



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Implementación de un panel de automatización en Home Assistant para controlar el abastecimiento de agua en el tanque elevado de una institución educativa en Cajamarca.

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR

Herrera Arce, Guillermo Alejandro
ORCID: 0009-0008-6110-4678

ASESOR

Huamani Navarrete, Pedro Freddy
ORCID: 0000-0002-3753-9777

Lima, Perú

2023

Metadatos Complementarios

Datos del autor

Herrera Arce, Guillermo Alejandro

DNI: 71135817

Datos de asesor

Huamani Navarrete, Pedro Freddy

DNI: 10032682

Datos del jurado

JURADO 1

Burneo Gonzalez, Katia Janet

DNI: 09391942

ORCID: 0000-0002-7046-8106

JURADO 2

Sánchez Bravo, Miguel Angel

DNI: 08443357

ORCID: 0000-0001-9384-1391

JURADO 3

Lopez Cordova, Jorge Luis

DNI: 09638009

ORCID: 0000-0002-3817-6859

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.02.01

Código del Programa: 712026

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Guillermo Alejandro Herrera Arce, con código de estudiante N°201411423, con DNI N°71135817, con domicilio en Av. Ernesto Diez Canseco 644, distrito Miraflores, provincia y departamento de Lima, en mi condición de bachiller en Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería, declaro bajo juramento que:

La presente tesis titulada: “Implementación de un panel de automatización en Home Assistant para controlar el abastecimiento de agua en el tanque elevado de una institución educativa en Cajamarca” es de mi única autoría, bajo el asesoramiento del docente Pedro Freddy Huamani Navarrete, y no existe plagio y/o copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica o de investigación, universidad, etc.; la cual ha sido sometida al antiplagio Turnitin y tiene el 8% de similitud final.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en la tesis, el contenido de estas corresponde a las opiniones de ellos, y por las cuales no asumo responsabilidad, ya sean de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o de internet. Asimismo, ratifico plenamente que el contenido íntegro de la tesis es de mi conocimiento y autoría. Por tal motivo, asumo toda la responsabilidad de cualquier error u omisión en la tesis y soy consciente de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de falsa declaración, me someto a lo dispuesto en las normas de la Universidad Ricardo Palma y a los dispositivos legales nacionales vigentes.

Surco, 02 de noviembre de 2023



Guillermo Alejandro Herrera Arce

DNI N°71135817

INFORME DE ORIGINALIDAD-TURNITIN


IMPLEMENTACIÓN DE UN PANEL DE AUTOMATIZACIÓN EN HOME ASSISTANT PARA CONTROLAR EL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL TANQUE ELEVADO DE UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA EN CAJAMARCA

INFORME DE ORIGINALIDAD

8 %	%	%	8 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	2 %
2	Submitted to Consorcio CIXUG Trabajo del estudiante	1 %
3	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	1 %
4	Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA Trabajo del estudiante	<1 %
5	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
6	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1 %
7	Submitted to Canterbury Christ Church University Trabajo del estudiante	<1 %


Mg Ing Eduardo Ale Estrada

DEDICATORIA

A mi familia por haberme apoyado en todos estos años de estudios y haber sido los principales promotores de mi formación.

Guillermo Alejandro Herrera Arce

AGRADECIMIENTO

A la Institución Educativa Privada El Carmen por haber brindado sus instalaciones para el desarrollo de esta tesis y a todas las personas que de alguna manera contribuyeron durante el desarrollo de esta tesis.

Guillermo Alejandro Herrera Arce

ÍNDICE GENERAL

METADATOS COMPLEMENTARIOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
INFORME DE ORIGINALIDAD-TURNITIN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DELPROBLEMA	2
1.1 Formulación del problema	2
1.1.1. Problema General	3
1.1.2. Problemas Específicos	3
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo General.....	3
1.2.2. Objetivos Específicos	3
1.3 Importancia y justificación	4
1.3.1. Importancia.....	4
1.3.2. Justificación.....	4
1.4 Limitaciones.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Marco Histórico	5
2.2. Investigaciones relacionadas con el Tema.....	5
2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio	7
2.3.1. Home Assistant	7
2.3.2. Tanque elevado	8
2.3.3. Raspberry Pi 4 modelo B	8
2.3.4. Microcontrolador ESP32 DEVKIT V1.....	9
2.3.5. Sensor ultrasónico AJ-SR04M.....	10
2.3.6. Commutator Wi-Fi.....	11

2.3.7. Control ON/OFF con histéresis	11
2.3.8. Bomba sumergible	11
2.4. Definición de términos básicos.....	12
2.4.1. IoT (Internet of Things)	12
2.4.2. IPv4 (Internet Protocol versión 4)	12
2.5. Diseño de la Investigación	12
2.5.1. Variables de investigación	12
2.5.2. Tipo y Método de investigación	13
2.5.3. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	13
2.5.4. Procedimiento para la recolección de datos.....	15
CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL PROYECTO	16
3.1. Diagrama general del proyecto	16
3.2. Etapa 1: Puesta en marcha de Home Assistant.	17
3.2.1. Preparación del medio de instalación.	17
3.2.2. Configuración inicial.	19
3.2.3. Diseño del panel de automatización.	21
3.2.4. Configuración del sistema de automatización.	21
3.3. Etapa 2: Puesta en marcha del ESP32 y sensor AJ-SR04M.....	25
3.3.1. Diseño del esquemático.	25
3.3.2. Instalación y configuración del complemento ESP Home.	26
3.3.3. Programación YAML.	29
3.3.4. Instalación de punto de acceso inalámbrico	29
3.3.5. Instalación de la Etapa 2 en el tanque elevado.	31
3.4. Etapa 3: Integración de relevador IoT Sonoff.	32
3.4.1. Diseño del esquemático.	32
3.4.2. Registro del dispositivo IoT en eWeLink.	33
3.4.3. Instalación del complemento eWeLink en Home Assistant.	33
CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS	36
4.1. Pruebas de funcionamiento de las etapas.....	36
4.1.1 Prueba de la Etapa 1.....	36
4.1.2 Prueba de la Etapa 2.....	37
4.1.3 Prueba de la Etapa 3.....	40
4.2. Lecturas de nivel sin accionamiento automatizado	41
4.3. Resultados de funcionamiento con el controlador	44

4.3.1 Modo de accionamiento ON/OFF.....	44
4.3.2 Primera zona muerta	46
4.3.3 Segunda zona muerta	46
4.3.4 Tercera zona muerta.....	47
4.4. Presupuesto	52
CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES.....	54
REFERENCIAS.....	55
ANEXO A.....	57
ANEXO B.....	59
ANEXO C.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Especificaciones técnicas del Raspberry Pi 4 modelo B.....	9
Tabla 2 Especificaciones técnicas del sensor AJ-SR04M	10
Tabla 3 Especificaciones del tanque elevado.....	31
Tabla 4 Mejora de la potencia de recepción en campo	38
Tabla 5 Niveles críticos para la automatización	43
Tabla 6 Parámetros de la Primera zona muerta.....	46
Tabla 7 Parámetros de la segunda zona muerta	47
Tabla 8 Parámetros de la tercera zona muerta	48
Tabla 9 Comparación de resultados	49
Tabla 10 Validando parámetro de tiempo de llenado	50
Tabla 11 Presupuesto	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Dimensiones de la tarjeta ESP32 DEVKIT V1	9
Figura 2 Imagen del sensor AJ-SR04M.....	10
Figura 3 Fotografía del accionador WiFi.....	11
Figura 4 Fotografía de la bomba sumergible	12
Figura 5 Señales involucradas para obtener la distancia.....	14
Figura 6 Diagrama general.....	16
Figura 7 Medio de instalación MicroSD.....	18
Figura 8 Utilizando Raspberry Pi Imager	18
Figura 9 Primer encendido de Raspberry Pi 4 modelo B.....	19
Figura 10 Pantalla de espera de preparación de Home Assistant.....	19
Figura 11 Pantalla de registro de nuevo usuario en Home Assistant.....	20
Figura 12 Configuración de la interfaz de red cableada	20
Figura 13 Tipos de indicadores utilizados en el panel de automatización	21
Figura 14 Automatizaciones utilizadas	22
Figura 15 Componentes de la regla de automatización: Condición de seguridad	23
Figura 16 Componentes de la regla de automatización: Nivel de agua muy bajo	24
Figura 17 Componentes de la regla de automatización OFF Histéresis	24
Figura 18 Componentes de la regla de automatización ON Histéresis.....	25
Figura 19 Esquemático de conexión de la Etapa 2	25
Figura 20 Complemento ESPHome antes de la instalación.....	26
Figura 21 Complemento ESPHome después de la instalación	26
Figura 22 Asistente para añadir nuevos dispositivos en ESPHome.....	27
Figura 23 Instalación de versión base de ESP Home en ESP32.....	27
Figura 24 Configuración de red WLAN	28
Figura 25 Adopción del ESP32.....	28
Figura 26 Programación YAML	29
Figura 27 Potencia de red WLAN en campo	30
Figura 28 Componentes para la nueva WLAN.....	30
Figura 29 Fotografía del tanque elevado de la institución educativa.....	31
Figura 30 Vista satelital	32
Figura 31 Conexión de los componentes de la Etapa 3.....	32
Figura 32 Asociando dispositivo IoT y primer vistazo de la interfaz eWelink	33

Figura 33 Añadiendo repositorio de eWeLink.....	34
Figura 34 Instalando complemento eWeLink.....	34
Figura 35 Verificación de ejecución del complemento eWeLink.....	35
Figura 36 Accediendo a Home Assistant utilizando la IP privada.....	36
Figura 37 Locación final de la Etapa 1	37
Figura 38 Potencia de la nueva WLAN en campo.....	37
Figura 39 Registros de funcionamiento de etapa 2 ya instalada en el tanque elevado ...	38
Figura 40 Locación final de la Etapa 2	39
Figura 41 Ensayo de funcionamiento de la etapa 3.....	40
Figura 42 Locación final de la Etapa 3	41
Figura 43 Lectura del nivel de agua en tanque elevado Ensayo 1	42
Figura 44 Lectura del nivel de agua en tanque elevado Ensayo 2	42
Figura 45 Lectura del nivel de agua en tanque elevado Ensayo 3	43
Figura 46 Diagrama de flujo del proceso.....	44
Figura 47 Diagrama P&ID del proceso de llenado del tanque elevado	45
Figura 48 Definición gráfica de la zona muerta.....	45
Figura 49 Lectura del nivel de agua en el tanque elevado con los parámetros de la primera zona muerta.....	46
Figura 50 Lectura del nivel de agua en el tanque elevado con los parámetros de la segunda zona muerta	47
Figura 51 Lectura del nivel de agua en el tanque elevado con los parámetros de la tercera zona muerta	48
Figura 52 Panel de automatización final.....	51
Figura 53 Código QR.....	51

RESUMEN

En esta investigación se planteó como objetivo la implementación de un panel de automatización ejecutado en el sistema operativo Home Assistant para controlar el abastecimiento de agua en el tanque elevado de la Institución Educativa Privada El Carmen. El procedimiento se realizó en 3 etapas, la primera etapa consistió en ejecutar Home Assistant en un Raspberry Pi 4 modelo B. En la segunda etapa se diseñó y programó el módulo de recolección de datos, dicho módulo fue implementado en el interior del tanque elevado para medir la variable 'Nivel de agua'. En la tercera etapa se implementó un relevador IoT en el tablero de control manual de la bomba sumergible de la institución educativa logrando controlar la bomba remotamente y prescindir del control manual. Los resultados parciales obtenidos establecieron los niveles óptimos de llenado del tanque elevado, determinando que a más de un nivel de 1.48 m de agua, el tanque rebalsaba y que a menos de 0.66 m la presión de agua en la grifería de la institución educativa fue deficiente, dichos parámetros permitieron el uso de un tipo de control ON/OFF con histéresis con una zona muerta de +/- 0.32 m. Los resultados finales mostraron a la variable dentro de los límites establecidos de manera completamente automatizada, y se concluye que la implementación del panel de automatización respondió eficazmente logrando garantizar el abastecimiento de agua sin intervención del usuario, así como llenando el tanque a un 93.34% (9.25 m³) de su capacidad con el fin de atender a una comunidad educativa de 739 integrantes.

Palabras claves: Panel de automatización, Home Assistant, Tanque elevado, Nivel de agua, Control ON/OFF con histéresis.

ABSTRACT

The objective of this research was the implementation of an automation panel executed in the Home Assistant operating system to control the water supply in the elevated water tank of El Carmen High School. The procedure was carried out in 3 stages, the first stage consisted of running Home Assistant on a Raspberry Pi 4 model B. In the second stage, the data collection module was designed, programmed and implemented inside the elevated tank to measure the variable 'Water level'. In the third stage, an IoT relay was implemented in the manual control board of the submersible pump of the high school, which allowed controlling the submersible water pump remotely and dispense with manual control. The partial results obtained established the optimal filling levels of the elevated tank, determining that at more than a level of 1.48 m of water, the tank overflowed and that at less than 0.66 m the water pressure in the taps of the high school was deficient, these parameters allowed the use of a type of ON/OFF control with hysteresis with a dead zone of $\pm 0.32\text{m}$. The final results showed the variable within the established limits in a completely automated manner, it is concluded that the implementation of the automation panel responded effectively managing to guarantee the water supply without user intervention as filling the tank to 93.34% (9.25 m^3) of its capacity in order to serve an educational community of 739 members.

Keywords: Automation panel, Home Assistant, Elevated tank, Water level, ON/OFF control with hysteresis.

INTRODUCCIÓN

En estos tiempos, el Internet de las Cosas viene siendo integrado en muchos dispositivos: electrodomésticos, autos, soluciones de iluminación, procesos industriales, etc. La gran variedad de dispositivos mencionados son capaces de conectarse a la nube, pero hay que tener en cuenta que son construidos por diversos fabricantes, los cuales desarrollan sus propios sistemas de control, limitando a los usuarios a usar un solo fabricante, lo que crea la necesidad de tener sistemas operativos de código abierto que actúen como hub y que adicionalmente admitan diversos fabricantes, logrando así la interoperabilidad y disminución de costes.

Dado esto, esta tesis, propone una solución de bajo coste para el abastecimiento del tanque elevado de una institución educativa, dado que el rebose o la falta de agua en el tanque elevado causado por el control manual de un operario representa un problema para la comunidad educativa, por lo cual es de suma importancia implementar un sistema que automatice su abastecimiento y así poder garantizar una alta disponibilidad en el servicio de agua, para lo cual se emplea un control tipo ON/OFF con histéresis para la bomba sumergible que se encargará de abastecer el tanque elevado, dicho control se realimenta con los datos obtenidos del monitoreo en tiempo real que envía el módulo de adquisición de datos diseñado e implantado para medir el nivel de agua en el tanque elevado de la institución educativa privada El Carmen.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Formulación del problema

Indudablemente el agua es uno de los recursos naturales más importantes en el mundo ya que es indispensable no solo para los seres humanos, sino también para los seres vivos; sin embargo, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el 2020 el 74% de la población mundial (5800 millones de personas) utilizaba un servicio de suministro de agua potable (Organización Mundial de la Salud, 2022).

Actualmente el Perú ocupa el octavo lugar en el ranking mundial de países con mayor cantidad de agua, contando con un 1,89% de disponibilidad de agua dulce del mundo; sin embargo, por nuestra geografía, la vertiente del Pacífico que es en donde reside el 66 % de la población, esta cuenta solamente con una disponibilidad bastante limitada de 2,2 % de acceso al agua (Autoridad Nacional del Agua, 2022).

Asimismo, con el tiempo se ha ido popularizando la excavación de pozos tubulares en el país, estos pozos tienen alrededor de 100 metros de profundidad, dependiendo del estudio hidrológico previamente realizado (prospección geofísica), con el objetivo de captar agua subterránea proveniente de diferentes cuencas hidrográficas, dichas perforaciones aseguran un abastecimiento de agua continuo, lo cual hace que sean una solución potencial ante la necesidad de agua de calidad.

Una vez ejecutada la excavación surge la necesidad de bombear el agua a la superficie y almacenarla en un tanque elevado, dicho proceso suele ejecutarse utilizando una bomba sumergible, que mediante una tubería almacena el agua en un tanque elevado el cual se encuentra generalmente cerca de donde se perforó el pozo tubular.

Por tal motivo, el control de la bomba sumergible se suele realizar utilizando un sensor muy popular llamado electronivel, el cual consiste en un flotador que dependiendo de la altura de flotación abre o cierra el circuito eléctrico de la bomba.

De esta manera, la presente tesis aborda la deficiencia en el sistema de llenado del tanque elevado de la institución educativa I.E.P. El Carmen - Cajamarca, debido al alto consumo de agua durante el horario de recreo, la bomba sumergible instalada se encarga del llenado del tanque elevado, pero el tablero de control es totalmente manual por lo que una persona tiene que activar y desactivar la bomba sin ningún tipo de referencia del nivel en tiempo real del tanque elevado, lo cual hace que algunas veces dicho tanque rebalse o caso contrario quede vacío dejando a los alumnos de la institución educativa sin servicio de agua.

1.1.1. Problema General

¿Cómo implementar un panel de automatización en Home Assistant para controlar el abastecimiento de agua en el tanque elevado de la institución educativa particular El Carmen, en Cajamarca?

1.1.2. Problemas Específicos

- a. ¿Cómo implementar el módulo de adquisición de datos utilizando el SoC (System On a Chip) ESP32 y el sensor ultrasónico, para registrar el nivel de agua en el tanque elevado de la institución educativa particular El Carmen en Cajamarca?
- b. ¿De qué manera se desarrollará el panel de automatización en Home Assistant para registrar e identificar las horas críticas de consumo que disminuyen el nivel de agua en el tanque elevado de la institución educativa particular El Carmen en Cajamarca?
- c. ¿Cómo se integrará el módulo de automatización con IoT (Internet Of Things) para atender los niveles críticos de funcionamiento del abastecimiento de agua en el tanque elevado de la institución educativa particular El Carmen en Cajamarca?

1.2 Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Implementar un panel de automatización en Home Assistant para controlar el abastecimiento de agua en el tanque elevado de la institución educativa particular El Carmen, en Cajamarca.

1.2.2. Objetivos Específicos

- a. Implementar el módulo de adquisición de datos utilizando el SoC ESP32 y el sensor ultrasónico, para registrar el nivel de agua en el tanque elevado de la institución educativa particular El Carmen en Cajamarca.
- b. Desarrollar el panel de automatización en Home Assistant para registrar e identificar las horas críticas de consumo que disminuyen el nivel de agua en el tanque elevado de la institución educativa particular El Carmen en Cajamarca.
- c. Integrar el módulo de automatización con IoT para atender los niveles críticos de funcionamiento del abastecimiento de agua en el tanque elevado de la institución educativa particular El Carmen en Cajamarca.

1.3 Importancia y justificación

1.3.1. Importancia

Este proyecto es importante porque permite dar solución al problema de falta y/o desperdicio de agua en el tanque elevado de la institución educativa particular El Carmen en Cajamarca.

1.3.2. Justificación

Este proyecto se justifica porque asegura el abastecimiento de agua en dicho tanque en todo momento; y, de esta manera se logra evitar la intervención del usuario en el funcionamiento de la bomba sumergible previendo el rebalse o secado del tanque elevado.

1.4 Limitaciones

- Desde el punto de vista espacial, el presente proyecto de tesis se limita a la implementación de un sistema de monitoreo y automatización para el tanque elevado de la Institución Educativa Particular El Carmen situado en el distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca y región de Cajamarca.
- Desde el punto de vista teórico, se limita al uso de un tipo de control ON/OFF con histéresis que es accionado dependiendo del nivel de agua en el tanque elevado, y de igual manera es pertinente destacar la importancia de la disponibilidad de una red inalámbrica en el tablero de control manual y el tanque elevado.
- Desde el punto de vista temporal, se limita al periodo de ejecución comprendido entre el mes de mayo y setiembre del año 2023.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Histórico

A través de la historia se conoce la tendencia del ser humano para tratar de programar y automatizar las tareas del día a día, con el propósito de ahorrar tiempo y dinero, lo cual a lo largo del tiempo ha generado la existencia del término domótica; por lo tanto, es pertinente conocer acerca de su reciente evolución.

Hace unos años los sistemas domóticos para el hogar estaban al alcance de muy pocas familias debido al alto coste económico que ofrecían las empresas por los sistemas que te proporcionaban. Con el paso del tiempo, el alza de la tecnología y la multitud de dispositivos conectados (IoT) con un precio más asequible, ha sido posible crear viviendas conectadas capaces de ofrecernos multitud de opciones. (Romero Cabrera, 2019, p. 31)

Asimismo (Romero Cabrera, 2019) expone que:

El Internet de las Cosas (IoT) ha creado una generación de dispositivos que no solo pueden ser controlados por personas a través de botones o controles remotos, sino que también proporcionan una interfaz para comunicarse con otros dispositivos y aplicaciones.

No existía un estándar abierto ampliamente adoptado para la comunicación de dispositivos inteligentes. Esto evitaba que muchos dispositivos se comunicaran entre sí e incluso si pudieran, la mayoría de los dispositivos no están diseñados para administrar otros dispositivos. (p. 37)

Es un hecho que en los últimos años varios dispositivos tecnológicos han ido integrando progresivamente el IoT en su funcionamiento, agregando funciones de control y monitoreo a un bajo coste, como consecuencia diversas marcas seguirán sumándose a lo largo de los próximos años, sin embargo, una de las grandes limitantes en esta tendencia es la interoperabilidad entre fabricantes, lo cual resulta en un reto importante en la consolidación de IoT en la domótica.

2.2. Investigaciones relacionadas con el Tema

Con el fin de tener un panorama mucho más amplio de cómo ha ido desarrollándose este tema en los últimos años es pertinente tener un punto de vista nacional e internacional, en el aspecto nacional:

En el trabajo final de grado Sistema Automático de Supervisión y Control de Nivel del Tanque Elevado Para Garantizar el Abastecimiento de Agua en la Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo (Maz Ventura & Vela Ortiz, 2018), se tuvo como finalidad el diseño y simulación de un sistema automático de activación de 2 electrobombas y la válvula de salida según el nivel del tanque y la cisterna. Se utilizó un programa secuencial en Diagrama de Escalera (LADDER) en un PLC monitoreado desde un SCADA. Como resultados obtuvieron el diseño del sistema SCADA a usarse, el diseño del radio enlace para poder comunicarse entre el centro de control y el tanque elevado además de seleccionar los equipos de supervisión y control a utilizarse.

El aporte del antecedente mencionado radica en tener como referencia los parámetros de instalación y funcionamiento de un sistema de radio enlace IP de la marca Ubiquiti, con el fin de seleccionar un sistema de similares características, pero probablemente de algún otro fabricante.

En el trabajo de final de grado Sistema de Monitoreo del Nivel de Agua en los Tanques Elevados, para empresas avícolas usando la arquitectura JAVA J2EE y plataforma de prototipos electrónica – Arduino (Guerrero Cruz & Games Segales, 2017), se tuvo como finalidad diseñar y evaluar un sistema de monitoreo del nivel de agua en los tanques elevados a un bajo coste y con comunicación vía mensaje de texto (SMS). Para su desarrollo se utilizó la plataforma Arduino junto a JAVA, APP Inventor2 y MySQL Server, teniendo como objetivo reducir costes, como resultado se obtuvo el diseño e implementación de una interfaz en tiempo real.

El aporte del antecedente mencionado radica en que se utilizó el sensor HC-SR04 y al haber tenido una fase de experimentación el autor comenta que el rango teórico de medición es totalmente distinto a lo que se logró en la práctica, con lo cual es un dato muy importante para poder determinar el sensor adecuado para esta tesis.

En el aspecto internacional se tiene:

En el artículo científico de IEEE Explore Integration of a Video Surveillance System Into a Smart Home Using the Home Assistant Platform (Akhmetzhanov et al., 2022), se consiguió integrar Home Assistant en el monitoreo de cámaras de vigilancia, logrando reducir costes en las suscripciones cobradas por compañías de seguridad, en el aspecto de hardware se utilizó una tarjeta Raspberry implementada en la red local de las cámaras.

El aporte de este artículo científico es la utilización de software libre para optimizar costos.

El artículo científico de (Zharikov et al., 2022), Design and Implementation of Home Assistant and TouchGFX Interaction Based on STM32 Microcontroller, propuso un método que implica crear un complemento: el traductor de mensajes de JSON a protobuf y una mayor visualización de los objetos incluidos en el sistema mediante el TouchGFX. El método propuesto reduce el uso de los recursos del microcontrolador hasta en un 80%, excluye la posibilidad de fallas de software causadas por el desbordamiento de la RAM durante la decodificación de mensajes y reduce la carga en los canales de transmisión de información (Wi-Fi, UART) hasta 10 veces.

Este antecedente aporta a ratificar el uso del sistema operativo Home Assistant, ya que demuestra gran optimización de los recursos de hardware.

Así como también, en el artículo científico de (Carrera García & Landeros Bañuelos Juan Luis, 2015), se expone un sistema basado en tecnología inalámbrica para monitorear y controlar el sistema de bombeo de agua, con el objetivo de optimizar este recurso, dentro de sus conclusiones mencionan que la escasez de agua potable se debe a la activación y desactivación manual de las bombas sin ningún control ni registro, lo que provoca frecuentes fallos en el sistema de distribución debido a errores o fallos humanos.

El aporte a este trabajo consolida la existencia de fallos humanos en los sistemas de distribución manual de agua, generando la necesidad de instrumentar y automatizar algunos procesos.

2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1. Home Assistant

Según (Hernandez, 2022) :

Home Assistant es un sistema de automatización del hogar de código abierto. Puede ejecutarlo localmente en su servidor o incluso en una Raspberry Pi. Es un proyecto muy maduro, que integra más de 1.900 dispositivos y servicios.

Aunque Home Assistant nació como un sistema de domótica, también puedes usarlo como parte de un sistema IoT. (pp 314-315)

Asimismo (Romero Cabrera, 2019) define que:

Home Assistant es una plataforma open-source de automatización del hogar creada en Python 3 que permite, a través de diferentes módulos, la interacción con diferentes plataformas, servicios y dispositivos.

Cuenta con 1442 componentes disponibles perfectamente organizados en varias categorías como "Climate", "DIY", "Health", "Social", "Notifications" o "Weather". La idea de los componentes es proveer una interfaz de comunicación entre la plataforma y diferentes elementos externos que pueden ser plataformas online como IFTTT, iCloud o APIs de terceros, sistemas que comparten un elemento físico y una plataforma cloud como pueden ser Nest o las Philips HUE. (p. 33)

2.3.2. Tanque elevado

El Manual de Entrenamiento para Operadores de Sistemas de Distribución de Agua, refiere como definición:

Un tanque elevado consiste en un tanque que está sostenido por una torre de concreto o de acero. La mayoría de los tanques elevados se diseñan para operar juntamente con el sistema, en otras palabras, se conectan directamente a las líneas principales y el punto de rebose del tanque es la presión máxima del sistema. Ocasionalmente y por algunas razones el tanque no está lo suficientemente alto y la presión máxima del sistema lo hará rebosar. (American Water Works Association, 2012)

2.3.3. Raspberry Pi 4 modelo B

Según (Blum & Bresnahan, 2013) se define como:

Una computadora totalmente programable y muy económica que es lo suficientemente pequeña como para caber en la palma de su mano. Si bien el Raspberry Pi es pequeño en tamaño, tiene gran potencia. Puede usarlo como una computadora de escritorio normal o crear un proyecto. Por ejemplo, podría usar una Raspberry Pi para configurar su propio servidor de almacenamiento en la nube en el hogar. (p. 7)

La tabla 1 contiene los aspectos técnicos más relevantes del Raspberry Pi 4 modelo B, los cuales fueron tomados en cuenta en el momento de elección del hardware adecuado para esta tesis.

Tabla 1

Especificaciones técnicas del Raspberry Pi 4 modelo B.

Especificación	Detalle
Procesador	Broadcom BCM2711, Quad core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.8GHz
RAM	1GB, 2GB, 4GB o 8GB LPDDR4-3200 SDRAM
Conectividad	2.4 GHz and 5.0 GHz IEEE 802.11ac, Bluetooth 5.0 y Gigabit Ethernet.
Alimentación	5V DC via USB-C.

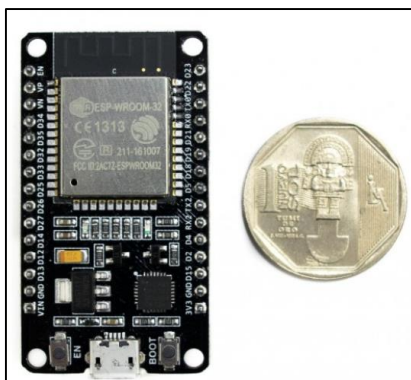
Nota. La capacidad de RAM utilizada en esta tesis es la variante de 8GB. Datos tomados de (© Raspberry Pi Ltd, 2023).

2.3.4. Microcontrolador ESP32 DEVKIT V1

La figura 1 muestra la tarjeta de desarrollo DEVKIT V1 muy utilizada en proyectos IoT que integra la plataforma ESP32. Asimismo, posee conectividad WiFi y Bluetooth, además de un CPU de 32-bit de doble núcleo Tensilica Xtensa LX6, cuenta con 30 pines en total.

Figura 1

Dimensiones de la tarjeta ESP32 DEVKIT V1.



Nota. Esta plataforma de desarrollo permite controlar todo tipo de sensores, módulos y actuadores. Fuente: (©2023 Naylamp Mechatronics SAC, 2023)

2.3.5. Sensor ultrasónico AJ-SR04M

Es un sensor especializado para medir distancias teniendo como características técnicas claves para esta tesis las detalladas en la tabla 2.

Tabla 2

Especificaciones técnicas del sensor AJ-SR04M.

Especificación	Detalle
Rango de medición	25cm a 450cm
Precisión	+/- 0.5 cm
Alimentación	5V DC a 30 mA
Ángulo efectivo	< 50°
Frecuencia de trabajo	40KHz
Temperatura de trabajo	-10°C hasta 70°C

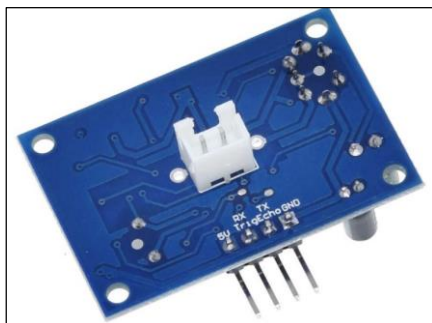
Nota. El sensor cuenta con una sonda de 2.5m de longitud la cual es resistente al agua.

Fuente: (MaxElectrónica, 2023)

En la figura 2 se observan la placa principal del sensor la cual dispone de 4 pines, dos pines para la alimentación, un pin para indicar cuando se emite el pulso (Trig), y otro pin que se utiliza para confirmar la señal de recepción de la onda reflejada (Echo).

Figura 2

Imagen del sensor AJ-SR04M.



Nota. Se muestra la parte trasera del sensor, en donde se ubica el conector para la sonda de medición. Fuente: (Chidananda, 2021)

2.3.6. *Commutator Wi-Fi*

La figura 3 muestra el componente IoT a utilizar en este proyecto, se trata de un relevador de 4 canales independientes del fabricante Sonoff y cuenta con la capacidad de conectarse a una red inalámbrica para poder ser accionado, es compatible con 3 modos de trabajo: autobloqueo, enclavamiento y entrada además de contar con soporte para montaje riel DIN.

Figura 3

Fotografía del accionador WiFi.



Nota. La carga máxima soportada por cada canal es de 10A.

2.3.7. *Control ON/OFF con histéresis*

El autor (Aparicio Arias, 2021) define que:

Es la característica, modo o algoritmo, con el cual el controlador calcula la señal de salida al elemento final de control, según la evolución de la variable de proceso y de su valor deseado, adicionalmente incorpora un retardo en el cambio de la señal para disminuir la cantidad de conmutaciones, prolongando la vida útil de los componentes.

2.3.8. *Bomba sumergible*

El autor (García Mompeán, 2021) define a la bomba sumergible como:

Las bombas de agua sumergibles son un tipo de bombas centrífugas que funcionan inmersas dentro de un fluido y sirven para captarlo y posteriormente trasladarlo a otra parte. Si introducimos una bomba de agua en un pozo, será capaz de drenarlo, conduciendo el agua hacia donde queramos en función del sistema de conducciones a las que esté conectada la bomba.

La figura 4 muestra la bomba sumergible utilizada por la institución educativa para bombear agua desde el pozo subterráneo hasta el tanque elevado.

Figura 4

Fotografía de la bomba sumergible.



Nota. Se muestra la bomba sumergible utilizada para abastecer con agua el tanque elevado, las principales características técnicas se encuentran en el anexo 1.

2.4. Definición de términos básicos

2.4.1. IoT (Internet of Things)

Se refiere al colectivo de dispositivos que cuentan con la capacidad de enlazarse a un servidor o nube de determinado fabricante utilizando internet, con el objetivo de poder ser utilizado remotamente.

2.4.2. IPv4 (Internet Protocol versión 4)

Se refiere a la versión 4 del protocolo que permite identificar y localizar dispositivos en una red, es la base de cómo los dispositivos se comunican a través de redes locales e internet, se utiliza una dirección compuesta de cuatro grupos de números separados por puntos.

2.5. Diseño de la Investigación

2.5.1. Variables de investigación

a) Variable independiente: Panel de automatización en Home Assistant.

Dimensión: Control ON/OFF de bomba sumergible.

Indicador: Encendido o apagado.

Dimensión: Potencia de enlace WiFi

Indicador: En dBm.

b) Variable dependiente: Abastecimiento de agua en el tanque elevado.

Dimensión: Nivel de agua en el tanque elevado.

Indicadores: Altura en centímetros.

2.5.2. Tipo y Método de investigación

El tipo de investigación es aplicada y tecnológica, ya que resuelve un problema en un contexto específico, además utiliza los conocimientos teóricos existentes para abordar situaciones del mundo real, generando resultados tangibles y aplicables.

Se identifica una investigación tipo tecnológica ya que implica el estudio de conceptos, principios y procesos tecnológicos con el fin de desarrollar nuevos productos, mejorar los existentes o encontrar soluciones innovadoras a problemas técnicos.

En cuanto al método de investigación es empírico y experimental debido a que se basa en la evidencia observable y la recopilación de datos reales, de igual manera implica la manipulación controlada de variables para establecer relaciones causales entre ellas.

2.5.3. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

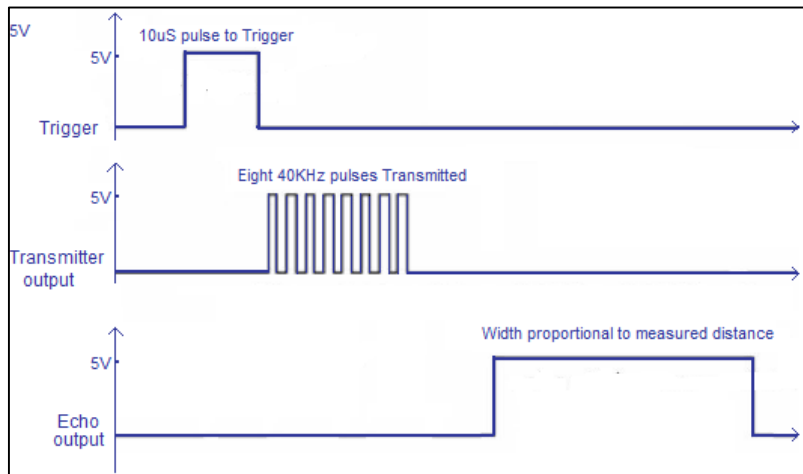
Como instrumento de recolección de datos se utilizó el sensor AJ-SR04M que al estar conectado al ESP32 envió las lecturas de nivel de agua en el tanque elevado, con un muestreo especificado en la programación.

Con el fin de entender el funcionamiento del sensor AJ-SR04 es indispensable tener en cuenta que la sonda de este contiene dos membranas, la trasmisora que se encarga de emitir un tren de pulsos, los cuales se reflejan en la superficie u objeto que se desea medir, siendo la membrana receptora la que recibe la onda reflejada, el tiempo que toma la recepción de dicha señal determinará la distancia.

La figura 5 muestra las señales implicadas en el funcionamiento descrito en el párrafo anterior.

Figura 5

Señales involucradas para obtener la distancia.



Nota. Inicia con la emisión de un pulso cuadrado de 5V durante 10µs llamado Trigger, con lo cual la membrana trasmisora emite un tren de 8 pulsos de 40 KHz, en seguida la membrana receptora recibe la onda reflejada y haciendo uso de la modulación por ancho de pulsos (PWM) emite un pulso cuadrado con un ancho proporcional al tiempo que tardó en recibir dicha señal. Fuente: Imagen extraída de (Cinjordiz, 2022).

Como el sensor se basa en medir el tiempo en µs entre el envío y la recepción de un pulso sonoro, es necesario transformar la velocidad a la que viaja el sonido en magnitud de cm/µs, dicha transformación se muestra en la ecuación 1.

Ecuación 1: Cambio de unidades.

$$\frac{343 \text{ m}}{\text{s}} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \times \frac{1 \text{ s}}{1000000 \text{ } \mu\text{s}} = 0.0343 \text{ cm}/\mu\text{s}$$

Nota. Extraído de (Proyectos JC, 2020)

Se sabe que la velocidad del sonido es de 343 m/s en condiciones de temperatura de 20°C, 50% de humedad y presión atmosférica a nivel del mar (Proyectos JC, 2020).

Una vez realizado el cambio de magnitud, se tiene que el sonido tarda 29.154 µs en recorrer 1 cm. De esta manera es posible obtener la distancia a partir del tiempo entre la transmisión (Tx) y la recepción (Rx) del pulso.

Con el fin de encontrar la expresión matemática que permita calcular la distancia, en la ecuación 2 se procede a despejar la distancia de la formula clásica de la velocidad.

Ecuación 2: Cálculo de distancia a partir de tiempo en milisegundos.

$$v = \frac{d}{t} \rightarrow t = \frac{d}{v}$$

$$tiempo = 2 \left(\frac{distancia}{velocidad} \right)$$

$$distancia = \frac{tiempo * velocidad}{2}$$

$$distancia = tiempo * \frac{0.0343}{2}$$

$$\boxed{distancia = tiempo * (0.01715)}$$

Nota. Se obtiene la expresión matemática para calcular la distancia en cm reemplazando solamente el tiempo en μs que tarda la señal reflejada en llegar a la membrana Rx.

Fuente: (Proyectos JC, 2020).

2.5.4. Procedimiento para la recolección de datos

La recolección de datos se ejecutó en dos etapas, las cuales se explican a continuación:

- La primera etapa de la recolección de datos comprende el sensor AJ-SR04M el cual obtuvo como dato el tiempo que tarda en recibir la onda reflejada.
- La segunda etapa de recolección de datos se llevó a cabo a nivel de hardware entre el ESP32 y el Raspberry Pi 4 modelo B mediante la red LAN, mientras que a nivel de software se utilizaron las herramientas de software presentes en el sistema operativo Home Assistant.

El procedimiento previsto se detalla a continuación:

- a. Se ingresó mediante la IP asignada al sistema operativo Home Assistant.
- b. Se seleccionó la sección de Historial.
- c. Se ejecutó el filtrado temporal correspondiente.
- d. Se obtuvieron las gráficas del nivel de agua en el tiempo.

CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL PROYECTO

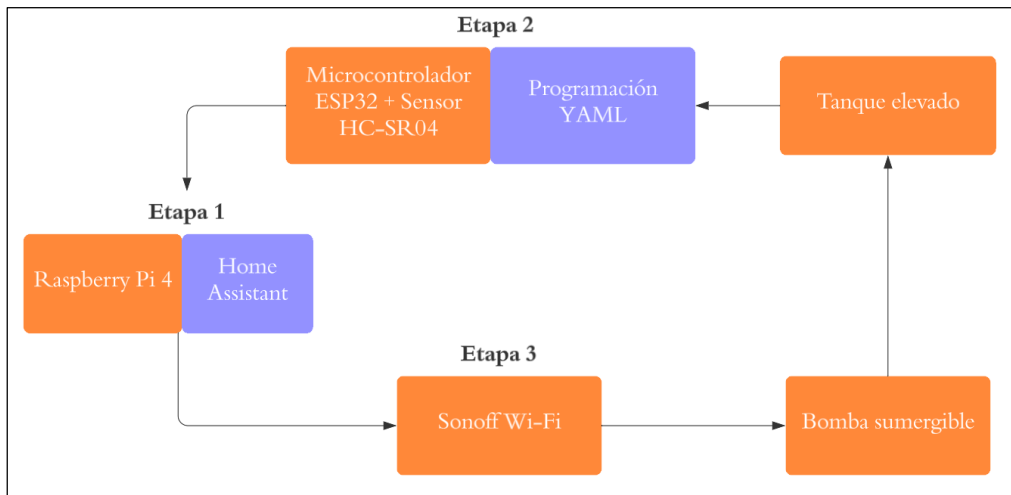
En el presente capítulo se detalla el diseño y el proceso de cada una de las etapas que componen la solución implementada.

3.1. Diagrama general del proyecto

Este trabajo de tesis ha sido dividido en varias etapas las cuales se componen de hardware y software y se encuentran representadas en la figura 6.

Figura 6

Diagrama general.



Nota. Se ilustra la interacción general de las etapas que conforman el trabajo de tesis. Fuente: Elaboración propia.

De la figura anterior se ilustra la Etapa 1 a nivel de hardware que se compone del microordenador Raspberry Pi modelo 4B, el cual tuvo como ubicación física el gabinete central de datos de la institución educativa. De esta manera, se asegura una conexión cableada (UTP CAT 5e) y como también es importante señalar que la comunicación de este bloque con los bloques 2 y 3 se llevó a cabo mediante puntos de acceso WiFi, es decir bajo el protocolo de internet IPv4 presente en la red local de la institución educativa. A nivel de software es importante señalar que en esta etapa se ejecutó el sistema operativo Home Assistant el cual se encargó de recibir los datos de nivel en el tanque elevado desde la Etapa 2 para registrarlos y mostrarlos en indicadores en la interfaz gráfica del panel de automatización. Es también pertinente indicar que el

sistema operativo mencionado se encargó de ejecutar el tipo de control ON/OFF de la bomba de agua sumergible convirtiendo de esta manera a la Etapa 1 en indispensable para el funcionamiento de la automatización.

Luego en la Etapa 2 se observa a nivel de hardware al microcontrolador ESP32 el cual se encuentra integrado dentro de la placa de desarrollo DevKit V1 conectado el sensor de ultrasonido HC-SR04. A nivel de software se integra la programación tipo YAML en donde se describe el algoritmo para adquirir la medición del nivel de agua en el tanque elevado.

Por último, la Etapa 3 se compone del interruptor de cuatro canales de fabricante Sonoff el cual representa la parte IoT de este proyecto, físicamente se implementó en el riel DIN del tablero de control manual de la bomba sumergible con el fin de realizar el control tipo ON/OFF de dicha bomba. A nivel de software es pertinente mencionar que se utilizó el servicio gratuito en la nube del fabricante para registrar el dispositivo y posteriormente se instaló el complemento de dicho servicio en el sistema operativo Home Assistant.

3.2. Etapa 1: Puesta en marcha de Home Assistant.

El sistema operativo Home Assistant es muy versátil y puede ejecutarse en distintos dispositivos y plataformas, en este caso se ejecutó en un Raspberry Pi 4 modelo B el cual necesita de una fuente de alimentación de 5V DC y 3A para su correcto funcionamiento.

3.2.1. Preparación del medio de instalación.

El medio de instalación que se utilizó se observa en la figura 7, se trata de una memoria MicroSD perteneciente a la clase 10, lo cual garantiza una velocidad de 10MB/s y un desempeño de 1500 IOPS (Input/Output Operations Per Second) de lectura aleatoria y 500 IOPS de escritura aleatoria.

Figura 7

Medio de instalación MicroSD.

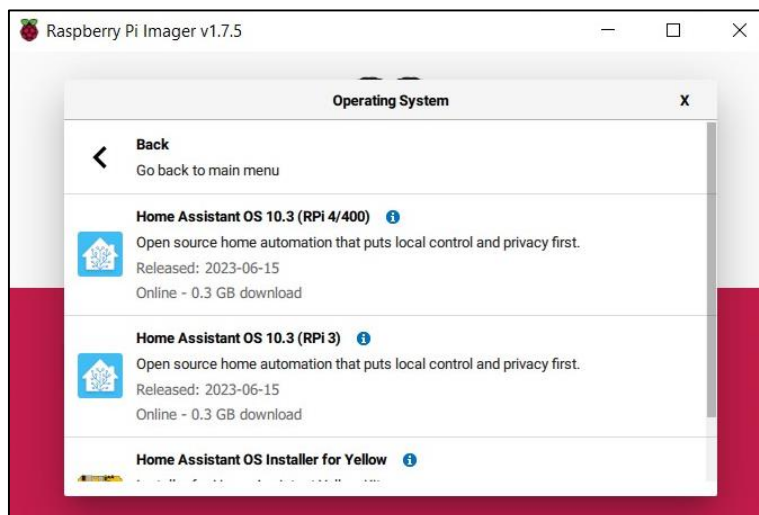


Nota: Fotografía de la memoria Micro SD utilizada en el trabajo de tesis, del fabricante San Disk.

Para que Home Assistant pudiera ejecutarse correctamente en el Raspberry Pi 4 modelo B fue indispensable hacer uso del software llamado Raspberry Pi Imager v1.7.5 con el fin de descargar e instalar la versión más reciente de Home Assistant como se muestra en la figura 8.

Figura 8

Utilizando Raspberry Pi Imager.



Nota: Captura de pantalla en el momento previo a iniciar la instalación de Home Assistant en la memoria Micro SD.

3.2.2. Configuración inicial.

Luego de haber extraído el medio de instalación de la computadora, se procedió a colocar la tarjeta MicroSD en la ranura correspondiente del Raspberry Pi 4 modelo B además se conectó la fuente de alimentación y el cable de red LAN como se observa en la figura 9, para luego proceder al primer encendido.

Figura 9

Primer encendido de Raspberry Pi 4 modelo B.

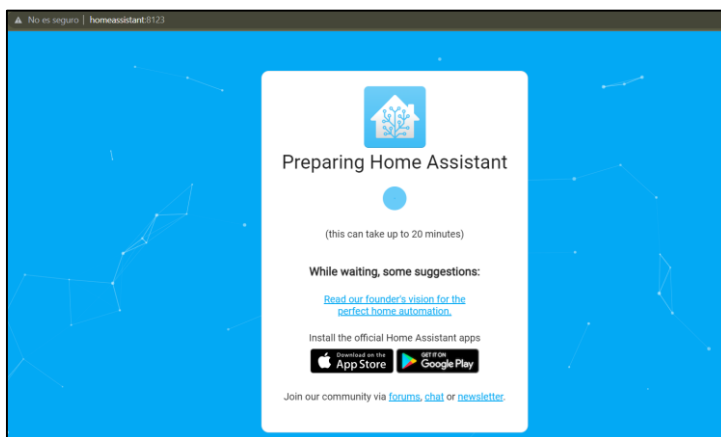


Nota: Fotografía del Raspberry Pi 4 modelo B en funcionamiento.

Haciendo uso del navegador Google Chrome se procedió a ingresar el dominio indicado en el sitio web de Home Assistant (<http://homeassistant:8123/>) lo que llevó a una pantalla de espera como se muestra en la figura 10.

Figura 10

Pantalla de espera de preparación de Home Assistant.

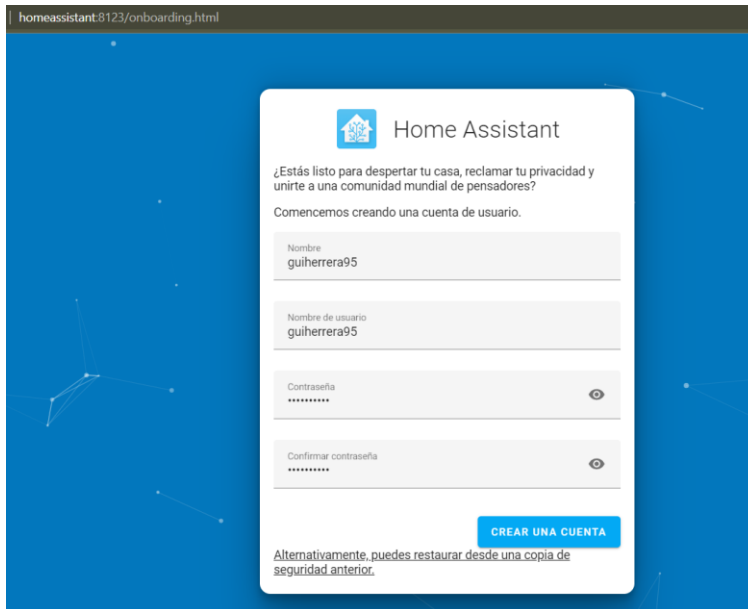


Nota: Captura de pantalla al iniciar la preparación de Home Assistant para primer inicio.

En la figura 11 se muestra cómo se procedió a crear los datos de autenticación del usuario con el fin de evitar acceso no deseado.

Figura 11

Pantalla de registro de nuevo usuario en Home Assistant.

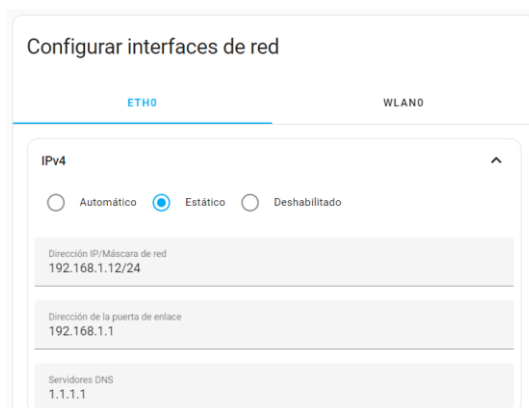


Nota: Captura de pantalla correspondiente a la creación del usuario con privilegios de administrador.

Para garantizar la disponibilidad de acceso a Home Assistant se configuraron los siguientes parámetros de red mostrados en la figura 12.

Figura 12

Configuración de la interfaz de red cableada.



Nota: Se le asignó la IP privada 192.168.1.12 con el fin de poder mejorar la probabilidad de ingresar a Home Assistant en caso el nombre de dominio falle.

3.2.3. Diseño del panel de automatización.

El panel de automatización tuvo como objetivo de diseño, ser lo más simple posible, es decir, tener al alcance la lectura del nivel actual, un registro del nivel en el tiempo y un interruptor para el accionamiento manual de la bomba sumergible, todo esto con el fin de lograr un panel amigable con el usuario final.

El diseño final del panel de automatización incorporó 3 tipos de indicadores los cuales se muestran en la figura 13.

Figura 13

Tipos de indicadores utilizados en el panel de automatización.



Nota: Es pertinente indicar que el icono con fondo azul indica que la bomba sumergible esta apagada, mientras que el fondo amarillo indica que se encuentra en funcionamiento.

3.2.4. Configuración del sistema de automatización.

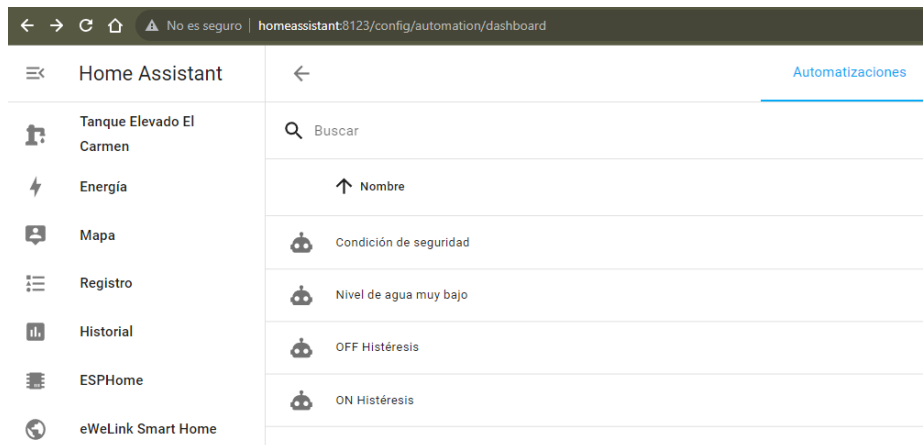
Para la parte de automatización de la bomba sumergible se utilizó la sección de automatización con la que cuenta el sistema operativo Home Assistant, como se observa en la figura 14 se crearon cuatro reglas de automatización que se explican a

continuación:

1. Condición de seguridad: Parámetro para establecer el nivel máximo antes de que el tanque elevado empiece a rebosar.
2. Nivel de agua muy bajo: Parámetro para establecer el nivel mínimo antes que se acabe el agua en el tanque y a su vez emitir una alerta a un dispositivo móvil determinado.
3. OFF Histéresis: Parámetro para establecer el apagado automático de la bomba sumergible.
4. ON Histéresis: Parámetro para establecer el encendido automático de la bomba sumergible.

Figura 14

Automatizaciones utilizadas.



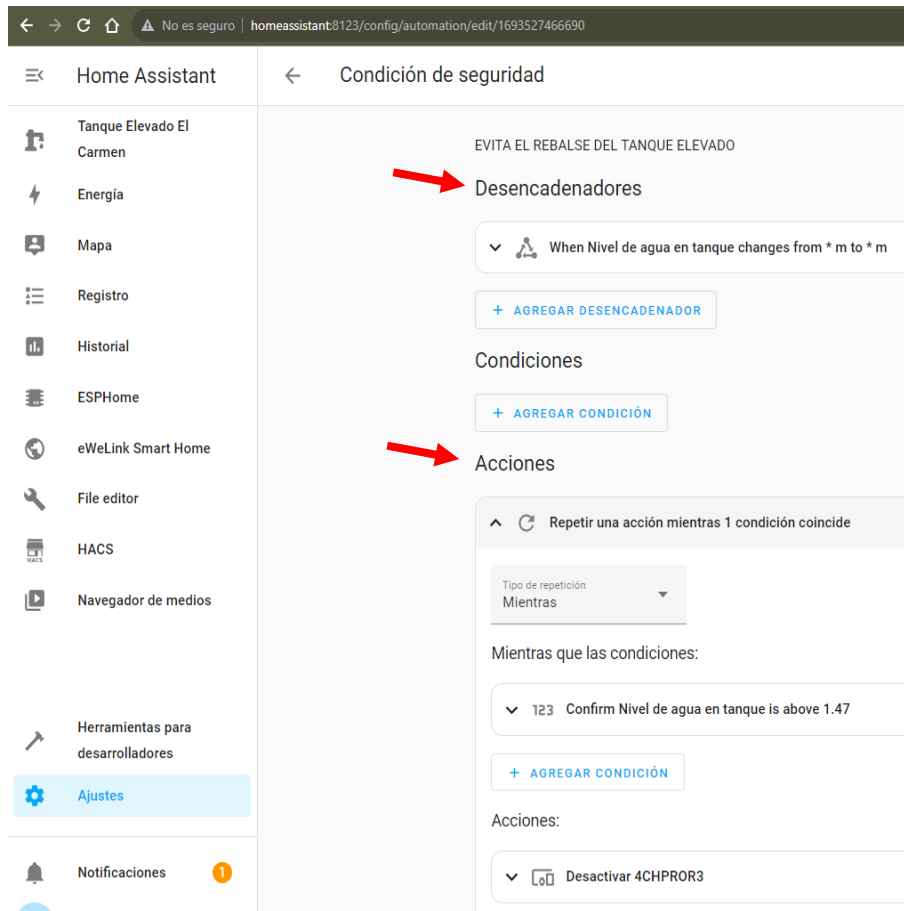
Nota: Captura de pantalla de la vista de reglas de automatización.

Es pertinente indicar que las reglas de automatización pueden componerse de: desencadenadores, condiciones y acciones. En el caso de esta tesis se utilizaron los tres elementos.

La figura 15 muestran la estructura de la regla ‘Condición de seguridad’, dicha regla se compone de un desencadenador y una acción y su propósito fue evitar el rebose del tanque inclusive si alguien enciende la bomba sumergible manualmente.

Figura 15

Componentes de la regla de automatización llamada: Condición de seguridad.



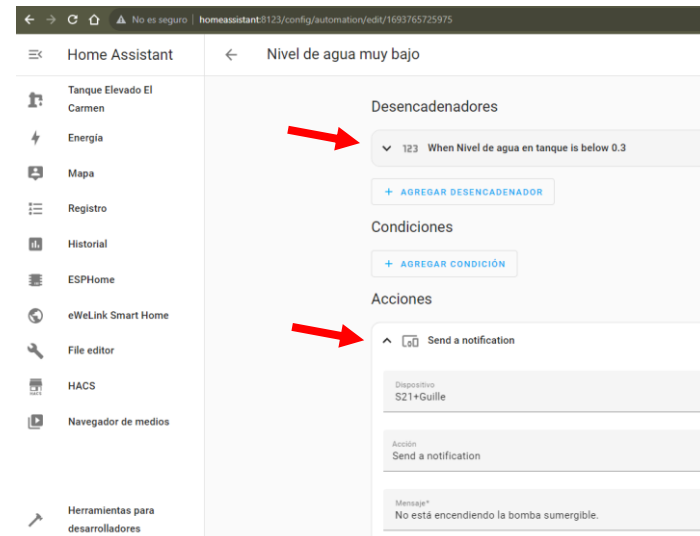
Nota: La regla se activa cuando el desencadenador de estado numérico del sensor de nivel detecta un cambio de lectura lo que acciona el relé del canal 1, causando el apagado de la bomba sumergible, esta acción se repetirá siempre que el nivel del tanque elevado sea mayor a la altura establecida.

La figura 16 muestra la estructura de la regla ‘Nivel de agua muy bajo’, dicha regla se compone de un desencadenador y una acción, su propósito fue enviar una notificación al dispositivo S21+ con el mensaje de que la bomba sumergible no está encendiendo.

Por otro lado, la figura 17 muestra la estructura de la regla ‘OFF Histéresis’, dicha regla se compone de un desencadenador, una condición y una acción, su propósito fue apagar la bomba sumergible cuando se sobrepasa la zona muerta determinada.

Figura 16

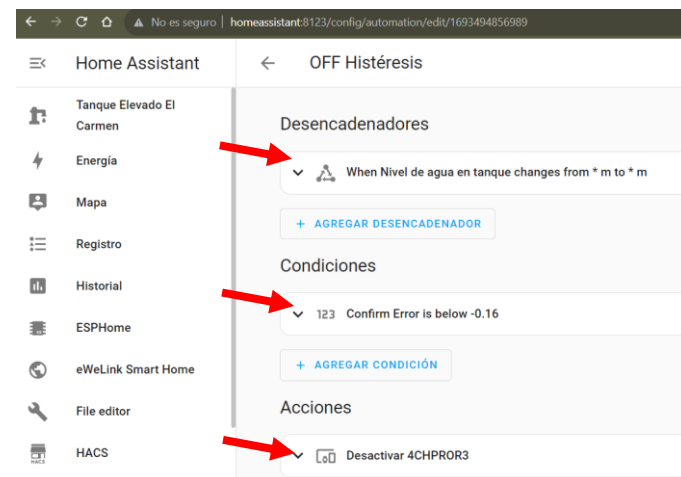
Componentes de la regla de automatización llamada: Nivel de agua muy bajo.



Nota: La regla se activa cuando el desencadenador de estado numérico del sensor cae debajo de los 0.3 m, lo que ejecuta el envío de una notificación al dispositivo 'S21+Guille' que alerta sobre un problema en el encendido de la bomba sumergible.

Figura 17

Componentes de la regla de automatización OFF Histéresis.

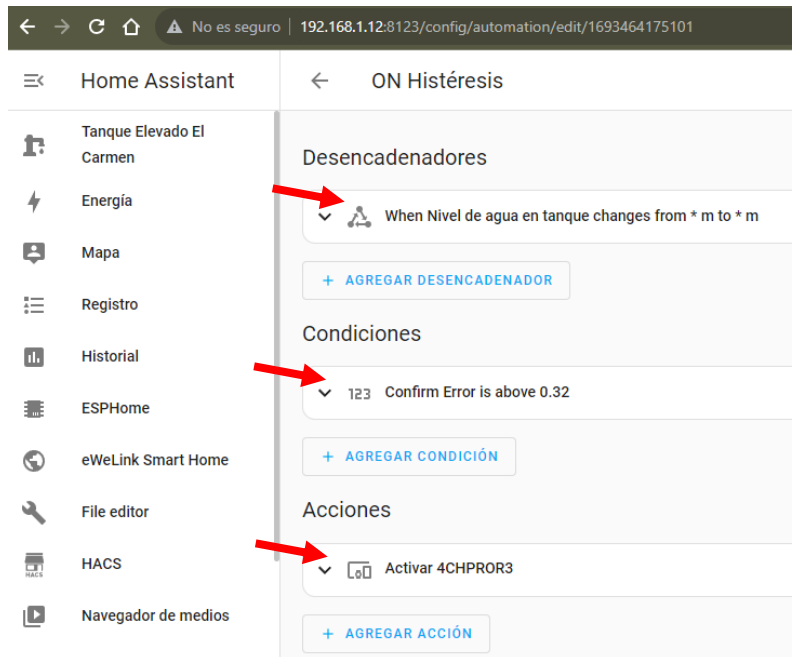


Nota: Esta regla se desencadena al detectar algún cambio en la lectura del sensor, para luego confirmar si el margen de error está por debajo de lo configurado y de esta manera apagar la bomba sumergible.

Luego, la figura 18 muestra la estructura de la regla 'ON Histéresis', dicha regla se compone de un desencadenador, una condición y una acción, su propósito fue encender la bomba sumergible cuando se sobrepasa la zona muerta determinada.

Figura 18

Componentes de la regla de automatización ON Histéresis.



Nota: Esta regla se desencadena al detectar algún cambio en la lectura del sensor, para luego confirmar si el margen de error está por encima de lo configurado y de esta manera encender la bomba sumergible.

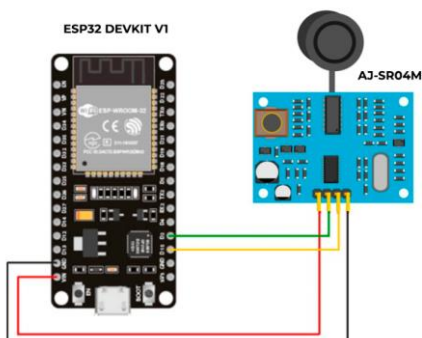
3.3. Etapa 2: Puesta en marcha del ESP32 y sensor AJ-SR04M.

3.3.1. Diseño del esquemático.

La figura 19 muestra el diseño circuital que compone la Etapa 2, destacan los pines D15 y D2 los cuales fueron asignados para trabajar como Echo y Trigger respectivamente.

Figura 19

Esquemático de conexión de la Etapa 2.



Nota. Diagrama esquemático de conexión entre el sensor AJ-SR04M con el microcontrolador ESP32. Fuente: Elaboración propia.

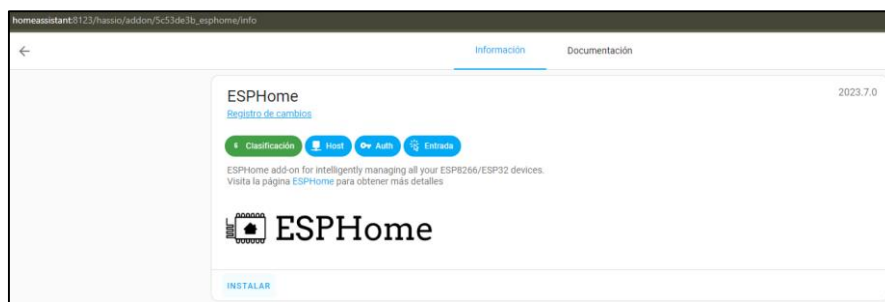
3.3.2. Instalación y configuración del complemento ESP Home.

Con el fin de integrar la Etapa 1 con la Etapa 2 se realizó la instalación del complemento llamado ESP Home, el cual permite adoptar diversos dispositivos ESP en Home Assistant.

Se procedió a buscar dicho complemento en el repositorio de Home Assistant como se muestra en la figura 20.

Figura 20

Complemento ESPHome antes de la instalación.

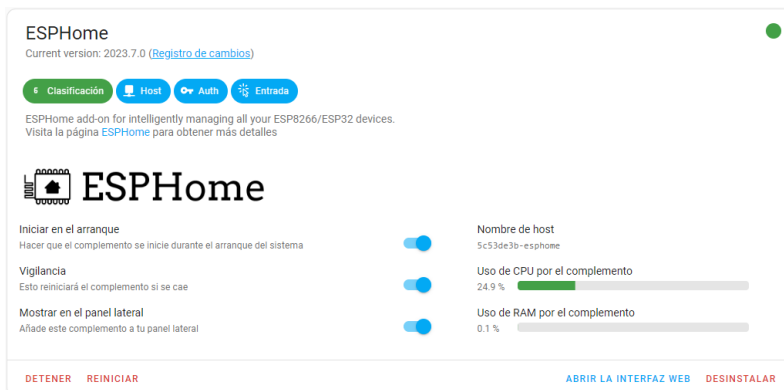


Nota: Captura de pantalla de la sección de información del complemento ESPHome.

Después de que el complemento se instaló correctamente la figura 21 muestra la configuración aplicada con el fin de asegurar la ejecución automática del mismo al encender el Raspberry Pi 4 modelo B como también se configuró la opción de vigilancia para que reinicie el complemento al cerrarse inesperadamente.

Figura 21

Complemento ESPHome después de la instalación.

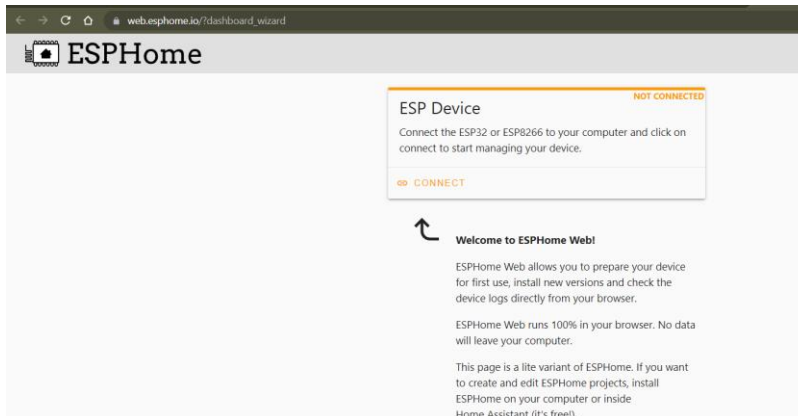


Nota: Captura de pantalla que muestra los recursos utilizados del Raspberry Pi 4 modelo B por el complemento ESPHome.

La figura 22 muestra el asistente de ESP Home para añadir nuevos dispositivos al panel principal del complemento.

Figura 22

Asistente para añadir nuevos dispositivos en ESPHome.

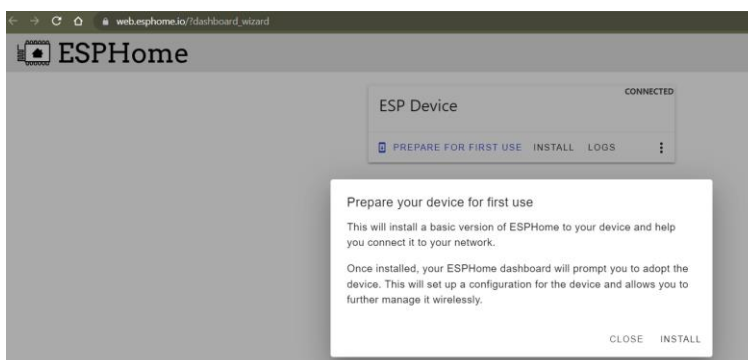


Nota: Captura de pantalla que muestra como ESPHome se integra al 100% en el navegador, permitiendo añadir dispositivos para su primer uso.

Se procedió a conectar el ESP Home a la computadora mediante un cable USB-A a MicroUSB, como se muestra en la figura 23 se instaló una versión base actualizada para que pudiera conectarse a la red WLAN y poder programar correctamente la tarjeta de desarrollo inalámbricamente.

Figura 23

Instalación de versión base de ESP Home en ESP32.

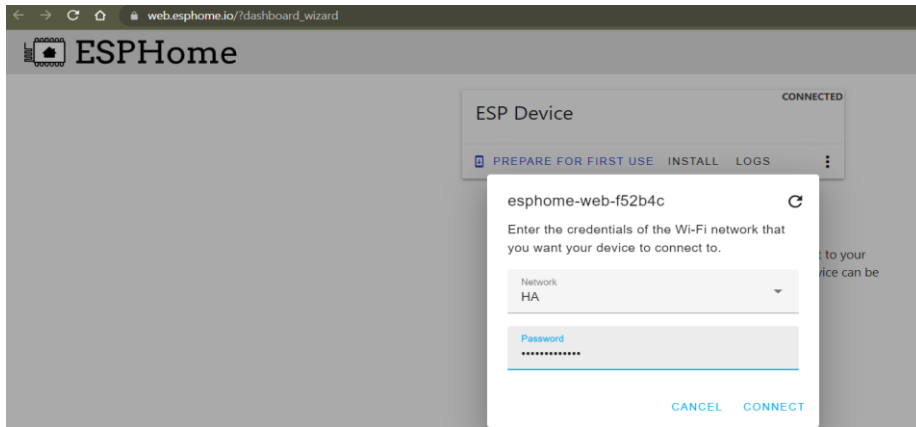


Nota: Captura de pantalla que muestra el inicio del proceso de instalación de la versión base de ESPHome en el hardware ESP32 con el fin de asociar dicho microcontrolador al complemento ESPHome.

Una vez finalizada la instalación de la versión base, en la figura 24 se muestra el proceso de configuración de conexión a la red inalámbrica con la que se trabajó en este proyecto.

Figura 24

Configuración de red WLAN.

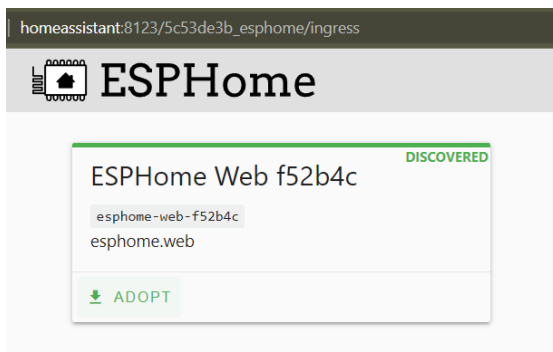


Nota: Captura de pantalla que muestra cómo se establecieron los parámetros de conexión inalámbrica en el ESP32.

Al finalizar con la configuración de la red y habiendo desconectado el ESP32 de la computadora, la figura 25 muestra como Home Assistant reconoció el dispositivo mediante el complemento ESP Home, además muestra la opción de adopción disponible con la que se pudo finalizar con el proceso de integración de la tarjeta electrónica ESP32 DEVKIT V1 con el sistema operativo Home Assistant.

Figura 25

Adopción del ESP32.



Nota. Captura de pantalla que muestra la opción de adopción habilitada, lo que representa el paso final de la configuración del complemento ESPHome.

3.3.3. Programación YAML.

Con el fin de que la Etapa 2 se comporte según lo esperado fue necesario describir su programación utilizando el lenguaje YAML, dicha programación guardó datos de configuración como nombre del dispositivo, clave del API de Home Assistant, nombre de la red WLAN con la cual se realizará la conexión y el algoritmo para el uso del sensor AJ-SR04M.

Se utilizó la herramienta ESPHome, la cual se encargó de crear un firmware personalizado para el ESP32 en base a un fichero en lenguaje YAML.

La figura 26 muestra las líneas de código más relevantes de la programación utilizada y el código completo se encuentra en el anexo 2. Las líneas 33 y 34 se encargan de ejecutar el sensor y llamar a la librería ultrasonic, luego en las líneas 35 y 36 se especificaron los pines de funcionamiento de Trigger y Echo respectivamente, en seguida la línea 37 estableció el intervalo de muestreo, la línea 38 asignó el nombre de la variable, la línea 39 configuró la unidad de medida a utilizar, la línea 40 determinó el redondeo de la lectura a un decimal, la línea 41 estableció el tiempo de espera máximo proporcional a los 4 metros y la línea 42 determinó el ancho del pulso de la señal Trigger.

Figura 26

Programación YAML.

```
33  sensor:
34    - platform: ultrasonic
35      trigger_pin: 2
36      echo_pin: 15
37      update_interval: 1s
38      name: "Nivel de agua en tanque"
39      unit_of_measurement: "cm"
40      accuracy_decimals: 1
41      timeout: 4m
42      pulse_time: 20us
43
44      filters:
45        - lambda: return x*100;
46        - filter_out: nan
```

Nota. Se muestra una captura de pantalla del código fuente donde en la línea 45 se utilizó la función lambda con el fin de multiplicar el resultado obtenido por el sensor por 100 para convertir dicho valor a centímetros.

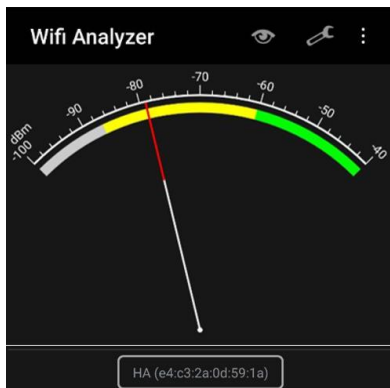
3.3.4. Instalación de punto de acceso inalámbrico

Fue de suma importancia poder garantizar una conexión WiFi confiable entre la Etapa

2 y las Etapas 1 y 3, para lo cual antes de la implementación se realizó la medición de potencia correspondiente a la red WLAN de la institución educativa, en el sitio en donde se iba a instalar la Etapa 2. La figura 27 muestra los resultados de dicha prueba.

Figura 27

Potencia de red WLAN en campo.



Nota. Utilizando la aplicación WiFi Analyzer se realizó la lectura de potencia de la red WLAN de la institución educativa en donde se encuentra tanque elevado, dando como resultado -79dBm.

Teniendo en cuenta la lectura obtenida en la figura anterior se realizó la instalación de un punto de acceso inalámbrico adicional con el propósito de mejorar la cobertura en la ubicación del tanque elevado, se utilizó un punto de acceso del fabricante TP-Link, modelo TL-WA7210N. Lo utilizado en la implementación se muestra en la figura 28.

Figura 28

Componentes para la nueva WLAN.



Nota. También se utilizó un cable UTP-Cat 5e de 12 metros de longitud.

3.3.5. *Instalación de la Etapa 2 en el tanque elevado.*

El tanque elevado utilizado en esta tesis pertenece a la Institución Educativa Privada El Carmen, dicho tanque se observa en la figura 29.

Figura 29

Fotografía del tanque elevado de la institución educativa.



Nota: Fotografía que muestra el tanque elevado.

Es importante también conocer las especificaciones de construcción del tanque elevado, las cuales se muestran en la tabla 3.

Tabla 3

Especificaciones del tanque elevado.

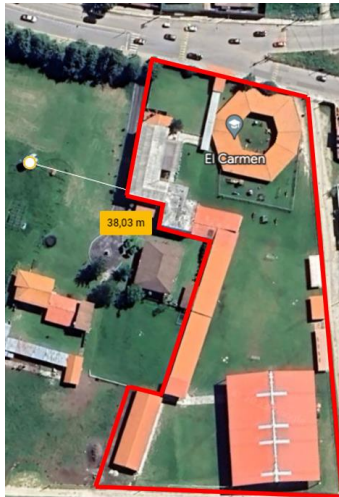
Especificación	Detalle
Elevación	5.30 m
Diámetro	2.9 m
Altura	1.5 m
Volumen	9.91 m ³

Nota: Elaboración propia en base a medición de campo.

Es pertinente señalar la distancia a la que se encuentra el tanque elevado de la institución educativa, lo cual se especifica en la figura 30.

Figura 30

Vista satelital.



Nota: La distancia a la cual el tanque elevado se encuentra de la institución educativa es de 38m.

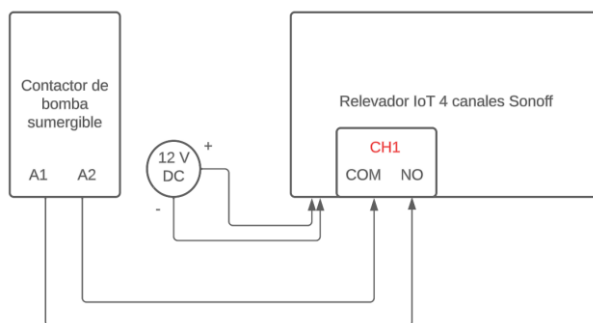
3.4. Etapa 3: Integración de relevador IoT Sonoff.

3.4.1. Diseño del esquemático.

El diseño esquemático de la figura 31 muestra el conexionado que se utilizó para poder integrar los contactores que activan el encendido de la bomba de agua sumergible con el relevador de 4 canales IoT.

Figura 31

Conexionado de los componentes de la Etapa 3.



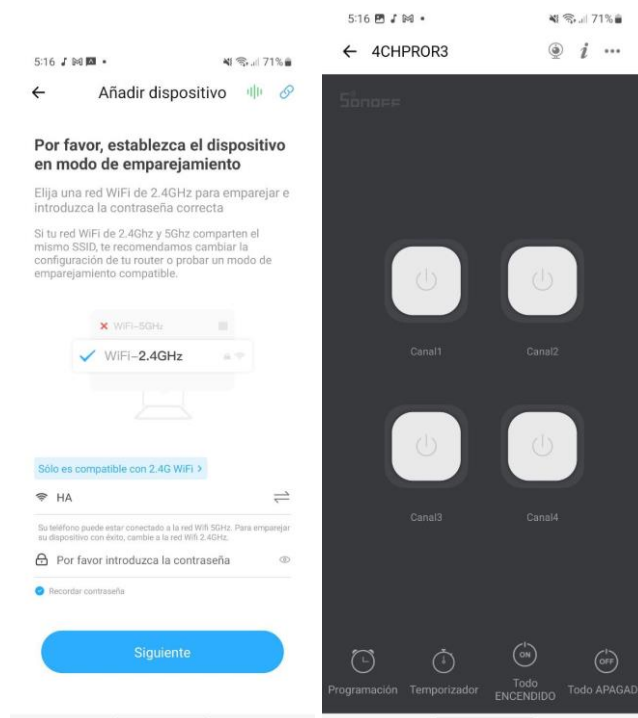
Nota: Muestra el conexionado de los terminales A1 y A2 pertenecientes a la bobina electromagnética que enciende y apaga la bomba sumergible.

3.4.2. Registro del dispositivo IoT en eWeLink.

eWeLink es un aplicativo diseñado para acceder a la nube del fabricante Sonoff, por lo que fue necesario registrarse haciendo uso de un correo electrónico, para luego proceder a añadir el dispositivo IoT utilizado en esta tesis, la figura 32 muestra parte de la interfaz del aplicativo mencionado.

Figura 32

Asociando dispositivo IoT y primer vistazo de la interfaz eWeLink.



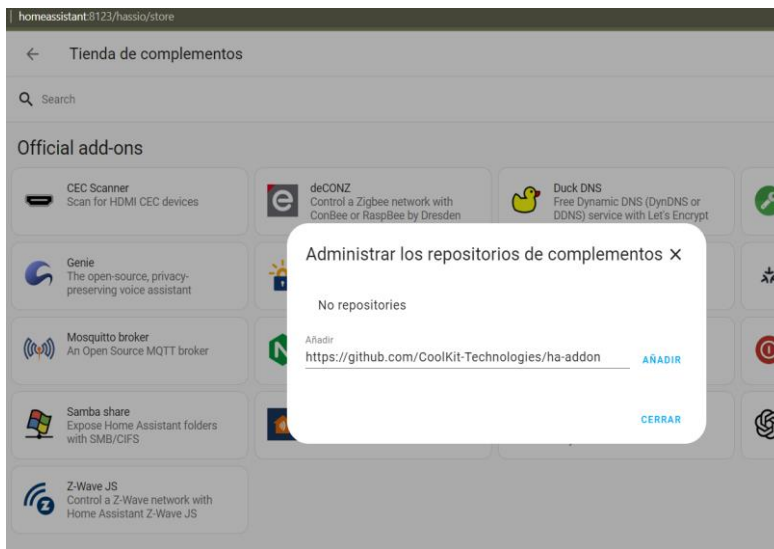
Nota: La captura de pantalla de la izquierda muestra cómo fue necesario añadir el dispositivo IoT a la cuenta creada, mientras que la captura de la derecha muestra la interfaz de control una vez añadido el dispositivo utilizado en esta tesis.

3.4.3. Instalación del complemento eWeLink en Home Assistant.

Para poder integrar el servicio en la nube de eWeLink a Home Assistant se utilizó la sección de complementos de Home Assistant mediante la opción de agregar repositorios como se muestra en la figura 33.

Figura 33

Añadiendo repositorio de eWeLink.

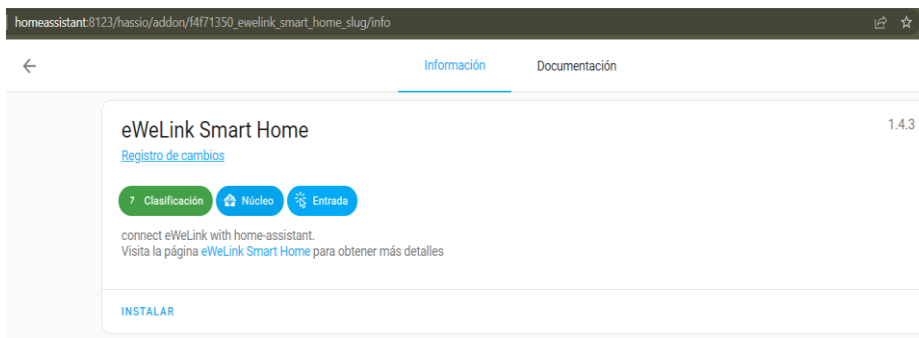


Nota: La captura de pantalla muestra la capacidad de Home Assistant para poder añadir repositorios personalizados, de esta manera no se limita al uso exclusivo de complementos oficiales.

Al agregar dicho repositorio se puede observar en la figura 34 que el complemento de eWeLink se encuentra disponible para su instalación.

Figura 34

Instalando complemento eWeLink.

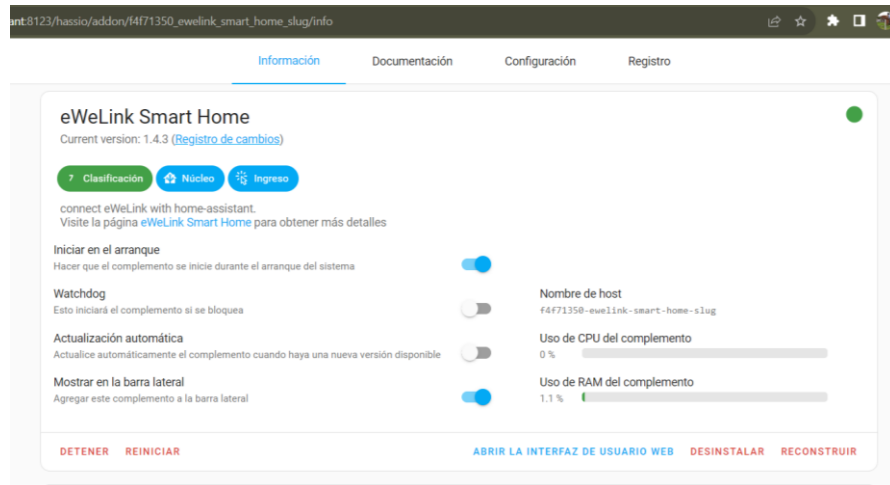


Nota: Se muestra cómo se habilitó la opción de instalación de un complemento personalizado.

Para finalizar con este capítulo se verifica en la figura 35 la ejecución del complemento añadido, así como las opciones disponibles.

Figura 35

Verificación de ejecución del complemento eWeLink.



Nota: Se observan datos importantes como el porcentaje de uso de recursos de CPU y RAM del Raspberry Pi4 modelo B.

CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS

Los resultados obtenidos en este capítulo fueron obtenidos de manera parcial en las secciones 4.1 y 4.2 mientras que los resultados totales y finales se obtuvieron en la sección 4.3.

4.1. Pruebas de funcionamiento de las etapas.

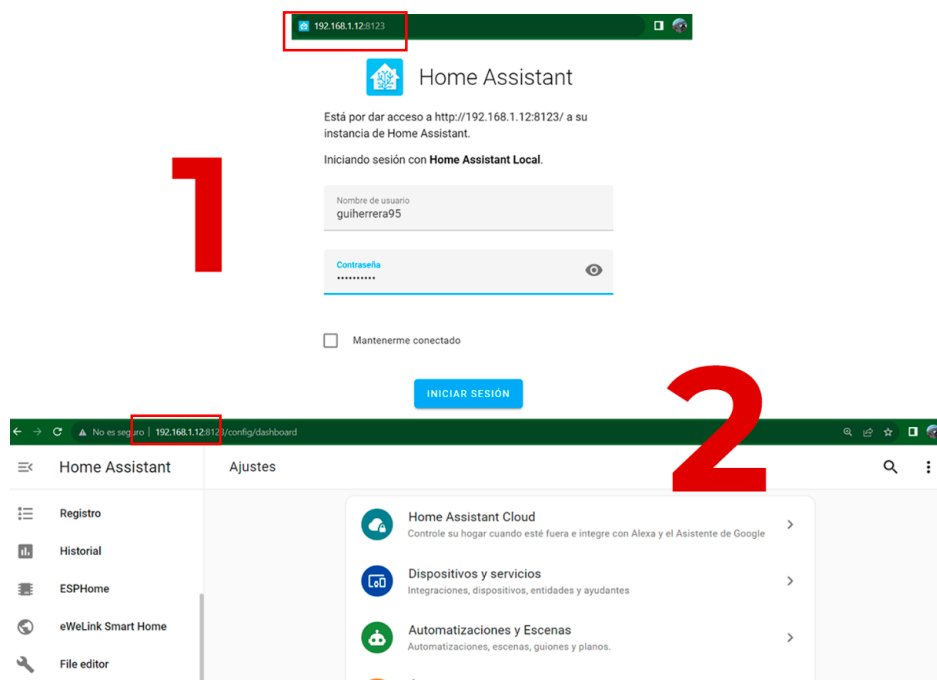
Con el propósito de poder garantizar la confiabilidad del funcionamiento final de esta tesis, en primer lugar, fue necesario realizar pruebas parciales por etapas antes de su integración, con el fin de gestionar correcciones pertinentes y afinar su funcionamiento individual.

4.1.1 Prueba de la Etapa 1.

Con este ensayo se comprobó el acceso a Home Assistant desde cualquier parte de la red LAN de la institución educativa, la figura 36 muestra cómo fue posible acceder a Home Assistant haciendo uso de la IP fija privada configurada en el capítulo 3.

Figura 36

Accediendo a Home Assistant utilizando la IP privada.



Nota: Capturas de pantalla correspondiente al inicio de sesión utilizando la IP 192.168.1.12 y el puerto de conexión 8123.

Luego de haber superado las pruebas de acceso realizadas a la Etapa 1, se procedió a implementar dicha etapa en el gabinete general de red de la institución educativa, la figura 37 muestra su implementación final.

Figura 37

Locación final de la Etapa 1.



Nota: La imagen muestra el gabinete de red principal de la institución educativa.

4.1.2 Prueba de la Etapa 2.

Para esta prueba fue indispensable poder garantizar la comunicación inalámbrica con la Etapa 1, para lo cual se realizó la instalación de un nuevo punto de acceso inalámbrico, obteniendo una mejora significativa en la potencia de recepción en campo como se muestra en la figura 38.

Figura 38

Potencia de la nueva WLAN en campo.



Nota. Se configuró una nueva SSID (Service Set Identifier) de nombre; Fundo El Carmen con el fin de evitar interferencias.

La tabla 4 contiene las medidas de potencia de la señal WiFi obtenidas, antes y después de la implementación de la nueva WLAN.

Tabla 4

Mejora de la potencia de recepción en campo.


SSID de la red	Potencia dBm
HA	-79
Fundo El Carmen	-50

Nota. La red HA era la única existente en la institución, luego de implementar la red nombrada Fundo El Carmen se obtuvo una mejora de +29 dBm en el mismo punto de medición. El equipo utilizado para la medición es un Samsung Galaxy S21+.

Al finalizar con la instalación de la Etapa 2 en el tanque elevado, se obtuvo como resultado una transmisión de datos satisfactoria con la Etapa 1 así como también los registros de funcionamiento detallados en la figura 39.

Figura 39

Registros de funcionamiento de etapa 2 ya instalada en el tanque elevado.

```
[14:38:21][I][app:102]: ESPHome version 2023.7.1 compiled on Aug 10 2023, 02:14:08
[14:38:21][C][wifi:543]: WiFi:
[14:38:21][C][wifi:379]: Local MAC: 0C:88:15:F5:2B:4C
[14:38:21][C][wifi:380]: SSID: 'Fundo El Carmen'
[14:38:21][C][wifi:381]: IP Address: 192.168.1.52
[14:38:21][C][wifi:383]: BSSID: C4:E9:84:FA:B4:50
[14:38:21][C][wifi:384]: Hostname: 'esphome-web-f52b4c'
[14:38:21][C][wifi:386]: Signal strength: -61 dB 
[14:38:21][C][wifi:390]: Channel: 13
[14:38:21][C][wifi:391]: Subnet: 255.255.255.0
[14:38:21][C][wifi:392]: Gateway: 192.168.1.1
[14:38:21][C][wifi:393]: DNS1: 1.1.1.1
[14:38:21][C][wifi:394]: DNS2: 8.8.8.8
[14:38:21][C][logger:301]: Logger:
[14:38:21][C][logger:302]: Level: DEBUG
[14:38:21][C][logger:303]: Log Baud Rate: 115200
[14:38:21][C][logger:305]: Hardware UART: UART0
[14:38:21][C][ultrasonic.sensor:045]: Ultrasonic Sensor 'Nivel de agua en tanque'
[14:38:21][C][ultrasonic.sensor:045]: State Class: 'measurement'
[14:38:21][C][ultrasonic.sensor:045]: Unit of Measurement: 'm'
[14:38:21][C][ultrasonic.sensor:045]: Accuracy Decimals: 2
[14:38:21][C][ultrasonic.sensor:045]: Icon: 'mdi:arrow-expand-vertical'
[14:38:21][C][ultrasonic.sensor:046]: Echo Pin: GPIO15
[14:38:21][C][ultrasonic.sensor:047]: Trigger Pin: GPIO2
[14:38:21][C][ultrasonic.sensor:048]: Pulse time: 20 µs
[14:38:21][C][ultrasonic.sensor:049]: Timeout: 23323 µs
[14:38:21][C][ultrasonic.sensor:050]: Update Interval: 60.0s
[14:38:21][C][captive_portal:088]: Captive Portal:
[14:38:21][C][mdns:112]: mDNS:
[14:38:21][C][mdns:113]: Hostname: esphome-web-f52b4c
[14:38:21][C][ota:093]: Over-The-Air Updates:
[14:38:21][C][ota:094]: Address: esphome-web-f52b4c.local:3232
[14:38:21][C][api:138]: API Server:
[14:38:21][C][api:139]: Address: esphome-web-f52b4c.local:6053
[14:38:21][C][api:141]: Using noise encryption: YES
[14:38:41][D][ultrasonic.sensor:040]: 'Nivel de agua en tanque' - Got distance: 0.61 m
```

Nota. Se comprueba la conexión con la red local y se verifica la asignación de una dirección IP dentro del segmento de red esperado, así como también se comprueba la obtención de la primera medición realizada en la última línea. Cabe mencionar que la

potencia de la red obtenida varió a -61dBm debido al posicionamiento final de la etapa 2 y a las diferencias en las antenas del Soc ESP32 y el celular utilizado en las mediciones de campo.

Luego de haber superado las pruebas de comunicación en la Etapa 2, se procedió a implementar dicha etapa en el tanque elevado de la institución educativa. La figura 40 muestra la implementación final.

Figura 40

Locación final de la Etapa 2.



Nota: La figura muestra dos fotografías del tanque elevado, la de mayor tamaño antes de la implementación mientras que la más pequeña fue tomada desde el andamio a mayor altura señalando los componentes de la etapa 2.

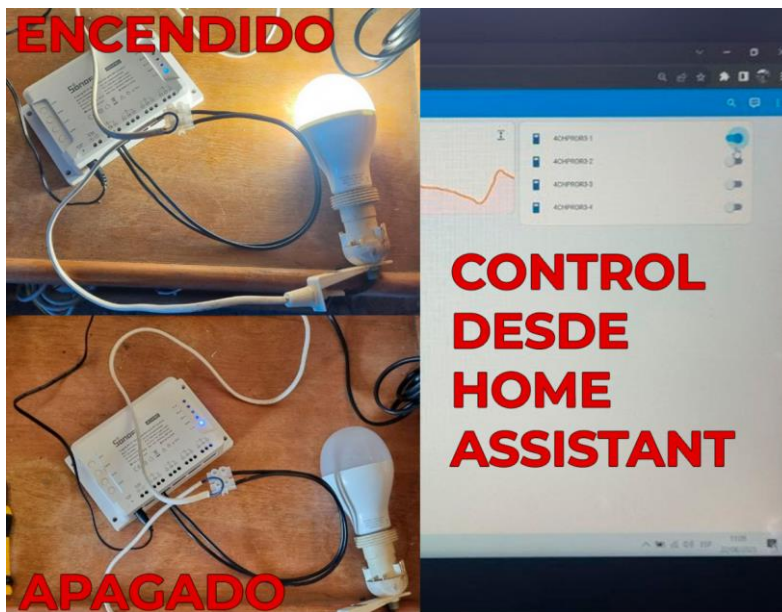
4.1.3 Prueba de la Etapa 3.

El objetivo de esta prueba fue comprobar el buen funcionamiento del relevador de 4 canales Sonoff y su nube eWeLink con la integración al sistema operativo Home Assistant, para esto se conectó un foco led de 220V AC al canal número 1 del relevador IoT.

La figura 41 muestra el ensayo de encendido y apagado de una bombilla, utilizando Home Assistant desde un navegador web.

Figura 41

Ensayo de funcionamiento de la etapa 3.

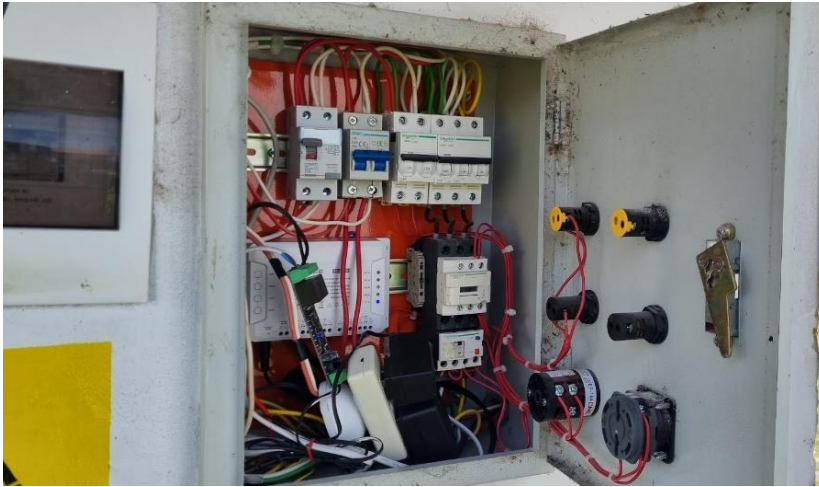


Nota. Se comprueba el accionamiento desde el panel de control de Home Assistant.

Luego de haber superado las pruebas de funcionamiento de la Etapa 3, se procedió a implementar dicha etapa dentro del tablero eléctrico de la bomba sumergible. La figura 42 muestra su implementación final.

Figura 42

Locación final de la Etapa 3.



Nota: Se observa el panel de control manual de la bomba sumergible con el accionador IoT ya instalado en el riel DIN.

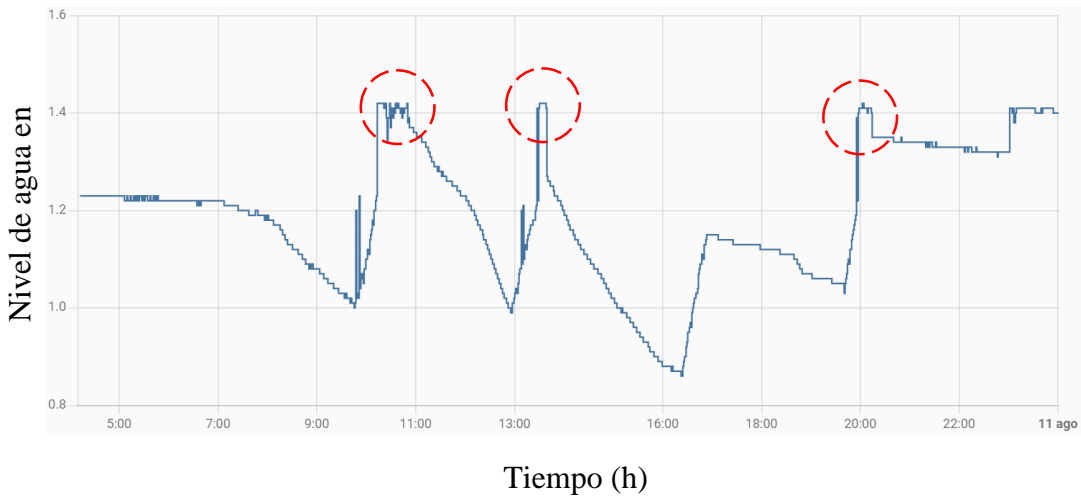
4.2. Lecturas de nivel sin accionamiento automatizado

Luego de haber concluido con las pruebas individuales por etapa, en segundo lugar, se procedió a implementar cada una de ellas en sus locaciones finales: gabinete de red, tanque elevado y tablero eléctrico; de esta manera, con el fin de poder verificar la integración entre etapas se realizaron 3 ensayos durante periodos de tiempo aleatorios, cabe recalcar que para estos ensayos no se activó el accionamiento automatizado porque aún no se tenían los niveles críticos para el encendido y apagado de la bomba sumergible, dichos niveles se determinaron usando los datos obtenidos a continuación.

La figura 43 muestra como el nivel de agua en el tanque elevado fue variando durante 20 horas seguidas, en donde cabe resaltar que los picos máximos registrados representan el llenado al 100% del tanque elevado justo en el rebalse de este, ya que el usuario encargado tenía que esperar a ver rebalsar el agua para luego apagar la bomba sumergible, lo que generaba un desperdicio de agua.

Figura 43

Lectura del nivel de agua en tanque elevado Ensayo 1.

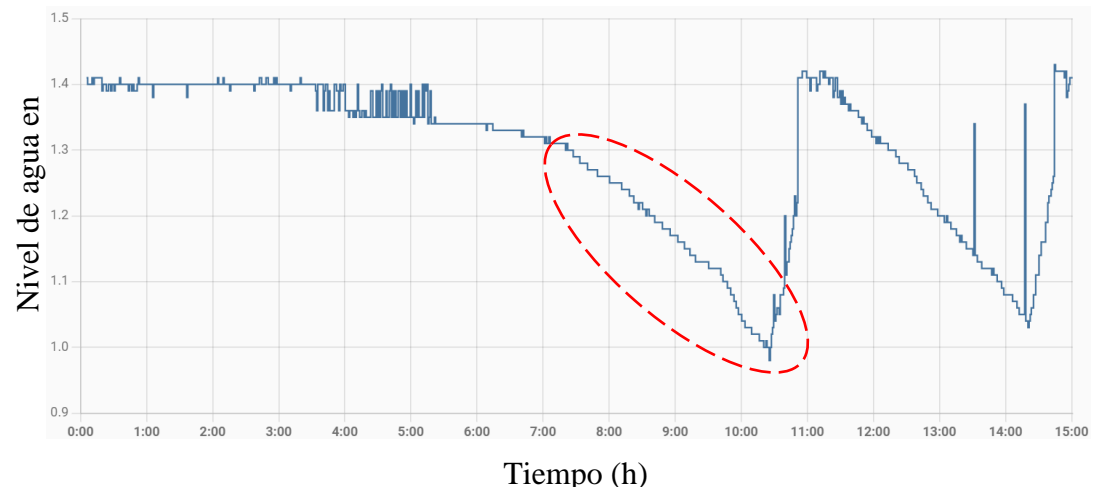


Nota. Datos obtenidos el 10 de agosto de 2023 desde las 04:12 am hasta las 11:59 pm.

En la figura 44 se observa como el nivel empezaba a bajar drásticamente desde alrededor de las 7:00 am hasta las 10:30 am que se revierte la tendencia, y el nivel de agua empieza a subir debido al encendido manual de la bomba.

Figura 44

Lectura del nivel de agua en tanque elevado Ensayo 2.



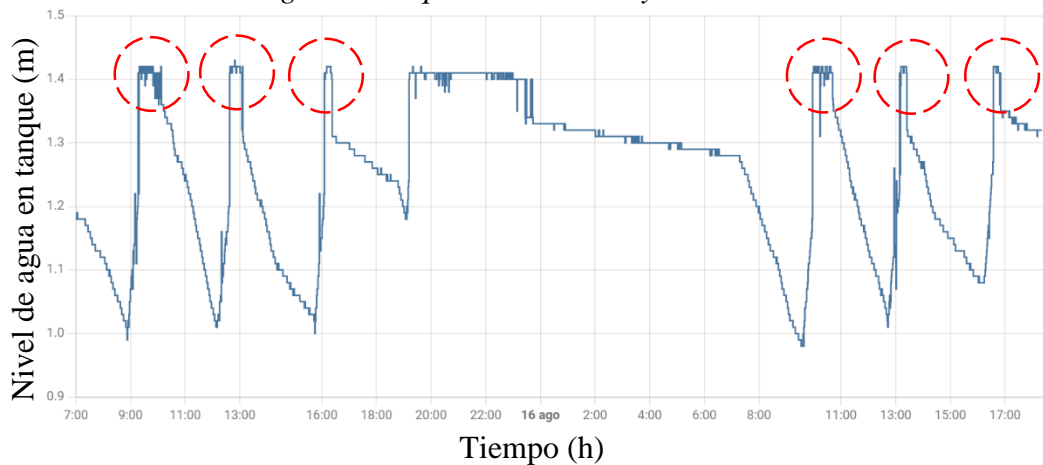
Nota. Datos obtenidos el 11 de agosto de 2023 desde las 00:00 am hasta las 03:00 pm.

Los resultados obtenidos en el ensayo 3 también evidenciaron un comportamiento descendente del nivel de agua en el tanque elevado durante la madrugada, tal como se observa en la figura 45. Este comportamiento se debe a que existe una cisterna de reserva en la institución educativa, la cual va siendo rellena mediante el control de un flotador

horizontal.

Figura 45

Lectura del nivel de agua en tanque elevado Ensayo 3.



Nota. Se observan 6 picos importantes de rebalse de agua generados por la intervención del personal encargado del encendido y apagado manual de la bomba sumergible.

Estos ensayos fueron muy importantes para poder establecer los parámetros de automatización de la bomba sumergible, es por eso que la tabla 5 muestra el máximo y mínimo nivel obtenido durante los ensayos realizados.

Tabla 5

Niveles críticos para la automatización.

Nivel crítico	Nivel de agua en tanque elevado (m)
Máximo	1.48
Mínimo	0.66

Nota. El nivel máximo representa el nivel de agua en el tanque elevado cuando el agua se encontraba rebalsando, mientras que el nivel mínimo representa la disminución de presión en la tubería.

Los niveles críticos identificados en la tabla anterior fueron indispensables para el buen funcionamiento de la automatización, debido a que dichos niveles son los que no deberían de alcanzarse para que el suministro de agua se mantenga óptimo en su funcionamiento, es decir, ni se desperdicia agua, ni disminuya el caudal en las tuberías de la institución educativa.

4.3. Resultados de funcionamiento con el controlador

Luego de haber identificado los niveles críticos de funcionamiento en la sección 4.2 se logró habilitar la automatización de la bomba sumergible con el fin de demostrar el óptimo funcionamiento de la tesis. Se eligió un tipo de control ON/OFF con histéresis variando el margen de error en tres pruebas distintas, para estas pruebas se mantuvo la misma ventana de tiempo, desde las 08:00 am hasta las 02:30 pm teniendo en cuenta el horario de mayor concurrencia de la institución educativa.

En la figura 46 se muestra el diagrama de funcionamiento, así como en la figura 47 se observa el diagrama P&ID del proceso controlado.

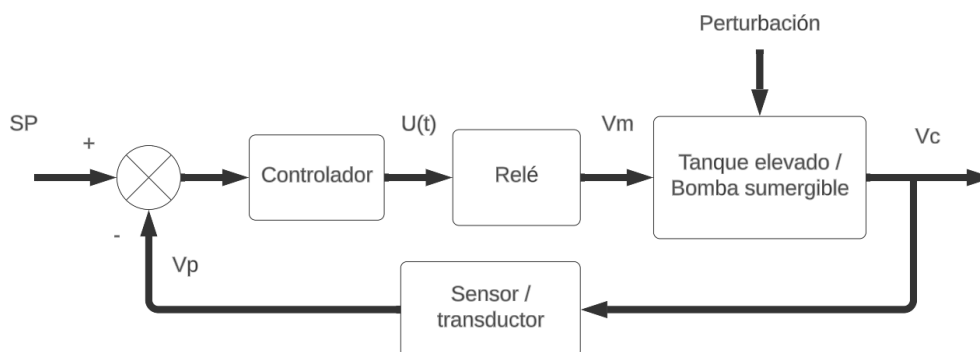
4.3.1 Modo de accionamiento ON/OFF

Debido a las características que se enumeran a continuación se determinó el uso del tipo de control ON/OFF con histéresis:

1. Necesidad de optimizar los encendidos de la bomba sumergible con el fin cuidar su vida útil.
2. Lograr que el controlador no conmute ante pequeñas variaciones debido al ruido obtenido en los resultados de la sección 4.2.
3. No requiere la necesidad de una gran precisión ya que siempre y cuando el nivel de agua en el tanque elevado se mantenga entre 0.66 y 1.48 metros la institución educativa contará con un flujo de agua óptimo.

Figura 46

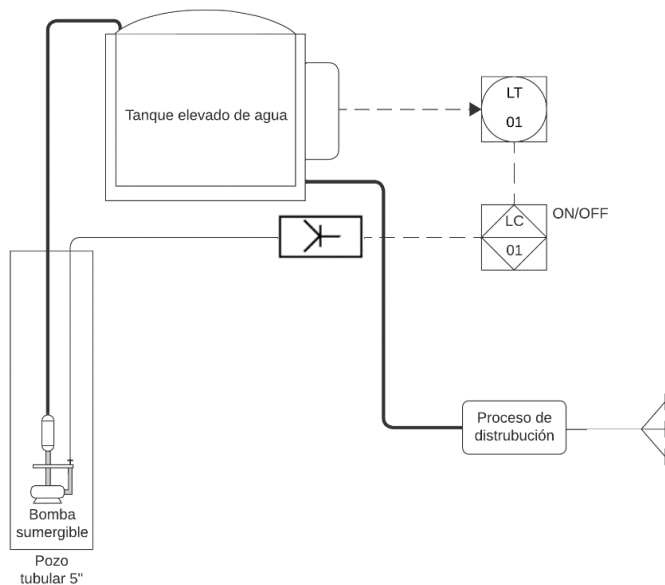
Diagrama de flujo del proceso.



Nota. El bloque del controlador representa el panel de automatización en Home Assistant el cual es realimentado por el bloque de Sensor / transductor el cual se compone del ESP32 y el sensor de ultrasonido AJ-SR04M.

Figura 47

Diagrama P&ID del proceso de llenado del tanque elevado.

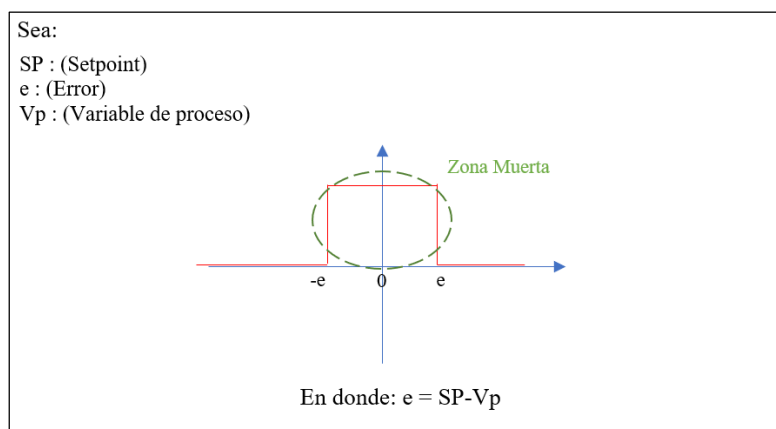


Nota. Elaboración propia.

Se estableció una brecha de funcionamiento que se define como zona muerta, la cual evita que el controlador conmute ante cambios mínimos en la lectura de nivel. En la figura 48 se muestra la representación de la zona muerta en función de las variables utilizadas durante las pruebas:

Figura 48

Definición gráfica de la zona muerta.



Nota. Se observa el margen formado por el error calculado en un instante de tiempo, dicho margen es el que se fue variando en las secciones 4.3.2, 4.3.3 y 4.3.4.

4.3.2 Primera zona muerta

Respecto a esta primera zona muerta establecida, se consideraron los parámetros mostrados en la tabla 6.

Tabla 6

Parámetros de la Primera zona muerta.

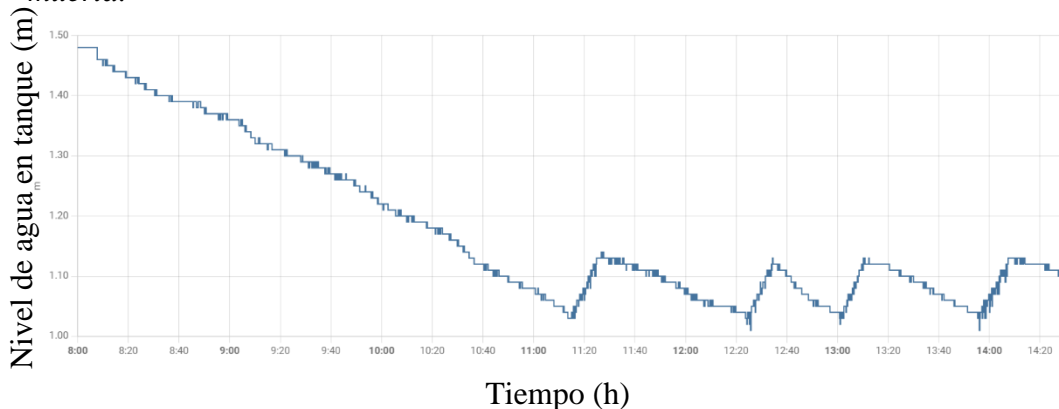
SP (m)	e (m)
1.08	+/- 0.04

Nota. En la primera columna se muestra el punto de ajuste (setpoint) establecido para esta prueba, así como el error permitido mostrado en la segunda columna.

Como resultado de la configuración de los parámetros mostrados en la tabla anterior se obtuvieron los datos en función del tiempo mostrados en la figura 49.

Figura 49

Lectura del nivel de agua en el tanque elevado con los parámetros de la primera zona muerta.



Nota. Las pendientes negativas representan el consumo de la institución educativa mientras que las pendientes positivas muestran el accionar automatizado de la bomba sumergible, los datos se obtuvieron el viernes 01 de septiembre de 2023 desde las 08:00 am hasta las 14:30 pm.

4.3.3 Segunda zona muerta

Respecto a la segunda zona muerta establecida, se consideraron los parámetros mostrados en la tabla 7.

Tabla 7

Parámetros de la segunda zona muerta.

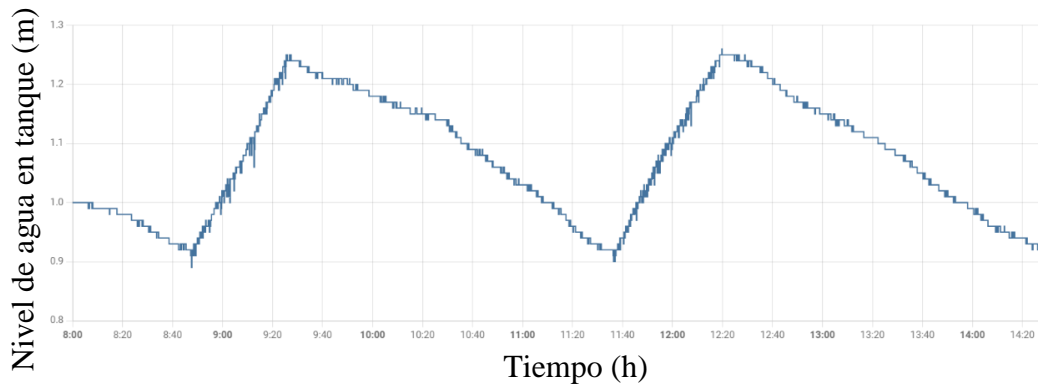
SP (m)	e (m)
1.08	+/- 0.16

Nota. En la primera columna se muestra el punto de ajuste (setpoint) establecido para esta prueba, así como el error permitido mostrado en la segunda columna.

Como resultado de la configuración de los parámetros mostrados en la tabla anterior se obtuvieron los datos en función del tiempo mostrados en la figura 50.

Figura 50

Lectura del nivel de agua en el tanque elevado con los parámetros de la segunda zona muerta.



Nota. Las pendientes negativas representan el consumo de la institución educativa mientras que las pendientes positivas muestran el accionar automatizado de la bomba sumergible, los datos se obtuvieron el lunes 04 de septiembre de 2023 desde las 08:00 am hasta las 14:30 pm.

4.3.4 Tercera zona muerta

Respecto a la tercera zona muerta establecida, se consideraron los parámetros mostrados en la tabla 8.

Tabla 8

Parámetros de la tercera zona muerta.

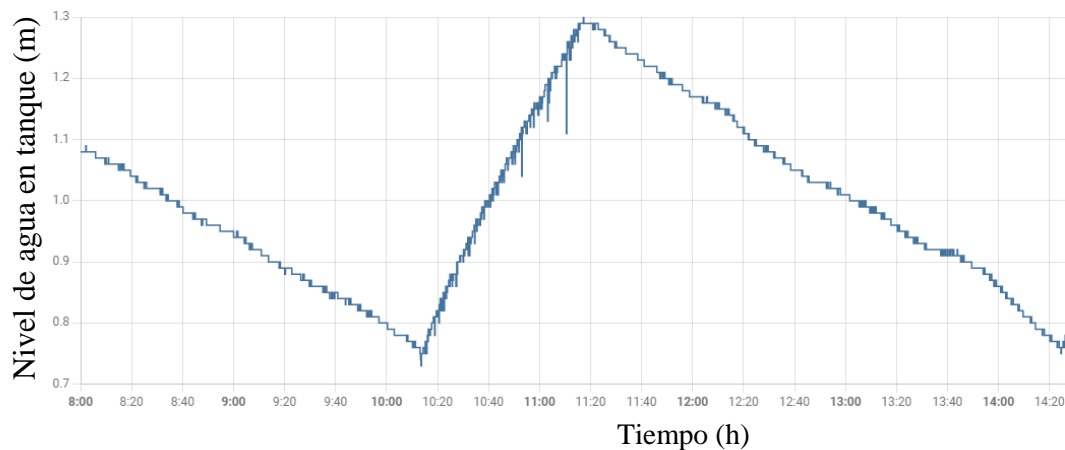
SP (m)	e (m)
1.08	+/- 0.32

Nota. En la primera columna se muestra el punto de ajuste (setpoint) establecido para esta prueba, así como el error permitido mostrado en la segunda columna.

Como resultado de la configuración de los parámetros mostrados en la tabla anterior se obtuvieron los datos en función del tiempo mostrados en la figura 51.

Figura 51

Lectura del nivel de agua en el tanque elevado con los parámetros de la tercera zona muerta.

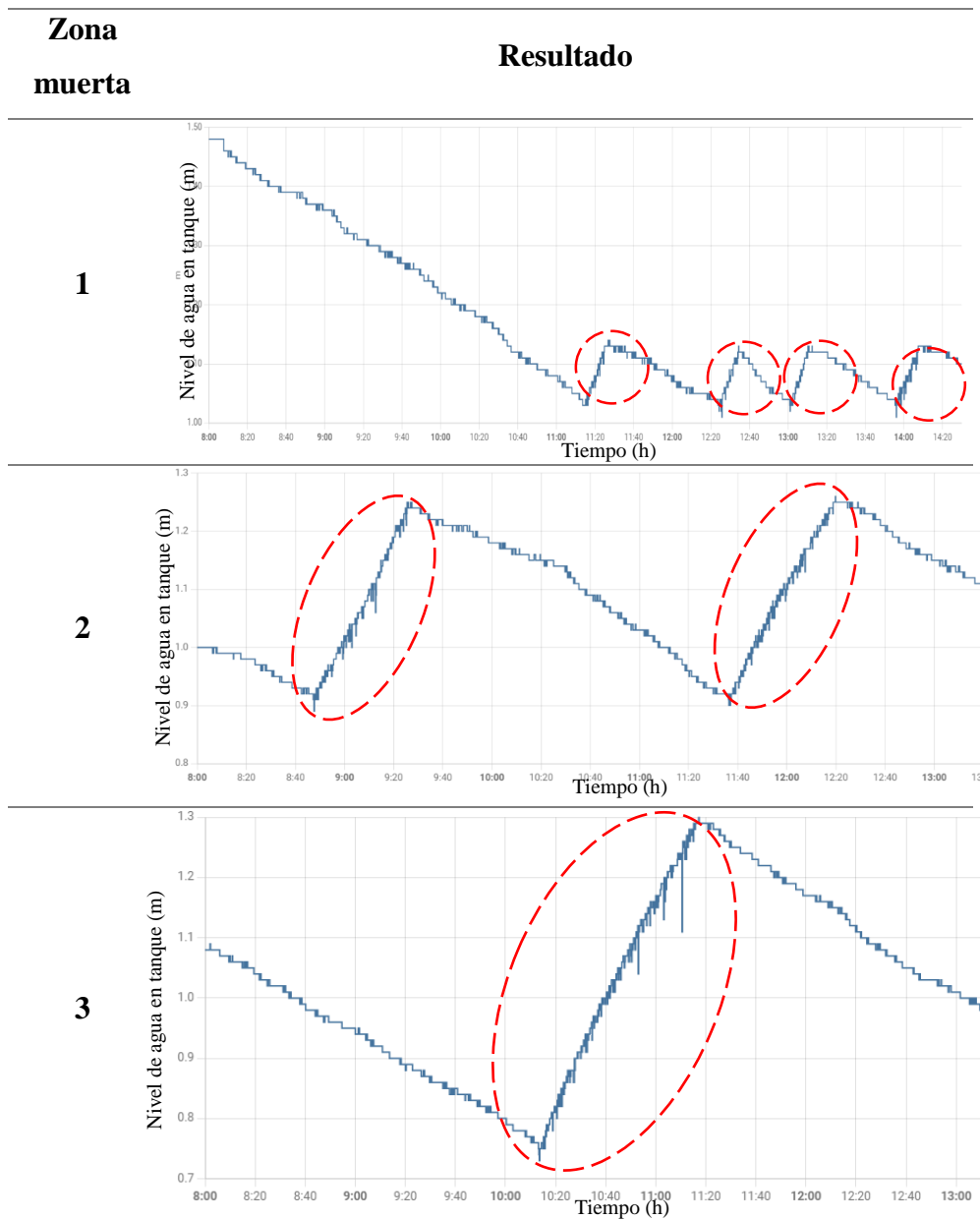


Nota. Las pendientes negativas representan el consumo de la institución educativa mientras que la pendiente positiva muestra el accionar automatizado de la bomba sumergible, los datos se obtuvieron el lunes 05 de septiembre de 2023 desde las 08:00 am hasta las 14:30 pm.

Con el fin de observar mejor los resultados se creyó conveniente resumirlos en la tabla 9, dichos resultados sugirieron que mientras más amplia sea la zona muerta menos encendidos tendrá que llevar a cabo el Home Assistant.

Tabla 9

Comparación de resultados.



Nota. Teniendo en cuenta que las pendientes positivas de cada uno de los gráficos indica un encendido de la bomba sumergible y que las 3 pruebas se realizaron en el mismo periodo de tiempo solo que en diferente día, se puede observar como en la primera zona muerta hay un total de 4 encendidos, en la segunda zona muerta un total de 2 encendidos mientras que en la tercera zona muerta solamente hay 1 encendido, lo que sugiere que los parámetros más eficientes son los de la tercera zona muerta.

Con el fin de validar y respaldar los resultados obtenidos durante las pruebas de llenado automatizado del tanque elevado, se consultó la guía de ‘Parámetros Específicos de

Mantenimiento de componentes de la Infraestructura Educativa’ publicada por el Ministerio de Educación peruano, en donde se señala que:

Respecto a las condiciones operativas de un sistema de bombeo y en concordancia con el literal e), del numeral 2.5 – elevación, de la Norma IS.010- Instalaciones Sanitarias para edificaciones del RNE. Se debe comprobar que el sistema de bombeo tenga la capacidad de llenar el tanque elevado desde el nivel inferior útil hasta que el agua llegue al nivel máximo previsto en no más de 2 horas. (Yshikawa Castro, 2021, p. 109)

El contraste de los resultados obtenidos en la prueba de la tercera zona muerta se muestran en la tabla 10.

Tabla 10

Validando parámetro de tiempo de llenado.

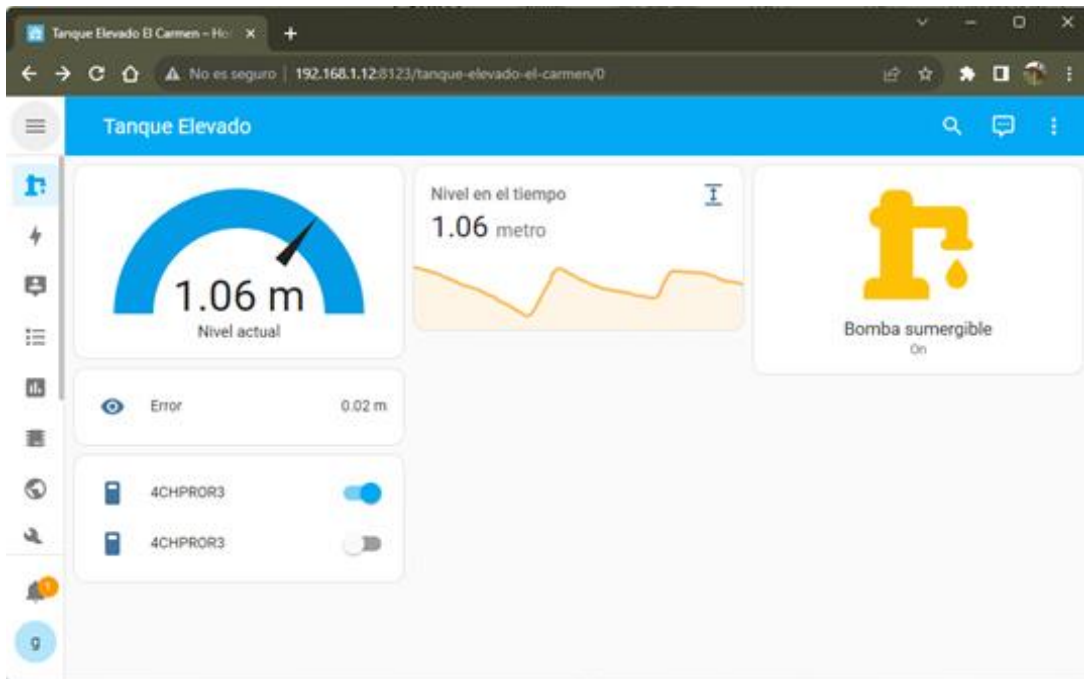
Parámetro	Detalle
Tiempo de llenado según Ministerio de Educación	Máximo 2 horas
Tiempo de llenado en tercera zona muerta	1 hora

Nota: Elaboración propia en base a medición de campo y la guía de Parámetros Específicos de Mantenimiento de componentes de la Infraestructura Educativa.

La figura 52 muestra el diseño final del panel de automatización que lleva funcionando más de 1 mes en la institución educativa.

Figura 52

Panel de automatización final.



Nota. Aspecto gráfico final del panel de automatización.

La figura 53 muestra el código QR con el cual se puede ampliar el detalle del trabajo de tesis realizado a través de imágenes y videos.

Figura 53

Código QR.



Nota. Escanear para revisar la evidencia del desarrollo de esta tesis.

El anexo 3 contiene la autorización firmada por la directora de la institución educativa a fin de validar el uso de las instalaciones para este trabajo de tesis.

4.4. Presupuesto

Los materiales utilizados durante la implementación de esta tesis junto a sus respectivos precios se detallan en la tabla 11.

Tabla 11

Presupuesto.

Dispositivos/Bienes/Materiales		Precio (S/.)	
Características	Cantidad		
1 Cable vulcanizado 2x14 AWG por metro lineal.	7		33.60
2 Raspberry Pi 4 modelo B.	1		404.50
3 Fuente de alimentación USB-TipoC.	1		48.00
4 Tarjeta SD 32 GB.			49.00
5 Sensor ultrasónico AJ-SR04M.	1		55.00
6 ESP32 DEVKIT V1.	1		45.00
7 TP Link access point.	1		189.00
8 Sonoff 4CHPROR3.	1		150.00
9 Tomacorriente Bticino 15A Oval 2p+t universal sobreponer.	1		27.90
10 Caja de pase 20x20x8 IP54.	1		32.90
11 Caja de pase 15x15x8 IP54.	1		20.90
12 Bolsa de 25 cintillos reutilizables.	1		22.90
13 Cinta aislante 19mm x 20 m.	1		5.90
TOTAL	00		1 084.60

Nota. Elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Se logró la implementación del módulo de adquisición de datos en el tanque elevado de la institución educativa tal como se puede verificar en la figura 40; asimismo, dicho módulo utilizó el SoC ESP32 y el sensor de ultrasonido AJ-SR04M que mediante el diseño indicado en la figura 19 y la programación YAML en la figura 26 se logró que el sistema operativo Home Assistant registrara el nivel de agua en el dominio del tiempo tal como se mostró en las figuras a lo largo del Capítulo 4.
2. El desarrollo del panel de automatización en Home Assistant involucró la creación de indicadores e interruptores virtuales, así como el uso de la sección de historial con el fin de analizar los datos, logrando determinar las horas críticas de consumo tal como se puede observar en las figuras de las secciones 4.3.2, 4.3.3 y 4.3.4 en donde el dominio del tiempo va desde las 08:00 hasta las 14:30 horas, horario en donde se identificó un alto consumo generado por la presencia de la comunidad educativa en el horario escolar regular. Así mismo, en la tabla 5 se identificó la altura máxima de llenado en 1.48 m, nivel en el cual el agua rebosó y la altura mínima de llenado en 0.66 m, nivel en el cual la presión en la tubería de distribución disminuyó, determinando el rango posible de funcionamiento de la bomba sumergible.
3. El uso de un complemento para Home Assistant perteneciente al fabricante Sonoff permitió la utilización de la tarjeta IoT en las reglas de automatización creadas en la sección 3.2.4, logrando de esta manera ejecutar un control automatizado de tipo ON/OFF con histéresis, los resultados fueron obtenidos en base a tres pruebas con distintas zonas muertas, los cuales se compararon en la tabla 9, donde se determinó que los parámetros de ± 0.32 m utilizados en la tercera zona muerta fueron los óptimos para garantizar el abastecimiento de agua en el tanque elevado, logrando encender la bomba cuando se registró un nivel mínimo de 0.76 m (50.66% – 5.02 m³), y luego apagarla al alcanzar el nivel de agua máximo previsto de 1.4 m (93.34% - 9.24 m³).

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que durante la implementación en el campo del sensor de ultrasonido y el SoC ESP32, se considere utilizar cajas de pase con certificación IP54 a fin de proteger el diseño electrónico, la fuente de poder y el tomacorriente de las posibles lluvias.
2. Se recomienda siempre realizar las actualizaciones del sistema operativo Home Assistant como las del firmware del SoC ESP32, dichas actualizaciones se ejecutan desde la interfaz web de Home Assistant.
3. Antes de dejar el panel de automatización funcionando de manera autónoma se recomienda realizar varias pruebas de llenado y vaciado ya que cada tanque elevado tendrá sus propias medidas y por consiguiente sus propios parámetros para el control ON/OFF con histéresis.

REFERENCIAS

- © Raspberry Pi Ltd. (2023). *Raspberry Pi 4 Tech Specs*.
<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>
- ©2023 Naylamp Mechatronics SAC. (2023). *NODEMCU-32 30-PIN ESP32 WIFI*.
<https://naylampmechatronics.com/espessif-esp/384-nodemcu-32-30-pin-esp32-wifi.html>
- Akhmetzhanov, B. K., Gazizuly, O. A., Nurlan, Z., & Zhakiyev, N. (2022). Integration of a Video Surveillance System Into a Smart Home Using the Home Assistant Platform. *SIST 2022 - 2022 International Conference on Smart Information Systems and Technologies, Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/SIST54437.2022.9945718>
- American Water Works Association. (2012). *Manual de entrenamiento para operadores de sistemas de distribución de agua*.
https://www.google.com.pe/books/edition/Manual_de_entrenamiento_para_operadores/Ti4g1-X31YgC?hl=es&gbpv=0&kptab=getbook
- Aparicio Arias, P. (2021). *Sesion 10 control de dos posiciones (Control On Off)*.
<https://es.scribd.com/presentation/541181574/SESION-10-CONTROL-DE-DOS-POSICIONES-Control-on-off>
- Autoridad Nacional del Agua. (2022). *El agua en cifras*.
<https://www.ana.gob.pe/contenido/el-agua-en-cifras>
- Blum, R., & Bresnahan, C. (2013). *Python Programming for Raspberry Pi*.
- Carrera García, O. G., & Landeros Bañuelos Juan Luis. (2015). Monitoreo y control de pozos de agua a través de comunicación inalámbrica. En *Revista Ingeniantes Año* (Vol. 2, Número 1).
- Chidananda. (2021, febrero 25). *How to Communicate Waterproof Ultrasonic Sensor AJ-SR04M/JSN-SR04T with Arduino/ESP32*.
<https://tutorials.probots.co.in/communicating-with-a-waterproof-ultrasonic-sensor-aj-sr04m-jsn-sr04t/>
- Cinjordiz, C. (2022, noviembre 19). *Sensor ultrasonidos HC-SR04*.
<https://www.infootec.net/sensor-ultrasonidos-hc-sr04/>
- García Mompeán, J. A. (2021, mayo 13). *Qué son las bombas sumergibles y sus características técnicas*. <https://gargil.es/que-son-las-bombas-sumergibles-y-sus-caracteristicas-tecnicas/>

- Guerrero Cruz, J. L., & Games Segales, D. (2017). *Sistema de monitoreo del nivel de agua en los tanques elevados, para empresas avícolas usando la arquitectura JAVA J2EE y plataforma de prototipos electrónica – Arduino*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3144740>
- Hernandez, R. J. (2022). *Building IoT visualizations using Grafana : power up your IoT projects with Grafana*. Packt Publishing.
- MaxElectrónica. (2023). *Sensor Ultrasónico Modelo AJ-SR04M Resistente al Agua No Sumergible*.
- Maz Ventura, E., & Vela Ortiz, C. E. (2018). *Sistema Automático de Supervisión y Control de Nivel del Tanque Elevado Para Garantizar el Abastecimiento de Agua en la Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo*.
- Organización Mundial de la Salud. (2022, marzo 21). *Agua para consumo humano*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Proyectos JC. (2020, octubre 10). *Medir distancia sensor ultrasónico*. <https://www.youtube.com/watch?v=6zHBdQITVJM>
- Romero Cabrera, S. (2019). *Estudio de la plataforma domótica Home Assistant e integración en Raspberry Pi*. <https://hdl.handle.net/11441/94281>
- Yshikawa Castro, B. (2021). *Parámetros Específicos de Mantenimiento de Componentes de la Infraestructura Educativa*.
- Zharikov, A. M., Kozin, D. A., & Nekrasov, P. V. (2022). Design and Implementation of Home Assistant and TouchGFX Interaction Based on STM32 Microcontroller. *Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies, MWENT 2022 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/MWENT55238.2022.9802415>

4SR



ANEXO A

Electrobombas sumergidas de 4"

 Agua limpia
(Contenido de arena
máximo 150 g/m³)

 Uso doméstico

 Uso civil

 Uso industrial

CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **450 l/min** (27 m³/h)
- Altura manométrica hasta **238 m**

LÍMITES DE USO

- Temperatura máxima del fluido hasta **+35 °C**
- Contenido de arena máximo **150 g/m³**
- Profundidad de uso bajo el nivel del agua **200 m**
- Funcionamiento:
 - en vertical
 - en horizontal con los siguientes límites hasta **10 stages**
- Arranques/hora: **20** a intervalos regulares
- Flujo de enfriamiento motor mínimo **8 cm/s**
- Funcionamiento continuo **S1**

USOS E INSTALACIONES

Se aconsejan para bombear agua limpia con contenido de arena no superior a **150 g/m³**. Debido al alto rendimiento y fiabilidad, son aptas para usos en el campo doméstico, civil e industrial, para la distribución del agua en acoplamiento con autoclaves, riegos, instalaciones de lavado, para aumentar la presión etc.

PATENTES

- Patent n° EP2419642

EJECUCIÓN Y NORMAS DE SEGURIDAD

MOTOR ELÉCTRICO

- Trifásica 380 V - 60 Hz
- Monofásica 220 V - 60 Hz
- **Condensador incluido en el embalaje**

Cable de alimentación de:

- **2 m** para potencias de 1.1 a 2.2 kW
- **3.6 m** para potencias de 3 a 7.5 kW.

EN 60335-1
IEC 60335-1
CEI 61-150

EN 60034-1
IEC 60034-1
CEI 2-3



EJECUCIÓN BAJO PEDIDO

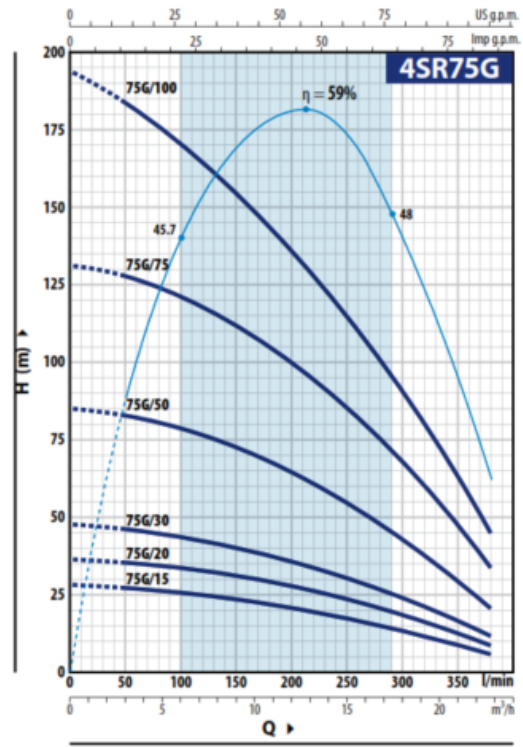
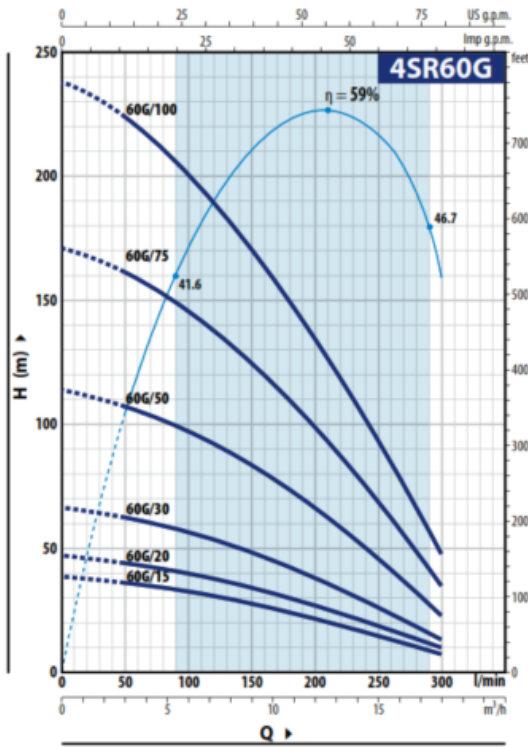
- Cuerpo bomba con bocas roscadas ISO 228/1
- Otros voltajes
- **Kit camisa de enfriamiento completo con filtro y soportes; recomendado para potencias desde 2.2 kW hasta 7.5 kW**



CAMISA DE ENFRIAMIENTO

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 min⁻¹



4SR60G

MODELO		N. ETAPAS	POTENCIA (P ₂)		Q							
Monofásica	Trifásica		kW	HP	m ³ /h	0	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0
4SRm 60G/15	4SR 60G/15	4	1.1	1.5	0	30	60	90	120	150	180	
4SRm 60G/20	4SR 60G/20	5	1.5	2	0	50	100	150	200	250	300	
4SRm 60G/30	4SR 60G/30	7	2.2	3	0	38	76	114	152	190	228	
-	4SR 60G/50	12	3.7	5	0	47	94	141	204	276	351	
-	4SR 60G/75	18	5.5	7.5	0	66	132	198	264	330	396	
-	4SR 60G/100	25	7.5	10	0	114	228	342	456	570	684	

4SR75G

MODELO		N. ETAPAS	POTENCIA (P ₂)		Q										
Monofásica	Trifásica		kW	HP	m ³ /h	0	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0	22.8	
4SRm 75G/15	4SR 75G/15	3	1.1	1.5	0	28	56	84	112	140	168	196	224	252	
4SRm 75G/20	4SR 75G/20	4	1.5	2	0	36	72	108	144	180	216	252	288	324	
4SRm 75G/30	4SR 75G/30	5	2.2	3	0	47	94	141	204	276	351	426	501	576	
-	4SR 75G/50	9	3.7	5	0	85	170	255	340	425	510	595	680	765	
-	4SR 75G/75	14	5.5	7.5	0	130	260	390	520	650	780	910	1040	1170	
-	4SR 75G/100	19	7.5	10	0	192	384	576	768	960	1152	1344	1536	1728	

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grado 3B.

ANEXO B

```
1  esphome:
2    name: esphome-web-f52b4c
3    friendly_name: level-sensorv1
4
5  esp32:
6    board: esp32dev
7    framework:
8      type: arduino
9
10 # Enable logging
11 logger:
12
13 # Enable Home Assistant API
14 api:
15   encryption:
16     key: "/O85/aZ18qTsoE6fe1wfJswKBILF+MQuC/4wKqseqew="
17 ota:
18 wifi:
19   ssid: !secret wifi_ssid
20   password: !secret wifi_password
21
22 # Enable fallback hotspot (captive portal) in case wifi connection fails
23 ap:
24   ssid: "Esphome-Web-F52B4C"
25   password: "j8HMRpHsHxkU"
26
27 captive_portal:
28
29 sensor:
30   - platform: ultrasonic
31     trigger_pin: 2
32     echo_pin: 15
33     update_interval: 10s
34     name: "Nivel de agua en tanque"
35     unit_of_measurement: "m"
36     accuracy_decimals: 2
37     timeout: 4m
38     pulse_time: 20us
39
40     filters:
41       - lambda: return (1.70-x);
42       - filter_out: nan
```

ANEXO C

Por medio de la presente.

Se autoriza al Bach. Guillermo Alejandro Herrera Arce identificado con DNI 71135817, a utilizar nuestras instalaciones a fin de realizar el trabajo de tesis titulado:

“Implementación de un panel de automatización en Home Assistant para controlar el abastecimiento de agua en el tanque elevado de una institución educativa en Cajamarca.”

Cajamarca, 28 de septiembre de 2023



Filomena Cáceres Vásquez
Directora