

SmartTank – Control de calidad automático y remoto para cisternas.

Alison Argueta

Universidad Centroamericana

“José Simeón Cañas”

00076422@uca.edu.sv

Diego Castro

Universidad Centroamericana

“José Simeón Cañas”

00117322@uca.edu.sv

Diego Alvarado

Universidad Centroamericana

“José Simeón Cañas”

00127522@uca.edu.sv

Abstract—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.

I. 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 existentes y el 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 Smart-Tank, 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 solucionar 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 tres luces LED 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.

II. OBJETIVOS

A. 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 operar 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.

B. Objetivos específicos

- Componer y mostrar un sistema que integre los sensores ultrasónicos, de pH y turbidez, con visualizaciones de alerta físicas mediante LEDs.
- Desarrollar el código fuente que se cargará a la placa ESP32, y asegurar el correcto funcionamiento de todo el proyecto una vez armado.
- Diseñar y crear una página web que implemente el protocolo MQTT, con el broker MQTT ‘Mosquitto’, donde el usuario puede observar los datos en tiempo real y permitir el control remoto de las bombas en las cisternas.

III. ALCANCE

El proyecto abarca cuatro grandes áreas:

- Diseño e integración del circuito físico: ensamble del microcontrolador ESP32 con sensores de turbidez, pH y ultrasónico, bombas de agua y sistema de alarma LED.
- Desarrollo del código y lógica de control: código en C++ para el IDE Arduino, gestión de comunicación WiFi y protocolo MQTT.
- Diseño y programación de la interfaz de usuario: dashboard para mostrar datos en tiempo real y control remoto.
- Presentación del prototipo funcional: pruebas en ambiente controlado y verificación de datos obtenidos.

[b]0.48



Fig. 1: Prototipo ensamblado

[b]0.48



Fig. 2: Prototipo inicial

[b]0.48



Fig. 3: Maqueta del montaje en cisterna

IV. LIMITACIONES

El sistema posee limitaciones y no contempla:

- Tratamiento del agua: no incluye funciones de purificación, su función es monitoreo y control de llenado/enjuague/-drenaje.
- Plataformas de interfaz: no incluye aplicaciones móviles; el dashboard está pensado para computadoras con Docker y configuraciones necesarias.
- Mantenimiento y uso: no se considera escalabilidad comercial ni garantías de seguridad industriales; no se integran auto-calibraciones.
- Recursos necesarios: depende de la conexión a Internet y hardware del usuario.

V. ANTECEDENTES

Productos enfocados al monitoreo remoto de cisternas ya se encuentran en el mercado actualmente. Como por ejemplo el "medidor de nivel" para cisternas, el cual monitorea en tiempo real el nivel de agua de cisternas desde un dispositivo móvil [1].

Una versión más económica para medir el nivel de agua en el tanque y que se puede encontrar en El Salvador es "Electronivel con cable de 5 m para tanque o cisterna" [2]

Para el manejo de turbidez se encuentran alternativas en negocios locales como el "Analizador TDS portátil para agua PURICOM" [3].

Investigaciones como la de González Abelleira consideran relevante la utilización de sensores de pH y turbidez para el estudio de la calidad del agua en cisternas [4].

VI. JUSTIFICACIÓN

En 2017, informes de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y de UNICEF estimaban que alrededor de 2,100 millones de personas carecen de acceso a agua potable en el hogar y más del doble no disponen de saneamiento seguro [5].

Aunque se han realizado campañas desde el año 2000 para mejorar el acceso al agua, esto no garantiza una buena calidad ni almacenamiento seguro, generando un estimado de 361,000 infantes que fallecen anualmente por enfermedades relacionadas con el agua [5].

En un contexto nacional, El Salvador presenta deficiencias en los servicios de agua potable debido a fallas en ANDA, afectando a miles de familias [6]. Por ello, la población recurre al almacenamiento en tanques y a empresas privadas distribuidores de agua. Rotoplas reporta cifras y evidencia del

incremento de la demanda por soluciones de almacenamiento y monitoreo [8].

VII. METODOLOGÍA DE DESARROLLO

Para la realización de este proyecto se optó por la metodología de prototipado ágil, debido a la facilidad para identificar errores en cada componente del circuito antes de su integración final. Esto permite corregir fallas oportunamente y avanzar a la siguiente fase con mayor seguridad.

A. Análisis de requerimientos

Se identifica la problemática a resolver, su alcance, limitaciones y especificaciones técnicas. Se definen los objetivos generales y específicos, así como las funcionalidades esperadas del sistema.

B. Diseño inicial

Propuesta inicial del sistema según los objetivos del proyecto, seleccionando los componentes, sensores y materiales necesarios para su desarrollo. Se procede a su cotización y adquisición.

C. Pruebas individuales de componentes

Una vez obtenidos los elementos principales (sensor ultrasónico, sensores de pH y TDS, bombas de agua, etc.), se realizan pruebas individuales para validar su funcionamiento y detectar fallas antes de su integración.

D. Integración continua

Tras validar cada componente, se integran progresivamente. Por ejemplo, se conecta el sensor ultrasónico con los LEDs y se programa el manejo de las bombas con su lógica correspondiente.

E. Desarrollo de la interfaz e implementación final

Se desarrolla el dashboard de forma paralela a la integración física. Incluye diseño visual, estructura funcional y configuración para mostrar datos en tiempo real. La aceptación de esta etapa se logra cuando el ESP32 publica correctamente en el dashboard.

F. Pruebas de integración

Se comprueba el funcionamiento completo del sistema con agua potable y contaminada. Se corrigen fallos encontrados, como la necesidad de relés y fuentes externas para las bombas.

[b]0.32



Fig. 6: Sensor ultrasónico

[b]0.32



Fig. 7: Sensor de pH

[b]0.32



Fig. 8: Sensor de turbidez / TDS

Fig. 9: Sensores integrados en SmartTank: (a) nivel por ultrasónico, (b) pH, (c) turbidez/TDS.

G. Presentación del prototipo final

Montaje final del sistema y elaboración de la documentación completa del proyecto.

VIII. RESULTADOS

Como evidencia principal del cumplimiento de la propuesta, se presenta el dashboard web desarrollado. En la Ilustración 10 se muestran los datos obtenidos en la última prueba de integración realizada, indicando que el sistema cumple con su propósito tanto de manera manual como automatizada. El sistema permite el enjuague continuo de la cisterna, manteniendo un flujo constante entre la bomba de llenado y la de drenaje hasta que el agua alcanza nuevamente rangos aceptables de turbidez.

Con el dashboard se logra:

- Encendido y apagado remoto de las bombas.
- Cambio entre modo manual y automático (por defecto está en modo manual para garantizar control desde el inicio).
- Visualización en tiempo real del estado del sistema.

Dashboard del sistema



Fig. 10: Presentación de la interfaz creada para el usuario

IX. CONCLUSIONES

El prototipo de SmartTank logró cumplir exitosamente los objetivos iniciales: monitoreo remoto del nivel de agua, pH y turbidez en tiempo real, integración correcta de los sensores, desarrollo del código de funcionamiento para el ESP32 y diseño de una interfaz funcional para el usuario.

Durante el desarrollo se identificaron diversas lecciones importantes. Por ejemplo, la placa ESP32 no posee la potencia necesaria para encender todos los componentes simultáneamente, por lo que fue necesaria una fuente externa. El sensor de pH también requiere calibraciones periódicas, incluso cuando es nuevo, y debe mantenerse siempre hidratado en su solución base para prolongar su vida útil.

Se observó un retraso inicial de algunos segundos en la carga del código, posiblemente debido al uso de componentes reutilizados o a un ancho de banda limitado en la red WiFi utilizada por el microcontrolador. Además, se identificó un margen de error aproximado del 10 por ciento en las mediciones del sensor ultrasónico cuando la distancia al objeto es muy reducida.

También se documentó un conflicto en la automatización durante el proceso de enjuague de la cisterna: la bomba de llenado se activa únicamente cuando se detecta un nivel de agua bajo, mientras que la bomba de drenaje se activa cuando los niveles de TDS son elevados. Esto produce comportamientos inesperados al contaminar el agua. La solución implementada consistió en un método exclusivo de drenaje: primero vaciar completamente la cisterna, luego activar la bomba de llenado y, al superar el 70 por ciento de capacidad, evaluar nuevamente los niveles de TDS. Si persisten fuera del rango adecuado, el proceso se repite. Esto reforzó la importancia de la separación de responsabilidades y la modularidad del código.

REFERENCIAS

- [1] Rotoplas, *Medidor de Nivel de Agua Kit Alámbrico*, Amazon México. Disponible en: <https://www.amazon.com.mx/Rotoplas-Medidor-Al%C3%A1mbrico-medidor-cisternas/dp/B0DMTTJMZV>.
- [2] Freund Ferretería, *ROTOPLAS Electronivel con cable de 5 m para tanque o cisterna*. Disponible en: <https://www.freundferreteria.com/producto/2193901>.
- [3] Vidri, *Analizador TDS portátil para agua PURICOM*. Disponible en: <https://www.vidri.com.sv/producto/140979/analizador-tds-portatil-para-agua.html>.
- [4] M. González Abelleira, *Estudio de la calidad del agua en cisternas de captación de agua de lluvia en escuelas rurales de Alagoas, Brasil*, Universidad Politécnica de Madrid, 2014. Disponible en: https://oa.upm.es/32582/1/TESIS_MASTER_MAFALDA_GONZALEZ_ABELLEIRA.pdf.
- [5] Organización Mundial de la Salud, “2100 millones de personas carecen de agua potable en el hogar y más del doble no disponen de saneamiento seguro”, 2017. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/item/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-as-in-1990>.
- [6] E. Alas, “Dónde contratar empresas que sirven pipas de agua potable, ante crisis en San Salvador”, *ElSalvador.com*, 2025. Disponible en: <https://www.elsalvador.com/noticias/nacional/agua-potable-suministro-de-anda/1243433/2025/>.
- [7] Rotoplas, “¿Te duele el estómago? Ojo podrías estar bebiendo agua contaminada”. Disponible en: <https://rotoplascentroamerica.com/te-duele-el-estomago-ojo-podrias-estar-bebiendo-agua-contaminada/>.
- [8] Rotoplas, “¿Qué es una cisterna?”. Disponible en: <https://rotoplascentroamerica.com/que-es-una-cisterna/>.
- [9] J. Schneider y I. Smalley, “¿Qué es un microcontrolador?”, *IBM Think*. Disponible en: <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/microcontroller>.
- [10] J. Guerra Carmenate, “ESP32 Wifi y Bluetooth en un solo chip”, *Programar Fácil*. Disponible en: <https://programarfácil.com/esp8266/esp32/>.
- [11] L. A. Portilla Granados, “U5 ultrasónico”, Universidad de Pamplona, 2015. Disponible en: https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_74/recursos/visual-basic-para-excel/24042017/u5_ultrasonico.jsp.
- [12] Meacon Automation, “Sensor de pH: ¿Qué es y cómo funciona?”, 2024. Disponible en: <https://es.meaconsensor.com/training/what-is-a-ph-sensor-how-does-it-work>.
- [13] Hanna Instruments, “¿Cómo funciona el TDS del agua y qué significa?”, 2025. Disponible en: <https://hannacolombia.com/como-funciona-el-tds-del-agua-y-que-significa/>.

- [14] Royal Brinkman, “Cómo calibrar un medidor de pH”. Disponible en: <https://royalbrinkman.es/centro-de-conocimiento/maquinas-e-instalaciones/como-calibrar-un-medidor-de-ph>.