

# Automatización del Monitoreo de un Reactor por Ozonización para el Saneamiento de Agua

Sebastián Silva-Borja<sup>1</sup>, Jorge Sánchez-Girón<sup>1</sup>, Fernanda Jocelin Enríquez-Hernández<sup>1</sup>, Katia Marcela CarpioDomínguez<sup>1</sup>, Hipólito Aguilar-Sierra<sup>2</sup>, Arizbeth Amitzin Pérez-Martínez<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Universidad La Salle México, Facultad de Ingeniería. Ciudad de México, México

<sup>2</sup> Universidad La Salle México, Vicerrectoría de Investigación. Ciudad de México, México

sebastian.silva@lasallistas.org.mx, jorgesanchez@lasallistas.org.mx,  
fernanda.enriquez@lasallistas.org.mx, km.cd@lasallistas.org.mx,  
hipolito.aguilar@lasallistas.org.mx, arizbeth.perez@lasalle.mx

**Resumen.** La ozonización para el tratamiento de agua requiere procesos de monitoreo continuo para garantizar su eficiencia y seguridad. En este trabajo, se plantea la automatización de un reactor de ozonización mediante el uso de sensores y una aplicación de escritorio desarrollada para tal fin, con el objetivo de optimizar el proceso, reducir riesgos operativos y mejorar la precisión en el saneamiento de agua. Se implementó un prototipo funcional que integra sensores y software de control, demostrando la viabilidad de la automatización propuesta. Los resultados obtenidos validan que el sistema permite un monitoreo más eficiente en comparación con métodos manuales, además de sentar las bases para futuras mejoras en escalabilidad y robustez. Se concluye que la automatización del reactor no solo incrementa su eficiencia, sino que también minimiza riesgos asociados al manejo de ozono, representando un avance hacia sistemas de tratamiento de agua más confiables y accesibles.

**Palabras Clave:** automatización, monitoreo, ozonización

## 1 Descripción de la problemática prioritaria abordada

El saneamiento de aguas residuales mediante ozonización es un proceso crítico para garantizar agua segura, pero su eficacia depende del monitoreo preciso de parámetros como temperatura, pH y conductividad. Los investigadores encargados del seguimiento del proceso introducían instrumentos de medición en la muestra de agua y grababan todo el proceso, entre estos el uso de un indicador de pH, que se introducía en la mezcla para que, de acuerdo con el pH, la muestra tomara un color. Posteriormente los investigadores revisaban el video de acuerdo con el tiempo de muestreo que querían y lo pausaban para tomar los datos requeridos y escribirlos en una tabla de Excel, al tener todos los datos reunidos se graficaba. Esto representa un problema al volver significativamente más tardado e ineficiente a gran escala, especialmente en situaciones con recursos limitados y aunque existen sistemas comerciales de monitoreo automatizado, suelen ser costosos o requieren de infraestructura especializada.

El trabajo de los investigadores permite el acceso rápido y confiable a agua limpia, contribuyendo al objetivo de desarrollo sostenible de la ONU número 6: Agua limpia y saneamiento. Por ello es de vital importancia que puedan realizar su trabajo lo más eficientemente posible.

## 2 Objetivo

Automatizar el monitoreo de propiedades durante el proceso de un reactor de ozonización mediante una aplicación de escritorio como receptor de los valores medidos por sensores

---

Memorias del Concurso Lasallista de Investigación, Desarrollo e innovación

Vol. 12, Núm. 1, pp. DyT 143-147, 2025, DOI: 10.26457/mclidi.v12i1.4685 Universidad La Salle México

SEBASTIÁN SILVA BORJA de la LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA, FERNANDA JOCELIN ENRÍQUEZ HERNÁNDEZ de la LICENCIATURA EN INGENIERÍA BIOMÉDICA, JORGE SÁNCHEZ GIRÓN, KATIA MARCELA CARPIO DOMÍNGUEZ de la LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIBERNÉTICA Y SISTEMAS COMPUTACIONALES de la FACULTAD DE INGENIERÍA de la UNIVERSIDAD LA SALLE MÉXICO.

HIPÓLITO AGUILAR SIERRA, ARIZBETH AMITZIN PÉREZ MARTÍNEZ fueron los asesores de este trabajo.

controlados por un microcontrolador con el fin de eliminar los errores humanos y la ineficiencia asociados al método manual de registro, garantizar la precisión en la medición de los parámetros obtenidos y confirmar la viabilidad técnica de una solución escalable y de bajo costo para situaciones con recursos limitados.

### **3 Propuesta teórico-metodológica y de solución**

Se propuso el desarrollo de una aplicación de escritorio en la que sea posible ajustar los tiempos y cantidad de toma de valores de los sensores los cuales son controlados con un microcontrolador el cual envía los datos mediante una conexión a internet estable.

Se implementarían sensores de temperatura, pH y conductividad los cuales serían controlados con el microcontrolador ESP32 el cual dispone de un módulo Wi-fi integrado que permite conectarse a internet, el medio principal para transmitir los datos recolectados a la aplicación.

El microcontrolador ESP32, soporta conexiones Wi-fi de 2.4 GHz, por lo que no puede conectarse a redes de 5.0 GHz. En entornos de alto ruido electromagnético pueden producirse pérdidas de paquetes de datos, de modo que fue necesario que el sistema implemente reintentos automáticos para garantizar la correcta transmisión de información. Cuenta con hasta 34 pines a los que se les pueden asignar a diferentes funciones mediante la programación, se usaría 1 por sensor, por lo que es más que suficiente. El ESP32 tiene 520 KB de SRAM interna y 4 MB de memoria flash externa, reservada una parte para el sistema y para la conectividad Wi-fi y bluetooth, sin embargo, esto no limita la implementación propuesta, ya que el sistema transmite los datos en tiempo real. Además, puede soportar interrupciones externas, lo que permite atender señales de los sensores sin afectar la estabilidad del sistema.

El microcontrolador fue conectado a los sensores de acuerdo con la figura 4.

Se buscaba que la aplicación fuera capaz de mostrar los datos recolectados en gráficas en tiempo real, personalizar por completo los tiempos de muestreo y poder recuperar todos los registros de los procesos monitoreados. Para ello tras la recopilación de las mediciones de los sensores y su visualización en la aplicación, estas son guardadas en la base de datos no relacional MongoDB, en su capa gratuita es capaz de almacenar hasta 512 MB, en caso de ser necesario es posible escalar de manera vertical.

Para conseguirlo se trabajó en paralelo con diferentes áreas con estudiantes de ingeniería biomédica, cibernética, industrial y mecatrónica para poder conectar los sensores, realizar los plazos de trabajo, los armazones para los sensores y el ESP32 y la aplicación para obtener una mejor visualización de los resultados.

Se busca como población objetivo a investigadores, técnicos de laboratorio y operadores de plantas de tratamiento para el saneamiento del agua para que obtengan un sistema accesible y personalizable para diferentes usos y áreas para diferentes monitoreos que sean requeridos por los usuarios.

Se diseñó pensando que fuera una herramienta a bajo costo, adaptable a diferentes escenarios y eficiente para poder resolver estas problemáticas, considerando que actualmente los costos para tener resultados similares y la implementación de nuevas tecnologías que para este sector no eran las más óptimas ni adaptadas a la época.

### **4 Discusión de resultados**

Los resultados obtenidos muestran una conexión entre la aplicación y el ESP32 correctamente para poder visualizar los datos de forma clara, ordenada y comprensible permitiendo así la transmisión de datos en tiempo real de los sensores de temperatura, pH y conductividad eléctrica para visualizarse de manera gráfica con la posibilidad de modificar los parámetros para el uso en diferentes áreas u otros usos.

Para probar la efectividad de los sensores, se utilizaron diversas muestras con valores conocidos, y se verificó que los valores obtenidos fueran consistentes.

Se muestran también de manera automática los valores máximos, mínimos y área bajo la curva, ya que ayudan a los investigadores en su tarea, esperando que se refleje en una mejora en sus toma de decisiones.

Este proyecto se vincula con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, tomando en cuenta los siguientes:

CARPIO-ENRIQUEZ-SANCHEZ-SILVA: Automatización del Monitoreo de un Reactor... DHS-30

ODS 6: Agua limpia y saneamiento, al proporcionar una herramienta accesible para el monitoreo de la calidad del agua, contribuyendo a su control y mejora.

- ODS 9: Industria, innovación e infraestructura, al incorporar tecnologías de la información, sensores y microcontroladores en una solución innovadora para el monitoreo ambiental

En la Figura 1, Figura 2, Figura 3 y Figura 4 se visualiza el funcionamiento de las pantallas de la aplicación de escritorio desarrollada.

En la Figura 5 se visualiza el circuito de sensores conectados al ESP32 ensamblados en su respectiva base hecha con una impresora 3D.

## 5 Conclusiones y perspectivas futuras

Se logró sustituir exitosamente los métodos manuales de medición y registro de datos, reduciendo significativamente el tiempo requerido para el análisis y minimizando los errores humanos. El sistema integrado de sensores y software mostró precisión en el monitoreo continuo de parámetros (pH, temperatura y conductividad), validando su confiabilidad operativa. Estos resultados comprobaron la eficacia de la automatización al no solo mejorar la rapidez y confiabilidad del proceso, sino que también se redujo los riesgos asociados al manejo de ozono, haciendo la tecnología más accesible para aplicaciones en distintos contextos y alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible en materia de agua limpia y saneamiento.

Como perspectivas futuras, se identifican varias propuestas para mejorar el sistema desarrollado. Una prioridad es la incorporación de sensores adicionales para medir otros parámetros de calidad de agua (ejemplo: la turbidez, medidor de ozono). Otra área de mejora es la reducción de las dimensiones del sistema para que este pueda ser acoplado a distintos tipos de reactores. Adicionalmente se requiere diseñar una carcasa que contenga al sistema integrado de sensores con el fin de darle más protección y que sea fácil de armar o desarmar. Finalmente, se sugiere investigar acerca de conexiones más robustas para la aplicación con el fin de poder realizar más tareas como es la descarga de la imagen de las gráficas desde cualquier lugar.

Nuestros resultados únicamente se limitan al desarrollo de la aplicación y el uso de sensores a través del ESP32, mediante pruebas de tipo unitario, integral, de sistema y de regresión, sin abarcar pruebas experimentales en tiempo real. Por lo que se espera en el futuro pruebas en agua en tratamiento junto a los investigadores.

## 4 Referencias

1. Página Web: Moran, M. (2024, 26 enero). Agua y saneamiento - Desarrollo Sostenible. Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
2. Naylamp Mechatronics (2016) Tutorial sensor digital de temperatura DS18B20. [https://naylampmechatronics.com/blog/46\\_tutorial-sensor-digital-de-temperatura-ds18b20.html](https://naylampmechatronics.com/blog/46_tutorial-sensor-digital-de-temperatura-ds18b20.html)
3. Llamas, L. (2023, 18 agosto). Pinout y detalles del hardware del ESP32. Luis Llamas.
4. <https://www.luisllamas.es/esp32-detalles-hardware-pinout/>

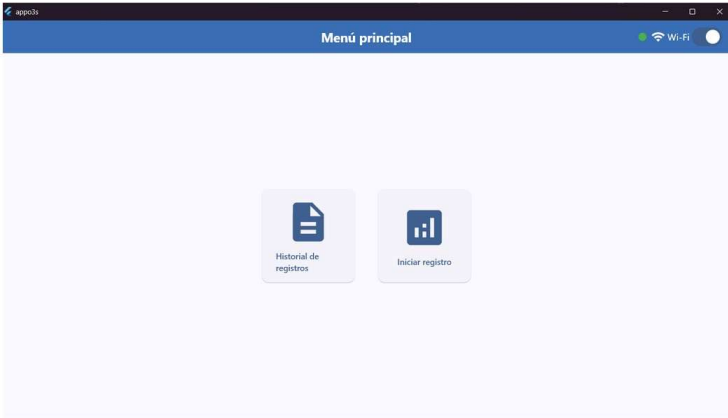


Figura 1. Pantalla principal tras conectarse exitosamente por Wi-fi

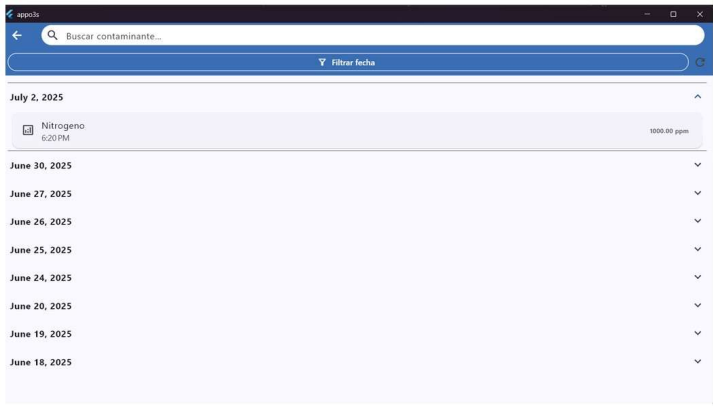
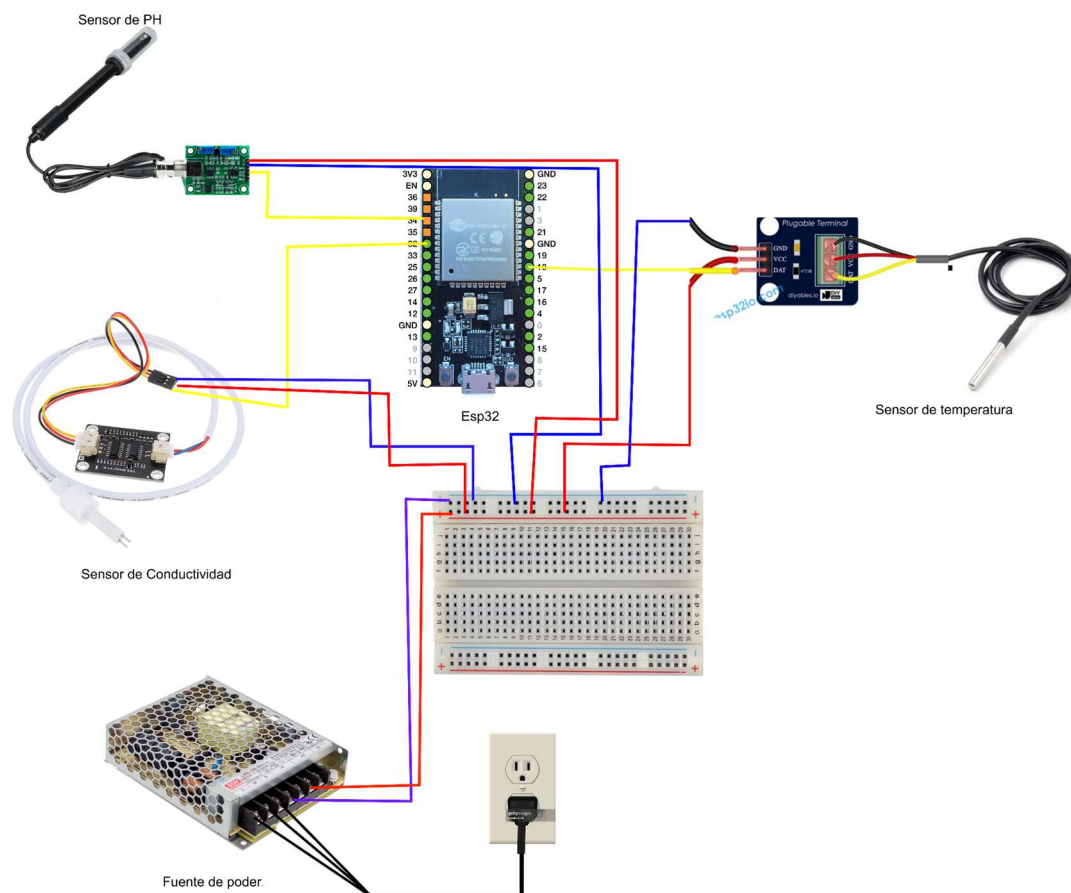


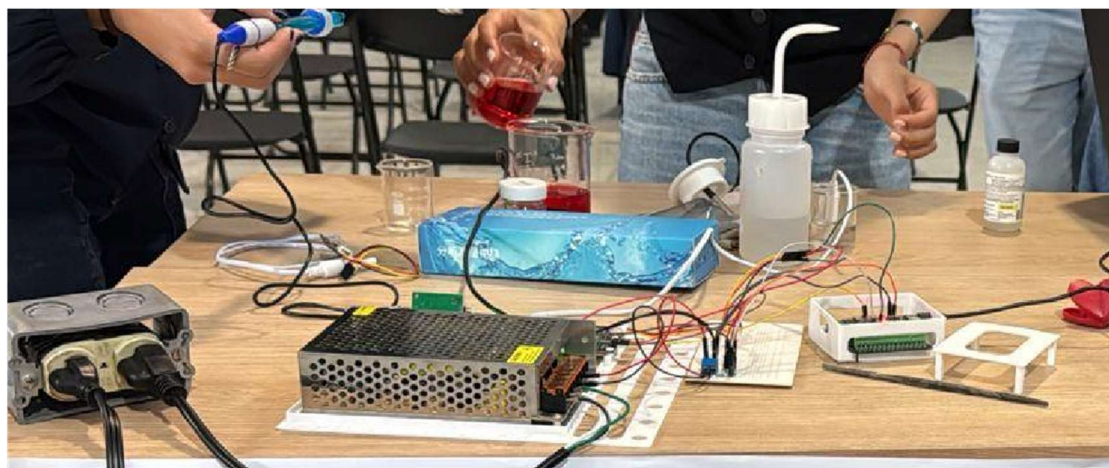
Figura 2. Pantalla del historial de registros.



Figura 3. Pantalla de creación de registro



**Figura 4.** Diagrama de conexión básica del ESP32 y los sensores.



**Figura 5.** Sensores ensamblados y en funcionamiento