







REVISTA INGENIO

Sistemas SCADA, Aplicaciones en Plantas Potabilizadoras de Agua de la Costa Ecuatoriana, Caso Municipio del Cantón El Empalme

SCADA Systems, Applications in Water Treatment Plants along the Ecuadorian Coast Region, Case study: El Empalme Municipality

Carlos David Amaya Jaramillo |  Universidad Estatal de Quevedo - UTEQ, Quevedo - Ecuador
Geovanny Gonzalo Guerrero Muñoz |  Universidad Estatal de Quevedo - UTEQ, Quevedo - Ecuador
Cristian Samuel Laverde Albarracín |  Universidad Estatal de Quevedo - UTEQ, Quevedo - Ecuador
Rogger José Andrade Cedeño |  Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Manabí - Ecuador

Recibido: 8/4/2024
Recibido tras revisión: 1/5/2024
Aceptado: 3/7/2024
Publicado: 03/01/2025

PALABRAS CLAVE

Monitoreo en tiempo real, control y adquisición de datos, automatización, comunicación industrial.

KEY WORDS

Real-time monitoring, data acquisition and control, automation, industrial communication.

RESUMEN

Este trabajo describe el diseño de un sistema SCADA para mejorar el servicio de agua potable en el municipio del Cantón El Empalme, Ecuador. Se detallan las fases del diseño, los criterios para el análisis del estado de automatización de la planta, el diseño de la automatización y la selección de dispositivos. El sistema SCADA, que utiliza PLCs, sensores y bombas conectados a través del protocolo ModBus TCP, mejoró la eficiencia operativa, redujo los tiempos de respuesta y contribuyó a la calidad del producto final. Se identificaron problemas como desequilibrio en las protecciones de los tableros y tiempos de respuesta prolongados, los cuales fueron abordados mediante la simulación del modelo de automatización.

ABSTRACT

This work describes the design of a SCADA system to improve the drinking water service in the municipality of El Empalme Canton, Ecuador. It outlines the design phases, criteria for analyzing the automation status of the plant, automation design, and device selection. The SCADA system, which uses PLCs, sensors, and pumps connected via the ModBus TCP protocol, enhanced operational efficiency, reduced response times, and contributed to the quality of the final product. Issues such as imbalances in panel protections and extended response times were addressed through simulation of the automation model.

I. INTRODUCCIÓN

Para el diseño del sistema SCADA en El Empalme, Ecuador, se considerarán los componentes esenciales de una red SCADA, que incluyen sistemas de adquisición de datos, sistemas de transmisión de datos y software de interfaz hombre-máquina (HMI). Estos componentes se integrarán para proporcionar un sistema centralizado de monitoreo y control, permitiendo la supervisión y control en tiempo real de toda la red desde una ubicación remota [1].

El hardware comúnmente utilizado en las redes SCADA incluye la Unidad de Estación Maestra (MSU) o Unidad de Terminal Maestra (MTU), sub-MSUs, sitios de campo distribuidos geográficamente que consisten

en Unidades Terminales Remotas (RTUs) y Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IEDs), así como enlaces y equipos de comunicación. La MSU o MTU almacenará y procesará la información de entradas y salidas de las unidades de estación esclava, RTUs o IEDs, mientras que las unidades de estación esclava controlarán el proceso local [1].

El diseño del SCADA, permite entregar, a la planta de tratamiento de agua del Gobierno Autónomo Municipal de El Empalme (GADMEE), una alternativa para la automatización de sus controles eléctricos, medición en tiempo real de los niveles de agua en los tanques de distribución y control de la producción final de la misma; al

diseñar este sistema, es posible que se evite el mal funcionamiento de las bombas, gracias a que una de las principales características de este sistema, es el monitoreo en tiempo real en la operación.

En la actualidad, la implementación de sistemas SCADA en plantas potabilizadoras de agua se ha convertido en una herramienta esencial para optimizar la gestión y distribución del recurso hídrico. Diversos estudios han demostrado que estos sistemas permiten el monitoreo en tiempo real de los sistemas de suministro de agua, optimizando la pérdida de agua y mejorando su calidad. Además, la seguridad de las redes SCADA es crucial para la protección de infraestructuras críticas, y se han desarrollado esquemas de gestión de claves para asegurar las comunicaciones [1]. La vulnerabilidad de estos sistemas y la necesidad de políticas de seguridad de la información y análisis de riesgos también han sido ampliamente documentadas [2]. La integración de tecnologías IoT con SCADA ha permitido avances significativos en el monitoreo de la calidad del agua en tiempo real, reduciendo costos y aumentando la eficiencia [3]. Este trabajo se enfoca en el diseño de un sistema SCADA para mejorar el servicio de agua potable en el municipio del cantón El Empalme, Ecuador, aprovechando las mejores prácticas y tecnologías disponibles.

2. MÉTODO

El procedimiento a seguir para efectuar el diseño del SCADA se lo ha dividido en tres fases, en la primera se toma en cuenta el estudio del estado de la planta, en la segunda las necesidades técnicas de la planta en conjunto con el diseño de la automatización, por último, en la tercera fase se define la selección de los dispositivos disponibles en el mercado.

2.1. CRITERIOS PARA EL ANÁLISIS DEL ESTADO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA

El proceso que se realizó en esta fase consta de:

- Inspección visual de los controles eléctricos y equipos instalados. Por medio de la observación directa se determinan cuáles son los dispositivos instalados en la etapa de admisión y distribución de la planta de potabilización de agua del GADMEE, los cuales son:
 - Etapa de admisión: Esta etapa cuenta con un sistema de arranque estrella-delta y protecciones de pérdida de fase para bombas de 55 kW o 70 HP
 - 4 Motor WEG W22 IE1 55 kW
 - Arranque por estrella triángulo
 - 4 P/N ICM450.
 - Etapa de distribución: Se tienen instaladas 3 bombas, controladas por dos arrancadores suaves y un

variador de frecuencias, en esta etapa se presentan dos reservorios de 2.000 m³

- 1 Motor gt1043a Marathon 55 kW
- 2 motores Siemens 55 kW
- 1 arrancador suave Sirius 3RW40
- 1 arrancador suave Altistar 48
- 1 variador de velocidad Altivar 61
- Etapa de floculación:
 - 1 bomba de agua jet750G1
 - 1 bomba de agua Pedrollo CPM650 de 1.5 HP
 - 1 bomba de agua Shimge JET750G1
 - 1 bomba dosificadora BlackLine Pro
 - 1 bomba de agua Leo Acro150
 - 1 bomba de agua Pedrollo JSWM 3BM
- Revisión de los tiempos de respuesta de los operadores de la planta. Se debe medir cuánto tiempo tardan los operadores de la planta en encender y apagar las bombas de la planta, para lo cual se toman escenarios en donde el operador se moviliza a pie, motocicleta y automóvil.

2.2. CRITERIOS PARA REALIZAR EL DISEÑO DE LA AUTOMATIZACIÓN

El diseño de la automatización tiene requerimientos de software y hardware los cuales se detallan a continuación:

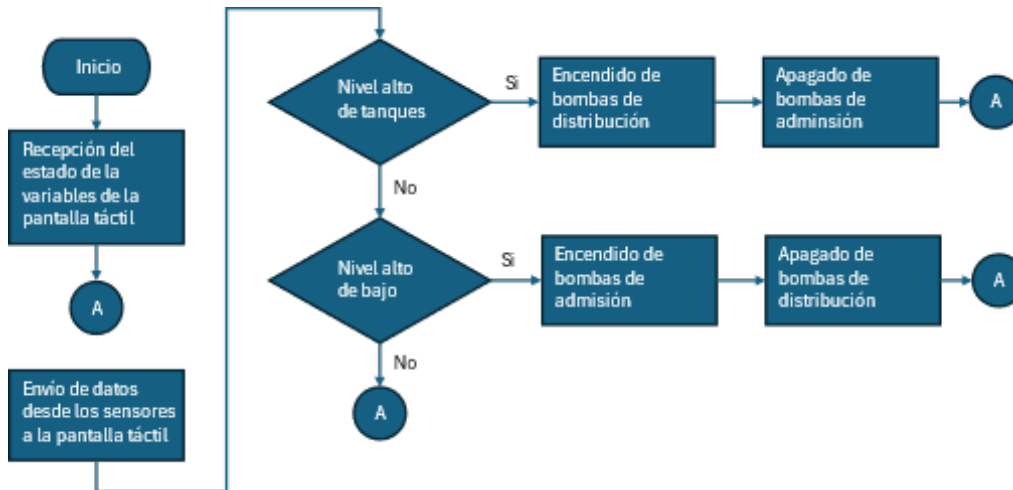
- Requerimientos técnicos de la planta de potabilización. Se requiere automatizar y monitorear las bombas de admisión y distribución; medición de los niveles en los tanques de distribución y del caudal de salida.
- Red de comunicación industrial. Donde se integren los componentes, comunicación y compatibilidad entre ellos (Cockerham, 2021), (TechTarget, 2021).
- Interfaz de usuario. Mostrando organización de la información y de los elementos de la interfaz, navegación y estructura clara y consistente (TechTarget, 2021).
- Escalabilidad. Un sistema modular con capacidad de expansión futura.

2.3. CRITERIOS PARA SELECCIONAR LOS DISPOSITIVOS NECESARIOS

Se debe tener en cuenta los siguientes criterios.

- Que los equipos sean capaces de controlar los procesos de control en la planta de agua.
- Compatibilidad entre los dispositivos seleccionados.
- Interfaz de comunicación industrial.
- Condiciones ambientales.
- Costos.

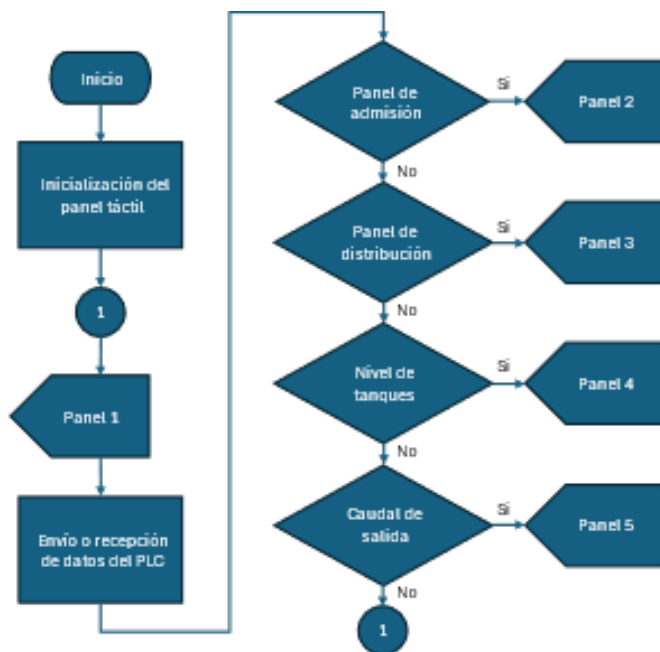
Figura 1.
Diagrama del Flujo del PLC.



2.4. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PLC Y PANTALLA TÁCTIL

El PLC y el panel táctil son dispositivos que requieren programación para controlar y visualizar los estados de la planta. En la figura 1 se presenta un diagrama de flujo que explica el funcionamiento del PLC en este diseño. Además, proporcionamos un diagrama de flujo que muestra cómo operaría la interfaz gráfica a través de un dispositivo HMI.

Figura 2.
Diagrama de flujo del HMI



En la Figura 2 se muestra el diagrama de flujo que gobierna al software de la estación de trabajo o panel táctil, en donde se mostrarán las pantallas correspondientes a cada etapa dentro de la planta.

3. RESULTADOS

3.1. FASE 1: ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA

La planta de potabilización del GADMEE cuenta con las etapas mostradas en la Figura 3, en donde se encuentran conectados los controles y bombas instalados.

3.2. FASE 2: DISEÑO DE LA AUTOMATIZACIÓN

Dentro de la automatización que se diseñó se proporciona la arquitectura del sistema SCADA, en la Figura 4 se presentan tres de los cinco niveles de automatización, estos niveles corresponden a la supervisión, control y a los actuadores y sensores, dentro del nivel de supervisión se encuentran el servidor y el switch, en el nivel de control se presenta el PLC y un panel táctil los que se encargan de gobernar el comportamiento de la planta, por último, se presentan los actuadores para el control de las bombas y los sensores que recolectan los datos de la planta [1].

3.3. FASE 3: SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS

En la Tabla 1 se muestran los dispositivos escogidos para la adquisición, el procesamiento, almacenamiento y visualización de datos, a continuación, se detallan:

- Controlador lógico programable.
- Sensores y actuadores.
- Dispositivos de comunicación.
- Servidores y estaciones de trabajo.

Se detalla que en la Tabla 2 y Tabla 3 se muestran los tiempos de respuesta de los operadores antes de la implementación de un sistema SCADA.

Figura 3.

Etapas de la planta de potabilización.

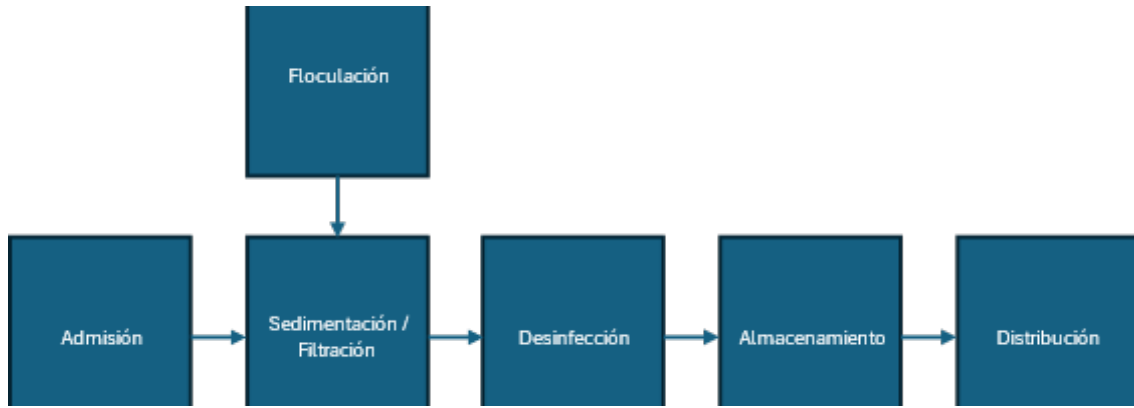


Figura 4.

Arquitectura del SCADA.

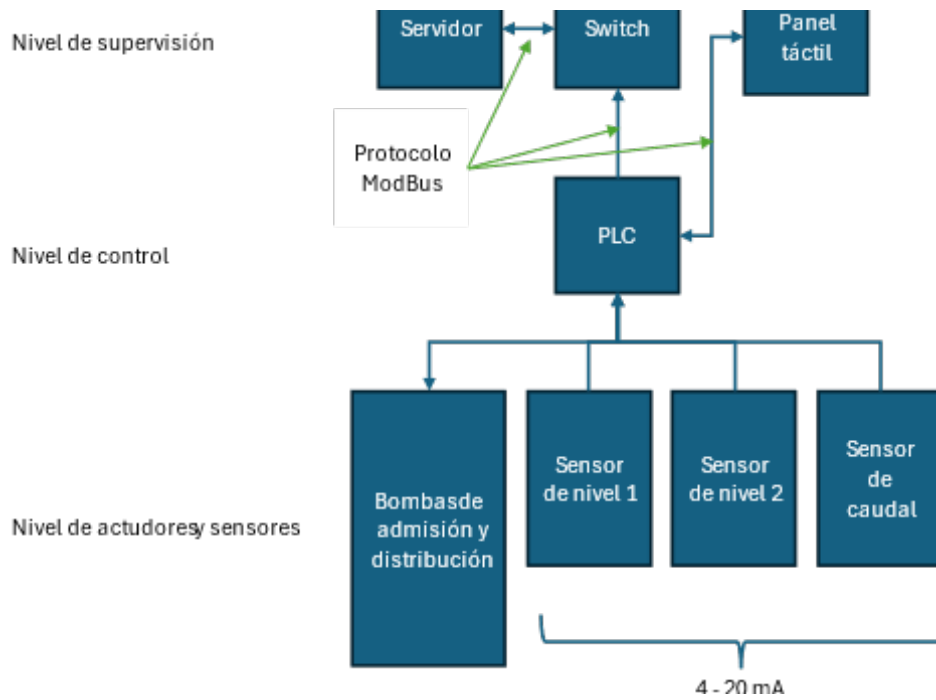


Figura 5.

Diagrama P&ID.

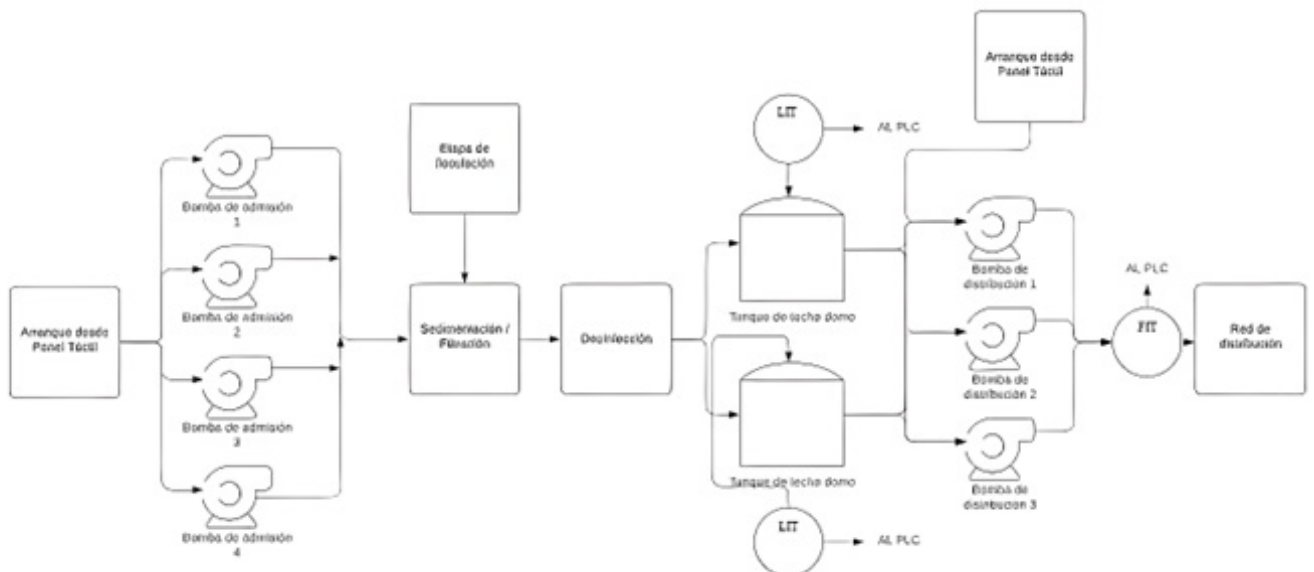


Tabla 1.

Dispositivos escogidos para la automatización

Ítem	Descripción	Cantidad
1	PLC TM221CE40R SCHNEIDER ELECTRIC	1
2	MÓDULO //INSERTE NOMBRE DEL MÓDULO// SCHNEIDER ELECTRIC	1
3	PANEL TACTIL HMISTU65S 3.2 INCH	1
4	SENSOR ULTRASÓNICO LVC-152 OMEGA ENGINEERING	2
5	SENSOR ELECTROMAGNÉTICO FMG600 OMEGA ENGINEERING	1
6	SERVIDOR POWEREDGE T40 DELL	1
7	SWITCH EDS-508A MOXA	1

Tabla 2.

Tiempos de respuesta de los operadores

Evento / Escenario	Encendido o apagado de las bombas de admisión	Encendido o apagado de las bombas de distribución	Detección de fallas en la admisión	Detección de las fallas en la distribución
Movilización caminando	8 a 10 min	4 a 6 min	escenario 10 min	10 min
Movilización en motocicleta	4 a 6 min	No aplica	10 min	10 min
Movilización en automóvil	4 a 7 minutos	No aplica	10 min	10 min

Tabla 3.

Tiempos de respuesta esperados de los operadores hacia el panel táctil del HMI

Evento / Escenario	Encendido o apagado de las bombas de admisión	Encendido o apagado de las bombas de distribución	Detección de fallas en la admisión	Detección de las fallas en la distribución
Movilización caminando	3 a 4 min	3 a 4 min	2 min	2 min
Movilización en motocicleta	No aplica	No aplica	2 min	2 min
Movilización en automóvil	No aplica	No aplica	2 min	2 min

3.3.1. P&ID del proceso

En la Figura 5 se muestra el diseño para implementar el sistema SCADA para supervisar y controlar los procesos de encendido y apagado de las bombas de admisión y distribución y los sensores de nivel y caudal. Este sistema se compone de un servidor, un switch de red, una pantalla HMISTU655, un PLC de la serie M221 de Schneider Electric, el que gestiona varios dispositivos de campo, entre ellos las bombas de admisión, las bombas de distribución, los sensores de nivel y caudal. Para la comunicación entre los dispositivos se emplea el protocolo ModBus TCP.

El protocolo ModBus TCP, fue seleccionado por su simplicidad y confiabilidad, facilitando la comunicación entre el servidor, el SCADA, el HMI, el PLC y los

dispositivos de campo, empleando cable UTP, se garantiza el flujo eficiente y seguro a lo largo de toda la red, lo que proporciona una solución económica y fácil de instalar, al igual que se reducen las interferencias electromagnéticas que puedan afectar la señal [4].

En este entorno, el sistema permite a los operadores supervisar y controlar los procesos en tiempo real mediante el HMI, mientras que el servidor recopila, procesa y almacena los datos para su análisis y mejora continua, el PLC desempeña un papel muy importante en la ejecución de lógica de control y la gestión de dispositivos de campo, asegurando que los bombas y sensores funciones de manera eficiente y coordinada.

En el diseño para la planta de tratamiento de agua del GADMEE, se han implementado los sensores LVC-152 y

MAG3100, junto a las cuatro bombas de admisión y tres bombas de distribución, las cuales están conectadas al PLC TM221CE16R, para monitorear y controlar el estado de la planta, los sensores MAG3100 son capacitivos, empleados para los dos tanques de distribución que tiene la planta.

Las bombas de admisión llevan el agua de la laguna de captación a la etapa de filtración y floculación, mientras que las bombas de distribución se encargan de entregar el agua tratada a los consumidores finales. Los dos conjuntos de bombas se conectan a las salidas digitales del PLC, el que es responsable de gestionar el funcionamiento de la planta. La conexión de los sensores y bombas al PLC y la configuración de los parámetros de entrada y salida en el programa del PLC garantizando el funcionamiento eficiente y confiable del sistema.

3.4. DISCUSIÓN

Durante la ejecución de la evaluación del estado operativo de la planta, se llevaron a cabo inspecciones, en donde se recopilaban los datos del proceso productivo, se logran identificar varios problemas, los cuales se mencionan a continuación:

- Las protecciones generales de los tableros de admisión y distribución no se encuentran en equilibrio, ya que las bombas instaladas son inferiores a la cantidad de bombas diseñadas para el sistema pues debido al daño de estas han sido deshabilitadas.
- El monitoreo de los tanques de almacenamiento se lo realiza de forma manual por un operador.

Los operadores experimentan tiempos de respuesta prolongados al realizar operaciones en las bombas de admisión y distribución como se aprecia en la Tabla 2. Esto se debe a la distancia entre la bodega y la oficina de la planta de potabilización de agua del GADMEE. En situaciones normales, los tiempos de reacción para la admisión varían entre 4 y 10 minutos. Sin embargo, al simular que la pantalla táctil se encuentra en la oficina de la planta, estos tiempos se reducen a un rango de 3 a 4 minutos desde la bodega, como se muestra en la Tabla 3. Esta mejora representa una disminución de 1 a 6 minutos en comparación con las condiciones habituales, lo que representa una mejora entre el 10% y el 60%. Además, las bombas se desactivarán casi instantáneamente, reduciendo el tiempo en que operan en condiciones desfavorables. La automatización permite monitorear y controlar procesos en tiempo real. Los operadores pueden supervisar las bombas, válvulas y otros equipos desde una ubicación central, reduciendo los tiempos de respuesta y mejorando la eficiencia [3], [5], [6], [7].

La automatización de la planta conlleva múltiples beneficios. No solo mejora la eficiencia operativa para el

personal de la planta, sino que también contribuye a la calidad del producto final, reduce los gastos y aumenta la seguridad tanto para el personal operativo como para los visitantes [6], [8].

Los PLC son una solución rentable y confiable para controlar sistemas complejos, lo que es crucial para la operación continua y segura de una planta de potabilización de agua. La flexibilidad operativa del sistema es otro aspecto importante que se destaca. La capacidad de ajustar y controlar diversos parámetros operativos a través de una interfaz gráfica en la pantalla táctil permite a los operadores responder rápidamente a las condiciones cambiantes y optimizar el proceso de tratamiento de agua. Esto no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también asegura una mejor calidad del agua tratada [9]. Implementar un SCADA con estas características puede mejorar significativamente la eficiencia y la calidad del proceso de potabilización, permitiendo una supervisión continua y precisa de los parámetros críticos del agua, y facilitando la toma de decisiones informadas para el mantenimiento y operación de la planta [10]. La implementación de este tipo de sistema en una planta de potabilización de agua puede resultar en una distribución de agua más eficiente y en ahorros significativos en la pérdida de agua. Las ventajas adicionales incluyen la reducción de la intervención humana, lo que minimiza errores y aumenta la precisión del control del sistema. La capacidad de monitoreo en tiempo real y la respuesta inmediata a problemas potenciales aseguran un suministro continuo y seguro de agua potable, lo cual es crucial para mantener la calidad del agua y la satisfacción del consumidor [11], [12]. La implementación de este SCADA inicia mejoras en otras etapas del proceso productivo de la planta, ofrece un punto de partida para otros estudios para esta planta, tales como un análisis de eficiencia energética y estudios de confiabilidad [13], [14].

El desarrollo del sistema SCADA también sirve de antesala para la incorporación de nuevas tecnologías relacionadas a la Industria 4.0, concepto moderno que representa una transformación digital de los sistemas de producción mediante la integración de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial, internet de las cosas (IoT), big data, computación en la nube, manufactura aditiva, robótica avanzada, realidad aumentada, entre otras [15], [16]. Los sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) son componentes esenciales en esta evolución, especialmente en plantas potabilizadoras de agua, donde la eficiencia y la precisión son cruciales para la gestión de recursos hídricos.

La recopilación y análisis de grandes volúmenes de datos en tiempo real mejora significativamente la capacidad de monitoreo y control de los procesos de tratamiento de agua, optimizando la eficiencia operativa y reduciendo el consumo de energía y recursos. Los sistemas SCADA, cuando se integran con tecnologías de internet de las

cosas (IoT), facilitan la comunicación entre dispositivos y sistemas [17], [18], lo que permite una respuesta rápida y precisa a las variaciones en los parámetros de tratamiento del agua.

Otra ventaja clave es la posibilidad de implementar mantenimiento predictivo. Al analizar datos históricos y en tiempo real, los sistemas SCADA pueden proveer de datos para predecir fallos potenciales y programar intervenciones de mantenimiento antes de que ocurran averías costosas. Esto no solo minimiza el tiempo de inactividad, sino que también prolonga la vida útil de los equipos. El uso de algoritmos de aprendizaje automático en combinación con SCADA puede anticipar problemas y mejorar la fiabilidad del sistema [19], [20]. Pero, la interconectividad de los sistemas aumenta el riesgo de ataques cibernéticos. La integración de sistemas SCADA en infraestructuras críticas como las plantas potabilizadoras de agua requiere la implementación de medidas de seguridad robustas. Es importante adoptar estándares de ciberseguridad y prácticas de gestión de riesgos para proteger estos sistemas vitales contra amenazas externas e internas [21], [22].

La Industria 4.0 también promueve prácticas sostenibles mediante el uso de tecnologías avanzadas. En las plantas potabilizadoras de agua, los sistemas SCADA pueden ayudar a gestionar de manera eficiente los recursos hídricos, reducir el desperdicio y asegurar la calidad del agua suministrada.

4. CONCLUSIONES

Con la finalización del proyecto se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- El diseño de un sistema SCADA para la Planta de Potabilización de Agua del GADMEE ofrece diagramas de flujo versátiles para ejecutar la programación de los diferentes PLC disponibles en el mercado, ya que este documento ofrece un punto de partida para efectuar el control y monitoreo de la planta, ofreciendo mejoras en los tiempos respuesta ante fallas en el sistema.
- El realizar una simulación del modelo de automatización diseñado a lo largo de esta investigación tiene ventajas ya que por medio de las simulaciones se pueden detectar cuales pueden ser los posibles eventos que ocurrirán en la planta, a su vez ofreciendo una solución para estos eventos.
- Un análisis técnico y económico es de suma importancia para realizar cualquier diseño o mejora dentro de una planta industrial, de esta forma se evalúa cuál es la mejor solución tratando de tener los menores costos para la empresa sin interrumpir su crecimiento.
- La integración de sistemas SCADA en el marco de la Industria 4.0 ofrece múltiples beneficios, desde la optimización de procesos y el mantenimiento predictivo hasta la mejora de la seguridad y la sostenibilidad.

Estas tecnologías avanzadas no solo aumentan la eficiencia operativa de las plantas potabilizadoras de agua, sino que también contribuyen a la resiliencia y la sostenibilidad de los recursos hídricos, aspectos cruciales para el desarrollo sostenible de la Costa ecuatoriana.

REFERENCIAS

- [1] A. Rezaei, P. Keshavarzi, and Z. Moravej, "Key management issue in SCADA networks: A review", *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 20, n.º 1. Elsevier B.V., pp. 354-363, Feb. 01, 2017. doi: 10.1016/j.jestch.2016.08.011.
- [2] E. Luijijf, M. Ali, and A. Zielstra, "Assessing and improving SCADA security in the Dutch drinking water sector", *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, vol. 4, n.º 3-4, pp. 124-134, Dec. 2011, doi: 10.1016/j.ijcip.2011.08.002.
- [3] K. Saravanan, E. Anusuya, R. Kumar, and L. H. Son, "Real-time water quality monitoring using Internet of Things in SCADA", *Environ Monit Assess*, vol. 190, n.º 9, Sep. 2018, doi: 10.1007/s10661-018-6914-x.
- [4] G. Yadav and K. Paul, "Architecture and security of SCADA systems: A review", *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, vol. 34. Elsevier B.V., Sep. 01, 2021. doi: 10.1016/j.ijcip.2021.100433.
- [5] R. R. R. Barbosa and A. Pras, "Intrusion Detection in SCADA Networks", 2010, pp. 163-166. doi: 10.1007/978-3-642-13986-4_23.
- [6] D. Babunski, E. Zaev, A. Tuneski, and D. Bozovic, "Optimization methods for water supply SCADA system", in *2018 7th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*, IEEE, Jun. 2018, pp. 1-4. doi: 10.1109/MECO.2018.8405970.
- [7] A. Panchal, K. Dagade, S. Tamhane, K. Pawar, and P. Ghadge, "Automated Water Supply System and Water Theft Identification Using PLC and SCADA", 2014. [Online]. Available: www.ijera.com
- [8] D. Ecob, "PLCs and SCADA - a water industry experience", in *IEE Colloquium on 'Application of Advanced PLC (Programmable Logic Controller) Systems with Specific Experiences from Water Treatment'*, IEE, 1995, pp. 6-6. doi: 10.1049/ic:19950742.
- [9] A. Archana and B. Yadav, "PLC & SCADA based automation of filter house, a section of Water Treatment Plant", in *2012 1st International Conference on Emerging Technology Trends in Electronics, Communication & Networking*, IEEE, Dec. 2012, pp. 1-6. doi: 10.1109/ET2ECN.2012.6470057.
- [10] E. Ahmad Zaki Hamidi, M. Ridlo Effendi, and H. Ash Shiddiq, "Design and Implementation Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) of Sedimentation Process of Water Treatment Plant (WTP) by Using

- Raspberry Pi 3 B”, in *2018 4th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*, IEEE, Jul. 2018, pp. 1-7. doi: 10.1109/ICWT.2018.8527736.
- [11] H. A. Umachagi, P. Kulkarni, and M. Bilagikar, “Implementation of Automated Water Supply and Distribution using PLC and SCADA”, in *2020 IEEE Bangalore Humanitarian Technology Conference (B-HTC)*, IEEE, Oct. 2020, pp. 1–3. doi: 10.1109/B-HTC50970.2020.9297887.
- [12] E. A. Z. Hamidi, T. Gustiana, M. R. Effendi, and P. A. M. Hambali, “Design and Implementation Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) of Flocculation Process of Water Treatment Plant (WTP) Using Raspberry Pi”, in *2019 IEEE 5th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*, IEEE, Jul. 2019, pp. 1-5. doi: 10.1109/ICWT47785.2019.8978240.
- [13] D. Babunski, E. ZaeV, A. Tuneski, and D. Bozovic, “Optimization methods for water supply SCADA system”, in *2018 7th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*, IEEE, Jun. 2018, pp. 1-4. doi: 10.1109/MECO.2018.8405970.
- [14] Andrade-Cedeño, R. (2020). Módulo didáctico para controlar nivel y caudal de agua, mediante sistema SCADA, PLC y algoritmo PID. *RIEMAT* 2019, 4, 50-62. <https://doi.org/10.33936/riemat.v4i2.2196>
- [15] Karnik, N., Bora, U., Bhadri, K., Kadambi, P., & Dhattrak, P. (2022). A comprehensive study on current and future trends towards the characteristics and enablers of industry 4.0. *Journal of Industrial Information Integration*, 27, 100294. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100294>
- [16] Parashar, B., Sharma, R., Rana, G., Balaji, R.D. (2023). Foundation Concepts for Industry 4.0. In: Nayyar, A., Naved, M., Rameshwar, R. (eds) *New Horizons for Industry 4.0 in Modern Business. Contributions to Environmental Sciences & Innovative Business Technology*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20443-2_3.
- [17] Nechibvute, A., & Mafukidze, H. D. (2023). Integration of SCADA and Industrial IoT: Opportunities and Challenges. *IETE Technical Review*, 41(3), 312–325. <https://doi.org/10.1080/02564602.2023.2246426>
- [18] Eden, P. et al. (2017). SCADA System Forensic Analysis Within IIoT. In: Thames, L., Schaefer, D. (eds) *Cybersecurity for Industry 4.0. Springer Series in Advanced Manufacturing*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50660-9_4
- [19] Suryadarma, E., & Ai, T. (2020). Predictive Maintenance in SCADA-Based Industries: A literature review. *International Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2(1), 57-70. <https://doi.org/10.24002/ijieem.v2i1.4368>
- [20] W. Udo and Y. Muhammad, “Data-Driven Predictive Maintenance of Wind Turbine Based on SCADA Data”, in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 162370-162388, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3132684.
- [21] G. Falco, C. Caldera and H. Shrobe, “IIoT Cybersecurity Risk Modeling for SCADA Systems”, in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 6, pp. 4486-4495, Dec. 2018, doi: 10.1109/JIOT.2018.2822842.
- [22] A. Sajid, H. Abbas and K. Saleem, “Cloud-Assisted IoT-Based SCADA Systems Security: A Review of the State of the Art and Future Challenges”, in *IEEE Access*, vol. 4, pp. 1375-1384, 2016, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2549047.