

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

Kevin Andrés Quelal Tamayo - Jhon Sebastián Cabrera Cuaical.

Facultad de Ingeniería

Corporación Universitaria Autónoma de Nariño

PASTO, COLOMBIA

Quelaltamayo@gmail.com - cabrerajhon.24j@gmail.com

Resumen - El presente artículo desarrolla el diseño y simulación de un sistema automatizado para una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) utilizando un PLC Siemens S7-1200 y una interfaz HMI programada en TIA Portal. El sistema integra sensores de nivel, caudal y control de dosificación química, permitiendo la supervisión y control automático de las etapas de bombeo, mezclado, tratamiento con rayos ultravioleta y descarga final. La propuesta mejora la eficiencia operativa, reduce la intervención manual y fortalece la sostenibilidad ambiental mediante el control preciso de variables críticas del proceso.

Índice de Términos - Automatización industrial, PLC, PTAR, tratamiento de aguas residuales, control de procesos, sostenibilidad.

I. INTRODUCCION

La gestión sostenible del agua es uno de los principales desafíos actuales, debido al crecimiento poblacional y al aumento de la contaminación hídrica. Según la Organización Mundial de la Salud (2024), cerca del 45 % de las aguas residuales a nivel mundial no recibe tratamiento adecuado, lo que afecta la salud pública y el ambiente.

En este contexto, la automatización de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) permite optimizar los procesos, mejorar la eficiencia operativa y garantizar el cumplimiento normativo. El uso del Siemens S7-1200 y el entorno TIA Portal facilita el diseño, control y supervisión del sistema.

Este trabajo tiene como objetivo diseñar y simular una PTAR automatizada, demostrando la viabilidad técnica de su implementación y su aporte a la modernización del saneamiento en Colombia, en concordancia con la Resolución 0631 de 2015.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La mayoría de los municipios, las PTAR continúan utilizando sistemas manuales o semi-automatizados, con baja capacidad de control y sin herramientas de diagnóstico predictivo.

Diversos estudios señalan que muchas PTAR, especialmente en zonas rurales, presentan deficiencias técnicas y operativas como la falta de automatización, la dependencia de la operación manual y la ausencia de monitoreo continuo.

- Incumplimiento de estándares ambientales: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

III. OBJETIVOS

A. *Objetivo General*

- Simular un sistema automatizado de tratamiento de aguas residuales mediante un PLC Siemens S7-1200 y una pantalla HMI en TIA Portal.

B. *Objetivos Específicos*

- Investigar la aplicación del PLC Siemens S7-1200 con TIA Portal en la automatización dentro de las PTAR.

- Programar la lógica secuencial de control en TIA Portal para gestionar las etapas de bombeo, tratamiento químico y descarga.

- Diseñar una interfaz hombre-máquina (HMI) funcional que permita controlar el sistema.

- Validar el funcionamiento de la lógica utilizando PLCSIM, simulador oficial de Siemens.

IV. MARCO TEÓRICO

El tratamiento de aguas residuales es fundamental para la protección de la salud pública y la sostenibilidad ambiental, al asegurar la depuración del agua antes de su retorno al entorno. En este contexto, las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y su automatización se convierten en herramientas clave para optimizar procesos y fortalecer la gestión ambiental mediante soluciones tecnológicas sostenibles.

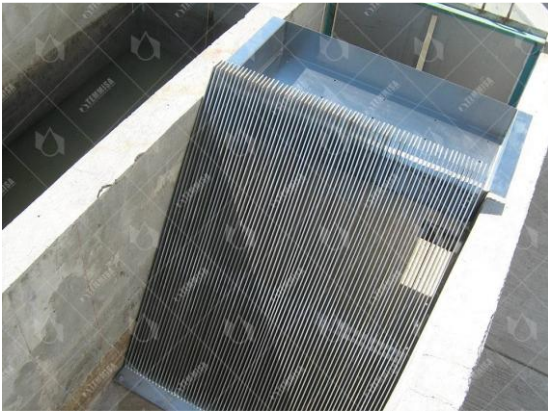
A. *Etapas y componentes principales (PTAR)*

Comprende una serie de etapas sucesivas diseñadas para eliminar los diferentes tipos de contaminantes presentes en el

agua, desde los más grandes y visibles hasta los más disueltos en microscopio, entre ellos se encuentran:

Rejillas, son el primer punto de ingreso del agua residual al sistema de tratamiento y tienen la función de retener sólidos gruesos que puedan afectar los procesos posteriores. Pueden ser manuales o automáticas, y su mantenimiento es esencial para garantizar un flujo continuo y evitar obstrucciones.

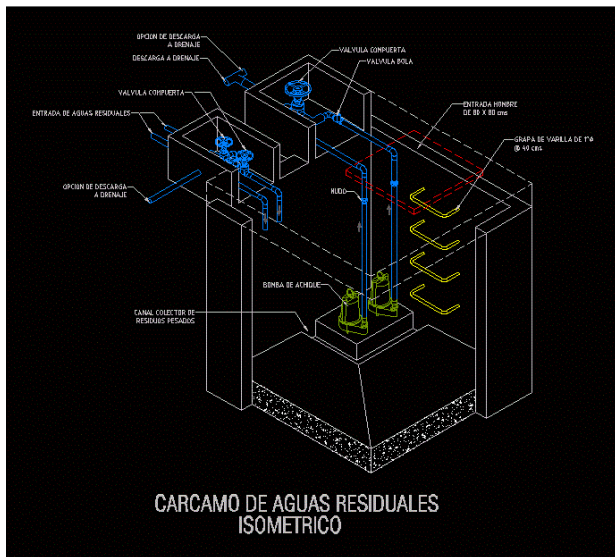
Fig. *Rejilla metálica inclinada para separación de sólidos.*



Fuente: TEMMISA (2022).

Cárcamo de bombeo, es un depósito donde se almacena el agua residual después del desbaste, antes de ser impulsada a las siguientes etapas del tratamiento. Permite regular el caudal y mantener condiciones operativas estables; en sistemas automatizados, los sensores de nivel envían señales al PLC para controlar el funcionamiento de las bombas.

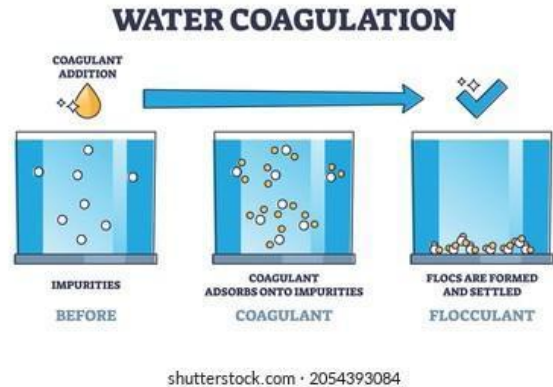
Fig. *Cárcamo de bombeo.*



Fuente: Librería CAD (2022).

Tratamiento físico-químico, integra procesos como coagulación, floculación y sedimentación para remover sólidos suspendidos, grasas y partículas coloidales. Mediante la adición de coagulantes, se favorece la formación de flóculos que sedimentan, mejorando la turbidez y la calidad del efluente antes del tratamiento biológico.

Fig. *Coagulación y floculación.*



Fuente: Shutterstock (2025).

Filtros, son ubicados en la etapa de tratamiento terciario, eliminan partículas finas no retenidas previamente, mejorando la calidad fisicoquímica del agua tratada. En sistemas automatizados, incorporan sensores de presión que permiten detectar la necesidad de limpieza o retrolavado.

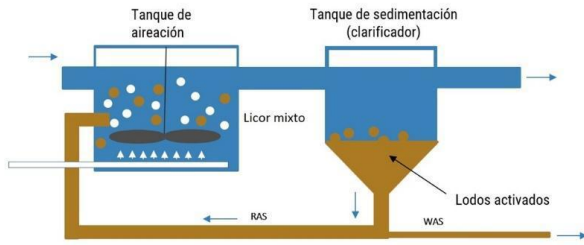
Fig. *Filtros*



Fuente: Aqueous Solutions (2013).

Reactores biológicos, constituyen la etapa central del tratamiento secundario, donde microorganismos degradan la materia orgánica presente en el agua. En sistemas de lodos activados, el suministro de aire favorece la oxidación biológica, por lo que parámetros como oxígeno disuelto, carga orgánica y temperatura deben ser controlados mediante sistemas automatizados.

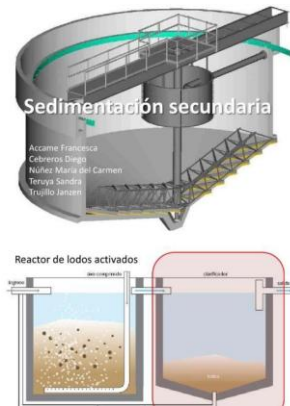
Fig. Reactor biológico



Fuente: Cropaia (2019).

Tanques de sedimentación y clarificación, después del tratamiento biológico, el agua pasa a tanques de sedimentación o clarificadores, donde se separan los lodos del efluente tratado. Este proceso mejora la calidad final del agua y permite la recirculación del lodo activo al reactor para mantener la biomasa.

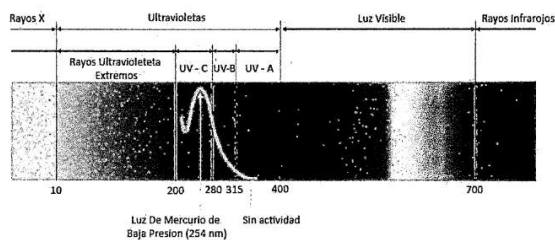
Fig. Tanques de sedimentación y clarificación



Fuente: Autor desconocido.

Sistema de desinfección, en la etapa final, el agua tratada se somete a desinfección para eliminar microorganismos patógenos antes de su descarga o reutilización. Los métodos más comunes incluyen cloración, radiación UV y ozonización, cuyos parámetros operativos deben ser monitoreados para garantizar su eficacia.

Fig. Proceso de rayos ultravioleta.



Fuente: Carlino (2011).

B. Automatización de procesos en una PTAR, permite el control integral y en tiempo real de sus procesos, mejorando la eficiencia y reduciendo errores operativos. Mediante el uso de un PLC como el Siemens S7-1200 y el entorno TIA Portal, es posible supervisar variables como nivel, caudal y pH, ejecutar rutinas de control y visualizar el estado del sistema a través de una interfaz HMI.

C. Uso del Software TIA Portal, El TIA Portal es una plataforma de ingeniería que integra en un solo entorno la programación, configuración y supervisión de sistemas de automatización. Permite gestionar PLC, HMI y dispositivos de comunicación de forma centralizada, reduciendo errores y optimizando el desarrollo y mantenimiento del proyecto.

Fig. TIA Portal.



Fuente: Siemens (2025).

D. Lenguaje de Programación Ladder, el lenguaje Ladder, o diagrama de escalera, es uno de los más utilizados en automatización industrial debido a su similitud con esquemas eléctricos convencionales. Basado en una lógica de contactos y bobinas, permite programar el control secuencial y condicional de procesos, bajo el estándar IEC 61131-3, garantizando compatibilidad y eficiencia en sistemas automatizados.

E. Controlador Lógico Programable (PLC) Siemens S7-1200, el Siemens S7-1200 constituye el núcleo del sistema de automatización, al ejecutar las rutinas de control programadas y coordinar la interacción entre sensores y actuadores. Su arquitectura modular y capacidad de comunicación mediante protocolos industriales permiten su integración con sistemas de supervisión, así como la implementación de funciones como control PID, autodiagnóstico y registro de datos para optimizar la operación de la planta.

F. Pantalla HMI (Human Machine Interface), las interfaces HMI constituyen el punto de interacción entre el operador y el sistema automatizado, mostrando en tiempo real variables, alarmas y estados del proceso. Programadas desde TIA Portal, permiten configurar parámetros y seleccionar modos de operación, facilitando la supervisión, la toma de decisiones y la continuidad segura del proceso.

Fig. Pantalla HMI



Fuente: Autoría propia.

G. Protecciones Eléctricas y de Control, la protección eléctrica es fundamental en sistemas automatizados, ya que previene daños por sobrecargas, cortocircuitos o fallas a tierra. Para ello, se emplean dispositivos como disyuntores, fusibles y relevadores, complementados con rutinas de seguridad programadas en el control. Su adecuada implementación garantiza la integridad del equipo, la seguridad del personal y la continuidad operativa del sistema.

V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Los resultados de la validación funcional confirmaron que el sistema diseñado cumple con los objetivos técnicos y operativos del proyecto. La secuencia lógica programada presentó un comportamiento estable, las rutinas de seguridad respondieron adecuadamente ante condiciones simuladas de falla y la comunicación entre dispositivos se mantuvo sin interrupciones. Asimismo, la interfaz gráfica permitió una visualización clara y en tiempo real del proceso, facilitando la supervisión de variables críticas. En conjunto, la simulación desarrollada en TIA Portal constituye una base sólida para una futura implementación física en entornos piloto o educativos. En relación con los objetivos específicos, se logró el diseño y programación del sistema en TIA Portal V16 utilizando el Siemens S7-1200, mediante lenguaje Ladder y simulación en PLCSIM. Se integraron sensores de nivel, rutinas de protección eléctrica y documentación técnica de los componentes, garantizando una operación segura y reduciendo riesgos potenciales en los equipos y en la interfaz de control.

Las pruebas funcionales evidenciaron tiempos de respuesta inferiores a un segundo y una interacción correcta entre el PLC y la HMI, permitiendo el monitoreo continuo de variables como nivel, presión, caudal y estado de bombas. Estos resultados demuestran la eficiencia del control automático y la confiabilidad de la arquitectura propuesta.

Desde el enfoque social, la encuesta aplicada en el municipio de Cumbal mostró una alta aceptación comunitaria del proyecto. Más del 90 % de los participantes manifestó aprobación hacia la implementación de una PTAR automatizada, destacando beneficios asociados a la mejora en la calidad del agua, la prevención de enfermedades y la sostenibilidad ambiental. Además, el 65 % indicó la inexistencia de un sistema formal de tratamiento en el municipio, evidenciando la pertinencia de la propuesta.

En conjunto, los resultados técnicos y sociales demuestran la viabilidad del proyecto y confirman que la automatización de procesos de saneamiento no solo optimiza el control operativo, sino que también cuenta con un entorno comunitario favorable para su futura implementación.

A. Validación funcional mediante simulación, la validación funcional del sistema automatizado se realizó mediante una simulación integral en TIA Portal V16 con PLCSIM Advanced, emulando el PLC Siemens S7-1200, los módulos de entrada y salida y la interfaz HMI, con el fin de comprobar la lógica del programa, la coherencia de las secuencias de control, la comunicación entre componentes y la respuesta ante eventos anómalos.

Durante la simulación se recrearon todas las fases de la PTAR, desde el pretratamiento hasta la desinfección, evaluando variaciones de nivel, presión, caudal y operación de bombas y válvulas. El sistema mostró una operación estable y continua, con lógica de enclavamiento que evitó el funcionamiento simultáneo de bombas en una misma línea, reduciendo riesgos operativos.

La HMI presentó una visualización estructurada con representación gráfica de equipos, indicadores dinámicos, codificación por colores, panel de alarmas, historial de eventos y gráficas de tendencia. Asimismo, las pruebas de fallo controlado confirmaron que el sistema activa rutinas de contingencia, bloquea secuencias de operación y genera alarmas visuales y sonoras.

B. Etapas y componentes principales de la PTAR, el diseño técnico de la planta se estructura en torno a las etapas tradicionales del tratamiento de aguas residuales, integradas bajo un esquema de control secuencial, cada etapa se automatiza mediante sensores, actuadores y bloques lógicos que garantizan su funcionamiento eficiente. Las principales fases del proceso son las siguientes:

Rejillas, estas estructuras son responsables de retener sólidos gruesos como plásticos, ramas, papeles o trapos que podrían dañar bombas o tuberías aguas abajo. En PTAR se considera que el agua ya ingresa filtrada a la bomba.

Cárcamo de bombeo, el agua residual se acumula en un cárcamo donde bombas sumergibles controladas por variadores de frecuencia impulsan el flujo hacia las siguientes etapas. Los sensores de nivel ultrasónicos y flotadores envían señales analógicas al PLC, que regula el arranque o paro de las bombas según los niveles mínimos y máximos. Esta lógica evita el funcionamiento en seco y optimiza el consumo eléctrico.

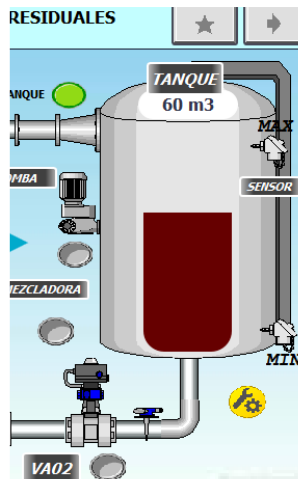
Fig. proceso de bombeo de agua.



Fuente: Autoría propia.

Control de nivel en cárcamos y tanques: el sistema activa las bombas de manera automática cuando el nivel supera un umbral definido, deteniéndolo al alcanzar el nivel mínimo. Secuencia de apertura y cierre de válvulas: controlada por temporizadores internos que garantizan el flujo correcto entre etapas.

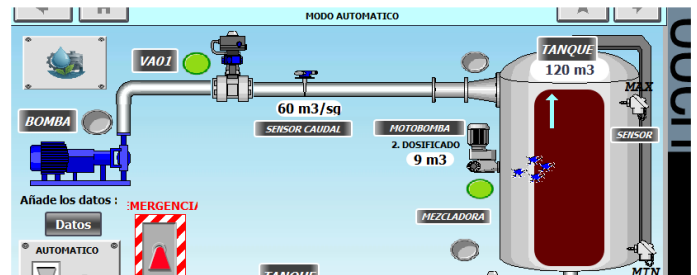
Fig. sensores de nivel de agua.



Fuente: Autoría propia.

Tratamiento físico-químico, en esta fase se combinan procesos de coagulación, floculación y sedimentación para remover partículas suspendidas, aceites y grasas. El sistema cuenta con dosificadores automáticos de coagulante (sulfato de aluminio o cloruro férrico), controlados mediante señales analógicas desde el PLC. La mezcla y agitación se gestionan con motores eléctricos cuya velocidad es ajustada por variadores. Esta automatización mejora la eficiencia del proceso y reduce el consumo de reactivos.

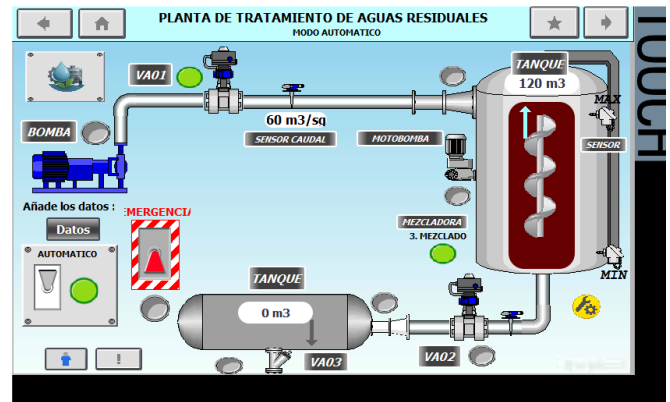
Fig. proceso de tratamiento químico, coagulación y floculación.



Fuente: Autoría propia.

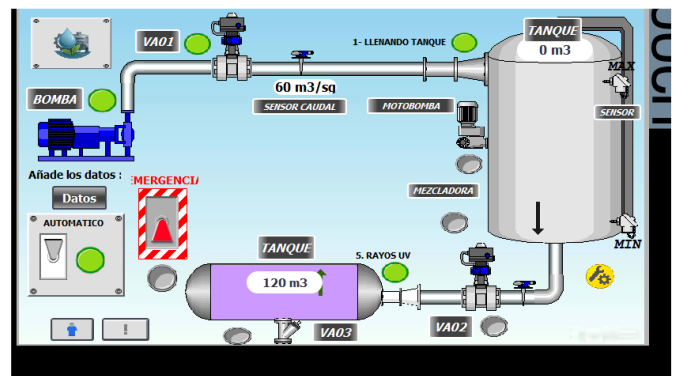
Sistemas de desinfección, el efluente clarificado pasa a un sistema de desinfección por cloración o irradiación ultravioleta (UV). El PLC controla el caudal de dosificación de cloro mediante bombas peristálticas y monitorea la turbidez del agua para asegurar una desinfección eficaz. En caso de baja turbidez o falla del sistema UV, se genera una alarma visible y sonora en la HMI.

Fig. proceso de desinfección mediante mezclado.



Fuente: Autoría propia.

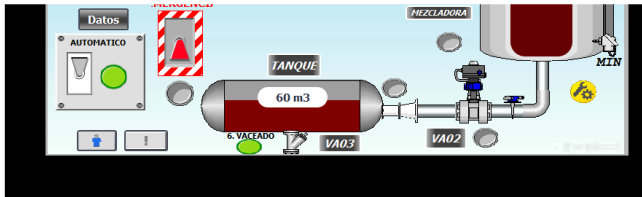
Fig. proceso de desinfección por rayos ultravioleta.



Fuente: Autoría propia.

Tanques de almacenamiento y control, el agua tratada se almacena temporalmente en tanques de regulación, desde los cuales puede ser reutilizada o vertida al medio ambiente, dependiendo del cumplimiento de parámetros normativos (DBO, DQO, SST, pH). Los sensores de nivel y caudal garantizan la dosificación controlada, y el PLC registra los datos en un histórico accesible desde la HMI para análisis posteriores.

Fig. proceso descarga de tanques.

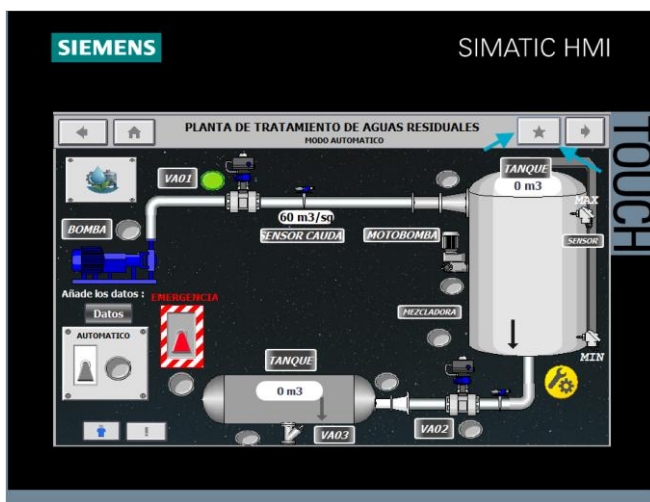


Fuente: Autoría propia.

Vista general de la PTAR, En este proyecto, el diseño del sistema automatizado se centró en la arquitectura de control jerárquico, donde el PLC Siemens S7-1200 actúa como el cerebro del sistema, coordinando la operación de bombas, válvulas y sensores; mientras que la Interfaz.

Hombre-Máquina (HMI) funciona como el medio de supervisión e interacción con el operador. Todos los dispositivos se integraron mediante comunicación PROFINET, asegurando una transferencia de datos confiable y sincronizada entre los distintos componentes.

Fig. vista general PTAR.



Fuente: Autoría propia.

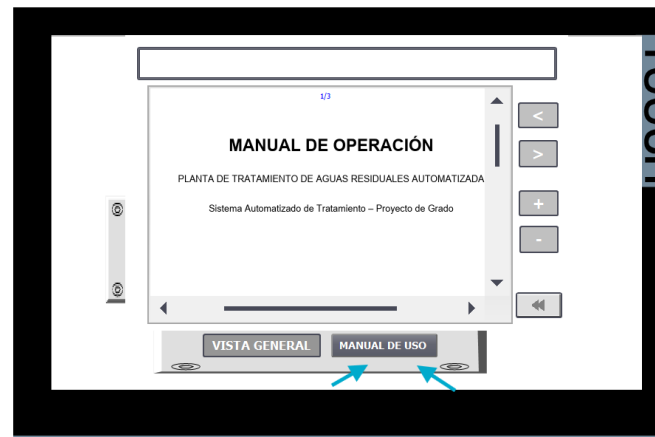
Gestión de alarmas manual de uso, ssgt y elemento de protección personal, el PLC activa alarmas visuales ante condiciones críticas (sobrecarga, fallo de bomba, nivel alto o bajo extremo).

Fig. botón de emergencia.



Fuente: Autoría propia.

Fig. manual de uso



Fuente: Autoría propia.

Fig. SSGT Y EPP.



Fuente: Autoría propia.

Estas funciones permiten mantener un equilibrio dinámico en la operación de la PTAR, asegurando eficiencia, seguridad y continuidad del servicio.

VI. CONCLUSIONES

-Se logró diseñar y simular un sistema automatizado de tratamiento de aguas residuales mediante el PLC Siemens S7-1200 y una interfaz HMI en TIA Portal, cumpliendo el objetivo general del proyecto. La automatización permitió optimizar los procesos de bombeo, mezcla, tratamiento y descarga, garantizando control preciso y operación segura.

-La aplicación del PLC Siemens S7-1200 y el entorno TIA Portal demostró su idoneidad para la automatización de PTAR. El uso del lenguaje Ladder facilitó la programación secuencial, mientras que las herramientas de diagnóstico y simulación optimizaron la validación del sistema, evidenciando su pertinencia para contextos rurales.

-Se desarrolló una HMI funcional e intuitiva que permite la visualización en tiempo real y el control de equipos, mejorando la interacción del operador y reduciendo errores humanos.

-La validación mediante PLCSIM confirmó la estabilidad del sistema y tiempos de respuesta menores a un segundo, garantizando sincronización y confiabilidad para su implementación en una planta real.

-Desde el componente social, la encuesta evidenció una aceptación comunitaria superior al 90%, reflejando reconocimiento de los beneficios en salud y calidad de vida, y la viabilidad de la tecnología en el desarrollo local.

VII. REFERENCIAS.

- [1] Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020). Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. OMS.
- [2] Toro, J., & Sánchez, L. (2021). Evaluación técnica y operativa de plantas de tratamiento de aguas residuales en municipios rurales de Colombia. *Revista Colombiana de Ingeniería Ambiental*, 15(2), 55–68.
- [3] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Colombia). (2015). Resolución 0631 de 2015: Parámetros y límites máximos permisibles de vertimientos puntuales. MinAmbiente.
- [4] Ramírez, J., & Cifuentes, D. (2021). Automatización de procesos industriales mediante PLC Siemens S7-1200 y TIA Portal. *Revista de Ingeniería Aplicada*, 10(1), 45–58
- [5] Siemens. (2020). WinCC Unified: Human machine interface solutions. Siemens AG.
- [6] Metcalf, & Eddy. (2016). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- [7] Tchobanoglous, G., Stensel, H., Tsuchihashi, R., & Burton, F. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (4th ed.). McGraw-Hill Education.

- [8] Rojas, L., & Pérez, G. (2019). Diseño de cárcamos de bombeo para sistemas de tratamiento de aguas residuales. *Revista Técnica de Ingeniería Civil*, 7(1), 35–49.
- [9] Brennan, R., Smith, P., & Wallace, M. (2020). *Physical-chemical treatment processes for wastewater management*. Elsevier.
- [10] García, M., & López, J. (2021). *Automatización industrial y control de procesos: fundamentos y aplicaciones*. Editorial Alfaomega.
- [10] ScienceDirect. (2022). *Predictive Control and Data-driven Optimization in Water Treatment Systems*. Elsevier.
- [11] Muñoz, P., & Ramírez, J. (2020). Ingeniería de automatización con TIA Portal: diseño, simulación y control. *Revista Colombiana de Tecnología e Ingeniería*, 8(2), 77–94.
- [12] Bolton, W. (2020). *Programmable Logic Controllers* (6th ed.). Routledge.
- [13] González, J., Ramírez, D., & López, M. (2021). Monitoreo y control automatizado en PTAR municipales: Retos y oportunidades en Colombia. *Revista Tecnura*, 25(67), 45–59
- [14] Restrepo-Tarquino, A., & Ramírez, J. (2020). Estado de las plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia: Avances y desafíos. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 19(36), 145–163.
- [15] Morales, F., & Pineda, C. (2022). Diseño de interfaces hombre-máquina (HMI) para entornos industriales automatizados. Ecoe Ediciones.
- [16] Torres, D., & Jiménez, M. (2020). Protecciones eléctricas en sistemas industriales automatizados. *Revista Ingeniería Eléctrica y Control*, 9(1), 56–70.
- [17] Siemens. (2022). *SIMATIC S7-1200: System Manual*. Siemens AG.