

SmartTank – Control De Calidad Automático y Remoto Para Cisternas.

Alvarado Sibrián, Diego Fernando N°de carnet: 00127522

Argueta Flores, Alison Aracely N°de carnet: 00076422

Castro Quintanilla, Diego Eduardo N°de carnet: 00117322

Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Departamento de electrónica e informática

Programación de Artefactos

Antiguo Cuscatlán, San Salvador, El Salvador

1 de diciembre de 2025

Índice

Resumen	3
Introducción.....	3
Objetivos.....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos	4
Alcance	4
Limitaciones	5
Antecedentes.....	5
Justificación.....	6
Metodología de desarrollo	7
Desarrollo del proyecto	9
Marco conceptual.....	9
Cisterna.....	9
Microcontrolador ESP32.....	9
Sensor ultrasónico HC-SR04	10
Sensor de pH	10
Sensor TDS	10
Realización de prototipos.....	10
Implementación sensor ultrasónico.....	11
Implementación de sensor TDS	11
Implementación sensor de pH.....	12
Implementación de bombas.....	12
Creación de interfaz	13
Integración del sistema.....	13
Presentación del prototipo.....	13
Resultados.....	14
Conclusiones.....	14
Bibliografía.....	16

Resumen

La disponibilidad de agua en El Salvador es un problema recurrente en la actualidad y en varias partes del mundo, y en ocasiones el tanque almacenamiento o cisterna no cumple con medidas mínimas de salubridad, provocando múltiples enfermedades e incluso la mortalidad infantil. Este trabajo propone SmartTank, un sistema que integra sensores ultrasónicos para medir el nivel en que se encuentra el porcentaje de llenado del tanque, e integra sensores de pH y de turbidez o TDS para evaluar su calidad. Brindando el completo control al usuario mediante la implementación de un dashboard en que se presenta la información en tiempo real.

Introducción

El presente trabajo está influenciado por una problemática que una gran cantidad de la población salvadoreña ha sufrido en algún punto de sus vidas: La falta total o parcial de agua potable, junto con el poco o nulo conocimiento de las reservas existente y estado de limpieza del vital líquido almacenado en las cisternas de sus hogares o lugares de trabajo.

Para abordar este problema, se expone el proyecto SmartTank, el cual busca desarrollar un sistema automatizado para monitorear y controlar el nivel y la calidad del agua en una cisterna residencial o de una pequeña empresa.

Los ejes problemáticos que se encontraron son el poco conocimiento del nivel de llenado al que se encuentra la cisterna y la incertidumbre de la calidad del agua que se utiliza para actividades cotidianas. Se busca solución mediante la unificación del microcontrolador ESP32, sensor ultrasónico para medir su llenado y sensores más especializados como el de pH y de turbidez y se implementa un tablero que contiene toda la información relevante que el usuario final necesita.

Toma en consideración limitaciones técnicas que pueda tener el usuario, se implementa un sistema de monitoreo físico, en caso de no contar con el sistema de monitoreo remoto o un dispositivo para observarlo. Esto mediante 3 luces LEDs, que realizan la función de una alarma, con un identificador visual del llenado del tanque: verde cuando está lleno, amarillo cuando está semi vacío y rojo cuando se detecta poco llenado, esto gracias al sensor ultrasónico.

Objetivos

Objetivo general

Proponer y construir un prototipo funcional de un sistema de monitoreo inteligente capaz de medir el nivel, el pH y la pureza del agua en una cisterna, con el fin de evaluar su calidad en tiempo real y operado de manera automática el vaciado y llenado del tanque cuando los resultados medidos sean negativos, además, permitir la visualización de datos y control remoto manual de todo el proceso a través de una interfaz web intuitiva

Objetivos específicos

1. Componer y mostrar un sistema que integre los sensores ultrasónicos, de pH y turbidez, con visualizaciones de alerta físicas mediante LEDs
2. Desarrollar el código fuente que se cargará a la placa ESP32, y donde se asegura el correcto funcionamiento de todo el proyecto una vez ya armado
3. Diseñar y crear una página web que implementa el protocolo MQTT, con el broker MQTT “Mosquito”, donde el usuario puede observar los datos en tiempo real y permita el control remoto de las bombas en las cisternas.

Alcance

El proyecto abarca cuatro grandes áreas:

1. Diseño e integración del circuito físico: Incluye el ensamble de todos los elementos del circuito del microcontrolador ESP32 con los sensores de turbidez, pH y ultrasónico, bombas de agua y el sistema de alarma de LEDs mediante jumpers.
2. Desarrollo del código y lógica de control del sistema: Presentación del código basado en el lenguaje de programación C++ para ser implementado en el IDE Arduino, lo que incluye la lógica y gestión de la comunicación WiFi y protocolo MQTT
3. Diseño y programación de la interfaz del usuario: Engloba al diseño y creación de un dashboard que es la herramienta empleada para mostrar en tiempo real los datos obtenidos de los diferentes sensores y le permite al usuario el control remoto del estado del sistema
4. Presentación de prototipo funcional: Se realizan verificación funcional de todo el sistema en un ambiente controlado y comprobación que los datos obtenidos sean acordes a los datos esperados

Limitaciones

El sistema posee limitaciones, por lo cual no se contempla:

1. Tratamiento del agua: El proyecto no incluye funciones para la purificación del agua en caso de que esta no sea apta para el consumo y su uso. Su función es estrictamente de monitoreo y control manual y automático de llenado, enjuague y drenaje.
2. Plataformas de interfaz: No se incluyen aplicaciones móviles ni actualizaciones de software. El dashboard es exclusivo para computadoras que cuentan con docker y las configuraciones necesarias para su uso
3. Mantenimiento y uso: No se considera la escalabilidad para la venta del sistema, ni se debe de tomar el proyecto como un recurso a utilizar para verificar garantías de seguridad industriales; tampoco se integran sistemas de auto calibración, el usuario deberá realizar calibraciones de manera manual
4. Recursos necesarios: El funcionamiento del sistema depende de los recursos que el usuario posea, como la conexión a internet, hardware y software necesario, entre otros. Los desarrolladores del proyecto no se hacen responsables de brindarlos

Antecedentes

Productos enfocados al monitoreo remoto de cisternas ya se encuentran en el mercado actualmente. La empresa Rotoplas es el principal líder en este tipo de rubro.

Dicha empresa cuenta con un “medidor de nivel” para cisternas, el cual monitorea en tiempo real el nivel de agua de cisternas desde un dispositivo móvil (Rotoplas, s.f.). Para noviembre de 2025 se comercializa mediante la plataforma Amazon México en \$1,287.78 pesos mexicanos, lo que equivale a alrededor de \$70.56 dólares estadounidenses (USD) (Amazon México, s.f.).

Una versión más económica también distribuida por la misma empresa y que se puede encontrar en El Salvador es “Electronivel con cable de 5 m para tanque o cisterna” con el propósito también de medir el nivel de agua, pero sin brindar una aplicación de muestra de datos. Su precio está en \$25.90 USD (Freund Ferretería, s.f.).

Para el manejo de turbidez se encuentran alternativas en negocios locales como el “Analizador tds portátil para agua PURICOM” por el valor de \$21.95 USD, sin embargo, este se debe de utilizar manualmente con agua recolectar de la cisterna, lo cual podría traer complicaciones al tratar de obtener muestra o cuando sea necesaria por la falta de servicio esta disponga un dato muy elevado, por lo cual no se considera un medio útil para la prevención de ese problema (Vidri, s.f.).

Por otro lado, investigaciones como el de González Abelleira (2014) consideran relevante la utilización de sensores de pH y turbidez para el estudio de la calidad del agua en cisternas. Ya que, aunque el pH no causa efectos adversos para la salud, es un parámetro para identificar otros indicadores, y es importante debido a que un pH alto podría causar corrosión de tuberías.

Justificación

En 2017, informes de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y de UNICEF, estimaban que: “Alrededor de 3 de cada 10 personas, o 2100 millones de personas, carecen de acceso a agua potable, y 6 de cada 10 personas, o 4500 millones, carecen de un saneamiento seguro” (Organización Mundial de la Salud, 2017, párr. 1)

Sin embargo, aunque se han realizado campañas y trabajos civiles desde el año 2000 para que miles de millones de personas en el mundo contaran con acceso a servicios de agua potable básicos, esto no es garantía de una buena calidad o que su almacenamiento sea seguro y adecuado para el consumo humano, lo que genera un estimado de 361,000 de infantes que fallecen anualmente por diarrea y enfermedades como el cólera, disentería, hepatitis A y fiebre tifoidea (OMS, 2017).

En un contexto geográfico más cercano, El Salvador se ve afectado de manera habitual por las deficiencias en los servicios de agua potable, esto a raíz de fallas en el sistema dispuesto por ANDA (Administradora Nacional de Acueductos y Alcantarillados), afectando a miles de familias salvadoreñas (Alas, 2025). Es bajo este contexto que la población ha buscado alternativas al servicio de agua nacional, como recurrir al almacenamiento de agua en tanques y/o la contratación de empresas privadas distribuidoras de agua. La empresa Rotoplas (s.f) expresa que, en 2021 en Centroamérica, 2 mil millones de personas vivían en escasez de agua y se espera el aumento a estas cifras debido a desastres naturales causados por el cambio climático y crecimiento demográfico.

Dados estos escenarios, la propuesta SmartTank nace y se destaca por brindar una solución para la gestión de cisternas residenciales, lo que previene el alto riesgo de consumir o emplear agua contaminada.

El mal estado del vital líquido no siempre es una característica que se puede denotar a simple vista, lo cual causa riesgos de contraer enfermedades bacterianas por lo que es de relevancia el uso de sensores especializados, y combinado esto último con el monitoreo y control automático, hace del proyecto una respuesta aceptable y más completa en comparación a otras herramientas que se pueden encontrar en el mercado.

Y de igual manera, se toma en consideración el ritmo acelerado de vida de la sociedad, muchos individuos no toman con seriedad y responsabilidad el nivel de suciedad en las cisternas de sus hogares, por lo que se implementa un sistema automatizado de vaciado cuando el sensor de turbidez detecta un nivel alto en los datos

obtenidos y llenado automática, con enjuague continuo de la cisterna hasta que los niveles marcados sean apto para el consumo.

Metodología de desarrollo

Para la realización de este proyecto se optó por adoptar y adaptar a la metodología de prototipado ágil, la cual se implementó debido a la facilidad con la que se podrían identificar la existencia de un error en cada componente que conforma el circuito previamente, esto es un paso facilitador para brindar su respectiva corrección y aprobación para continuar con la siguiente fase. Las etapas principales que se siguieron hasta lograr un prototipo completamente funcional y que responda de acuerdo con la propuesta planteada se presentan a continuación:

1. Análisis de requerimientos

Se identifica la problemática a resolver, su alcance, limitaciones y se brindan especificaciones técnicas, definición de objetivos generales y específicos.

Es el punto donde se justifica el propósito y las funcionalidades finales esperadas del proyecto.

2. Diseño inicial

Propuesta inicial del sistema basándose en el cumplimiento de los objetivos planteados y se consideran las piezas, componentes o sensores necesarios para su desarrollo. Se procede a su respectiva cotización y compra.

3. Pruebas individuales de componentes y sensores

Al ya contar con los elementos primordiales a utilizar a los que se debe programar individualmente como son el sensor ultrasónico de pH y TDS, bombas de agua, entre otros; se prueban y valida su correcto funcionamiento para reconocer posibles fallos y realizar los respectivos cambios de ser necesario.

4. Integración continua de elementos con correcto funcionamiento

En esta fase ya se cuenta con todos los aparatos y sensores con pruebas completadas positivamente, luego se procede con la integración de forma progresiva varios elementos entre sí. Por ejemplo, se unifica el sensor ultrasónico con los tres LEDs que se encienden según diferentes medidas obtenidas y el manejo de las bombas de agua con su respectivo código.

5. Desarrollo de la interfaz e implementación final

Se crea el dashboard en paralelo con la integración física de los elementos, se brinda el diseño y código de la vista y se configura con los datos necesarios a mostrar, y da al usuario la decisión del modo en que se encuentre el sistema: Automático o manual.

El criterio de aceptación para culminar esta etapa es la carga del código base fuente al ESP32 y muestra información en tiempo real en el dashboard. Por lo que se cuenta con el producto mínimo viable, es decir, el prototipo funciona para cumplir su propósito

6. Pruebas de integración

Se valida el funcionamiento de todo el sistema y se realizan revisiones finales de los componentes para comprobar el desempeño esperado y pruebas más cercanas al entorno real con agua potable y pruebas con agua contaminada.

Se corrigen fallos inesperados identificados en el desarrollo y se hacen sus respectivas modificaciones, como lo es la adición de relés y fuentes externas para alimentar las bombas de agua.

7. Presentación del prototipo final

Montaje final de la maqueta a presentar con el prototipo y se concluye la documentación requerida del proyecto

Recursos y presupuesto

Para la creación del prototipo final de SmartTank se requirieron múltiples elementos electrónicos y sensores, los cuales van especificados en la Tabla 1. La adquisición y cotización de dichos productos se realizó entre octubre y noviembre del año 2025 en la zona metropolitana de El Salvador, y se declara su valor en dólares estadounidenses (USD)

Tabla 1

Lista de elementos necesarios para el prototipo con su respectiva inversión

Elemento	Cantidad	Precio unitario	Subtotal
Placa ESP32	1	\$14.00	\$14.00
Sensor ultrasónico	1	\$3.00	\$3.00
Sensor de pH con módulo	1	\$30.00	\$30.00
Sensor TDS con módulo	1	\$20.00	\$20.00
LED 3mm color ámbar	1	\$0.20	\$0.20
LED 3mm color rojo	1	\$0.20	\$0.20
LED 3mm color verde	1	\$0.20	\$0.20
Resistencias 220Ω	3	\$0.10	\$0.30
Bomba de agua sumergible	1	\$2.50	\$2.50
Bomba de drenaje secundaria	1	\$2.50	\$2.50
Photoboard	1	\$8.99	\$8.99
Manguera plástica de 3m	1	\$1.80	\$1.80
Recipiente plástico	3	\$1.20	\$3.60
Pegamento blanco para madera	1	\$2.75	\$2.75
Base de maqueta	1	\$5.00	\$5.00

Casa de juguete	1	\$2.50	\$2.50
Silicon líquido	1	\$3.95	\$3.95
Pintura en aerosol	1	\$1.25	\$1.25
Cautín	1	\$3.00	\$3.00
Relé de 5V	2	\$2.20	\$4.40
Portapilas para 4 baterías AA	1	\$1.00	\$1.00
Pilas de 1.5V	Un juego	\$1.25	\$1.25
Cables jumper macho*macho y macho*hembra	Un juego	\$3.99	\$3.99
<hr/>			
Total			\$116.38
<hr/>			

Desarrollo del proyecto

Marco conceptual

Se presentan los conceptos que se deben de conocer para alcanzar un mejor entendimiento de la etapa de desarrollo

Cisterna

Con referencia a la información compartida por la empresa Rotoplas que se especializa en cisternas y artículos relacionados a este rubro, esta estructura sirve para el almacenamiento de agua potable y mediante la utilización de bombas de agua brinda continuación al servicio aun cuando exista una interrupción o cortes en el suministro (Rotoplas, s.f.)

Se pueden clasificar según el lugar en que se encuentran, ya sea subterráneas o sobre el suelo y se elaboran de concreto, metal o plástico (Rotoplas, s.f.)

Microcontrolador ESP32

Una unidad de microcontrolador (MCU) brinda en esencia la funcionalidad de una computadora básica que no requiere complejidad en sistemas operativos. Al emplear periféricos de procesamiento, memoria y de entrada y salida, lo hacen muy útiles para trabajos de robótica, automatización y proyectos del Internet de las Cosas (IoT) al configurarse fácilmente con múltiples lenguajes de programación en entorno de desarrollo integrado o IDE (Schneider y Smalley, s.f.)

El ESP32 es una serie de SoC (System on Chip, por sus siglas en inglés), fabricados por la empresa Espressif. Cuenta con más núcleos que sus antecesores, brinda mayor cantidad de pines de entrada y salidas, compatibilidad con Bluetooth 4.2 y Bluetooth de baja energía con conexión a WiFi más rápida. (Guerra Carmenate, s.f.).

Sensor ultrasónico HC-SR04

Se define como “un sensor de distancias por ultrasonidos capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 2 a 450 cm.” (Portilla Granados, 2015, párr. 2).

Mide el tiempo entre el envío y recepción de un pulso sonoro. Para conocer la distancia se parte a partir de dividir tiempo entre la multiplicación de dos veces el tiempo, debido a que se mide el pulso en ida y vuelta, sino el dato sería el doble del valor buscado (Portilla Granados, 2015).

Sensor de pH

La funcionalidad de este sensor es de medir “el nivel de acidez o alcalinidad (pH) en un líquido o solución. El sensor contiene un electrodo de vidrio que es sensible a los cambios de pH. Cuando el sensor de pH se sumerge en un líquido, los iones de hidrógeno del líquido interactúan con el electrodo de referencia, lo que crea una carga eléctrica. El sensor mide esta carga y la convierte en un valor de pH, que se muestra en una pantalla o se envía a un registrador de datos.” (Meacon Sensor, 2024, párr. 1).

Sensor TDS

Este sensor llamado TDS por sus siglas en inglés (Total Dissolved Solids), brinda el porcentaje de componentes disueltos en el agua, principalmente calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos, así como cantidades pequeñas de componentes orgánicos y se mide por unidad de volumen de agua (mg/L) o partes por millón (PPM) (Hanna Instruments, 2025).

Según la OMS los niveles recomendados de niveles medidos por el TDS en mg/L son:

- 0 – 300 – Excelente calidad de agua potable
- 300 – 600 – Nivel Bueno
- 600 – 900 – Nivel Regular
- 900 – 1,200 – Nivel Pobre (no recomendable)
- 1,200 a más – Inaceptable

Realización de prototipos

Al inicio del proyecto la zona metropolitana de El Salvador había pasado más de tres días sin el servicio de agua potable, por lo que se experimentó de primera mano la necesidad de contar con una reserva en los hogares. Este evento permitió identificar dos interrogantes que los autores del presente estudio poseían: ¿El agua de las cisternas

estará limpia? ¿Tendrá suficiente agua como para cubrir las necesidades básicas durante varios días?

Para comenzar a abordar una solución a este problema, se propuso la utilización del sensor TDS, que, aunque es de vital importancia para el propósito del sistema, no es recomendable ser la única fuente de referencia de prueba de la calidad del agua (Hanna Instruments, 2025). Por lo tanto, se buscó un sensor de fácil acceso en el mercado salvadoreño: el sensor de pH. Con ambos sensores ya podíamos llegar a conclusiones sobre la contaminación real que presentara el líquido dentro de la cisterna, pues un pH fuera del rango de 6.5 a 9.5 no es apto para el consumo humano y si el nivel de turbidez es alto señala contaminación proveniente de otra fuente. Ambos sensores se complementan entre sí, pues un pH óptimo no significa un que no posea sales o minerales dañinos o viceversa.

Como primer punto luego de contar con la idea del producto final esperado y las funciones que realizaría, se adquirieron los elementos necesarios.

Implementación sensor ultrasónico

La primera prueba realizada fue si el sensor ultrasónico mediría correctamente la distancia hasta que chocara con el agua, al no tener conocimiento previo sobre su resultado directo con líquidos. Se comprobó finalmente que su proceso es el mismo a un material sólido, y se implementaron 3 LEDs de color rojo, ámbar y verde para señalar el porcentaje de llenado del tanque o cisterna, dividido de la siguiente manera:

- Cuando el llenado del tanque es mayor o igual del 70% se enciende el LED verde
- Si es mayor a 30% y menor al 70% se encuentra en un estado semivacío, encendiéndose el LED amarillo
- El LED rojo es encendido cuando el llenado del tanque es menor o igual del 30%

El sensor ultrasónico mide la distancia desde donde se encuentra hasta el agua, el recipiente utilizado es de aproximadamente 12cm de altura, por lo cual se definió como la altura máxima que se podría obtener. Luego se calcula la distancia real del agua al restar la altura máxima del recipiente menos la distancia medida del sensor, ahora esta altura real se divide entre la altura máxima multiplicada por 100 para obtener el porcentaje de llenado. Toda esta lógica se ve reflejada en el código para medir estos parámetros y luego codificarlos para que respondan estos datos con el encendido del respectivo LED.

Implementación de sensor TDS

Se probó individualmente el sensor de TDS con un código que mostrara únicamente los datos medidos de dicho elemento en el monitor serial, al recibir una medición estable sumergido en agua potable y que correspondiera a su rango de valores menor a 200 ppm, se colocó bicarbonato en polvo en el líquido y se comprobó que subiera los valores.

Implementación sensor de pH

El primer paso para implementar el sensor de pH cuando este es nuevo, es calibrarlo para evitar errores en la medición. (Royal Brinkman, s.f.).

Tomando como guía los pasos recomendados en la página Royal Brinkman se realizó un pequeño código para que mostrara los datos medidos en el monitor serial y se procedió con la calibración de la siguiente manera:

- Sumergir el electrodo del sensor en su respectivo líquido aditivo durante toda la noche
- Se retira el electrodo del líquido aditivo y se enjuaga con agua purificada, luego se sumerge en agua purificada y se espera hasta que su medición sea estable
- Se vuelve a enjuagar el electrodo y se colocó en jugo de limón y se espera el cambio de medición
- Se vuelve a enjuagar y se guarda en su líquido aditivo

En este punto se integraron los tres sensores en el recipiente que hará de cisterna principal, para fijarlas se realizaron tres agujeros con la ayuda del cautín en la tapa plástica, dos para el transmisor y receptor del sensor ultrasónico y otro lo suficientemente grande para que entrara el electrodo del sensor de pH y el sensor TDS.

Implementación de bombas

Se consiguieron dos recipientes más que se colocaron a ambos lados del tanque principal, uno realizará la función de tanque de reserva y el otro como un depósito de desagüe. Primero se probaron las bombas con un código solo para comprobar su funcionamiento, con el cual se concluyó que sí contaba con la suficiente potencia como para trasladar el agua de un tanque a otro.

Se agregó una bomba al fondo del recipiente de almacenamiento y otro en la cisterna que contenía los sensores, en la salida de la bomba se colocó una manguera a la cual se le ajustó el tamaño para que esté conectada del depósito-cisterna y la segunda manguera con la bomba que va desde la cisterna hasta el desagüe.

Como paso intermedio se realizaron dos 3 agujeros más en la tapa del recipiente principal, uno al centro para el cableado de la bomba y los restantes a cada extremo para pasar las mangueras, así como también fue necesario replicar este proceso para el recipiente de almacenamiento y desagüe para la bomba y manguera respectivamente.

Ahora al contar con un sistema más unificado, se continuó con la integración de todos los componentes. El código que se tenía de las pruebas de cada sensor se añade para crear un único código con toda la lógica necesaria para su funcionamiento. En este punto la bomba llenaba la cisterna, los sensores expresaba el porcentaje de llenado, pH y turbidez del agua y se podía drenar el agua de ser necesario.

Creación de interfaz

Mientras se concluía la construcción del prototipo, se diseñó y programó la interfaz desde la cual el usuario puede observar todos los datos de la cisterna y controlar si desea que el sistema funcione de manera automática o manual. Para su creación se utilizaron dependencias externas de CSS y de JavaScript con comunicación directa con el broker MQTT, donde se brinda acceso con el usuario y contraseña ingresada al momento de la creación del broker.

El dashboard incluye la presentación de la libre dentro del tanque, altura del nivel de agua, porcentaje del nivel del tanque, la escala de pH y a qué clase corresponde, los valores de turbidez medidos en ppm, el estado de las bombas de llenado y de drenaje (encendida o apagada), el modo en que se encuentra el sistema (manual o automático) y la calidad del agua basándose en los datos del sensor TDS y su significado.

Integración del sistema

Se finaliza con el desarrollo del proyecto se acopla la interfaz con el circuito físico creado, se realizan pruebas de funcionamiento finales. En este punto se identifica la inestabilidad de la bomba debido al voltaje, por lo que se utiliza un relay con el VIN, sin embargo, esta solución continuaba con respuesta inestables al conectar el microcontrolador, por lo que se agregó una fuente externa de 6V mediante un portapilas y cuatro baterías AA.

Al corregir los errores de arquitectura del circuito se agrega al código la parte lógica necesaria para la conexión a internet para el envío y recibimiento de datos mediante el dashboard.

Presentación del prototipo

En la base de madera se pegaron seis rectángulos de igual tamaño paralelamente, como representación de los cimientos para colocar los recipientes plásticos de almacenamiento. Posteriormente se escondió la photoboard en una estructura similar a una casa de material plástico y se cubrió el cableado de la mejor manera mediante la implementación de diferente decoración para simular el paisaje que rodea una zona residencial.

Resultados

Como evidencia principal de resultados y del cumplimiento de la propuesta se presenta el dashboard web desarrollado. Se muestra en la Ilustración I los datos obtenidos en la última prueba de integración realizada, indicador que todo el sistema cumple con su propósito tanto de manera manual como de manera automatizada: permite el enjuague continuo de la cisterna, existe un constante flujo entre la bomba de llenado y la de drenaje hasta que el agua alcance nuevamente rangos aceptables de turbidez.

Con el dashboard se logra:

- Encendido y apagado remoto de las bombas
- Cambio a modo manual y automático. Encontrándose por defecto en modo manual para que el usuario posea control desde el inicio
- Visualización en tiempo real el estado del sistema

Dashboard del sistema



Ilustración 1. Presentación de la interfaz creada para el usuario

Conclusiones

Con el prototipo de SmartTank se consiguió exitosamente los objetivos iniciales propuestos: el monitoreo remoto del nivel de agua, pH y turbidez de una cisterna en tiempo real. En consecuencia, también se cumplió la integración de todos los sensores a utilizar, el código de funcionamiento del sistema para un microcontrolador ESP32 y el diseño y el manejo de la interfaz del usuario.

Durante el proceso de desarrollo se pueden detectar múltiples lecciones de diferentes componentes, por ejemplo, la placa ESP32 no tenía la suficiente potencia para conseguir que todos los componentes encendieran, por lo que fue relevante la integración de una fuente externa. También es importante mencionar que el sensor de

pH estará descalibrado como etapa inicial, aunque este sea nuevo y se recomienda hacer calibraciones periódicas o cuando se considere necesario con líquido de pH conocido, y se recomienda tener el cuidado de que la punta siempre esté sumergida bajo el líquido base. Se identificó, además, un retraso inicial de unos segundos en la carga del código, esto posiblemente debido a que se emplearon algunos componentes usados previamente y de menor costo, también se puede originar este error por bajo ancho de banda de la red de internet a la que se conecta el microprocesador.

Se agrega otro punto relevante en las medidas dadas por el sensor ultrasónico, y se reconoce una falla de manera empírica cuando la distancia con el objeto de que identifica es muy corta, lo que provoca una incerteza de al rededor del 10%

Por otro lado, la automatización del proceso también presentó ser un desafío al momento del enjuague del tanguete, pues entraba en conflicto las bombas en su etapa inicial, pues la bomba de llenado se activa únicamente cuando se mide un nivel de agua menor al máximo y a la vez se activa la bomba de drenaje cuando se presenta algo nivel de TDS, así que al contaminar el agua estas no funcionaban de la manera esperada. Se optó por usar un método exclusivo para drenaje en donde primero se vacía el tanque, se activa la bomba de llenado y hasta que se está en más de un 70% de capacidad se evalúa nuevamente los niveles de TDS, si estos aún no son dentro del rango adecuado se repite el proceso cuantas veces sea necesario, y se recalca la importancia de la separación de responsabilidades y modulación de código.

Bibliografía

- Rotoplas. (s.f.). App Rotoplas. Recuperado el 15 de noviembre de 2025, de <https://app.rotoplas.com/>
- Rotoplas. (s.f.). Medidor de Nivel de Agua Kit Alámbrico [Página de producto en Amazon México]. Recuperado el 15 de noviembre de 2025, de <https://www.amazon.com.mx/Rotoplas-Medidor-Al%C3%A1mbrico-medidor-cisternas/dp/B0DMTTJMZV>
- Freund Ferretería. (s.f.). ROTOPLAS ELECTRONIVEL CON CABLE DE 5 m PARA TANQUE O CISTERNA [Página de producto]. Recuperado el 15 de noviembre de 2025, de <https://www.freundferreteria.com/producto/2193901>
- Vidri. (s.f.). Analizador tds portátil para agua PURICOM [Página de producto]. Recuperado el 15 de noviembre de 2025 de <https://www.vidri.com.sv/producto/140979/analizador-tds-portatil-para-agua.html>
- González Abelleira, M. (2014). Estudio de la calidad del agua en cisternas de captación de agua de lluvia en escuelas rurales de Alagoas, Brasil [Trabajo fin de máster, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio institucional de la UPM. https://oa.upm.es/32582/1/TESIS_MASTER_MAFALDA_GONZALEZ_ABELLEIRA.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (2017, 12 de julio). 2100 millones de personas carecen de agua potable en el hogar y más del doble no disponen de saneamiento seguro [Comunicado de prensa]. <https://www.who.int/es/news/item/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe-sanitation>
- Alas, E. (2025, 21 de septiembre). Dónde contratar empresas que sirven pipas de agua potable, ante crisis en San Salvador. El Salvador.com. <https://www.elsalvador.com/noticias/nacional/agua-potable-suministro-de-anda/1243433/2025/>

Rotoplas. (s.f.). ¿Te duele el estómago? Ojo podrías estar bebiendo agua contaminada. Recuperado el 26 de noviembre de 2025, de <https://rotoplascentroamerica.com/te-duele-el-estomago-ojo-podrias-estar-bebiendo-agua-contaminada/>

Rotoplas. (s.f.). ¿Qué es una cisterna? Recuperado el 27 de noviembre de 2025, de <https://rotoplascentroamerica.com/que-es-una-cisterna/>

Schneider, J. & Smalley, I. (s.f.). ¿Qué es un microcontrolador? IBM Think. Recuperado el 27 de noviembre de 2025, de <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/microcontroller>

Guerra Carmenate, J. (s.f.). ESP32 Wifi y Bluetooth en un solo chip. Programar Fácil. Recuperado el 27 de noviembre de 2025, de <https://programarfácil.com/esp8266/esp32/>

Portilla Granados, L. A. (2015). U5 ultrasónico. Universidad de Pamplona. Facultad de Ingenierías y Arquitectura. https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_74/recursos/visual-basic-para-excel/24042017/u5_ultrasonico.jsp

Meacon Automation. (2024, 19 de agosto). Sensor de pH: ¿Qué es y cómo funciona? Meacon Automation. <https://es.meaconsensor.com/training/what-is-a-ph-sensor-how-does-it-work>

Hanna Instruments. (2025, 31 de julio). ¿Cómo funciona el TDS del agua y qué significa? Hanna Colombia. <https://hannacolombia.com/como-funciona-el-tds-del-agua-y-que-significa/>

Royal Brinkman. (s.f.). Cómo calibrar un medidor de pH. Royal Brinkman España. Recuperado el 28 de noviembre de 2025, de <https://royalbrinkman.es/centro-de-conocimiento/maquinas-e-instalaciones/como-calibrar-un-medidor-de-ph>