso. Teléfono: 55 5136- 7210 http://www.agoelectronica.com		Realizó	JFR
			Revisó	JMLM
			Fecha	15/02/2023

ARDUINO:

Versión 11-10-18

Características técnicas del ARDUINO UNO

Arduino es una placa con un microcontrolador de la marca Atmel y con toda la circuitería de soporte, que incluye, reguladores de tensión, un puerto USB (En los últimos modelos, aunque el original utilizaba un puerto serie) conectado a un módulo adaptador USB-Serie que permite programar el microcontrolador desde cualquier PC de manera cómoda y también hacer pruebas de comunicación con el propio chip.

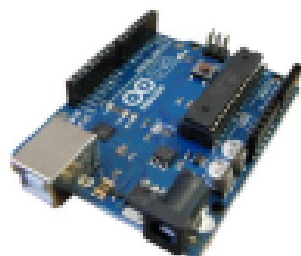
Un arduino dispone de 14 pines que pueden configurarse como entrada o salida y a los que puede conectarse cualquier dispositivo que sea capaz de transmitir o recibir señales digitales de 0 y 5 V.

También dispone de entradas y salidas analógicas. Mediante las entradas analógicas podemos obtener datos de sensores en forma de variaciones continuas de un voltaje. Las salidas analógicas suelen utilizarse para enviar señales de control en forma de señales PWM.

Arduino UNO tiene dos variantes, la Arduino UNO convencional y la Arduino UNO SMD. La única diferencia entre ambas es el tipo de microcontrolador que montan.

- La primera es un microcontrolador Atmega en formato DIP.
- Y la segunda dispone de un microcontrolador en formato SMD.

Nosotros nos decantaremos por la primera porque nos permite programar el chip sobre la propia placa y después integrarlo en otros montajes.



Arduino UNO con microcontrolador en formato DIP



Arduino UNO con microcontrolador en formato SMD

Entradas y salidas:

Cada uno de los 14 pines digitales se puede usar como entrada o como salida. Funcionan a 5V, cada pin puede suministrar hasta 40 mA. La intensidad máxima de entrada también es de 40 mA.

Cada uno de los pines digitales dispone de una resistencia de pull-up interna de entre 20KΩ y 50 KΩ que está desconectada, salvo que nosotros indiquemos lo contrario.

Arduino también dispone de 6 pines de entrada analógicos que trasladan las señales a un convertor analógico/digital de 10 bits.

Pines especiales de entrada y salida:

- RX y TX: Se usan para transmisiones serie de señales TTL.
- Interrupciones externas: Los pines 2 y 3 están configurados para generar una interrupción en el atmega. Las interrupciones pueden dispararse cuando se encuentra un valor bajo en estas entradas y con flancos de subida o bajada de la entrada.
- PWM: Arduino dispone de 6 salidas destinadas a la generación de señales PWM de hasta 8 bits.
- SPI: Los pines 10, 11, 12 y 13 pueden utilizarse para llevar a cabo comunicaciones SPI, que permiten trasladar información full dúplex en un entorno Maestro/Esclavo.
- I²C: Permite establecer comunicaciones a través de un bus I²C. El bus I²C es un producto de Phillips para interconexión de sistemas embebidos. Actualmente se puede encontrar una gran diversidad de dispositivos que utilizan esta interfaz, desde pantallas LCD, memorias EEPROM, sensores...

Alimentación de un Arduino

Puede alimentarse directamente a través del propio cable USB o mediante una fuente de alimentación externa, como puede ser un pequeño transformador o, por ejemplo una pila de 9V. Los límites están entre los 6 y los 12 V. Como única restricción hay que saber que si la placa se alimenta con menos de 7V, la salida del regulador de tensión a 5V puede dar menos que este voltaje y si sobrepasamos los 12V, probablemente dañaremos la placa.

La alimentación puede conectarse mediante un conector de 2,1mm con el positivo en el centro o directamente a los pines Vin y GND marcados sobre la placa.

Hay que tener en cuenta que podemos medir el voltaje presente en el jack directamente desde Vin. En el caso de que el Arduino esté siendo alimentado mediante el cable USB, ese voltaje no podrá monitorizarse desde aquí.

Resumen de características Técnicas

Microcontrolador	Atmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (Recomendado)	7 – 12V
Voltaje de entrada (Límite)	6 – 20V
Pines para entrada- salida digital.	14 (6 pueden usarse como salida de PWM)
Pines de entrada analógica.	6
Corriente continua por pin IO	40 mA
Corriente continua en el pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (0,5 KB ocupados por el bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz

ANEXO 11

EMSABLAJE DE TABLERO DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN



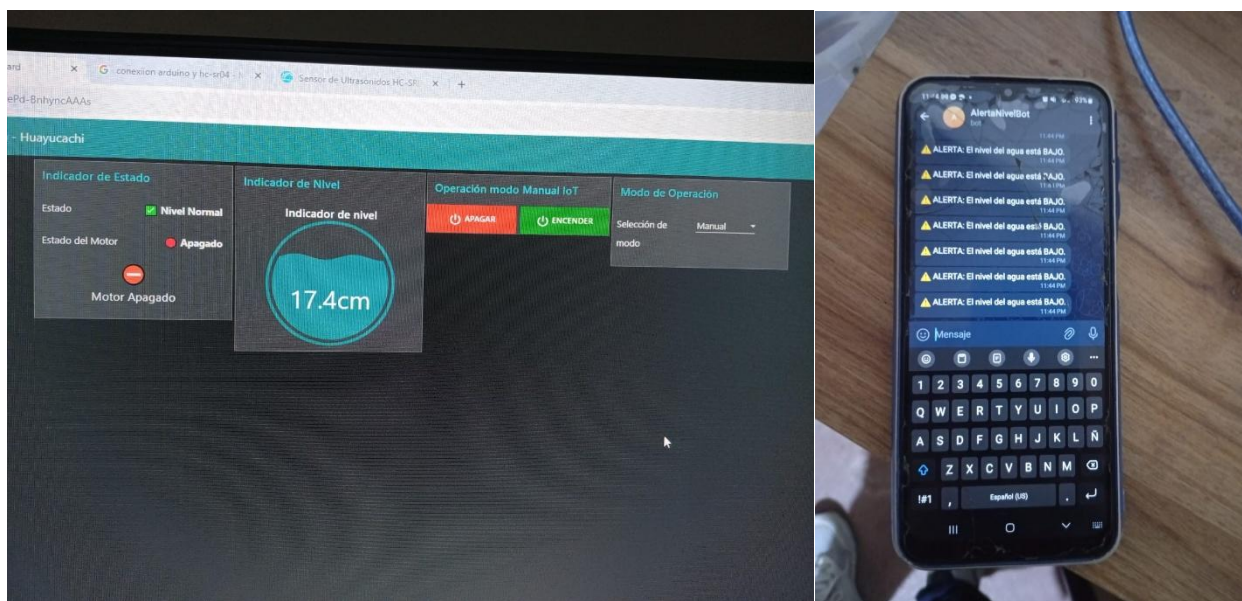
ANEXO 12

PRUEBAS DE PROTOTIPO DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

ACTIVACIÓN DE CONTACTORES Y ENVÍO DE NIVEL DE AGUA A NODE-RED:



VALIDACIÓN DE DASHBOARD Y ENVÍO DE ALERTA A CELULAR:



ANEXO 13

PANEL FOTOGRÁFICO DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

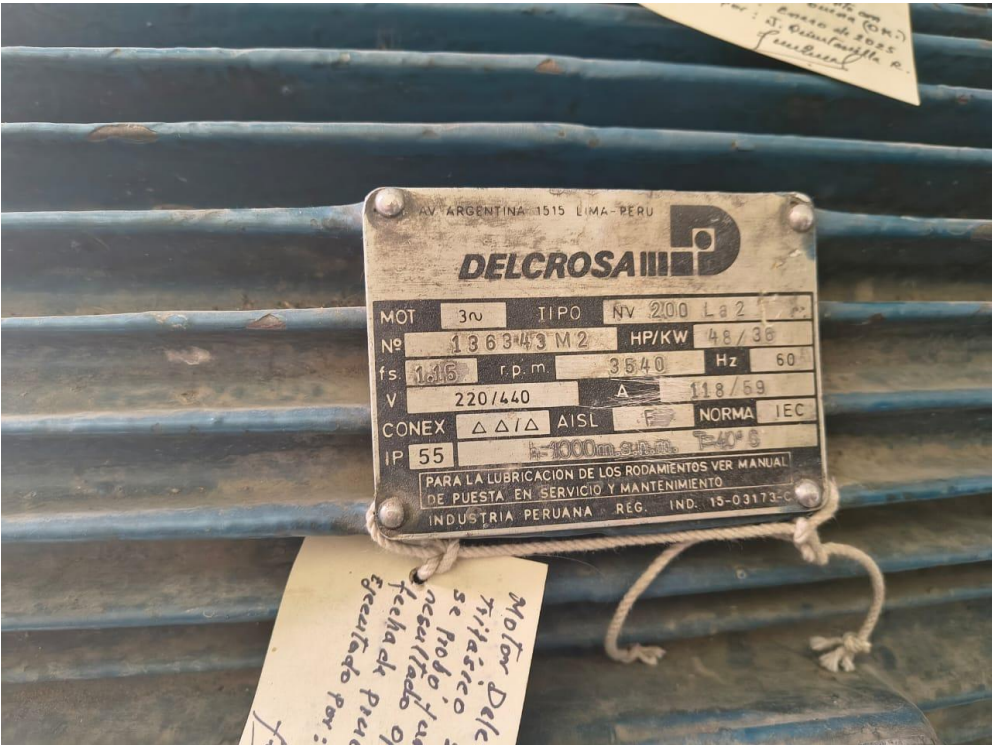
BOMBA CENTRIFUGA:



ARRANQUE DIRECTO:



PLACA DEL MOTOR:



VISITA AL CENTRO DE BOMBEO:

