

ROBÓTICA Y AUTOMATIZACIÓN PARA PROCESOS QUÍMICOS AVANZADOS

Katia M. Carpio Domínguez^a, Carlos R. Dromundo Pérez^a, Fernanda J. Enríquez Hernández^a, Rafael A. Galván Sánchez^a, Aylén B. Hernández López^a, Natalia Linares Careaga^b, Iván Martínez García^a, Ismael Mejía Jaramillo^a, Héctor E. Padilla Ochoa^a, Daniela Sánchez Domínguez^a, Jorge Sánchez Girón^a, Sebastián Silva Borja^a, Arizbeth A. Pérez Martínez^b, Hipólito Aguilar Sierra^{}*

^a Facultad de Ingeniería, Universidad La Salle México

^b Escuela Preparatoria Condesa, Universidad La Salle México

^c Departamento de Ciencias Químicas, Vicerrectoría de Investigación, Universidad La Salle México

^d Departamento de Ingeniería, Vicerrectoría de Investigación, Universidad La Salle México

hipolito.aguilar@lasalle.mx

Resumen

El proyecto consistió en el desarrollo de un sistema integral para el tratamiento de agua mediante procesos de oxidación avanzada con ozono (O_3) y radiación UV. Se diseñaron y optimizaron dos reactores complementarios —biorreactor de ozono y fotoreactor UV— y se implementó una aplicación de monitoreo y control desarrollada en Flutter y conectada a un módulo ESP32 para adquirir datos de sensores de pH, conductividad y concentración de ozono en tiempo real. El sistema permite visualizar gráficas interactivas, calcular automáticamente el área bajo la curva (AUC) del ozono y almacenar los registros en MongoDB para consulta histórica. El trabajo reunió a estudiantes de Ingeniería Biomédica, Cibernética, Mecatrónica e Industrial, promoviendo la integración de hardware, software y gestión de procesos hacia soluciones sostenibles para el control automatizado de calidad del agua.

Introducción

El ozono es un agente oxidante ampliamente utilizado para la desinfección del agua, cuya eficiencia depende de su concentración y tiempo de contacto (Rice & Netzer, 2020). Para controlar estos parámetros, los sistemas modernos de tratamiento requieren herramientas digitales que integren la adquisición, análisis y visualización de datos en tiempo real. De forma paralela, los biorreactores y fotoreactores son componentes esenciales en procesos de oxidación avanzada. Su diseño requiere mantener condiciones ambientales precisas, como pH y gases disueltos, a fin de optimizar la remoción de contaminantes (Vandermies & Fickers, 2019).

En este contexto, el proyecto buscó crear un sistema automatizado que integrara el diseño mecánico del reactor, la adquisición de datos y una interfaz de control accesible, contribuyendo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 6 (Agua limpia) y 9 (Industria e innovación).

Metodología

El desarrollo se dividió en tres etapas:

- Diseño y modelado de reactores:** Se realizaron mejoras al fotoreactor UV y se diseñó un biorreactor de ozono, seleccionando materiales resistentes y estableciendo el flujo óptimo del medio acuoso.

2. **Adquisición de datos:** Se utilizó un **ESP32** para captar variables físico-químicas de pH, conductividad y concentración de ozono, comunicándose con la aplicación mediante **WebSocket**.
3. **Desarrollo de software y automatización:** Se programó una aplicación en **Flutter/Dart** (frontend) y **Python** (backend) con base de datos **MongoDB**, capaz de graficar tendencias, calcular el AUC del ozono y permitir consultas históricas. Además, el equipo de Ingeniería Industrial elaboró los **layouts de laboratorio**, manuales de operación y procedimientos de seguridad para el montaje del reactor.

Resultados

El sistema digital demostró la correcta integración entre hardware y software, logrando una comunicación estable entre el ESP32 y la aplicación de escritorio.

La visualización en tiempo real facilita el análisis de tendencias y el cálculo automático de indicadores para evaluar la eficiencia del proceso de oxidación.

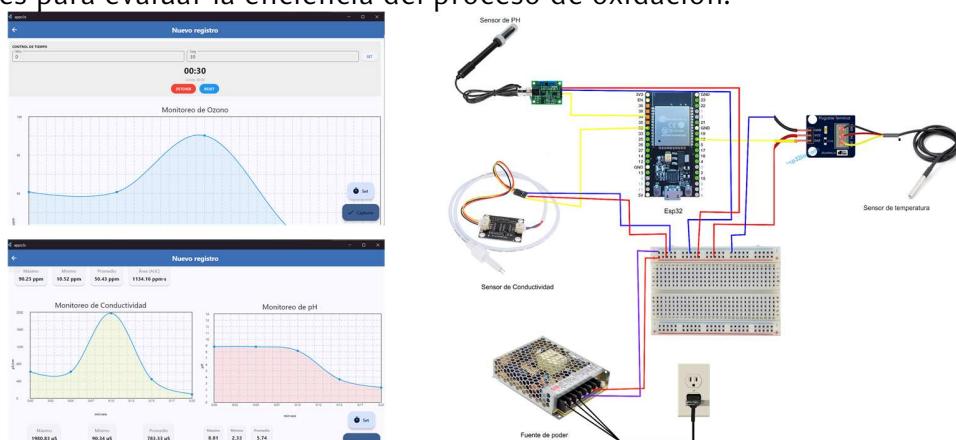


Figura 1. Interfaz del sistema de monitoreo y control de ozono, pH y conductividad.

El layout de laboratorio permitió organizar de manera óptima las áreas de ensamblaje y prueba del biorreactor, estandarizando la documentación y uso de materiales.

El prototipo digital constituye la base para futuras etapas de escalamiento e incorporación de algoritmos de control adaptativo para la dosificación automática de ozono.

Conclusiones

El proyecto consolidó un sistema funcional que combina diseño mecánico, sensitiva y programación para el control de procesos químicos avanzados. La aplicación en Flutter facilita la supervisión remota y la visualización de datos, mientras que la arquitectura modular permite integrar nuevos sensores o procesos sin rediseñar el sistema.

La colaboración interdisciplinaria de los equipos de ingeniería permitió establecer una plataforma escalable de bajo costo, con potencial para emplearse en laboratorios educativos o plantas piloto orientadas al tratamiento sustentable del agua.

Referencias.

1. Rice, R. G., & Netzer, A. (2020). Handbook of ozone technology and applications. *Ozone Science & Engineering*, 43(1), 1–15.