

Automation module on a Raspberry with IoT platform to control water supply in an elevated tank

Guillermo Alejandro Herrera Arce¹ , Pedro Huamani-Navarrete² 

^{1,2}Ricardo Palma University, Perú, guillermo.herrera@urp.edu.pe, phuamani@urp.edu.pe

Abstract— This article describes the implementation of an automation module with an IoT platform to control the water supply in the elevated tank of an educational institution, which operates manually. To do this, the procedure was carried out in three stages, the first was executing the Home Assistant platform on a Raspberry Pi 4 model B. Then, the data collection module was designed and programmed, which was implemented inside the elevated tank to measure the variable water level. And, as a last stage, an IoT relay or switch was used to remotely and automatically control the on-off of the educational institution's submersible pump, managing to dispense with manual control. The partial results obtained established the optimal filling levels of the elevated tank, determining that with a level greater than 1.48 m of water the tank overflows, and with a level less than 0.66 m the water pressure in the taps of the educational institution was deficient. Therefore, such parameters determined the implementation of an on-off control with hysteresis with a dead zone of +/- 0.32 m, allowing the level variable to be automatically established within the established limits, guaranteeing the water supply without intervention manual and filled to 93.34% or 9.25 m³ of its capacity, in order to serve an educational community of more than 700 students.

Keywords— Automation module, Home Assistant, On-Off Hysteresis Control, Internet of Things, Raspberry Pi 4.

Módulo de automatización en Raspberry con plataforma IoT para controlar el abastecimiento de agua en tanque elevado

Guillermo Alejandro Herrera Arce¹; Pedro Huamani-Navarrete²

^{1,2}Ricardo Palma University, Perú, guillermo.herrera@urp.edu.pe, phuamani@urp.edu.pe

Resumen— Este artículo describe la implementación de un módulo de automatización con plataforma IoT para controlar el abastecimiento de agua en el tanque elevado de una institución educativa, la cual opera manualmente. Para ello, el procedimiento fue realizado en tres etapas, siendo la primera la encargada de la ejecución de la plataforma Home Assistant en un Raspberry Pi 4 modelo B. Luego, se diseñó y programó el módulo de recolección de datos, el cual fue implementado en el interior del tanque elevado para medir la variable nivel de agua. Y, como última etapa, se utilizó un relevador o interruptor IoT para controlar remota y automáticamente el encendido/apagado de la bomba sumergible de la institución educativa, logrando prescindir del control manual. Los resultados parciales obtenidos establecieron los niveles óptimos del llenado del tanque elevado, determinando que con un nivel mayor a 1.48 m de agua el tanque se rebalsa, y con un nivel menor a 0.66 m la presión de agua en la grifería de la institución educativa fue deficiente. Por lo cual, tales parámetros determinaron la implementación de un control on-off con histéresis con una zona muerta de ± 0.32 m, permitiendo que la variable nivel se establezca automáticamente dentro de los límites establecidos, logrando garantizar el abastecimiento de agua sin intervención manual y con llenado a un 93.34% o 9.25 m³ de su capacidad, con el fin de atender a una comunidad educativa mayor a 700 estudiantes.

Palabras claves— Módulo de automatización, Home Assistant, Control On-Off-histéresis, Internet de las Cosas, Raspberry Pi 4.

I. INTRODUCCIÓN

En estos tiempos, el Internet de las Cosas (IoT) viene siendo integrado en muchos electrodomésticos, autos, soluciones de iluminación, procesos industriales, etc. De esta manera, son capaces de conectarse a la nube; sin embargo, son diseñados por diversos fabricantes que desarrollan sus propios sistemas de control, limitando a los usuarios a optar por un solo fabricante generando así la necesidad de contar con sistemas operativos de código abierto, y adicionalmente admitir diversos fabricantes para alcanzar la interoperabilidad y disminución de costes. Ante esta situación, en este trabajo de investigación se 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 es causado por el control manual de un operador, que representa un problema para la comunidad educativa de más de 700 estudiantes. Es así como, resulta importante la automatización del abastecimiento del servicio de agua empleando un control del tipo on/off con histéresis, para controlar el encendido/apagado de la bomba sumergible encargada de abastecer tal tanque elevado. Para lo cual, dicho control se realimenta con los datos obtenidos del

monitoreo en tiempo real que envía el módulo de adquisición de datos diseñado e instalado en el tanque elevado de la institución educativa privada, ubicada en una zona de la ciudad de Cajamarca, en Perú.

Es así como, en muchos trabajos de investigación, se utilizaron alternativas que no fueron económicos en algunos casos, y en otros la implementación fue compleja. Tal es el caso de [1] que utilizó un programa secuencial en diagrama de escalera en un PLC monitoreado desde un SCADA, para la activación de dos electrobombas y la válvula de salida. De la misma manera, en [2] se realizó el monitoreo del nivel de agua en los tanques elevados a un bajo coste, al utilizar la plataforma Arduino y el sensor ultrasónico HC-SR04, así como una comunicación vía mensaje de texto (SMS); sin embargo, en la fase de experimentación se determinó cierta inexactitud en la medición de dicho nivel por el uso del sensor.

Posteriormente, en [3] se integró la plataforma Home Assistant en el monitoreo de cámaras de vigilancia, logrando reducir costes en las suscripciones cobradas por las compañías de seguridad al utilizar software libre. Y en cuanto al aspecto de hardware, se optó por utilizar el microordenador Raspberry implementado en la red local de las cámaras. Luego, en [4] se propuso un método que implicó la creación de un complemento que permitió reducir el uso de los recursos del microcontrolador hasta en un 80%, y reducir la carga en los canales de transmisión de información (Wi-Fi, UART) hasta en 10 veces. Por lo cual, se ratificó el uso del sistema operativo Home Assistant, debido a la optimización de los recursos de hardware.

Asimismo, según [5] se determinó que la acción manual de las bombas sin control ni registro provoca frecuentes fallas durante la distribución debido a errores humanos; por lo cual, desarrollaron un sistema basado en tecnología inalámbrica para monitorear y controlar el sistema de bombeo de agua, con el objetivo de optimizar este recurso.

Además, tal como está indicado en [6], está demostrado que la calibración del sensor de ultrasonido AJ-SR04M a partir de una ecuación de regresión lineal se logra una precisión de la medición de las distancias. Y a su vez, según [7] los sistemas de automatización del hogar se basan en diversas tecnologías, incluidas Bluetooth, ZigBee, controladores IR, GSM y tecnología de radiofrecuencia (RF), aunque estos son útiles para la automatización de distancias cortas de unos 100 metros.

De esta manera, el artículo se estructuró de la siguiente manera. En la primera sección se presentó la introducción, en la segunda y tercera sección el marco teórico y la metodología empleada en la implementación del prototipo; luego, como cuarta sección se incluyen las pruebas y resultados, seguido de las conclusiones y las referencias bibliográficas utilizadas para la presente investigación.

II. MARCO TEÓRICO

En este apartado se abordan ciertas definiciones referentes al desarrollo de este trabajo de investigación, el cual fue producto de una sustentación de tesis para la obtención del título de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú [8].

A. 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. Además, cuenta con 1442 componentes disponibles y perfectamente organizados en varias categorías [9].

B. Raspberry Pi 4 modelo B

Es una computadora totalmente programable, muy económica, suficientemente pequeña, y con gran potencia. Puede usarse como una computadora de escritorio o para configurar un propio servidor de almacenamiento en la nube en el hogar [10]. Respecto a sus características técnicas, estas son detalladas en la tabla I [11].

TABLA I
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL RASPBERRY PI 4 MODELO B

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

C. Sensor ultrasónico AJ-SR04M

Sensor utilizado para medir distancias e incluye una sonda de 2.5 metros de longitud con resistencia al agua; además, dispone de dos pines para la alimentación, un tercero para indicar cuando se emite el pulso (trig), y el cuarto para confirmar la señal de recepción de la onda reflejada. Respecto a sus características técnicas se detallan en la tabla II [12].

D. Microcontrolador ESP32 DEVKIT V1

Es una plataforma de desarrollo utilizada en proyectos de Internet de las Cosas al otorgar conectividad WiFi y Bluetooth; además, cuenta con un CPU de 32 bits de doble núcleo Tesla Xtensa LX6 con un total de 30 pines,

permitiendo el control de todo tipo de sensores, módulos y actuadores [13].

TABLA II
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SENSOR AJ-SR04M

Ítem	Especificación	Detalle
1	Rango de medición	25cm a 450cm
2	Precisión	+/- 0.5cm
3	Alimentación	5 VDC a 30mA
4	Ángulo efectivo	< 50°
5	Frecuencia de trabajo	40KHz
6	Temperatura de trabajo	-10°C hasta 70°C

E. Control on-off con histéresis

Se define como la característica, modo o algoritmo, con el cual el controlador calcula la señal de salida para el elemento final de control, según la evolución de la variable de proceso y de su valor deseado; además de ello, incorpora un retardo en el cambio de la señal para disminuir la cantidad de conmutaciones, lo cual permite prolongar la vida útil de los componentes [14].

III. IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE AUTOMATIZACIÓN

Para la implementación del módulo de automatización se realizaron tres etapas, las cuales fueron desarrolladas a nivel de software y hardware. Primero, la etapa de la puesta en marcha de la plataforma Home Assistant en el ordenador Raspberry Pi 4 modelo B, luego la programación e integración al microcontrolador ESP32 y al sensor de ultrasonido, y finalmente la implementación del control on-off con histéresis basado en el Internet de las Cosas. Ver la figura 1.

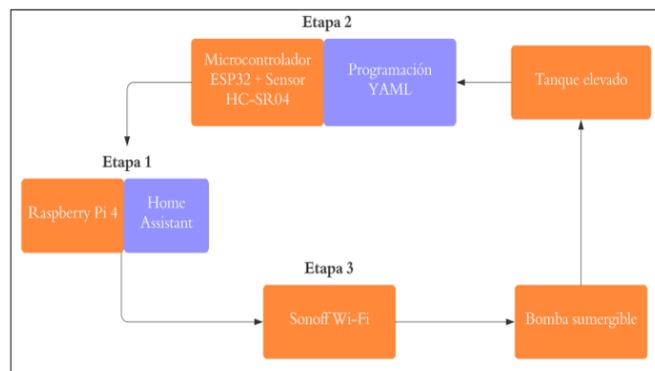


Fig. 1. Diagrama de bloques general con las tres etapas desarrolladas.

A. Primera etapa: puesta en marcha del Home Assistant en el Raspberry Pi 4B

El sistema operativo Home Assistant es muy versátil y como se ejecuta en distintos dispositivos y plataformas, se eligió el ordenador Raspberry Pi 4 modelo B, así como el software Raspberry Pi Imager v1.7.5. Asimismo, como medio

de instalación, se utilizó una memoria microSD clase 10 que garantiza una velocidad de 10 MB/s y un desempeño de 1500 IOPS de lectura aleatoria y 500 IOPS de escritura aleatoria. A continuación, se describe el procedimiento realizado.

- Configuración inicial. Se insertó 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. Luego, haciendo uso del navegador Google Chrome se procedió a ingresar el dominio indicado en el sitio web de Home Assistant (<http://homeassistant:8123/>), y posteriormente se crearon los datos de autenticación del usuario con el fin de evitar acceso no deseado. De igual forma, para garantizar la disponibilidad de acceso se configuraron los siguientes parámetros de red mostrados en la figura 2.

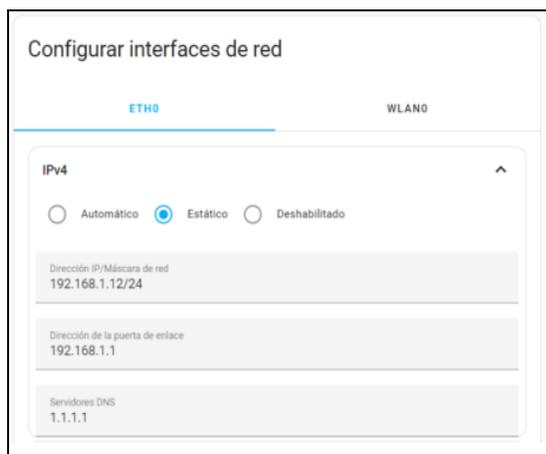


Fig. 2. Configuración de la interfaz de red cableada.

- Diseño del panel de automatización. Tuvo como objetivo ser lo más simple posible para el usuario final, incorporando tres tipos de indicadores para ofrecer una lectura del nivel actual, un registro del nivel en el tiempo y un interruptor para el accionamiento manual de la bomba sumergible.
- Configuración de la automatización. Para automatizar la bomba sumergible, se utilizó la sección de automatización del sistema operativo Home Assistant, creando cuatro reglas que a continuación se detallan. Asimismo, tales reglas estuvieron compuestas por desencadenadores, condiciones y acciones.
 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.

Seguidamente, en la figura 3, se muestra la captura de pantalla de la configuración de la tercera regla establecida y compuesta de un desencadenador, una condición y una acción, con el propósito de apagar la bomba sumergible cuando se sobrepasa la zona muerta determinada.

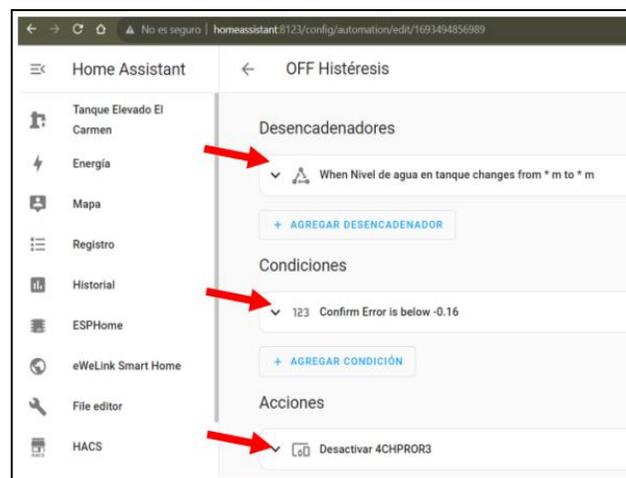


Fig. 3. Captura de pantalla de la configuración del Home Assistant con los componentes de la regla de automatización OFF Histéresis.

De igual forma, en la figura 4, se muestra la captura de pantalla de la configuración de la cuarta regla establecida y compuesta de un desencadenador, una condición y una acción, con el propósito de encender la bomba sumergible cuando se sobrepasa la zona muerta determinada.

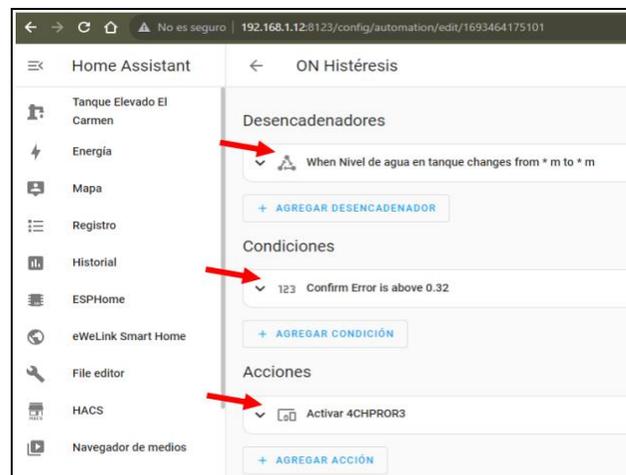


Fig. 4. Captura de pantalla de la configuración del Home Assistant con los componentes de la regla de automatización ON Histéresis.

B. Segunda etapa: puesta en marcha del microcontrolador ESP32 y el sensor AJ-SR04M

En esta etapa se realizó el diseño del circuito para enlazar el microcontrolador ESP32 y el sensor de ultrasonido AJ-SR04M. No sin antes, para lograr la integración entre la primera y segunda etapa, se realizó la instalación del

complemento conocido como ESP Home, el cual permitió adoptar diversos dispositivos. Es así como, después de que dicho complemento fue instalado correctamente, se realizó la configuración aplicada con el fin de asegurar la ejecución automática del mismo al encender el Raspberry Pi 4 modelo B; de igual forma, también se configuró la opción de vigilancia para que reinicie el complemento al cerrarse inesperadamente.

Posteriormente, se conectó el ESP Home a la computadora mediante un cable USB-A a MicroUSB, para la instalación de una versión base actualizada que pudiera conectarse a la red WLAN, y permitir una programación correcta de la tarjeta de desarrollo inalámbrica. Una vez finalizado el proceso de configuración de la red y habiendo desconectado el ESP32 de la computadora, se realizó el reconocimiento del dispositivo mediante el complemento ESP Home; además, se mostró la elección de adopción disponible permitiendo la finalización del proceso de integración de la tarjeta electrónica ESP32 DEVKIT V1 con el sistema operativo Home Assistant.

Complementariamente, se utilizó el lenguaje de serialización YAML para almacenar los datos de configuración como el nombre del dispositivo, la clave del API de Home Assistant, el nombre de la red WLAN con la cual se realizó la conexión y el algoritmo para el uso del sensor ultrasónico AJ-SR04M. De igual manera, se utilizó la herramienta ESPHome, que se encargó de crear un firmware personalizado para el ESP32 en base a un fichero en lenguaje YAML.

A continuación, la figura 5 muestra las líneas de código más relevantes de la programación utilizada; tal es así que, las líneas 33 y 34 se encargaron 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.

```

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

```

Fig. 5. Sección de las líneas de código de la programación realizada utilizando el lenguaje de señalización YAML.

Asimismo, fue importante la realización de la instalación del punto de acceso inalámbrico para garantizar una conexión WiFi confiable entre las tres etapas, para lo cual se tuvo que realizar previamente la medición de potencia correspondiente a la red WLAN del lugar donde se instaló la segunda etapa, la cual fue la institución educativa ubicada en la ciudad de Cajamarca, Lima, Perú. Dicha medición fue realizada con la aplicación WiFi Analyzer la cual otorgó el valor de -79dBm. Luego, se procedió con la instalación del punto de acceso inalámbrico adicional para mejorar la cobertura en la ubicación del tanque elevado. El punto de acceso utilizado correspondió al fabricante TP-Link, modelo TL-WA7210N.

Las dimensiones del tanque elevado, el cual se encuentra construido a 38 metros de distancia de la institución educativa elegida para este trabajo de investigación, fueron: 5.30 metros de elevación, 2.90 metros de diámetro, 1.50 metros de altura y 9.91 metros cúbicos de volumen.

C. Tercera etapa: puesta en marcha del conmutador WiFi

Esta etapa consistió en la integración de los contactores que activaron el encendido de la bomba de agua sumergible, con un relevador de cuatro canales IoT del fabricante Sonoff, para realizar el control on-off con histéresis de dicha bomba. A continuación, la figura 6 muestra una representación en bloques de las conexiones de los terminales A1 y A2 pertenecientes a la bobina electromagnética, para el encendido y apagado de la bomba sumergible.

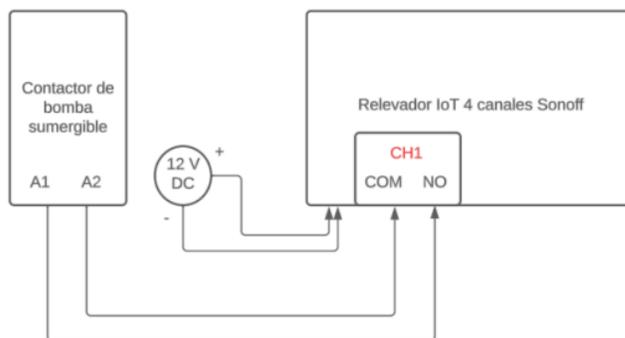


Fig. 6. Sección de las líneas de código de la programación realizada utilizando el lenguaje de señalización YAML.

Complementariamente, se registró el dispositivo IoT, anteriormente citado, a través del aplicativo eWeLink con la finalidad de contar con un acceso a la nube del fabricante Sonoff. Luego, se procedió a la instalación del complemento eWeLink en el Home Assistant a través de la opción de administración de repositorios; de esta manera, se logró la integración del servicio en la nube del aplicativo eWeLink.

IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

Seguidamente, se comparten las pruebas y resultados alcanzados de manera parcial y luego de forma total con la integración del módulo de automatización implementado en este trabajo.

A. Pruebas de funcionamiento de las etapas

Con el propósito de garantizar la confiabilidad del funcionamiento final de este proyecto, se realizaron pruebas parciales por cada una de las etapas antes de su integración, con el fin de gestionar correcciones pertinentes y afinar el funcionamiento individual.

- Etapa 1. La prueba realizada permitió comprobar el acceso al Home Assistant desde cualquier parte de la red LAN de la institución educativa, utilizando la IP 192.168.1.12 y el puerto de conexión 8123. Luego, se procedió a la implementación del gabinete general de red, en la propia institución educativa.
- Etapa 2. La prueba realizada permitió 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. Por lo cual, se obtuvo una mejora de la potencia de recepción en campo en +29dBm para el mismo punto de medición. Luego, se continuó con la instalación y conexión del sensor de ultrasonido AJ-SR04M y el microcontrolador ESP32.
- Etapa 3. La prueba realizada permitió comprobar el correcto funcionamiento del relevador de 4 canales Sonoff y su nube eWeLink, con la integración al sistema operativo Home Assistant; para ello, dicha prueba fue realizada a partir de la conexión de un foco led de 220VAC al canal número 1 del relevador IoT, logrando de esta manera el ensayo de encendido y apagado de una bombilla a través del Home Assistant desde un navegador web. Luego, se procedió con la implementación dentro del tablero eléctrico de la bomba sumergible.

B. Pruebas de lecturas de nivel sin accionamiento automatizado

Finalizadas las pruebas individuales por etapa, se procedió con la verificación de la integración entre etapas a través de tres ensayos durante periodos de tiempo aleatorios; no obstante, en estos ensayos no se activó el accionamiento automatizado debido a que aún no se contaban con los niveles críticos para el encendido y apagado de la bomba sumergible.

Seguidamente, la figura 7 muestra como el nivel de agua en el tanque elevado fue variando durante 20 horas seguidas, observándose que los picos máximos registrados representan el llenado al 100% del propio tanque elevado, en el momento de su rebalse; pues, el operador encargado era quien debía esperar dicho rebalse para luego apagar manualmente la bomba sumergible, generando un desperdicio de cierto volumen de agua. De la misma forma, en la figura 8 se muestra como el nivel disminuye drásticamente desde alrededor de las 7:00 a.m. hasta las 10:30 a.m. que se revierte la tendencia. Y de manera similar, los resultados obtenidos en el tercer ensayo también evidenciaron un comportamiento descendente del nivel de agua en el tanque elevado durante las primeras horas de una mañana.

Por lo tanto, estos ensayos permitieron establecer los parámetros de automatización de la bomba sumergible, en cuanto a la determinación de los valores de nivel crítico máximo y mínimo, para que el suministro de agua se mantenga óptimo en su funcionamiento evitando el desperdicio de agua, y la disminución del caudal por los ductos de la institución educativa. Estos valores de nivel crítico máximo y mínimo fueron 1.48 metros y 0.66 metros, respectivamente.

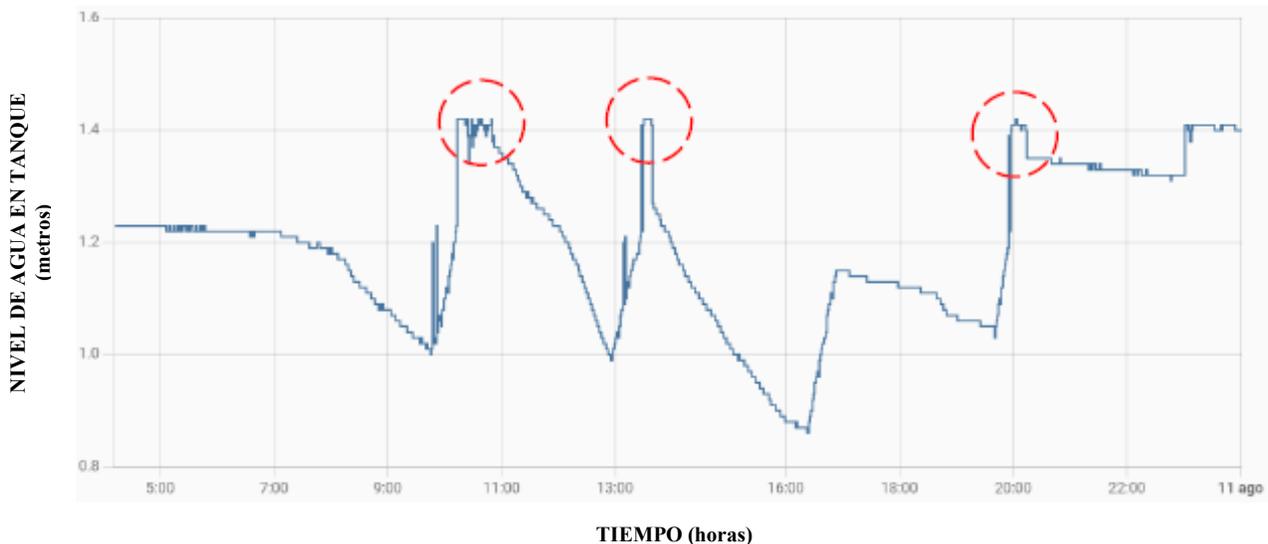


Fig. 7. Resultado del primer ensayo mostrando la lectura del nivel de agua en el tanque elevado.

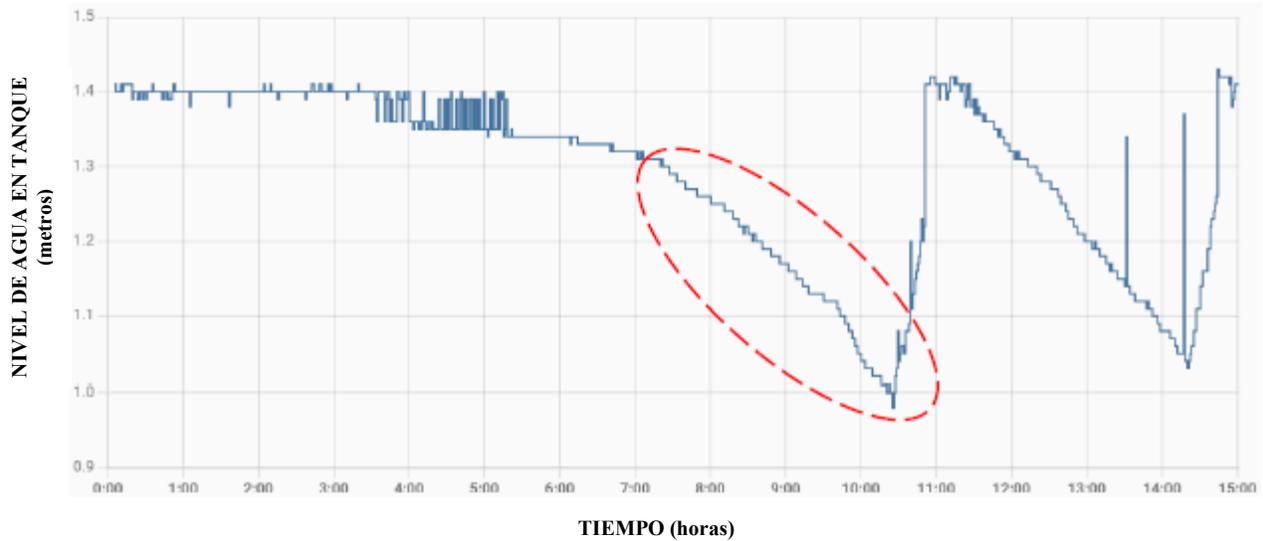


Fig. 8. Resultado del segundo ensayo mostrando la lectura del nivel de agua en el tanque elevado.

C. Resultados de funcionamiento con el controlador On/Off con histéresis

Una vez identificados los niveles críticos de funcionamiento, se habilitó la automatización de la bomba sumergible. Para ello, se eligió un tipo de control on-off con histéresis variando el margen de error en tres pruebas distintas, de tal manera que el controlador no conmute ante pequeñas variaciones ante la presencia de ruido. Para estas pruebas se mantuvo la misma ventana de tiempo, desde las 08:00 a.m. hasta las 02:30 p.m. teniendo en cuenta el horario de mayor concurrencia en la institución educativa.

Es así como, se establecieron tres zonas muertas para el control on-off con histéresis considerando un set point de 1.08 metros. Dichas zonas muertas fueron de +/-0.04 metros, +/-0.16 metros y +/-0.32 metros. Por lo cual, como resultado de la configuración de cada uno de los parámetros se obtuvieron gráficos que determinaron la evolución del nivel de agua en el tanque elevado, con el transcurrir del tiempo. De esta manera, para cada uno de los casos de zonas muertas seleccionadas, se observaron ciertas variaciones de las pendientes con valores negativos representando el consumo de agua por parte de la institución educativa, mientras que la pendiente positiva correspondió al accionamiento automatizado de la bomba sumergible. Este conjunto de datos fue recolectado en un determinado periodo de tiempo, durante el horario de clases.

A continuación, en la figura 9 se muestran los resultados obtenidos con las tres zonas muertas y en donde se concluye que mientras más amplia sea la zona muerta, menor número de tarea de encendido tendrá que llevar a cabo la plataforma Home Assistant. Pues, teniendo en cuenta que las pendientes positivas de cada uno de los gráficos indica un encendido de la bomba sumergible y que todas las pruebas se realizaron en el mismo periodo de tiempo, pero en diferentes días, se observa que para la primera zona muerta se tuvo un total de 4

encendidos, para la segunda zona muerta un total de 2 encendidos, y mientras que para la tercera zona muerta solamente se dio 1 encendido; tal es así que, se concluye que los parámetros más eficientes pertenecen a la tercera zona muerta.

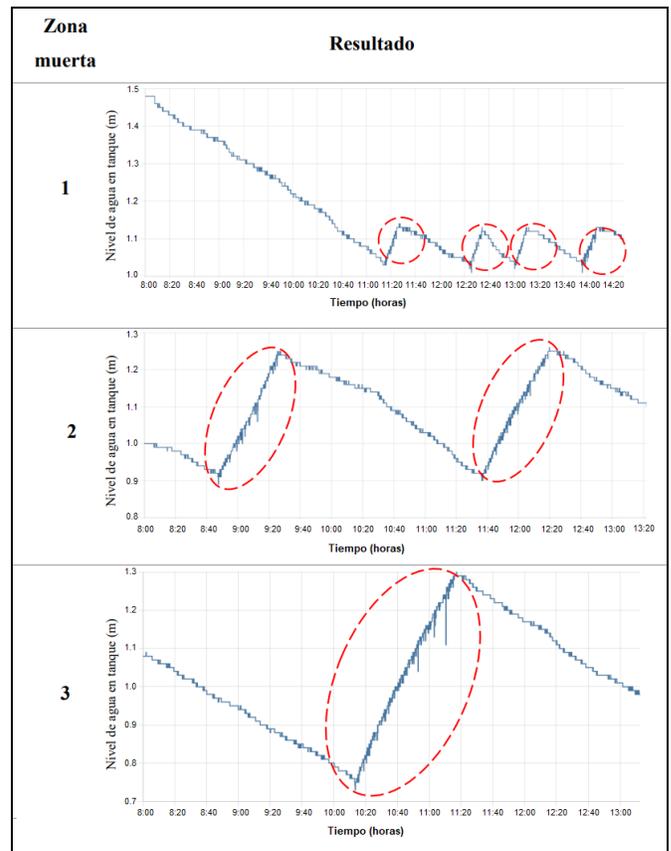


Fig. 9. Gráficos de comparación de resultados para el caso de las tres zonas muertas.

Igualmente, 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 [15]. Luego, en la figura 10 se muestra el diseño final del panel para el módulo de automatización planteado en este trabajo.

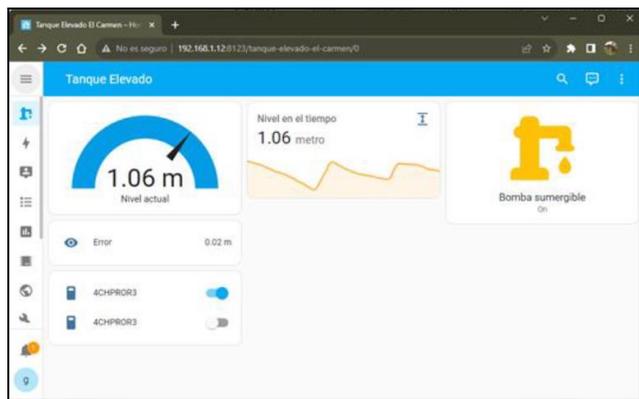


Fig. 10. Representación final del panel de automatización.

Por otro lado, el presupuesto para la implementación de la propuesta de este proyecto se muestra en la tabla III, donde se detalla el precio aproximado en dólares de los dispositivos electrónicos, bienes y materiales. Tal es así que, el costo-beneficio para esta solución de ingeniería resulta más atractivo.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se logró alcanzar los objetivos planteados, al implementar el módulo de adquisición de datos en el tanque elevado de la institución educativa, utilizando el microcontrolador ESP32, el sensor de ultrasonido AJ-SR04M, y una programación en YAML para que el sistema operativo Home Assistant registre el nivel de agua en tiempo real.

De igual forma, 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 que van desde las 08:00 a.m. hasta las 02:30 p.m., horario en donde se identificó un alto consumo generado por la presencia de la comunidad educativa en el horario escolar regular. Así mismo, se identificó la altura máxima de llenado en 1.48 metros, nivel en el cual el agua rebosó y la altura mínima de llenado en 0.66 metros, nivel en el cual la presión en la tubería de distribución disminuyó, lo cual permitió determinar el rango posible de funcionamiento de la bomba sumergible. De esta forma, se comprobó el funcionamiento de la solución de modo experimental, a través de datos adquiridos en campo mas no de una manera estadística.

Por otro lado, el uso de un complemento para Home Assistant perteneciente al fabricante Sonoff permitió la utilización del módulo IoT en las reglas de automatización creadas, logrando de esta manera ejecutar un control automatizado de tipo on-off con histéresis, cuyos resultados obtenidos en base a tres pruebas con distintas zonas muertas, determinaron que los parámetros de +/-0.32 metros resultaron ser los óptimos para garantizar el abastecimiento de agua en el tanque elevado. Esto permitió el encendido de la bomba cuando se registró un nivel mínimo de 0.76 metros (50.66% – 5.02 m³), y luego el apagado cuando alcanzó el nivel de agua máximo previsto de 1.4 metros (93.34% - 9.24 m³).

TABLA III
PRESUPUESTO DE LOS DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS, BIENES Y MATERIALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN

Ítem	Características	Cantidad	Precio (US\$)
1	Cable vulcanizado 2x14 AWG por metro lineal.	7	8.84
2	Raspberry Pi 4 modelo B.	1	106.45
3	Fuente de alimentación USB-TipoC.	1	12.63
4	Tarjeta SD 32 GB.		12.89
5	Sensor ultrasónico AJ-SR04M.	1	14.47
6	ESP32 DEVKIT V1.	1	11.84
7	TP Link access point.	1	49.74
8	Sonoff 4CHPROR3.	1	39.47
9	Tomacorriente Bticino 15A Oval 2p+t universal sobreponer.	1	7.34
10	Caja de pase 20x20x8 IP54.	1	8.66
11	Caja de pase 15x15x8 IP54.	1	5.50
12	Bolsa de 25 cintillos reutilizables.	1	6.03
13	Cinta aislante 19mm x 20 m.	1	1.55
Total			285.42

En cuanto a la presencia de una dependencia a la tecnología, como por ejemplo fallas en la conectividad, es preciso indicar que gracias a la flexibilidad de Home Assistant es posible configurar fácilmente una regla de control, la cual enviaría una notificación de pérdida de conexión con el sensor directamente al smartphone del encargado de la supervisión.

Igualmente, en cuanto al mantenimiento regular es importante mantener el Home Assistant y el firmware ESP Home actualizado mediante su interfaz web cada seis meses aproximadamente, y referente a la capacitación para el operador resulta completamente sencillo sin una alta inversión de tiempo. Por último, la implementación inicial no implica costos elevados tal como se visualizó en la tabla III, por lo cual no constituiría una barrera para una institución educativa interesada en la implementación de esta solución de ingeniería.

REFERENCIAS

- [1] E. Maz, y C. Vela, “Sistema Automático de Supervisión y Control de Nivel del Tanque Elevado Para Garantizar el Abastecimiento de Agua en la Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo”, Tesis para Título Profesional de Ingeniero, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú, 2018.
- [2] J. Guerrero y D. Games, “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”, Universidad Privada de Tacna, Tacna, Perú, 2017.
- [3] B. K. Akhmetzhanov, O. A. Gazizuly, Z. Nurlan and N. Zhakiyev, Integration of a Video Surveillance System Into a Smart Home Using the Home Assistant Platform, in *International Conference on Smart Information Systems and Technologies, 2022*.
- [4] A. M. Zharikov, D. A. Kozin, and P. V. Nekrasov, Design and Implementation of Home Assistant and TouchGFX Interaction Based on STM32 Microcontroller, in *Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies, 2022*.
- [5] O. Carrera y J. Landeros, “Monitoreo y control de pozos de agua a través de comunicación inalámbrica”, *Revista Ingeniantes*, vol. 2, no 1, 2015.
- [6] N. J. J. Gunawan et al., "Automatic Emergency Braking Based on Distance Using Fuzzy Logic Control," in 2024 IEEE International Conference on Smart Mechatronics (ICSMech), Yogyakarta, Indonesia, 2024, pp. 230-237.
- [7] A. Hussien, E. M. J. Evbogbai, H. E. Amhenrior, V. K. Abanihi, L. O. Bello and V. Oisamoje, "Design and Implementation of a Google Assistant Home Automation System," in 5th Information Technology for Education and Development (ITED), Abuja, Nigeria, 2022, pp. 1-5.
- [8] G. Herrera, “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 Título Profesional de Ingeniero, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú, 2023.
- [9] S. Romero, “Estudio de la plataforma domótica Home Assistant e integración en Raspberry Pi”, Tesis de fin de grado, Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2019, <https://hdl.handle.net/11441/94281>
- [10] R. Blum and C. Bresnahan, *Python Programming for Raspberry Pi in 24 hours*. Ed. SAMS: Pearson Education, 2013.
- [11] Raspberry Pi, *Raspberry Pi 4 Tech Specs. (octubre 2024)*. [Online]. Disponible: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>
- [12] Max Electrónica, “Sensor Ultrasónico Modelo AJ-SR04M Resistente al Agua No Sumergible”, (noviembre 2024). [Online]. Disponible: <https://maxelectronica.cl/movimiento-distancia/282-sensor-ultrasonico-modelo-aj-sr04m-resistente-al-agua-no-sumergible.html>.
- [13] Naylamp Mechatronics SAC. *NODEMCU-32 30-PIN ESP32 WIFI*, (diciembre 2024). [Online]. Disponible: <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/384-nodemcu-32-30-pin-esp32-wifi.html>
- [14] P. Aparicio, “Sesión 10: control de dos posiciones (Control On Off)”, (diciembre 2024). [Online]. Disponible: <https://es.scribd.com/presentation/541181574/SESSION-10-CONTROL-DE-DOS-POSICIONES-Control-on-off>
- [15] B. Yshikawa. Parámetros Específicos de Mantenimiento de Componentes de la Infraestructura Educativa. Guía del Ministerio de Educación, Perú, 2021.