

**Automatización del control del llenado de tanques de almacenamiento para acueductos
rurales**

Alberto Padilla Saavedra

Raúl Andrés Bravo Pedreros

Asesor

Milena Ávila Orozco

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias, Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI

Tecnología en Automatización Electrónica

2025

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo principal diseñar e implementar un sistema automatizado para el control del llenado de tanques de almacenamiento en el acueducto comunitario ACUAMIRAMAR, ubicado en el sector de Calambeo, Ibagué. Este sistema se concibe como respuesta a múltiples limitaciones técnicas, económicas y operativas que caracterizan a los acueductos rurales en Colombia, especialmente en lo relacionado con la gestión ineficiente del recurso hídrico y las fallas en la continuidad del servicio.

El objetivo general del estudio consiste en diseñar un sistema de automatización que mejore la continuidad del suministro, optimice el uso del agua, reduzca los costos operativos y minimice los errores asociados a la supervisión manual. Para ello, se establecen cinco objetivos específicos que orientan la implementación de sensores de nivel, controladores lógicos programables (PLC), electrobombas y elementos de mando, lo que permite controlar el proceso mediante una lógica de lazo cerrado.

La metodología adoptada responde a un enfoque mixto, con una fase descriptiva que caracteriza el sistema actual del acueducto, y una fase experimental dirigida a la validación técnica a través de simulaciones computarizadas en entornos como LOGO Soft Comfort, PC Simu y Factory I/O. Esta combinación permite diseñar y verificar una solución técnica viable antes de su implementación física, evaluando el comportamiento de los componentes en condiciones simuladas.

Los principales hallazgos evidencian que el sistema automatizado mejora la eficiencia operativa del acueducto, reduce significativamente los tiempos de llenado y elimina los reboses causados por errores humanos. La comparación entre el modelo manual y el automatizado refleja una disminución de más de cinco segundos en el proceso de llenado, mayor estabilidad en la

presión de la red y la posibilidad de operar sin supervisión constante. Además, se comprueba que la arquitectura del sistema permite su escalabilidad, replicabilidad y sostenibilidad en otros contextos rurales similares.

La conclusión central del estudio establece que la automatización del control de llenado de tanques en acueductos rurales no solo resulta técnica y económicamente viable, sino que también constituye una solución estratégica para garantizar el derecho al agua en zonas históricamente excluidas. Al eliminar la dependencia de la supervisión manual y reducir el margen de error, se consolida una prestación continua, eficiente y equitativa del servicio.

Como medida de mejora continua, se recomienda implementar el sistema en una fase piloto antes de su expansión, capacitar al personal comunitario en el uso del software y el mantenimiento de los equipos, así como desarrollar una interfaz de monitoreo remoto que permita la supervisión en tiempo real desde plataformas móviles o web. Asimismo, se considera pertinente incorporar procesos complementarios como la cloración automatizada, con el fin de fortalecer la calidad del agua distribuida.

Palabras clave: Automatización, Control, Llenado de Tanques, Acueductos.

Abstract

The main objective of this research is to design and implement an automated system for the control of the filling of storage tanks in the ACUAMIRAMAR community aqueduct, located in the Calambeo sector, Ibagué. This system is conceived as a response to multiple technical, economic and operational limitations that characterize rural aqueducts in Colombia, especially in relation to the inefficient management of water resources and failures in the continuity of service.

The overall objective of the study is to design an automation system that improves continuity of supply, optimizes water use, reduces operating costs, and minimizes errors associated with manual monitoring. To this end, five specific objectives are established that guide the implementation of level sensors, programmable logic controllers (PLCs), electric pumps and control elements, which allows the process to be controlled through closed-loop logic.

The methodology adopted responds to a mixed approach, with a descriptive phase that characterizes the current aqueduct system, and an experimental phase aimed at technical validation through computerized simulations in environments such as LOGO Soft Comfort, PC Simu and Factory I/O. This combination allows a viable technical solution to be designed and verified before its physical implementation, evaluating the behavior of the components under simulated conditions.

The main findings show that the automated system improves the operational efficiency of the aqueduct, significantly reduces filling times and eliminates overflows caused by human error. The comparison between the manual and automated models reflects a decrease of more than five seconds in the filling process, greater stability in the pressure of the network and the possibility

of operating without constant supervision. In addition, it is verified that the architecture of the system allows its scalability, replicability and sustainability in other similar rural contexts.

The central conclusion of the study is that the automation of tank filling control in rural aqueducts is not only technically and economically feasible but also constitutes a strategic solution to guarantee the right to water in historically excluded areas. By eliminating reliance on manual monitoring and reducing the margin for error, continuous, efficient, and equitable service delivery is strengthened.

As a measure of continuous improvement, it is recommended to implement the system in a pilot phase before its expansion, train community staff in the use of the software and maintenance of the equipment, as well as develop a remote monitoring interface that allows real-time monitoring from mobile or web platforms. Likewise, it is considered pertinent to incorporate complementary processes such as automated chlorination, to strengthen the quality of the water distributed.

Keywords: Automation, Control, Tank Filling, Aqueducts.

Tabla de contenido

Introducción.....	11
Justificación.....	15
Descripción del Problemática.....	18
Sistematización Del Problema	21
Objetivos.....	23
Objetivo General	23
Objetivos Específicos.....	23
Marco de Referencia.....	24
Estado del arte.....	24
Marco contextual	29
Marco teórico	32
Gestión del recurso hídrico y acueductos comunitarios	33
Automatización y control de procesos en sistemas hidráulicos.....	34
Componentes técnicos de los sistemas de almacenamiento y distribución.	35
Eficiencia operativa y sostenibilidad en la gestión del agua.....	36
Marco conceptual.....	36
Marco normativo.....	39
Metodología.....	42
Introducción metodológica	42
Método de investigación	42
Análisis del sistema actual	43
Selección de equipos y definición de variables	43

Condiciones operativas y requisitos del programa de control	43
Diseño y simulación del sistema.....	44
Diagramas de fuerza y mando.....	44
Simulación del sistema automatizado.....	44
Implementación del sistema en campo	44
Tipo de estudio y validación experimental	45
Soporte normativo y estándares de automatización.....	45
Proceso metodológico.....	45
Resultados.....	47
Diagnóstico del sistema actual y necesidad de automatización.....	47
Variables Identificación de variables técnicas del sistema hidráulico, eléctrico y de control.....	48
Diseño del sistema automatizado y selección de componentes físicos.....	50
Equipos por utilizar.....	51
Justificación técnica por componente	52
Criterios de selección técnica.....	54
Criterios técnicos para el diseño de la solución automatizada.....	55
Programación y simulación virtual del sistema de llenado.....	59
Etapas funcionales del sistema automatizado	74
Construcción del prototipo y validación empírica del funcionamiento	75
Conclusiones.....	77
Recomendaciones	79
Referencias Bibliográficas.....	82

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Normatividad Legal y Sanitaria Relacionada con el Recurso Hídrico en Colombia.....</i>	40
Tabla 3 <i>Comparación entre Sistema Manual y Sistema Automatizado de Llenado de Tanques.</i>	47
Tabla 4 <i>Parámetros Técnicos y Operativos del Sistema de Control Automatizado.</i>	50
Tabla 5 <i>Equipos utilizados para el diseño del sistema de automatización del llenado de tanques.</i>	51
Tabla 6 <i>Comparación de Tiempos de Llenado: Sistema Manual vs Sistema Automatizado.</i>	72

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Esquema del Sistema de Abastecimiento de Agua.</i>	32
Figura 2 <i>Metodología para el diseño e implementación del sistema automatizado de llenado de tanques.</i>	46
Figura 3 <i>Representación esquemática del Sistema con sus Componentes.</i>	54
Figura 4 <i>Esquema Tridimensional con Identificación Volumétrica de Tanques.</i>	56
Figura 5 <i>Representación Esquemática del Sistema con Condiciones Técnicas y de Control.</i>	57
Figura 6 <i>Solución Técnica Automatizada para Garantizar la Continuidad Operativa en ACUAMIRAMAR.</i>	58
Figura 7 <i>Vista Tridimensional del Sistema de Automatización para el Llenado de Tanques en Factory I/O.</i>	61
Figura 8 <i>Diagrama Lógico Funcional para el Control Automatizado del Llenado y Vaciado de Tanques en LOGO Comodidad suave.</i>	62
Figura 9 <i>Diagrama de Bloques Funcionales (FBD) para el Control de Llenado de Tanques en LOGO Soft Comfort.</i>	64
Figura 10 <i>Parámetros para el Funcionamiento de los Sensores en la Simulación.</i>	65
Figura 11 <i>Detalle de Actuadores en la Interfaz de Factory I/O.</i>	66
Figura 12 <i>Tabla de Asignación de Entradas (V) y Salidas (Q) en el PLC.</i>	67
Figura 13 <i>Registro de sensores digitales activos en la simulación.</i>	68
Figura 14 <i>Diseño de la Simulación 3D del Llenado de Tanques de Agua.</i>	70
Figura 15 <i>Simulación Llenado de Tanque 2 (con sistema automático activado).</i>	71
Figura 16 <i>Activación del Sistema Automático desde el Panel de Control Virtual.</i>	72

Figura 17 <i>Maqueta Funcional del Sistema de Automatización para dos Tanques de Almacenamiento.....</i>	75
Figura 18 <i>Prototipo Físico Funcional del Sistema Automatizado de Llenado de Tanques.</i>	76

Introducción

En la actualidad, la gestión eficiente del agua representa una prioridad crítica en el contexto mundial, debido a la creciente escasez de agua, su uso desmedido y la contaminación acelerada de las fuentes naturales. Este fenómeno impacta especialmente a las zonas rurales, donde las condiciones de acceso y sostenibilidad del agua potable son considerablemente más vulnerables frente a los centros urbanos (Naciones Unidas, 2023).

En Colombia, según (Naciones Unidas, 2023), el acceso al agua potable en zonas rurales continúa siendo uno de los mayores desafíos para alcanzar la cobertura universal estipulada en la Agenda 2030. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), cerca de 3,2 millones de personas carecen de acceso al agua potable, de las cuales 2,6 millones habitan en áreas rurales. Esta cifra revela una profunda desigualdad estructural, dado que mientras el 97,4% de los habitantes urbanos acceden al servicio, solo el 57,8% de la población rural cuenta con acceso efectivo al agua (Trujillo, 2023).

Como resultado, millones de colombianos en zonas apartadas enfrentan condiciones de precariedad hídrica, agravadas por la inexistencia de plantas de potabilización, la baja cobertura de redes de distribución y la limitada formalización de los acueductos comunitarios. A pesar de los avances legislativos, la cobertura en departamentos como Vichada, La Guajira, Chocó, Guainía o Vaupés no supera el 50 % en áreas rurales, lo que denota una insuficiente capacidad instalada para garantizar el derecho humano al agua. En este contexto, la ausencia de soluciones sostenibles y adaptadas a las dinámicas del territorio exige la incorporación de tecnologías automatizadas, como herramientas clave para fortalecer la gestión comunitaria del recurso hídrico, reducir la inequidad y cerrar la brecha estructural entre el campo y la ciudad (Ministerio de Vivienda-Ciudad y Territorio, 2023).

Además, se debe considerar que solo la mitad de los acueductos comunitarios rurales se encuentran formalizados ante las entidades competentes, lo que limita su acceso a recursos técnicos, económicos y jurídicos que les permiten operar bajo condiciones de sostenibilidad. Esta informalidad obedece a múltiples factores, entre ellos la falta de incentivos institucionales, las barreras normativas y las limitaciones internas de gestión organizacional dentro de las mismas comunidades.

En relación con lo anterior, el acueducto comunitario ACUAMIRAMAR, ubicado en el sector de Calambeo en la ciudad de Ibagué, constituye un ejemplo claro de los retos estructurales y operativos que enfrentan los sistemas rurales de abastecimiento de agua. Este acueducto atiende aproximadamente a 205 suscriptores, en su mayoría pertenecientes a zonas rurales con usos domésticos y de subsistencia. Actualmente, el proceso de llenado de sus tanques se realiza de forma manual, mediante la supervisión directa de un único operario, lo cual genera constantes interrupciones en el servicio, reboses por falta de control de niveles y reclamos recurrentes de la comunidad por baja presión y desabastecimiento. Esta situación motiva la búsqueda de soluciones técnicas que contribuyan a mejorar la eficiencia del sistema, reducir el esfuerzo humano y garantizar la sostenibilidad del recurso (Alcaldía de Ibagué, 2023).

En este contexto, la operación de muchos acueductos rurales continúa depende de trabajos manuales realizados por operadores con múltiples responsabilidades y recursos limitados. El caso específico del acueducto comunitario en el sector de Calambeo, en la ciudad de Ibagué, refleja con claridad estas dificultades. La apertura y cierre de válvulas, el monitoreo de niveles de agua y el mantenimiento de la infraestructura son acciones que recaen sobre un solo operario, quien además debe asumir tareas de cloración, limpieza de bocatomas y atención a emergencias (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2020).

Lo anterior genera problemas operativos frecuentes como el rebose de los tanques, según (Camacho, 2020), la distribución desigual del agua, fallas en la continuidad del servicio e inconformidades entre los usuarios, particularmente en periodos de alta demanda. A estos efectos se suma la presión ejercida por la autoridad ambiental debido al vertimiento ocasional de agua sin tratamiento, situación que derivan en sanciones legales y conflictos con la comunidad beneficiaria del servicio.

Frente a este panorama, el presente proyecto de grado propone el diseño y la simulación a escala laboratorio de un sistema de automatización del control del llenado de tanques de almacenamiento, orientado específicamente a fortalecer la gestión técnica de los acueductos rurales. Este sistema permitirá reducir significativamente los errores humanos, optimizar el uso del recurso hídrico y mejorar la eficiencia del proceso de distribución de agua en la comunidad.

El desarrollo de la solución está basado en tecnologías accesibles y adaptables al entorno rural, como sensores de nivel de alta precisión, controladores lógicos programables y elementos de mando que permiten implementar un sistema de lazo cerrado para controlar el llenado automático de los tanques. A través de esta lógica de funcionamiento, se logra activar o desactivar automáticamente una electrobomba cuando el nivel del agua desciende o supera los parámetros definidos, garantizando un suministro continuo y controlado.

En función de lo anterior, el sistema busca no solo reducir el desperdicio de agua, sino también aliviar la carga laboral del operario, permitiéndole enfocar sus funciones en tareas especializadas como la supervisión de calidad del agua o el mantenimiento correctivo de la red. Además, la propuesta permite generar un antecedente técnico y funcional que podrá ser utilizado por la junta administradora del acueducto para gestionar recursos ante entidades gubernamentales o municipales.

A nivel metodológico, la propuesta contempla el uso de software de simulación como LOGO Soft Comfort, PC Simu y Cade Simu, que permiten modelar el funcionamiento del sistema en condiciones controladas. La simulación proporciona un entorno de validación técnica que facilita la visualización de resultados, la detección de errores y la corrección de parámetros antes de una implementación a escala real.

Por lo tanto, este trabajo académico no solo responde a una necesidad práctica concreta en el territorio, sino que también ofrece una propuesta técnica replicable y escalable para otras comunidades en condiciones similares. Asimismo, busca promover la apropiación de soluciones tecnológicas sostenibles en entornos donde normalmente no se han implementado herramientas de automatización.

Finalmente, este proyecto se apunta dentro de los esfuerzos por democratizar el acceso a tecnologías aplicadas al manejo del agua, contribuye a mejorar la calidad de vida de los habitantes rurales, fortalecer la sostenibilidad ambiental y reducir la brecha tecnológica en contextos históricamente excluidos de los avances en automatización electrónica.

Justificación

La creciente necesidad de eficiencia operativa en los servicios básicos, especialmente en contextos rurales, impulsa el desarrollo de soluciones tecnológicas que responden a las limitaciones estructurales de los acueductos comunitarios. En este sentido, la automatización de procesos como el llenado de tanques de almacenamiento de agua constituye una alternativa estratégica para garantizar la continuidad del servicio, optimizar el recurso hídrico y disminuir los costos derivados de la gestión manual del sistema (Sánchez & Quiroga, 2020).

Actualmente, gran parte de los acueductos rurales en Colombia son administrados por organizaciones comunitarias que, en muchos casos, operan en condiciones de informalidad y sin apoyo técnico especializado. Esto conlleva a que la operación del sistema dependa de labores manuales que requieren la presencia constante de operarios, quienes deben monitorear los niveles de agua, activar válvulas, limpiar bocatomas y realizar tareas de mantenimiento general. Como resultado, se presentan fallas frecuentes en la distribución, desbordamientos por rebose y escasez temporal del recurso, afectando directamente la calidad de vida de los usuarios (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2020).

La automatización del llenado de tanques, por tanto, surge como una solución integral que responde a estas limitaciones. Mediante sensores de nivel, controladores programables y bombas automáticas, el sistema puede detectar con precisión los niveles de agua y ejecutar acciones sin necesidad de supervisión continua. Esta dinámica no solo elimina la posibilidad de errores humanos, sino que además garantiza una operación más precisa y estable del sistema de acueducto (Segura et al., 2017).

Desde una perspectiva técnica, la automatización permite establecer umbrales de operación configurables que optimizan el funcionamiento del sistema hidráulico. Cuando el nivel

del agua desciende a valores críticos, el sistema activa automáticamente la bomba, y una vez alcanza el volumen máximo programado, la detiene. Esta lógica de control permite evitar pérdidas por desbordamiento, regular el consumo energético y mantener la presión del sistema dentro de rangos aceptables (Niño, 2023).

A nivel económico, la implementación de esta tecnología representa una reducción sustancial en los costos operativos, ya que se eliminan las horas extras destinadas a la supervisión del llenado. Además, al automatizar estas tareas, los operarios pueden enfocarse en actividades más técnicas como la verificación de la calidad del agua, el ajuste de la dosificación de químicos o el mantenimiento preventivo de las redes de distribución (Arias, 2025).

En términos sociales, el sistema contribuye directamente al bienestar de la comunidad. Al reducirse las interrupciones en el suministro de agua y mantener una presión constante en la red, los usuarios experimentan una mejora en la continuidad del servicio, lo que fortalece su confianza en la administración del acueducto. Asimismo, se promueve una gestión más transparente, eficiente y sustentable del recurso, en línea con los principios del derecho humano al agua (Acueducto, 2024b).

El proyecto también tiene una dimensión ambiental significativa. La automatización ayuda a reducir el desperdicio de agua, protege las fuentes hídricas de sobreexplotación y contribuye al cumplimiento de los límites concesionados establecidos por las autoridades ambientales. De esta forma, la implementación tecnológica no solo atiende a una necesidad funcional, sino que también se alinea con los objetivos de sostenibilidad y protección del entorno natural (Idrica, 2023).

Es importante destacar que esta solución se piensa para ser replicable y adaptable a otros acueductos comunitarios que enfrentan condiciones similares. A través de una inversión

moderada y una capacitación técnica básica, las juntas de agua pueden implementar este tipo de sistemas y así mejorar significativamente su capacidad de respuesta operativa, sin depender exclusivamente de grandes operadores o modelos centralizados.

Además, el desarrollo del prototipo en laboratorio permite validar el diseño funcional del sistema antes de su implementación a escala real. Esto representa una ventaja adicional, ya que facilita la presentación del proyecto ante autoridades municipales o entidades cooperantes, que apoya financieramente su ejecución en campo, en el marco de políticas públicas orientadas al fortalecimiento de la gestión comunitaria del agua.

Finalmente, este proyecto se sustenta en su capacidad para mejorar la eficiencia técnica, reducir costos, fortalecer la sostenibilidad ambiental y elevar la calidad de vida de los usuarios del acueducto comunitario ACUAMIRAMAR. La propuesta no solo aborda una necesidad urgente de carácter local, sino que plantea un modelo funcional replicable que puede ser parte de una solución estructural para las comunidades rurales del país.

Descripción del Problemática

En el contexto rural colombiano, la prestación del servicio de agua enfrenta múltiples desafíos estructurales que limitan su eficiencia, continuidad y sostenibilidad. El acueducto comunitario ACUAMIRAMAR, ubicado en el sector de Calambeo en Ibagué, no es ajeno a esta realidad. Este sistema atiende actualmente a 205 suscriptores, de los cuales el 70 % reside en zonas rurales y destina el recurso a actividades domésticas y de subsistencia, mientras que el 30 % restante pertenece a sectores urbanos del municipio (Alcaldía de Ibagué, 2023).

A pesar del compromiso de la comunidad en la administración del sistema, las limitaciones económicas y técnicas han impedido la implementación de una planta de tratamiento de agua y la optimización integral de la red de distribución. En consecuencia, el acueducto continúa suministrando agua cruda, situación que representa un riesgo tanto sanitario como legal, y que es motivo de observación por parte de las autoridades ambientales (Moreno, 2020).

El sistema hidráulico cuenta con tres tanques de almacenamiento: un tanque cilíndrico prefabricado de 20 m³, una alberca abierta con capacidad estimada de 60 m³ que cumple funciones de sedimentación, y un tercer tanque conectado a la red de distribución. Este último está siendo evaluado por la junta administradora para ser eventualmente usado como tanque de contacto para procesos de desinfección. Sin embargo, ninguno de estos depósitos cuenta con sensores o dispositivos de medición que permitan monitorear en tiempo real los niveles del agua.

La ausencia de un sistema de control automatizado obliga a que el llenado de los tanques se lleve a cabo de forma manual. El operario encargado debe verificar de manera visual el nivel del agua y abrir o cerrar válvulas según lo considere pertinente. Esta tarea depende de su

disponibilidad y criterio, lo que introduce una alta variabilidad en la operación y provoca interrupciones frecuentes en el suministro del servicio.

Los problemas derivados de este modelo de operación son múltiples. Entre ellos, destacan las quejas reiteradas de los usuarios por la baja presión y la intermitencia del agua, especialmente durante los fines de semana y temporadas de alta demanda. Estos periodos coinciden con la presencia de visitantes en fincas recreativas, lo cual incrementa el consumo y supera la capacidad de respuesta del sistema en su configuración actual (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales [ANLA], 2021).

Como consecuencia, la gestión del recurso hídrico en ACUAMIRAMAR no solo presenta deficiencias en términos técnicos, sino también en lo que respecta a la eficiencia en el uso del agua. Al no poder controlar con precisión los niveles de llenado, se generan reboses que conllevan un desperdicio innecesario, reduciendo la disponibilidad del recurso para la comunidad y generando un impacto ambiental negativo (Becerra-Perenguez et al., 2023).

Asimismo, la necesidad de mantener un operario de manera permanente para supervisar manualmente los niveles de agua representa un costo operativo elevado. Este operario debe estar disponible las 24 horas del día, los siete días de la semana, situación que no solo es insostenible desde el punto de vista financiero, sino que también afecta su calidad de vida y limita su desempeño en otras funciones esenciales como el mantenimiento preventivo o la verificación de la calidad del agua.

Adicionalmente, el sistema actual carece de flexibilidad para adaptarse a los cambios en la demanda del recurso. La variabilidad en el consumo no puede anticiparse ni gestionada eficientemente, lo que impide establecer una planificación adecuada del llenado de los tanques y provoca una respuesta tardía ante eventos de sobreconsumo o escasez.

Por otro lado, la ausencia de datos técnicos precisos sobre el comportamiento hidráulico del sistema dificulta la toma de decisiones basada en evidencia. La junta de agua carece de información sistematizada que le permita evaluar el desempeño del acueducto, lo que limita su capacidad de gestión y la posibilidad de justificar inversiones ante entidades gubernamentales o cooperantes internacionales.

De igual forma, la dependencia exclusiva del conocimiento empírico del operario representa un riesgo para la continuidad del servicio. En caso de ausencia temporal o permanente de esta persona, el sistema queda sin supervisión, lo que deriva en fallos críticos como reboses prolongados, vaciamiento de los tanques o interrupciones totales del suministro.

Ante este panorama, la falta de un sistema de automatización impide el desarrollo de una estrategia de manejo eficiente del recurso hídrico. Esta deficiencia tecnológica frena la adopción de prácticas modernas de operación, restringe la mejora continua del servicio y limita la sostenibilidad del acueducto como modelo de gestión comunitaria.

Cabe destacar que el problema no radica únicamente en la carencia de tecnología, sino en la imposibilidad de integrar soluciones adaptadas a la realidad económica y operativa de los acueductos rurales. Por ende, resulta urgente implementar un sistema de control automatizado que se ajuste a las capacidades locales y que pueda ser gestionado directamente por la comunidad con la debida capacitación (Sánchez & Quiroga, 2020).

En este marco, la automatización del llenado de tanques no solo representa una mejora técnica, sino también una herramienta que empodera a la comunidad fortalece su autonomía operativa y contribuye al cumplimiento del derecho fundamental al agua. El desafío consiste en diseñar un sistema robusto, replicable y sostenible, que permita transformar la lógica de

funcionamiento actual y garantizar un servicio continuo, eficiente y justo para todos los usuarios del acueducto ACUAMIRAMAR.

En síntesis, la problemática identificada en este acueducto rural revela la necesidad urgente de modernizar su infraestructura operativa mediante soluciones accesibles de automatización. La implementación de tecnologías adecuadas permitirá superar las limitaciones del modelo manual, mejorar la gestión comunitaria del recurso hídrico y sentar las bases para una prestación del servicio más segura, eficiente y sostenible.

Sistematización Del Problema

El acueducto comunitario ACUAMIRAMAR presenta una serie de deficiencias técnicas y operativas que impactan negativamente en la calidad y continuidad del servicio de agua suministrado a sus 205 suscriptores. El proceso actual de llenado de tanques se realiza manualmente, lo que deriva en interrupciones frecuentes, baja presión en la red de distribución, desperdicio del recurso hídrico y sobrecarga laboral para el operario responsable.

Frente a este panorama, se formula la siguiente pregunta orientadora:

¿De qué manera el diseño e implementación de un sistema de automatización para el llenado de los tanques del acueducto ACUAMIRAMAR puede mejorar la eficiencia operativa, optimizar el uso del recurso hídrico, reducir los costos asociados al monitoreo manual y garantizar una prestación continua y confiable del servicio de agua?

A partir de este interrogante general, se derivan las siguientes preguntas específicas:

¿Qué tecnologías pueden implementarse para automatizar el proceso de llenado de los tanques en un acueducto rural como ACUAMIRAMAR?

1. ¿Qué factores técnicos, hidráulicos y operativos deben considerarse en el desarrollo del sistema de control automatizado?
2. ¿Cuáles son los equipos más adecuados para este tipo de automatización, y qué características deben reunir para funcionar de manera eficiente en un contexto rural?
3. ¿Cómo puede el uso de plataformas de simulación como LOGO Soft Comfort, Cade Simu y PC Simu contribuir a validar el funcionamiento del sistema antes de su implementación en campo?
4. ¿Qué impacto tendría la automatización en la continuidad del servicio, la reducción de errores operativos y la mejora en las condiciones laborales del personal del acueducto?

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema automatizado para el llenado de los tanques de almacenamiento del acueducto comunitario ACUAMIRAMAR, ubicado en el sector de Calambeo, en la ciudad de Ibagué, con el propósito de optimizar la continuidad del suministro, mejorar la eficiencia operativa, reducir los costos derivados de la gestión manual y garantizar un funcionamiento seguro, replicable y adaptado al entorno rural.

Objetivos Específicos

Identificar la necesidad del sistema, definiendo las variables eléctricas, hidráulicas y operativas necesarias para el diseño del control automatizado del llenado de tanques.

Desarrollar y validar la lógica de programación del sistema de control del llenado, empleando entornos especializados de simulación como LOGO Soft Comfort, PC Simu y Cade Simu.

Construir el modelo a escala (maqueta) que represente físicamente el sistema propuesto, integrando los componentes seleccionados.

Ejecutar pruebas con el prototipo construido, verificando su funcionamiento en condiciones reales y corroborando la correspondencia con los resultados de simulación.

Marco de Referencia

Estado del arte

El análisis de antecedentes recientes permite identificar diversas experiencias relevantes en el diseño, implementación y evaluación de sistemas automatizados aplicados a la gestión del recurso hídrico en contextos rurales. A través de metodologías aplicadas, experimentales y tecnológicas, estas investigaciones han abordado problemáticas como la intermitencia en el suministro, el aprovechamiento de aguas lluvias, la mejora de la calidad del agua mediante cloración automatizada, y la integración de tecnologías de bajo costo para el control de procesos en sistemas comunitarios. En conjunto, los estudios revisados ofrecen un panorama técnico y metodológico que enriquece la comprensión de los retos operativos que enfrentan los acueductos rurales en Colombia y proponen soluciones concretas orientadas a la sostenibilidad, eficiencia y autonomía local.

Rojas y Ruíz (2019), aplican una metodología de tipo aplicada con alcance descriptivo, orientada a diagnosticar las deficiencias en la prestación del servicio de acueducto en el centro poblado Barro Blanco, en el municipio de Entreríos, Antioquia. El objetivo general consiste en construir un tanque elevado de almacenamiento de agua potable, como respuesta a la intermitencia del suministro ocasionada por la insuficiente capacidad operativa de la planta de tratamiento existente. Entre los principales resultados, se evidencia que el 100 % de las viviendas del sector presentaban problemas de continuidad, y que el 30,5 % de los usuarios percibía un impacto negativo en sus actividades domésticas por la falta de presión y caudal. La investigación concluyó que, mediante la aplicación del enfoque metodológico del Project Management Institute y la implementación de un tanque que cumple los requerimientos técnicos, es posible mejorar sustancialmente la confiabilidad del sistema. Esta experiencia aporta de manera

significativa al desarrollo de la presente investigación, ya que demuestra cómo la infraestructura de almacenamiento, cuando es adecuada y está técnicamente diseñada, permite enfrentar las falencias operativas de acueductos rurales y puede integrarse a soluciones de automatización que optimicen la continuidad del servicio en comunidades con limitaciones similares (Rojas & Ruíz, 2019).

Cruz y Guzmán (2023), desarrollan un estudio bajo un enfoque metodológico cualitativo basado en la observación directa, entrevistas semiestructuradas con el usuario del sistema, y el diseño técnico de una propuesta automatizada para el aprovechamiento de aguas lluvias en una vivienda rural. El objetivo principal fue diseñar un sistema de control automatizado que optimice el uso del agua recolectada, a partir de una estructura ya instalada, pero con deficiencias operativas. Entre los principales resultados, se destaca la elección de una tarjeta de desarrollo Arduino como unidad de control, la aplicación de lógica combinacional para definir el comportamiento del sistema, y la implementación de una simulación exitosa en Proteus utilizando el algoritmo programado en Arduino IDE. Como conclusión, se evidencia que el sistema diseñado responde satisfactoriamente a las necesidades del usuario y puede representar una alternativa funcional para la gestión del recurso hídrico en entornos rurales con infraestructura básica. La contribución de este estudio a la presente investigación radica en su validación de tecnologías de bajo costo y fácil implementación, como Arduino y lógica combinacional, que pueden adaptarse a los requerimientos del acueducto comunitario, fortaleciendo el componente técnico de la automatización en contextos de autogestión hídrica (Cruz & Guzmán, 2023).

Pérez-Rojas et al., (2018) adoptan un enfoque aplicado con base en el análisis geográfico y técnico del sistema de acueducto del municipio de Ocaña, orientado al diseño de una propuesta

automatizada para la extracción, el llenado y la distribución de agua potable. Su objetivo general fue establecer una estrategia integral de control y comunicación que permitiera mejorar la eficiencia operativa del sistema mediante la automatización de las fases críticas del proceso hídrico. Como parte del procedimiento metodológico, se identifican los puntos clave de la red, incluyendo la planta de tratamiento del Algodonal, los tanques de almacenamiento y la altimetría del municipio, lo que permite determinar que el corregimiento de Pueblo Nuevo era el sitio óptimo para instalar la antena repetidora, minimizando interferencias en la señal de control. Entre los principales resultados, se destaca la reducción de pérdidas de agua asociadas a fallos en la infraestructura, así como el beneficio económico directo para la empresa prestadora del servicio. En conclusión, la estrategia de automatización propuesta no solo resolvió problemas técnicos operativos, sino que mejoró la capacidad de respuesta del sistema frente a eventos externos. Este estudio aporta a la investigación actual al demostrar cómo la automatización y la adecuada gestión de la comunicación remota pueden aplicarse eficazmente en contextos geográficamente complejos, lo cual es relevante para la optimización del sistema del acueducto en zonas rurales con condiciones topográficas similares (Pérez-Rojas et al., 2018).

Parra, (2021) su investigación está centrada en el diseño e implementación de un sistema de medición y control para el llenado de un tanque de reserva en un acueducto comunitario con recursos limitados, ubicado en el barrio Pablo Neruda del municipio de Sibaté, Cundinamarca. El objetivo principal fue aprovechar el rebose del tanque principal, una vez superado el umbral de 240.000 litros, para abastecer un tanque adicional de 400 litros, el cual sería utilizado en épocas de escasez o situaciones especiales. Como resultado, se logró una gestión más eficiente del recurso disponible, mitigando los efectos del racionamiento hídrico mediante el uso de componentes de bajo costo y bajo consumo energético. La principal conclusión del estudio

señala que la automatización del rebose permite no solo conservar agua, sino también generar una base de datos en tiempo real sobre niveles y temperatura, útil para estudios ambientales futuros. La contribución directa a la presente investigación radica en demostrar cómo, a través de soluciones sencillas y adaptadas a contextos de restricción presupuestaria, es posible integrar tecnologías de monitoreo y control automatizado que optimizan el uso del recurso hídrico, lo cual resulta relevante para fortalecer el sistema operativo del acueducto en entornos rurales con condiciones similares (Parra, 2021).

Ruíz-Piragauta y Torres-Bello (2022) desarrollan un prototipo funcional mediante una metodología tecnológica aplicada, integrando conceptos de la industria 4.0 con el uso de tecnologías IoT para el control y monitoreo de un sistema recolector de aguas lluvias. El objetivo principal fue implementar un sistema de supervisión y operación remota mediante una aplicación móvil conectada a sensores y actuadores que permiten controlar el estado del tanque y gestionar la apertura o cierre de válvulas a través del protocolo MQTT. Entre los principales resultados, se destaca la recolección y visualización en tiempo real de los datos de intensidad de lluvia mediante una base de datos conectada a una interfaz web, lo que facilita la toma de decisiones operativas de forma remota. La conclusión principal establece que el uso combinado de dispositivos inteligentes, conectividad en la nube y control móvil ofrece una solución eficaz, adaptable y escalable para entornos rurales o urbanos con necesidades de gestión hídrica. Esta propuesta aporta elementos clave a la presente investigación, al evidenciar el potencial del monitoreo en tiempo real y el control remoto en sistemas de almacenamiento de agua, herramientas que pueden integrarse en el diseño automatizado del acueducto para mejorar la eficiencia operativa, reducir errores manuales y facilitar la gestión comunitaria del recurso (Ruíz-Piragauta & Torres-Bello, 2022).

Zarama, (2024) presenta su investigación con un enfoque metodológico de esta investigación fue de tipo experimental y aplicado, centrado en el diseño de un sistema automatizado para la dosificación de cloro en fuentes de abastecimiento de agua domiciliaria, utilizando sensores de nivel e instrumentos electrónicos de bajo costo. El objetivo principal fue innovar el proceso tradicional de cloración mediante un prototipo capaz de captar las condiciones del entorno hídrico y responder de forma automatizada a los niveles de agua detectados. Como parte del proceso, se realiza un análisis fisicoquímico de laboratorio para caracterizar la calidad del agua y establecer la mejor alternativa de abastecimiento en la vivienda estudiada. Los resultados obtenidos sirven de base para diseñar un dosificador propio, cuyo funcionamiento fue controlado por un circuito electrónico que garantizó una operación segura, continua y adaptable. La conclusión fundamental del estudio establece que es posible automatizar el proceso de desinfección del agua en contextos rurales, mediante soluciones técnicas accesibles y personalizadas. Esta experiencia aporta elementos valiosos a la presente investigación, ya que permite considerar la integración de procesos complementarios como la cloración automatizada dentro del sistema general del acueducto ampliando su funcionalidad, mejorando la calidad del agua distribuida y fortaleciendo la sostenibilidad técnica del proyecto (Zarama, 2024).

Los hallazgos derivados del estado del arte permiten concluir que la automatización de sistemas hidráulicos en zonas rurales no solo es viable, sino también altamente beneficiosa cuando se adapta a las condiciones socioeconómicas y geográficas del territorio. La adecuada de componentes, el aprovechamiento de tecnologías como Arduino, IoT o protocolos de comunicación remota, y la validación mediante simulaciones o pruebas de campo, constituyen prácticas recurrentes y exitosas. En este sentido, las experiencias analizadas aportan fundamentos técnicos sólidos que respaldan la pertinencia y factibilidad de la propuesta desarrollada en la

presente investigación, especialmente en lo que respeta al control automatizado del llenado de tanques en el acueducto comunitario ACUAMIRAMAR.

Marco contextual

El acueducto comunitario ACUAMIRAMAR, ubicado en la comuna 13 del municipio de Ibagué, Tolima, se consolida como una experiencia emblemática de gestión autónoma del recurso hídrico. Este sistema presta el servicio de acueducto a 265 viviendas del barrio Miramar, a través de una estructura técnica organizada y en constante evolución. En respuesta a la creciente demanda y la necesidad de garantizar continuidad y calidad en el suministro, la comunidad desarrolla una infraestructura hidráulica con un enfoque progresivo, que integra procesos básicos de tratamiento, almacenamiento y distribución (Alcaldía de Ibagué, 2024b).

Dentro de la infraestructura operativa del acueducto se destaca el Tanque Sur, una estructura de última tecnología diseñada para fortalecer el servicio de agua en el Distrito Hidráulico 3, la comuna 12 y la zona de expansión de Ibagué. Esta instalación tiene una capacidad de almacenamiento de 2.000 metros cúbicos, está construida sobre una base de concreto de 240 metros cúbicos y cuenta con una estructura en fibra de acero recubierta con fibra de vidrio, alcanzando una altura de 12 metros. Su diseño permite una operación eficiente, segura y adaptable a futuras necesidades de expansión urbana y rural (Alcaldía de Ibagué, 2024a).

El sistema de abastecimiento de ACUAMIRAMAR se alimenta de dos fuentes superficiales: la quebrada El Tejar y la quebrada La Gallinaza. La bocatoma de El Tejar, ubicada en la vereda homónima, proporciona un caudal promedio de 2 litros por segundo, mientras que La Gallinaza, cuya bocatoma se sitúa en la vereda San Francisco, aporta aproximadamente 8 litros por segundo, de los cuales 6 litros por segundo son conducidos al acueducto comunitario y los restantes 2 litros por segundo son destinados a la vereda. Esta combinación de fuentes

permite una captación continua y estable, clave para garantizar el abastecimiento en periodos secos (Ecos del Colombia, 2021).

En cuanto al tratamiento, el acueducto cuenta únicamente con una fase primaria de potabilización, ejecutada a través de un desarenador ubicado en conexión directa con la bocatoma. Este componente se encarga de remover partículas sólidas suspendidas y sedimentos pesados antes de que el agua llegue a los tanques de almacenamiento. Sin embargo, el sistema no posee una planta de tratamiento de agua potable (PTAP), lo cual representa una de las principales limitaciones técnicas para el cumplimiento pleno de los estándares de calidad definidos por la normatividad sanitaria vigente.

El sistema de almacenamiento del acueducto está compuesto por tres tanques, cuyas capacidades individuales son de 52 m³, 64 m³ y 24 m³, respectivamente. Estas estructuras permiten regular el flujo del agua distribuido y garantizar un suministro mínimo durante las horas pico de consumo. A pesar de la existencia de estos depósitos, la falta de un sistema de automatización en el control de niveles y válvulas genera dificultades operativas como desbordes, pérdidas del recurso y discontinuidad en el servicio.

En términos de conducción, el acueducto dispone de líneas con diámetros de 3", 2 ½" y 4", las cuales transportan el recurso desde la captación hasta los tanques, y de una red de distribución con tuberías de 2", 1 ½" y 4" que lleva el agua hasta los usuarios finales. No obstante, tanto la micro-medición como la macro-medición están ausentes en el sistema, lo que impide realizar un control detallado del caudal entregado, evaluar pérdidas y establecer estrategias de facturación basadas en consumo real (Garzón, 2020).

Cabe resaltar que, pese a las limitaciones técnicas, ACUAMIRAMAR logra avances importantes en términos de sostenibilidad y calidad del servicio. Gracias al esfuerzo conjunto de

su junta administradora y al apoyo de instituciones como el SENA, la Universidad del Tolima y la Universidad de Ibagué, se han implementado procesos de capacitación, actualización técnica y fortalecimiento organizacional que han impactado positivamente en la operación del sistema.

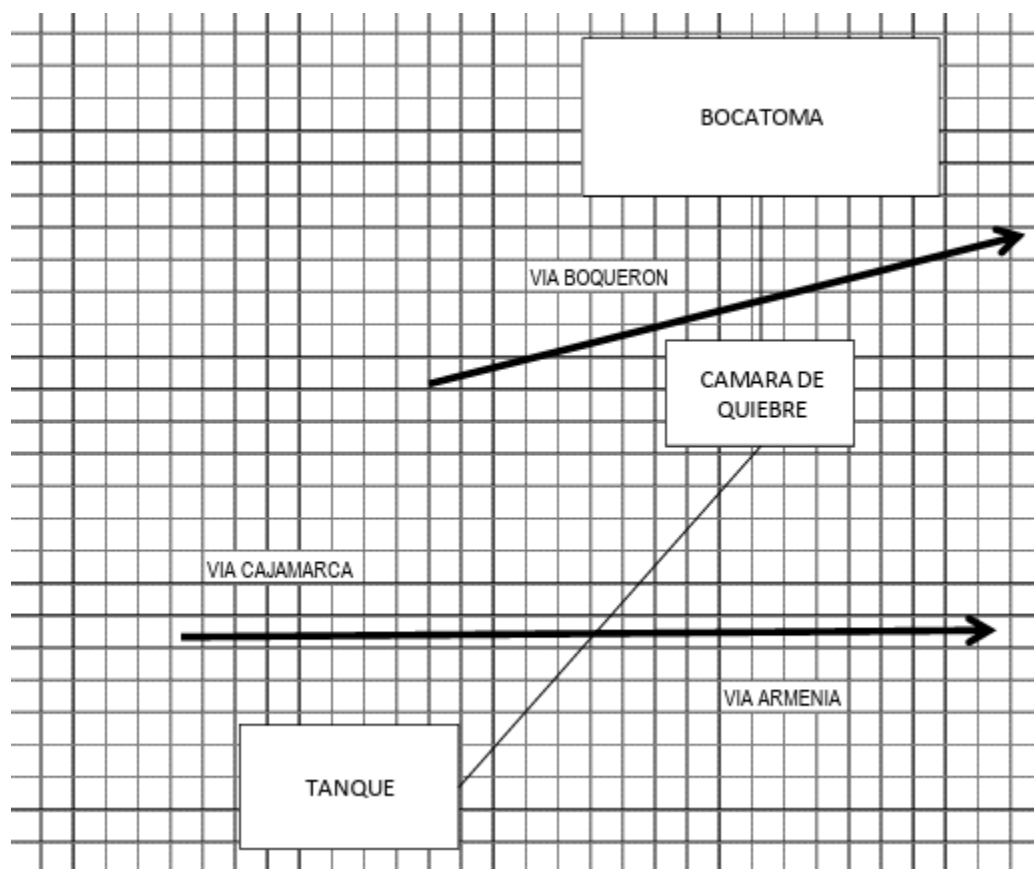
La calidad del agua es verificada mediante análisis de periódicos realizados por el Laboratorio Departamental de Salud Pública, obteniendo un IRCA del 0%, lo cual certifica su viabilidad sanitaria. Esta mejora es posible gracias a procesos internos de control, mantenimiento regular de la infraestructura y una adecuada gestión de cuencas. A pesar de no contar con tratamiento secundario, el sistema logra mantener los estándares necesarios para garantizar el consumo humano (Alcaldía de Ibagué, 2013).

Por tanto, el marco contextual del acueducto ACUAMIRAMAR evidencia una estructura comunitaria sólida, que sabe superar retos financieros, operativos y normativos a través de la participación social, la transparencia en la gestión y el fortalecimiento técnico progresivo. La automatización del control de llenado de los tanques de almacenamiento representa una etapa lógica y necesaria en el proceso de mejora continua, ya que permitirá optimizar los tiempos de operación, reducir el desperdicio de agua y fortalecer la eficiencia del sistema.

Integrar tecnologías de control automatizado no solo contribuirá a elevar la sostenibilidad del servicio, sino que reforzará el modelo de gobernanza comunitaria que caracteriza a ACUAMIRAMAR. Esta transición tecnológica, articulada con las condiciones estructurales y sociales del sistema, potenciará la capacidad de respuesta ante variaciones en la demanda, garantizará un suministro continuo y contribuirá a consolidar la misión institucional de ofrecer un servicio digno, eficiente y adaptado a las realidades del territorio.

Figura 1

Esquema del Sistema de Abastecimiento de Agua.



Nota. Esquema funcional del sistema de conducción del acueducto comunitario ACUAMIRAMAR. Este trazado permite controlar la presión del flujo y garantizar un suministro adecuado hacia la red de distribución. Tomado de (Alcaldía de Ibagué, 2013).

Marco teórico

El marco teórico presenta los fundamentos conceptuales y técnicos que sustentan la automatización del llenado de tanques en sistemas comunitarios de acueducto. A través del análisis de modelos de gestión hídrica, tecnologías de control y componentes operativos, se contextualiza la pertinencia del proyecto. Además, se destacan las ventajas que ofrece la

automatización para mejorar la eficiencia, sostenibilidad y continuidad del servicio en entornos rurales.

Gestión del recurso hídrico y acueductos comunitarios

La gestión del agua en zonas rurales plantea desafíos particulares derivados de la fragmentación institucional, la dispersión geográfica de las viviendas y la escasa infraestructura disponible. En este contexto, los acueductos comunitarios surgen como una forma de organización social que permite garantizar el acceso a este recurso básico, mediante modelos de gobernanza participativa que combinan saberes técnicos con conocimientos territoriales. Estos esquemas son reconocidos por su capacidad de adaptarse a las condiciones del entorno y responder de manera eficiente a las necesidades de sus usuarios (Becerra-Perenguez et al., 2023).

En Colombia, la Ley 142 de 1994 establece los lineamientos generales para la prestación de servicios públicos domiciliarios, reconociendo a las organizaciones comunitarias como actores habilitados para operar sistemas de acueducto. En consecuencia, numerosas comunidades han conformado asociaciones legalmente constituidas para asumir la administración, operación y sostenibilidad de sus propios sistemas. Sin embargo, estas entidades enfrentan limitaciones significativas relacionadas con la ausencia de sistemas de medición, automatización, control de calidad y respaldo técnico, lo que dificulta garantizar la eficiencia operativa y la sostenibilidad del servicio (Congreso de Colombia, 1994).

A pesar de ello, experiencias como la del acueducto comunitario demuestran que, con el fortalecimiento organizacional, la capacitación continua y la incorporación progresiva de tecnologías apropiadas, es posible consolidar modelos de gestión del agua efectivos y replicables. La inclusión de procesos automatizados representa una oportunidad clave para

mejorar el rendimiento de estos sistemas y responder de manera más precisa a las variaciones de la demanda, minimizando el desperdicio y optimizando el uso del recurso.

Automatización y control de procesos en sistemas hidráulicos

La automatización en sistemas de abastecimiento de agua consiste en la integración de dispositivos electrónicos, sensores, controladores y software que permiten supervisar y operar diferentes componentes del sistema sin necesidad de intervención manual permanente. Este tipo de soluciones contribuye a mejorar la eficiencia, la seguridad, la precisión del suministro y la sostenibilidad operativa, especialmente en contextos donde los recursos humanos y financieros son limitados (Pérez, 2019).

Uno de los elementos fundamentales en estos sistemas es el controlador lógico programable (PLC), dispositivo que permite gestionar señales de entrada y salida de manera eficiente, de acuerdo con parámetros previamente establecidos. En combinación con sensores de nivel, electrobombas y válvulas, los PLC pueden controlar el llenado y vaciado de tanques de almacenamiento, evitando reboses, pérdidas de agua o fallos por desabastecimiento. Su programación puede adaptarse a las características específicas de cada sistema, lo cual garantiza su aplicabilidad en entornos rurales (Segura et al., 2017).

Además, el uso de software como LOGO Soft Comfort, PC-Simu o CADE-Simu facilitan el diseño, la simulación y la validación de los algoritmos de control antes de implementarse en campo. Estas herramientas permiten modelar virtualmente el comportamiento del sistema ante distintos escenarios, evaluando la respuesta de los sensores, los tiempos de llenado y las condiciones de activación de la bomba, lo que reduce el margen de error en la operación real. Para acueductos, estas tecnologías representan una alternativa viable y costo-efectiva para profesionalizar su sistema operativo sin comprometer su autonomía comunitaria (Herrera, 2021).

Componentes técnicos de los sistemas de almacenamiento y distribución.

El sistema de almacenamiento cumple una función esencial en la regulación del suministro de agua potable. A través de tanques con capacidad definida, es posible acumular el recurso durante los periodos de menor demanda y distribuirlo durante los picos de consumo, garantizando así la continuidad del servicio. En acueductos rurales, la selección, ubicación y gestión de los tanques es crucial para mantener un equilibrio entre la oferta hídrica disponible y las necesidades de los usuarios (Orihuela & Sánchez, 2016).

La automatización del proceso de llenado de tanques requiere considerar variables como el caudal captado, la altura del almacenamiento, la presión en las redes de distribución y la capacidad instalada de bombeo. Para ello, los sensores de nivel, como los flotadores eléctricos, los sensores ultrasónicos o los de presión diferencial, permiten medir en tiempo real el volumen del líquido almacenado. A partir de estas mediciones, el sistema activa o desactiva la bomba según umbrales predefinidos, garantizando así un funcionamiento autónomo y seguro (Orihuela & Sánchez, 2016).

En el caso específico del acueducto comunitario ACUAMIRAMAR, donde existen tres tanques de almacenamiento con capacidades de 52 m³, 64 m³ y 24 m³, y uno adicional de 2.000 m³ en estructura avanzada, el reto operativo se centra en coordinar su llenado de forma eficiente para evitar interrupciones, reboses o pérdidas. La implementación de un sistema de control automatizado permitiría administrar estos volúmenes con mayor precisión, adaptando el flujo según la disponibilidad en las fuentes hídricas (El Tejar y La Gallinaza) y la demanda fluctuante de los usuarios.

Eficiencia operativa y sostenibilidad en la gestión del agua

La eficiencia operativa en sistemas de acueducto se refiere a la capacidad del sistema para prestar el servicio de forma continua, segura y económica, minimizando las pérdidas de agua y recursos financieros. En los acueductos comunitarios, esta eficiencia se ve directamente influenciada por la calidad del mantenimiento, la capacitación de los operadores, el control de caudales y la existencia de indicadores de desempeño que permiten tomar decisiones basadas en datos reales (Acueducto, 2024a).

La incorporación de sistemas automatizados contribuye de manera directa a mejorar la eficiencia, ya que reduce la dependencia del monitoreo manual, disminuye los errores operativos y permite ajustar el funcionamiento del sistema ante variaciones de la demanda. Asimismo, permite liberar al operador de tareas repetitivas, enfocando su labor en actividades de mantenimiento preventivo, análisis de calidad del agua o atención a la comunidad, lo que a su vez incrementa la sostenibilidad organizacional del sistema (Ayerdi, 2024).

Finalmente, la sostenibilidad de los acueductos rurales no puede depender únicamente de su infraestructura física, sino que debe complementarse con herramientas tecnológicas que fortalezcan la gobernanza del recurso y optimicen su uso. En este sentido, la automatización del control de llenado de tanques representa una estrategia eficaz para garantizar un suministro continuo, reducir los desperdicios, mejorar la calidad del servicio y consolidar la gestión comunitaria del agua como un modelo viable y replicable en el contexto colombiano.

Marco conceptual

LOGO Soft Comfort: Software desarrollado por Siemens para la programación y simulación de controladores lógicos programables de la serie LOGO Su interfaz gráfica basada

en diagramas de bloques funcionales facilita el diseño de sistemas de automatización sencillos y eficientes, especialmente útil en proyectos educativos y de pequeña escala (Siemens, 2019).

Acueducto: Sistema compuesto por obras de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución, diseñado para llevar agua potable desde la fuente hasta el usuario final. En contextos comunitarios, estos sistemas suelen ser operados por organizaciones sociales y cuentan con infraestructura básica (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio de Colombia, 2022).

Automatización: Proceso mediante el cual se incorporan tecnologías electrónicas, mecánicas o digitales para que un sistema realice tareas específicas sin intervención humana continua, mejorando la eficiencia, la seguridad y la precisión operativa en contextos como el control del suministro de agua (Red, 2023).

Bomba Eléctrica: Máquina hidráulica que transforma energía eléctrica en energía mecánica para impulsar líquidos. En sistemas de acueducto, se emplea para elevar el agua desde la fuente hasta el tanque de almacenamiento o para distribuirla en redes con baja presión natural (Zarza, 2024).

CADE-Simu: Software de simulación eléctrica utilizado para representar y verificar circuitos de control, combinando diagramas eléctricos con elementos de automatización. Es empleado en formación técnica y en la fase de diseño de sistemas eléctricos automatizados (Lezcano, 2020).

Caudal: Cantidad de agua que fluye por unidad de tiempo a través de un sistema de conducción o distribución. Su medición es esencial para dimensionar adecuadamente las tuberías, bombas y tanques, y para establecer controles de operación.

Comunidad Organizada: Grupo social que, mediante formas asociativas reconocidas legalmente, asume la gestión de bienes o servicios colectivos, como el suministro de agua. Su participación es clave para la sostenibilidad de los sistemas comunitarios de acueducto.

Continuidad del Servicio: Indicador de calidad en la prestación del servicio público de acueducto que se refiere al tiempo durante el cual el suministro de agua está disponible sin interrupciones. Su mejora está directamente relacionada con la eficiencia del sistema y la confianza de los usuarios.

Control: Conjunto de acciones y dispositivos que permiten regular el comportamiento de un sistema, comparando una variable medida con un valor deseado, y actuando para minimizar la diferencia entre ambos. En automatización, este proceso puede ser manual, semiautomático o completamente automático.

Controlador Lógico Programable (PLC): Equipo electrónico utilizado para controlar procesos industriales mediante programación digital. Recibe señales de entrada, procesa datos según un algoritmo establecido y genera señales de salida que actúan sobre otros dispositivos del sistema.

Desarenador: Componente de tratamiento primario que elimina partículas sólidas de gran tamaño, como arena o sedimentos, del agua captada. Su función es proteger la infraestructura posterior de desgaste o bloqueo, preservando la eficiencia del sistema.

Llenado de Tanques: Etapa del sistema de almacenamiento de agua potable que consiste en suministrar un volumen controlado de agua a un reservorio, considerando parámetros como caudal, presión, niveles máximos y mínimos, y tiempo de llenado para evitar pérdidas y garantizar continuidad.

PC-Simu: Herramienta de simulación de automatismos industriales que permite crear esquemas eléctricos, diseñar diagramas de mando y fuerza, y programar sistemas mediante lógica de contactos. Su enfoque visual permite validar el funcionamiento de procesos automatizados antes de su implementación física.

Sensor de Nivel: Dispositivo que detecta la altura del líquido en un contenedor o tanque. Puede operar mediante mecanismos de flotación, presión, ultrasonido u otros principios físicos, permitiendo activar alarmas o ejecutar acciones automáticas como encender o apagar una bomba.

Sostenibilidad Técnica: Capacidad de un sistema para operar de forma estable, segura y eficiente a lo largo del tiempo, con bajos requerimientos de mantenimiento y adaptabilidad a condiciones cambiantes. En contextos rurales, implica tecnologías accesibles, apropiadas y de bajo costo.

Marco normativo

En Colombia, el uso, gestión, control y distribución del recurso hídrico se encuentra regulado por un conjunto de normas jurídicas que buscan garantizar su aprovechamiento responsable y la protección del derecho humano al agua. Estas disposiciones, tanto constitucionales como legales, definen las responsabilidades de los prestadores de servicios públicos, los estándares de calidad exigibles y las condiciones para la operación de sistemas comunitarios, especialmente en zonas rurales. A través de decretos, leyes y resoluciones técnicas, el Estado establece los lineamientos para la captación, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua potable, así como los mecanismos de control y vigilancia sanitaria que aseguran la calidad del servicio ofrecido. En el caso particular de los acueductos comunitarios como AcuaMiramar, estas normas son esenciales para su formalización, sostenibilidad operativa y acceso a recursos técnicos e institucionales.

Tabla 1

Normatividad Legal y Sanitaria Relacionada con el Recurso Hídrico en Colombia.

Nombre de la norma	Descripción
Decreto Ley 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Regula el uso, manejo y conservación del recurso hídrico.
Ley 09 de 1979	Código Sanitario Nacional que establece las condiciones básicas de salud pública y potabilización del agua.
Decreto 2105 de 1983	Define requisitos para los sistemas de tratamiento de agua potable en términos técnicos y sanitarios.
Decreto 1594 de 1984	Establece los criterios de calidad del agua para diferentes usos, incluyendo el consumo humano.
Constitución Política de 1991	En sus artículos 79, 80, 365, 366 y 367 establece el derecho a un ambiente sano, el acceso universal a los servicios públicos y la participación comunitaria.
Ley 99 de 1993	Crea el Ministerio del Medio Ambiente y el Sistema Nacional Ambiental (SINA), estableciendo principios de protección ambiental.
Ley 142 de 1994	Regula la prestación de los servicios públicos domiciliarios, incluyendo acueducto, con énfasis en la eficiencia, cobertura y participación comunitaria.
Decreto 475 de 1998	Expide normas técnicas para asegurar la calidad del agua potable distribuida.
RAS 2000 (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico)	Título B establece los criterios técnicos de diseño, operación y mantenimiento de los sistemas de agua potable.
Decreto 1575 de 2007	Establece el sistema de protección y control de la calidad del agua para consumo humano.
Resolución 2115 de 2007	Define las características, instrumentos y frecuencias de monitoreo de la calidad del agua.
Resolución 811 de 2008	Determina los puntos de muestreo y monitoreo de la calidad del agua para consumo humano.

Nota. Normatividad legal y sanitaria relacionada vigente elaboración propia.

Este conjunto normativo configura el soporte jurídico que permite a los acueductos comunitarios como ACUAMIRAMAR operar bajo parámetros legales y técnicos definidos. La aplicación rigurosa de estas normas no solo garantiza el cumplimiento de estándares de calidad y seguridad, sino que además legitima el rol de las comunidades organizadas como prestadoras del servicio público. Así, se promueve un modelo participativo, eficiente y sostenible de gestión del agua en zonas rurales, conforme a lo establecido por la Ley 142 de 1994 y demás disposiciones complementarias.

Metodología

La metodología aplicada en este proyecto se orienta al diseño, simulación y validación de un sistema automatizado para el control del llenado de tanques en el acueducto comunitario ACUAMIRAMAR. A través del uso de herramientas de modelación digital, se busca demostrar la viabilidad técnica de una solución que mejore la continuidad del servicio y reduzca errores operativos, sin realizar aún su implementación física en campo.

Introducción metodológica

La presente metodología establece un enfoque técnico, detallado y riguroso para diseñar e implementar un sistema automatizado de control de llenado de tanques en el acueducto comunitario ACUAMIRAMAR, localizado en la comuna 13 de Ibagué. El objetivo central consiste en optimizar el funcionamiento del sistema de almacenamiento de agua, garantizando eficiencia operativa, reducción de desperdicios hídricos, mejora en la continuidad del servicio, disminución de costos operacionales y fortalecimiento de la calidad laboral del personal. Para ello, se emplea una metodología mixta de carácter descriptivo y experimental, acompañada por herramientas de simulación y programación industrial de reconocido uso internacional.

Método de investigación

El método seleccionado es mixto, compuesto por un estudio descriptivo que permite caracterizar el sistema actual del acueducto y un enfoque experimental que posibilita la validación de una propuesta técnica mediante simulaciones computarizadas y pruebas de campo. Esta combinación metodológica es coherente con los lineamientos propuestos por Hernández, Fernández y Baptista (2014), quienes destacan que los estudios mixtos permiten una mayor comprensión de fenómenos técnico-operativos complejos, especialmente en contextos comunitarios.

Análisis del sistema actual

Se realiza una evaluación exhaustiva del sistema manual de llenado de tanques utilizado actualmente en ACUAMIRAMAR. Este análisis contempla la recolección de datos sobre las capacidades de almacenamiento, condiciones de presión, caudales de entrada, calidad del agua, frecuencia de rebose, intermitencia del servicio y comportamiento de la demanda según tipo de usuario. Asimismo, se identifican los factores externos e internos que inciden negativamente en la eficiencia del sistema, incluyendo variables topográficas, climáticas y estructurales.

Selección de equipos y definición de variables

Una vez diagnosticado el sistema, se procede a establecer las variables de entrada y salida que regularán el funcionamiento automatizado del proceso. Se considera un tanque de 5.000 litros y una bomba de 2HP, capaz de alcanzar una altura de 56 metros y un caudal máximo de 31 litros por minuto. El sensor de nivel se configura para activar la bomba cuando el volumen sea igual o inferior a 1.000 litros y desactivarla al alcanzar los 4.930 litros. Esta calibración busca maximizar la eficiencia sin comprometer la estructura del tanque ni el consumo energético.

Condiciones operativas y requisitos del programa de control

Se establecen las condiciones de funcionamiento del sistema, incluyendo la programación de los umbrales máximo y mínimo de llenado, la velocidad de respuesta del sensor, la capacidad eléctrica de la bomba y las condiciones de seguridad ante fallos. Estos requerimientos se consolidan en un documento de especificaciones técnicas que orienta la posterior programación del software. Se valida esta configuración mediante pruebas preliminares en simuladores digitales.

Diseño y simulación del sistema

El diseño del sistema se lleva a cabo mediante los entornos LOGO Soft Comfort, Cade Simu y PC Simu. Estas plataformas permiten representar, programar y verificar el comportamiento de sistemas automatizados. En LOGO Soft Comfort se implementa la lógica de control en diagrama de bloques funcionales (FBD), mientras que Cade Simu y PC Simu permiten representar el circuito eléctrico, simular su comportamiento y validar su confiabilidad bajo condiciones de prueba.

Diagramas de fuerza y mando

Con base en los datos de campo, se diseñan los diagramas de fuerza y mando necesarios para el funcionamiento eléctrico del sistema. Estos esquemas representan el circuito de alimentación y señal, e incluyen los dispositivos de protección (guardamotores, fusibles), señalización (luces piloto), control (pulsadores Start/Stop, parada de emergencia) y actuación (PLC, bomba). Estos diagramas cumplen con las normas técnicas IEC y NTC correspondientes.

Simulación del sistema automatizado

Una vez completado el diseño, se simula el comportamiento dinámico del sistema en condiciones reales. Las herramientas LOGO Soft Comfort y PC Simu permiten ejecutar escenarios de prueba como cortes de energía, sobrellenado del tanque, fallos en sensores y activación manual. Estas simulaciones brindan información clave sobre la robustez, sensibilidad y eficiencia del sistema propuesto.

Implementación del sistema en campo

Tras validar el diseño mediante simulaciones, se procede a la instalación del sistema en el acueducto comunitario ACUAMIRAMAR. Esta fase implica la instalación de la electrobomba Pedrollo CPM660, el PLC Siemens LOGO 8, sensores de nivel, guardamotores, botones de

control, luces piloto y gabinete de protección. La puesta en marcha se acompaña de pruebas funcionales y capacitación al personal encargado.

Tipo de estudio y validación experimental

Este trabajo corresponde a una investigación aplicada de tipo descriptivo y experimental. En su fase descriptiva, se analizan las características estructurales y operativas del sistema actual de abastecimiento; en su fase experimental, se implementa una solución técnica y se evalúa su impacto. El control de lazo cerrado empleado permite medir en tiempo real las condiciones del tanque y ajustar automáticamente la operación del sistema.

Soporte normativo y estándares de automatización

El sistema es diseñado conforme a la normativa vigente sobre instalaciones eléctricas y automatización, incluyendo la NTC 2050, la IEC 61131 sobre lenguajes de programación para PLC, y el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Además, cumple con lo dispuesto en el RAS 2000 y en el Decreto 1575 de 2007 sobre la calidad del agua potable.

La metodología implementada permite estructurar de forma precisa cada etapa del desarrollo del sistema de automatización, desde el diagnóstico inicial hasta su puesta en marcha. El uso de herramientas especializadas, la validación mediante simulación y la selección de componentes adecuados garantizan que la solución propuesta sea replicable, sostenible y adaptada a las condiciones técnicas y socioeconómicas del entorno comunitario de ACUAMIRAMAR.

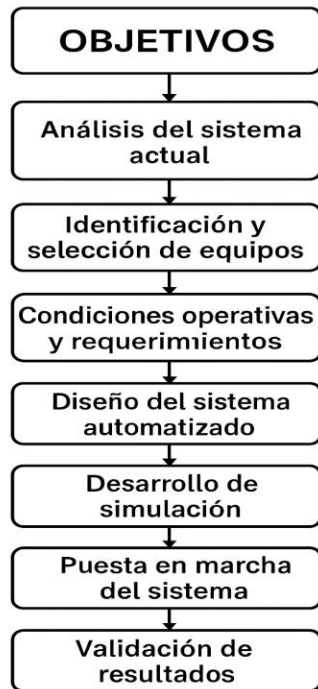
Proceso metodológico

La Figura 2, representa de forma estructurada el proceso metodológico propuesto para alcanzar los objetivos del presente proyecto. A través de sus etapas, se detalla cómo se pasa del diagnóstico del sistema actual del acueducto ACUAMIRAMAR al diseño e implementación del

sistema automatizado, integrando herramientas tecnológicas, parámetros operativos y validaciones técnicas que garantizan la optimización del servicio de abastecimiento de agua.

Figura 2

Metodología para el diseño e implementación del sistema automatizado de llenado de tanques.



Nota. elaboración propia.

Resultados

Diagnóstico del sistema actual y necesidad de automatización.

En el diagnóstico del sistema manual vigente en el acueducto comunitario ACUAMIRAMAR, se identifican varias deficiencias operativas que impactan negativamente la continuidad del servicio, la presión en la red de distribución y la eficiencia en la gestión del recurso hídrico. El llenado de los tanques se ejecuta mediante procedimientos manuales que dependen exclusivamente del personal técnico, sin contar con herramientas de monitoreo automatizado o alertas de nivel, lo cual deriva en reboses frecuentes y pérdida de agua tratada. Esta situación también incrementa los costos operativos y representa un riesgo permanente de desabastecimiento en horas de mayor demanda, afectando especialmente a los usuarios localizados en los puntos más alejados de la red hidráulica.

Para comprender las diferencias entre el sistema manual y la solución automatizada propuesta, se presenta la siguiente tabla comparativa:

Tabla 2

Comparación entre Sistema Manual y Sistema Automatizado de Llenado de Tanques.

Criterio evaluado	Manual del sistema	Sistema Automatizado con PLC LOGO 8
Activación del llenado	Manual mediante observación directa	Automática mediante sensores de nivel
Control de nivel	No existe control preciso	Llenado y vaciado definidos por umbrales programados
Continuidad operativa	Interrumpida por errores humanos o descubiertos	Continua, estable y programada con lógica de control.
Presión en red de distribución	Fluctuante	Regulada según niveles y consumo
Desperdicio de agua	Elevado por reboses	Nulo, gracias a la lógica de corte automático.
Requerimiento de personal	Permanente	Supervisión ocasional

Criterio evaluado	Manual del sistema	Sistema Automatizado con PLC LOGO 8
Costos operativos	Altos, por sobreuso de bomba	Bajos, gracias al uso eficiente de recursos.
Sostenibilidad del sistema	Limitada	Alta, por automatización escalable

Nota. Elaboración propia a partir del diagnóstico técnico realizado en el sistema actual de ACUAMIRAMAR y la simulación automatizada desarrollada con LOGO Soft Comfort.

Variables Identificación de variables técnicas del sistema hidráulico, eléctrico y de control.

Para garantizar el funcionamiento eficiente, seguro y continuo del sistema automatizado de llenado de tanques del acueducto comunitario ACUAMIRAMAR, Se hace necesario identificar de manera precisa las condiciones técnicas, hidráulicas y operativas que rigen su comportamiento. Este análisis detallado permite configurar adecuadamente los parámetros del programa de control en el PLC Siemens LOGO 8, asegurando que las acciones de llenado y vaciado respondan a condiciones reales de funcionamiento ya las necesidades específicas de la comunidad.

Desde el punto de vista hidráulico, se descubrió que el volumen total de almacenamiento es de 5.000 litros, distribuidos en dos tanques principales. La altura total del sistema es de 30 metros, desde el punto de captación hasta la parte superior del tanque, lo que genera una presión media de 2,94 bar, calculada mediante la ecuación clásica.

$$P = h * \rho * g$$

Con una densidad del agua de 1.000 kg/m³ y una aceleración gravitacional de 9,81 m/s². El sistema trabaja con un caudal máximo de 31 litros por minuto, suministrado por una bomba de 2 HP marca Pedrollo modelo CPM660, capaz de impulsar el agua a una altura de hasta 56 metros, lo cual garantiza la cobertura total del requerimiento hidráulico del sistema. Se definen dos umbrales críticos para la activación de la bomba: el nivel mínimo programado a 1.000 litros,

que indica el encendido, y el nivel máximo, fijado en 4.930 litros, que ordena la detención automática de la bomba, dejando un margen de seguridad de 70 litros para evitar reboses.

En términos eléctricos, el sistema fue diseñado para operar con una tensión nominal de 220V, frecuencia de 60 Hz y un consumo de corriente aproximado de 9 amperios por parte de la bomba. El PLC, por su parte, se alimenta con una fuente conmutada de 24V y 20A, mientras que los sensores, pulsadores y elementos de control operan en corriente continua (DC), garantizando una baja exposición a riesgos eléctricos. Se incorporan sistemas de protección eléctrica como guardamotores regulables, supresores de picos, interruptores diferenciales, fusibles de cartucho y pulsadores de parada de emergencia tipo hongo, los cuales están instalados dentro de un gabinete IP66 que protege el sistema de humedad, polvo y lluvia, adaptándose adecuadamente al entorno rural de instalación.

Desde el enfoque operativo, se definen las siguientes variables de entrada del sistema:

- Señales digitales provenientes de los sensores de nivel (mínimo y máximo).
- Estado del selector manual/automático.
- Pulsador de arranque y paro.
- Sensor de falla hidráulica del tanque de sedimentación.
- Las salidas del sistema incluyen:
 - Activación/desactivación de la bomba principal.
 - Activación de la bomba auxiliar en condiciones de presión baja.
 - Señalización luminosa del estado operativo (leds de tanque lleno, vacío y bomba activa).
 - Activación de la válvula de drenaje automático.

La Tabla 4 presenta un resumen de las principales condiciones técnicas identificadas que se programan en el sistema de control:

Tabla 3*Parámetros Técnicos y Operativos del Sistema de Control Automatizado.*

Categoría	Parámetro técnico	Valor / Descripción
Capacidad del sistema	Volumen total de almacenamiento	5.000 litros
Altura del tanque	Desde captación hasta tanque superior	30 metros
Caudal máximo	Entregado por la bomba principal	31 litros/minuto
Presión hidráulica estimada	Calculada desde la base del tanque	2,94 bares (294 kPa)
Nivel mínimo (encendido)	Umbral programado en sensor de entrada	1.000 litros
Nivel máximo (apagado)	Umbral programado en sensor de salida	4.930 litros
Fuente eléctrica	Voltaje de operación del sistema	220 V CA / 24 V CC
Frecuencia de red	Estándar nacional colombiano	60 Hz
Corriente estimada	corriente operativa de la bomba	9 amperios
Variables de entrada	Sensores, pulsadores, selector.	8 digitales
Variables de salida	Bomba, válvula de vaciado, señalización	4 digitales
Sistema de protección	Eléctrica, térmica y contra sobretensiones	Guardamotor, fusibles, IP66, parada de emergencia

Nota. elaborado por los autores, con base en la caracterización del sistema ACUAMIRAMAR, la ficha técnica de los equipos y la simulación desarrollada en LOGO Soft Comfort.

Diseño del sistema automatizado y selección de componentes físicos

La correcta selección de los equipos que integran un sistema automatizado resulta fundamental para garantizar su eficiencia, sostenibilidad y adaptabilidad al contexto donde se

implementará. En el caso del acueducto comunitario ACUAMIRAMAR, ubicado en una zona rural con limitaciones técnicas, económicas y de conectividad, la elección de los dispositivos debe responder no solo a su rendimiento técnico, sino también a criterios de robustez, fácil instalación, bajo mantenimiento y compatibilidad con sistemas de control de mediana escala. Este apartado expone los equipos seleccionados para automatizar el proceso de llenado de tanques, así como la justificación técnica que respalda su elección.

Equipos por utilizar

A continuación, se presenta en la tabla 1. correspondiente a los equipos seleccionados para el diseño e implementación del sistema automatizado de llenado de tanques del acueducto comunitario ACUAMIRAMAR. Esta técnica responde a criterios de eficiencia, compatibilidad y adaptabilidad al entorno rural, garantizando un funcionamiento confiable del sistema propuesto y el cumplimiento de los objetivos establecidos.

Tabla 4

Equipos utilizados para el diseño del sistema de automatización del llenado de tanques.

Componente	Descripción técnica	Marca / Modelo
Bomba de agua	Electrobomba para bombeo de agua limpia, sin partículas abrasivas, altura de 56 m y potencia de 2 Hp	Pedrollo / CPM660
Sensor de nivel	Interruptor flotador horizontal de plástico para control del nivel de agua en el tanque	Genérico
Controlador lógico programable	PLC con comunicación Profinet LAN, 8 entradas digitales/analógicas y 4 salidas digitales	Siemens / LOGO 8
Guardamotor	Protector contra sobrecarga regulable de 6 a 10 A, con capacidad de 25 A	Alfa
Fuente de alimentación	Fuente conmutada de 24V y 20A para alimentación continua del sistema	CNC
Selector metálico	Selector de dos posiciones para activar funciones manuales o automáticas	Genérico

Componente	Descripción técnica	Marca / Modelo
Parada de emergencia	Pulsador tipo hongo de 22 mm, metálico, para desconexión rápida en situaciones críticas	EBC
Pulsador Start/Stop	Pulsador doble con señalización para encendido y apagado del sistema	Gabinete General de Comunicaciones Electrónicas / ZB2-BE101C
Gabinete de protección	Caja metálica IP66 para instalación en exteriores, resistente a lluvia y polvo, medidas 25x30x15 cm	Precisión / PST-2530-15 ^a

Nota. La selección de estos dispositivos se fundamenta en su disponibilidad comercial, bajo consumo energético, facilidad de instalación y compatibilidad con el sistema programado en entornos como LOGO Soft Comfort, PC-Simu y Cade-Simu.

La integración de estos componentes permitirá un control eficiente y automatizado del proceso de llenado, garantizando confiabilidad operativa y sostenibilidad en el tiempo. Fuente: elaborada por los autores, a partir de la propuesta y fichas técnicas de fabricantes.

Justificación técnica por componente

Bomba de agua Pedrollo CPM660 – 2 Hp: La bomba seleccionada ofrece una presión suficiente para transportar agua desde la captación hasta los tanques elevados, con una altura máxima de 56 metros. Su eficiencia energética y resistencia a partículas no abrasivas la convierten en una opción confiable para acueductos rurales donde se requiere robustez operativa y bajo mantenimiento.

Sensor de nivel tipo flotador: Este componente detecta los niveles mínimo y máximo del tanque. Su simplicidad de instalación, bajo costo y compatibilidad con señales digitales lo convierte en una herramienta ideal para proyectos comunitarios con limitaciones presupuestarias. Permite integrar control de lazo cerrado con bajo margen de error en la lectura de niveles.

PLC Siemens LOGO 8: El controlador central del sistema. Su diseño compacto, facilidad de programación en entornos gráficos y capacidad de trabajar con sensores y actuadores analógicos y digitales, permite la automatización de tareas sin necesidad de conocimientos avanzados en programación. Es una de las mejores opciones para sistemas de mediana escala y su durabilidad garantiza años de operación confiable.

Guardamotor Alpha: El guardamotor protege la bomba y otros equipos eléctricos frente a sobrecargas o cortocircuitos. Su inclusión responde a criterios de seguridad eléctrica, prolongando la vida útil del motor y reduciendo riesgos para el personal técnico.

Fuente conmutada CNC 24V 20^a: Este equipo proporciona alimentación estable al sistema de control. Su diseño eficiente reduce las pérdidas por conversión eléctrica, ofrece protección contra picos de voltaje y garantiza la continuidad operativa del PLC y sensores, aun ante variaciones menores en la red.

Selector metálico y pulsadores Start/Stop: Estos elementos permiten activar el sistema de forma manual o automática, lo que es esencial para la fase de pruebas, mantenimiento o intervención del operador. Su construcción robusta los hace ideales para ambientes húmedos y polvorientos, comunes en zonas rurales.

Parada de emergencia tipo hongo: Se instala como medida de seguridad para desconectar el sistema en casos de riesgo, fallo técnico o mantenimiento urgente. Su activación rápida evita daños mayores a los equipos y protege al operador.

Gabinete metálico IP66: Protege el sistema de control ante condiciones ambientales adversas, como lluvia, humedad y polvo. Su índice de protección IP66 asegura el aislamiento del PLC y componentes eléctricos frente a elementos externos, garantizando una larga vida útil.

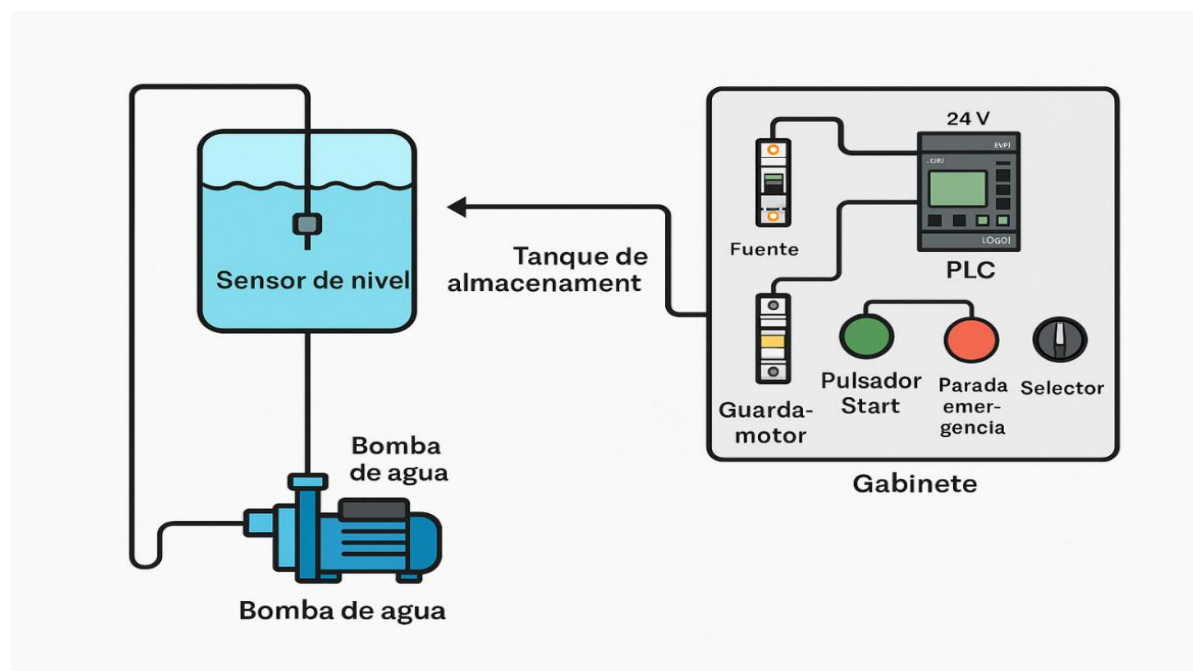
Criterios de selección técnica

Los criterios aplicados para la selección de los equipos se basan en:

- Compatibilidad con el entorno Siemens LOGO Comodidad suave.
- Eficiencia energética en bombas y fuentes.
- Facilidad de instalación y mantenimiento, minimizando tiempos de parada.
- Durabilidad frente a ambientes húmedos y polvorientos.
- Disponibilidad en el mercado nacional.
- Adaptabilidad al entorno rural, garantizando bajo consumo y facilidad de operación.
- Seguridad eléctrica mediante protecciones y sistemas de parada de emerge

Figura 3

Representación esquemática del Sistema con sus Componentes



Nota. La figura anterior ilustra el sistema de automatización implementado, donde se identifican los tanques de almacenamiento, sensores de nivel, bomba principal, PLC, fuente de alimentación, gabinete de protección y elementos de control. Fuente: Elaboración propia.

La configuración propuesta demuestra una coherencia entre los recursos disponibles en el entorno rural, la capacidad técnica de los operadores comunitarios, y los requisitos de estabilidad y eficiencia en la gestión del agua potable. El sistema puede adaptarse a otras comunidades con características, lo cual potencia su carácter replicable y sostenible.

Criterios técnicos para el diseño de la solución automatizada

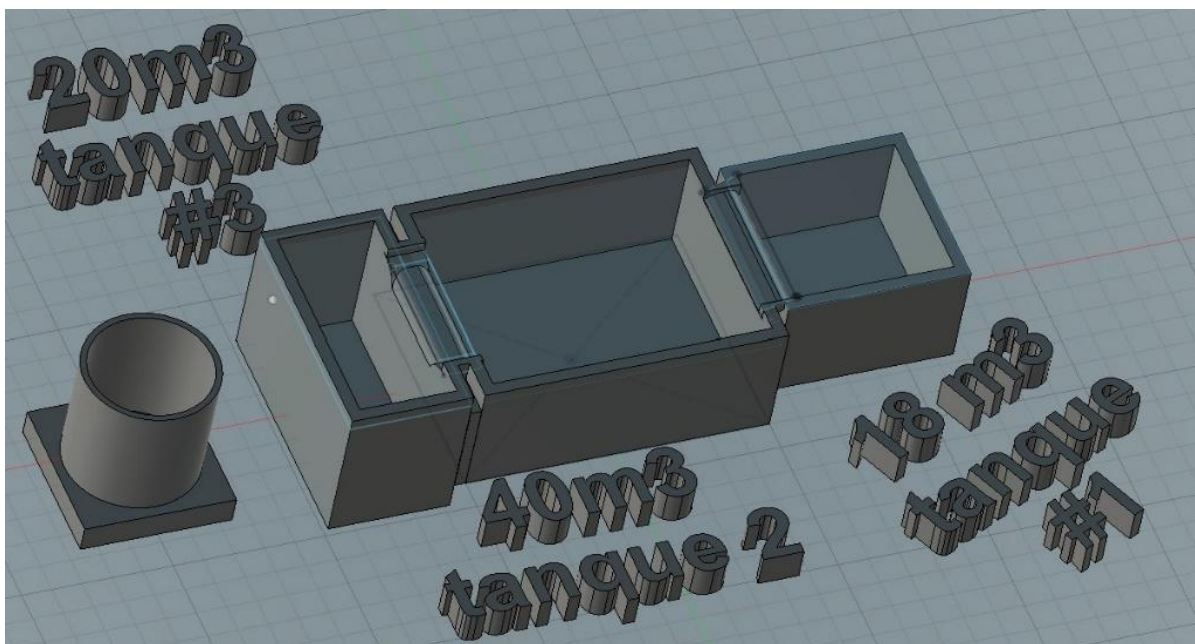
La solución propuesta parte de una arquitectura de control automatizada estructurada en torno a tres componentes esenciales:

- 1. Sensores de nivel capacitivo:** Detectan los niveles mínimo y máximo de los tanques, enviando señales al PLC.
- 2. Controlador lógico programable (PLC LOGO 8):** Gestiona las órdenes de activación y desactivación de válvulas y bombas con base en la lógica programada.
- 3. Sistema de bombeo:** Compuesto por bombas principales y auxiliares que operan según la demanda real del sistema y el comportamiento hidráulico de los tanques.

A continuación, se muestra el modelado en 3 dimensiones del diseño del prototipo, lo cual permite simular las conexiones entre los tanques y sus respectivas capacidades volumétricas:

Figura 4

Esquema Tridimensional con Identificación Volumétrica de Tanques

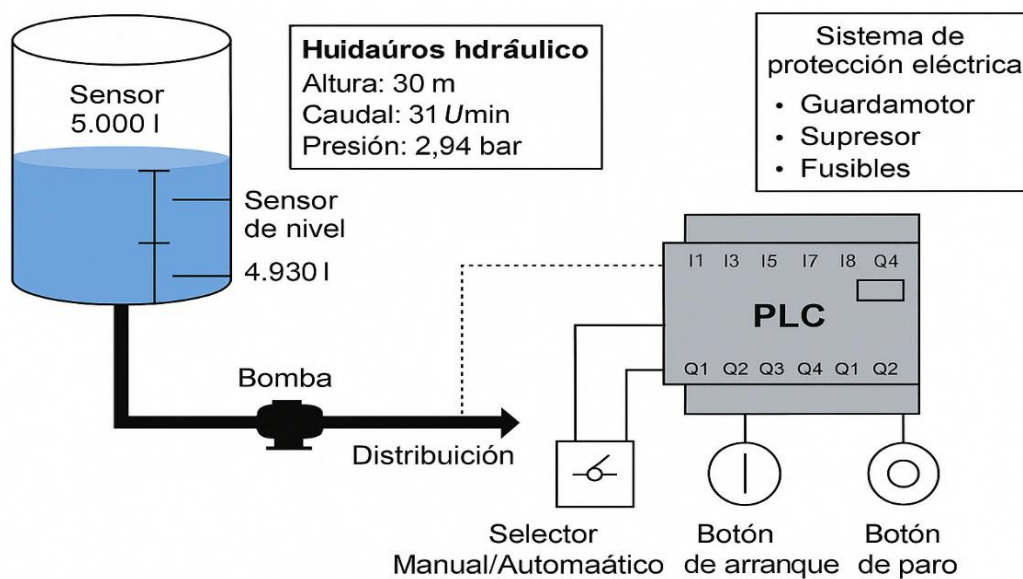


Nota. Diseño estructural del sistema de almacenamiento. Se evidencia la secuencia operativa desde la captación hasta los dos tanques principales (40 m^3 y 18 m^3) y uno auxiliar de 20 m^3 . La secuencia de operación sigue una lógica controlada para garantizar el equilibrio hidráulico.

La siguiente figura complementa esta descripción con una visualización gráfica de la disposición del sistema operativo:

Figura 5

Representación Esquemática del Sistema con Condiciones Técnicas y de Control



Nota. En la figura se detallan las conexiones entre sensores de nivel, bombas, tablero de control, actuadores y el entorno de programación LOGO Soft Comfort.

De este modo, las condiciones técnicas, hidráulicas y operativas identificadas proporcionarán el fundamento estructural para el desarrollo del programa de control. Este se diseñó para operar de forma autónoma bajo un esquema de lazo cerrado, regulando el llenado y drenaje de los tanques en función del comportamiento real de la demanda y las condiciones de presión. Asimismo, el sistema considera posibles fallos, establece medidas de seguridad y ofrece una solución escalable que puede adaptarse a otras comunidades rurales bajo condiciones similares.

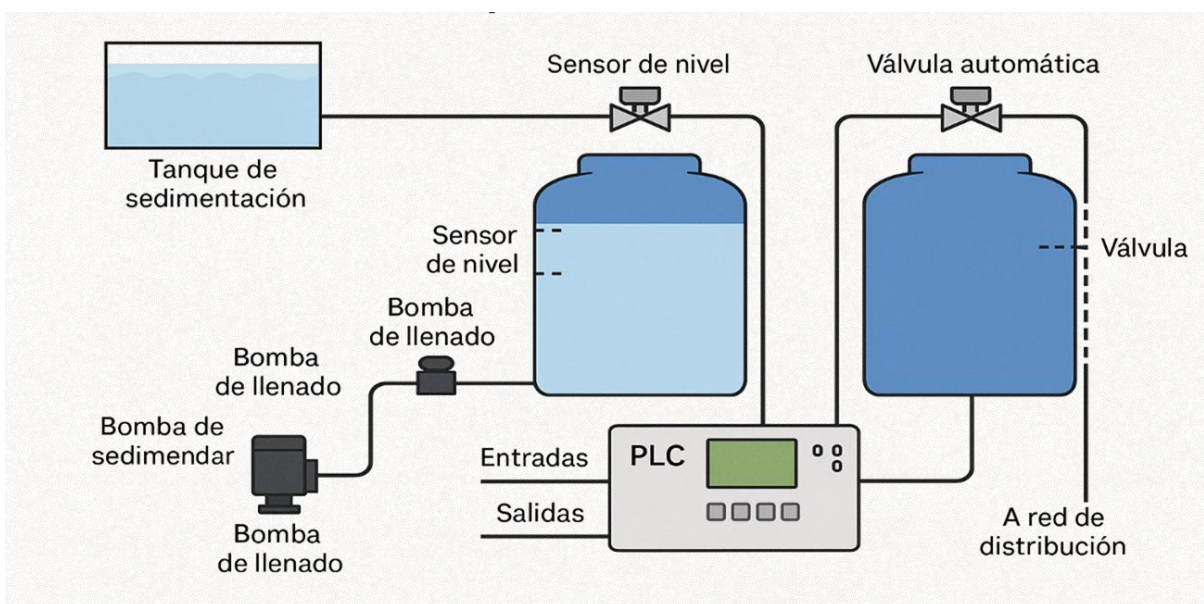
A partir de este diagnóstico, se estructuró una solución técnica basada en la automatización del proceso de llenado de los tanques de almacenamiento, centrada en tres criterios esenciales: confiabilidad operativa, facilidad de implementación en contextos rurales y sostenibilidad técnica en el tiempo. La propuesta se fundamenta en la instalación de un sistema

de control basado en un PLC Siemens LOGO 8, conectado a sensores de nivel y actuadores que controlan válvulas de llenado y salida. Este sistema, diseñado bajo la lógica de lazo cerrado, permite encender la bomba de llenado únicamente cuando los sensores detectan niveles críticos de vaciado (por debajo de 1000 cm) y la apagan automáticamente al alcanzar el volumen máximo permitido (1,6 litros en el modelo simulado).

Este tipo de control asegura un suministro continuo sin intervención constante del operador, previene el rebose, mejora el control de presiones en la red y evita la sobreexplotación de las bombas. La siguiente figura presenta el esquema de solución automatizada desarrollado para responder a las necesidades técnicas del sistema:

Figura 6

Solución Técnica Automatizada para Garantizar la Continuidad Operativa en ACUAMIRAMAR



Nota. elaborado por los autores.

Además, se integra una bomba auxiliar de apoyo para optimizar el proceso en casos donde la presión o el caudal del tanque de sedimentación resulte insuficiente. Este recurso garantiza estabilidad en el proceso de transferencia del agua hacia los tanques principales incluso

en condiciones de baja captación o sedimentación lenta. A su vez, se incorpora un sistema de válvulas automáticas de drenaje y distribución, activadas según el estado del nivel del tanque y el consumo proyectado.

Esta solución se valida mediante una simulación 3D en Factory I/O, donde se pudo observar la respuesta del sistema ante diversas condiciones operativas, replicando escenarios de consumo reales y verificando el comportamiento en modo manual y automático.

Programación y simulación virtual del sistema de llenado

La necesidad de automatizar el sistema de llenado de los tanques de almacenamiento en el acueducto comunitario ACUAMIRAMAR surge como respuesta directa a las limitaciones que presenta el sistema manual vigente. Este último demuestra ser ineficiente en términos operativos, dado que requiere supervisión constante, presenta reboses frecuentes, interrupciones en el servicio y una distribución desigual del recurso hídrico. En consecuencia, se plantea una solución basada en la automatización como una alternativa viable, sostenible y replicable, en la que converjan accesibilidad tecnológica, optimización funcional y mejora de las condiciones laborales del personal técnico.

La automatización, entendida como la incorporación de sistemas de control electrónico y lógico para operar procesos de manera autónoma, representa una herramienta clave para el fortalecimiento de infraestructuras comunitarias rurales. Su aplicación en sistemas de acueducto permite una mayor precisión en la gestión del recurso, una mejora significativa en la continuidad del servicio y la reducción de errores humanos en procesos críticos como el llenado y monitoreo de niveles de agua. Además, disminuye los costos operativos al reducir la necesidad de vigilancia permanente, favoreciendo el uso eficiente del agua.

En contextos rurales como el del barrio Miramar en Ibagué, implementar soluciones automatizadas enfrenta diversos desafíos relacionados con la infraestructura, el acceso limitado a tecnologías avanzadas y la escasez de formación técnica especializada. No obstante, dichos obstáculos se superan mediante el uso de herramientas de bajo costo, alta compatibilidad, fácil programación y mantenimiento mínimo, lo que permite su adaptación a las condiciones locales. En ese sentido, se opta por la utilización del entorno LOGO Soft Comfort de Siemens, una plataforma ampliamente reconocida por su facilidad de uso, interfaz intuitiva y funcionalidad para proyectos de automatización de escala media y baja.

LOGO Soft Comfort demuestra ser especialmente útil en proyectos comunitarios, ya que permite diseñar y simular procesos mediante diagramas de bloques funcionales, facilitando la interpretación de los circuitos por personal no especializado. Asimismo, ofrece conectividad con sensores, actuadores, módulos de comunicación y controladores lógicos programables (PLC), lo que lo convierte en una solución integral para procesos de monitoreo y control del nivel de tanques. El sistema puede configurarse de forma escalonada, adaptándose progresivamente a las necesidades de la comunidad y al crecimiento del acueducto.

En el desarrollo del presente proyecto, se utiliza un PLC Siemens LOGO 8, con capacidad para ocho entradas digitales, cuatro entradas analógicas y cuatro salidas digitales. La lógica del sistema automatizado se programa a partir de variables de entrada definidas por los niveles mínimo y máximo de llenado del tanque, estableciendo así un sistema de control de lazo cerrado que permite la activación y desactivación automática de la bomba de agua según la cantidad almacenada.

En la etapa de simulación se configura el comportamiento del sistema automatizado para reflejar las condiciones reales de operación. En este entorno, se evidencia cómo, al detectarse un

nivel bajo mediante el sensor digital, el PLC activa automáticamente la bomba de agua, abriendo la válvula de ingreso y permitien el llenado del tanque. Cuando el nivel alcanza el punto máximo, otro sensor envía la señal correspondiente y el PLC cierra la válvula de entrada y detiene la bomba. Además, el sistema reacciona a los cambios de estado en tiempo real, mostrando el encendido y apagado de componentes, la transición de los niveles de agua y la lógica interna de funcionamiento. Este comportamiento puede observarse mediante animaciones en LOGO Soft Comfort y visualización tridimensional en Factory I/O, lo que facilita la validación previa antes de la implementación física.

Figura 7

Vista Tridimensional del Sistema de Automatización para el Llenado de Tanques en Factory I/O.



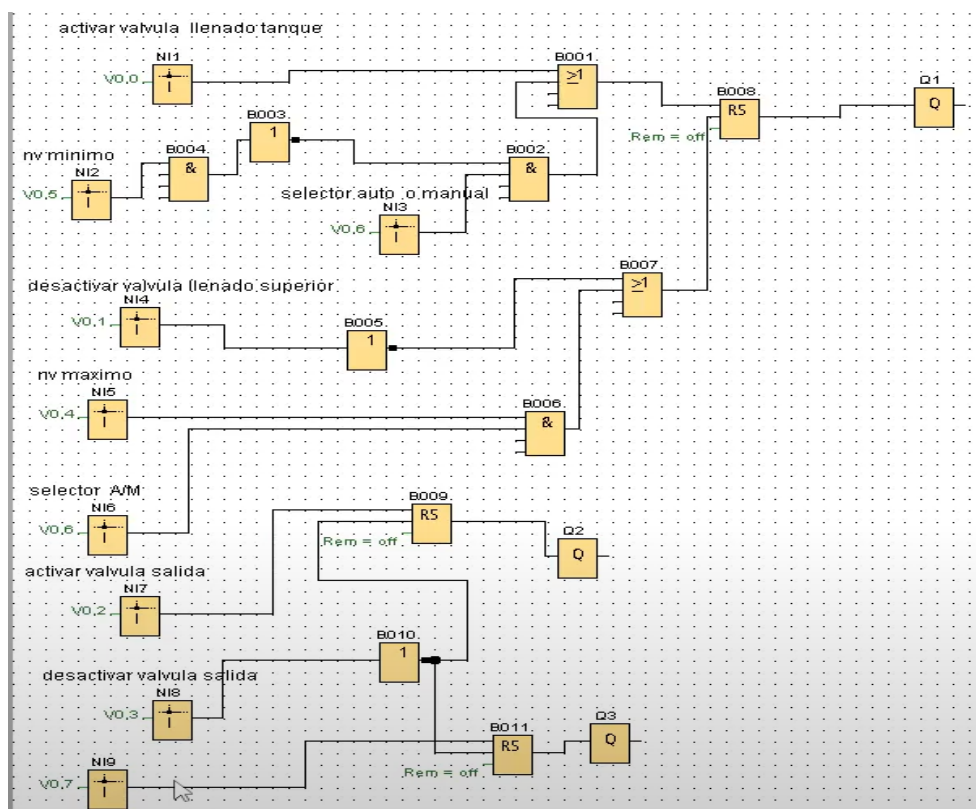
Nota. En la imagen se observa la representación digital del sistema físico diseñado, con dos tanques de almacenamiento conectados a válvulas de llenado y descarga, sensores de nivel, una unidad de control central (PLC Siemens LOGO) y el panel de mando. Esta visualización permite

verificar en tiempo real el funcionamiento automático y manual del sistema, replicando el comportamiento programado en LOGO Soft Comfort. Fuente: Elaboración propia con base en simulación ejecutada en Factory I/O v2.5.8.

En paralelo, se incorpora una modalidad de operación manual que permite activar la bomba mediante pulsadores, sin dejar de recibir retroalimentación constante de los sensores. Esta doble funcionalidad garantiza la operatividad incluso ante fallas en el modo automático o durante las labores de mantenimiento.

Figura 8

Diagrama Lógico Funcional para el Control Automatizado del Llenado y Vaciado de Tanques en LOGO Comodidad suave.



Nota. La figura muestra el diseño del diagrama de control implementado en el entorno LOGO Soft Comfort,.

En la parte superior del esquema se encuentra la lógica para activar la válvula de llenado cuando el nivel del tanque se encuentra por debajo del umbral mínimo (NIV Mín) y se desactiva al llegar al nivel máximo (NIV Máx). De igual modo, se visualiza la lógica de activación manual o automática, y la operación de vaciado mediante válvulas de salida. Este tipo de programación representa el núcleo de la automatización y permite gestionar el recurso hídrico de forma eficiente, evitando desbordamientos o tiempos muertos. Elaborado por los autores.

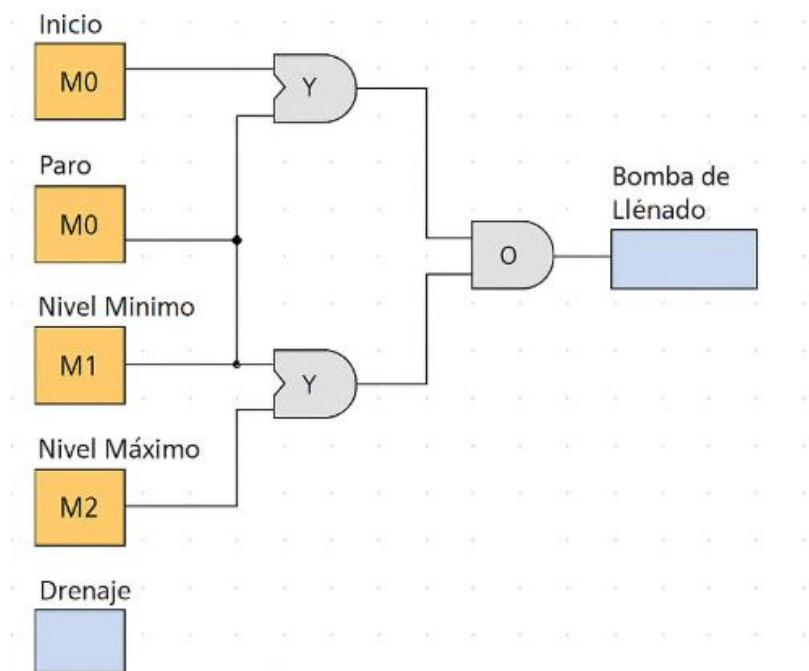
La automatización del proceso de llenado en el acueducto ACUAMIRAMAR no solo representa una mejora técnica en la prestación del servicio, sino que también constituye una apuesta por la apropiación comunitaria de tecnologías útiles, sostenibles y replicables. Este resultado establece la base estructural del sistema propuesto y demuestra la viabilidad de integrar herramientas de automatización en contextos rurales, promoviendo la eficiencia del recurso, la sostenibilidad del sistema y la equidad en la distribución del agua.

Con el objetivo de verificar la viabilidad operativa del sistema automatizado de llenado de tanques antes de su implementación a escala real, se procede al diseño y simulación del programa de control mediante los entornos LOGO Soft Comfort, PC Simu, Cade Simu y Factory I/O.

Estas plataformas permiten establecer la lógica de automatización, modelar el comportamiento de los componentes eléctricos e hidráulicos, y anticipar las respuestas funcionales del sistema en condiciones reales y simuladas.

Figura 9

Diagrama de Bloques Funcionales (FBD) para el Control de Llenado de Tanques en LOGO Soft Comfort.



Nota. Se observa el diseño lógico del sistema programado en LOGO Soft Comfort, donde se utilizan compuertas lógicas para controlar la activación de la bomba según el estado del sensor de nivel mínimo, máximo y condiciones de inicio y paro.

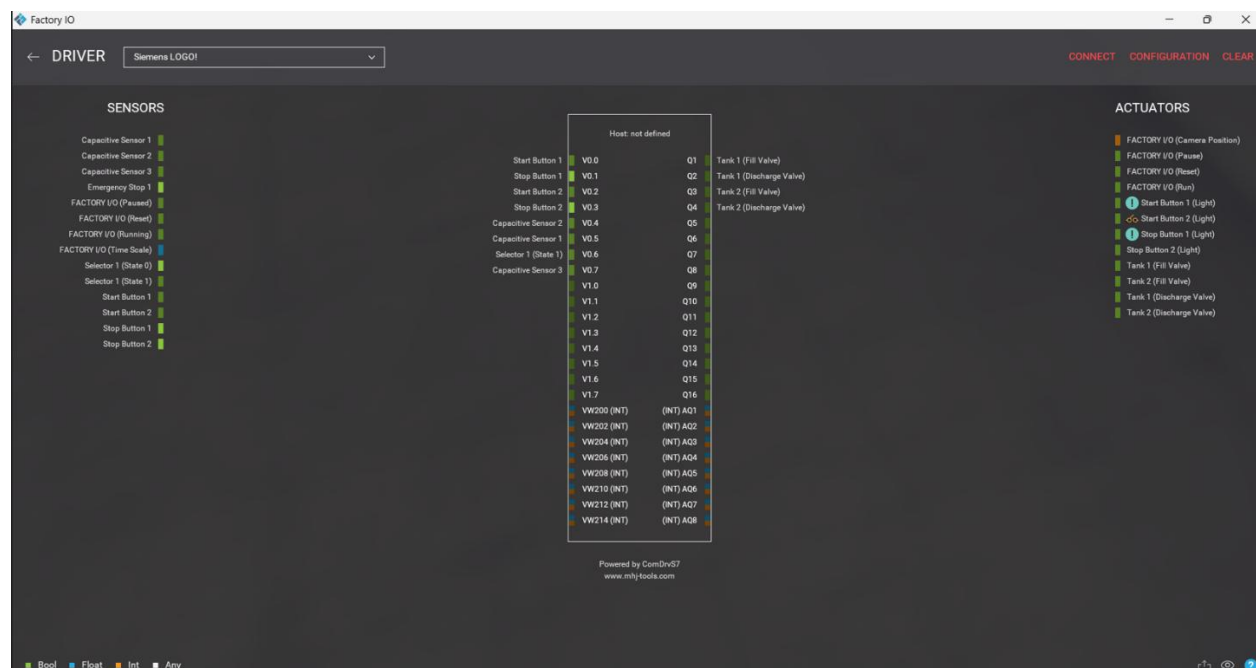
En una primera fase, se utilizó LOGO Soft Comfort para construir el diagrama de bloques funcionales (FBD), donde se programan las condiciones de encendido y apagado de la bomba principal, las válvulas de vaciado y la bomba auxiliar. Se emplean contactos lógicos para definir las marcas digitales de entrada (sensores de nivel, selector de modo, pulsadores) y las salidas de control (bomba de llenado, válvulas, señalización). Además, se fijan los umbrales de llenado mínimo (1.000 litros) y máximo (4.930 litros) a través de bloques comparadores, replicando el comportamiento esperado de los sensores.

Una vez definida la lógica, esta se exporta a Factory I/O para llevar a cabo una simulación tridimensional del sistema de llenado, la cual permite observar la interacción en tiempo real entre los elementos programados. Se replican digitalmente los dos tanques principales, el tablero de control, la bomba principal, la bomba auxiliar, las válvulas automáticas, los sensores de nivel y los indicadores luminosos de estado. Se habilitan tanto el modo manual como el modo automático, permitien validar el correcto funcionamiento de la automatización frente a las condiciones de operación programadas.

En la figura 10 se presenta la interfaz general de vinculación entre sensores y actuadores en el entorno Factory I/O, donde se visualiza la configuración de puertos de entrada y salida para el PLC Siemens LOGO 8.

Figura 10

Parámetros para el Funcionamiento de los Sensores en la Simulación.



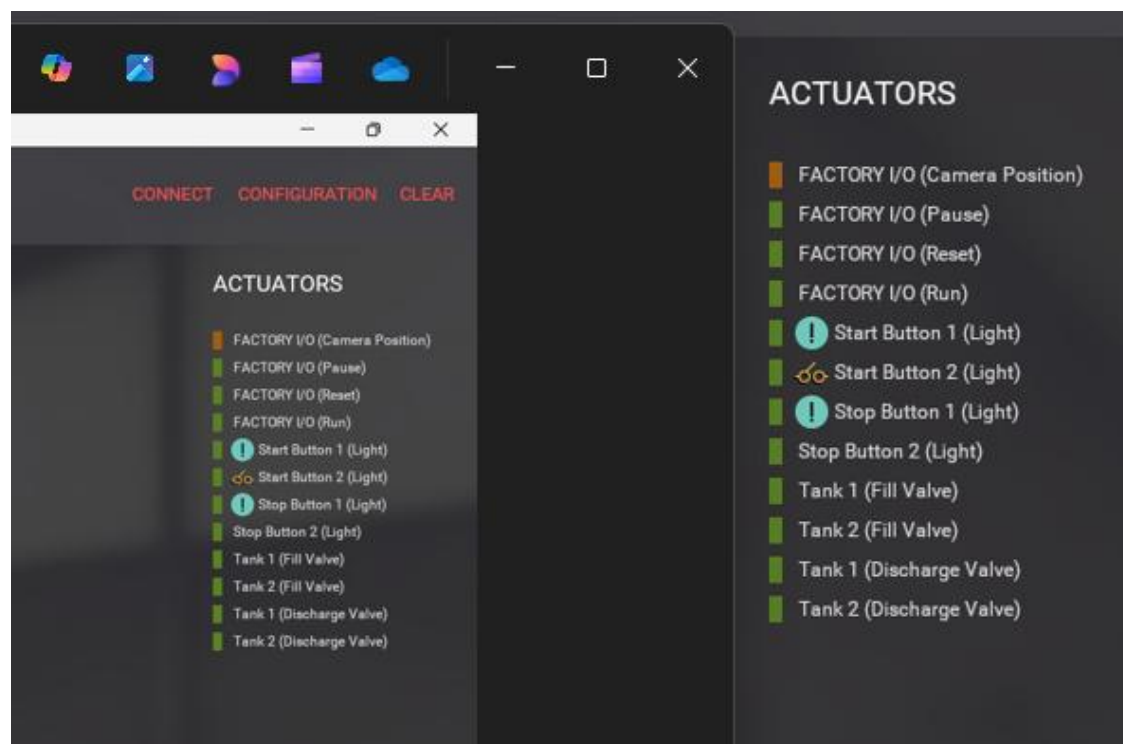
Nota. La imagen proporcionada corresponde a la interfaz de configuración del entorno de simulación Factory I/O, enlazado con el controlador Siemens LOGO para representar

gráficamente la comunicación entre el sistema de control programado y los elementos físicos simulados, como sensores y actuadores.

En la figura 11 se presenta un acercamiento visual a los actuadores activos del sistema, incluyendo las válvulas de llenado y descarga, así como la iluminación de los botones de control.

Figura 11

Detalle de Actuadores en la Interfaz de Factory I/O.



Nota. Se detalla la relación entre variables de proceso y componentes de control.

En la figura 12 se presenta el módulo central de direccionamiento lógico de entradas y salidas, en donde se especifican las variables de control asignadas a sensores y actuadores.

Figura 12

Tabla de Asignación de Entradas (V) y Salidas (Q) en el PLC.

Host: not defined			
Start Button 1	V0.0	Q1	Tank 1 (Fill Valve)
Stop Button 1	V0.1	Q2	Tank 1 (Discharge Valve)
Start Button 2	V0.2	Q3	Tank 2 (Fill Valve)
Stop Button 2	V0.3	Q4	Tank 2 (Discharge Valve)
Capacitive Sensor 2	V0.4	Q5	
Capacitive Sensor 1	V0.5	Q6	
Selector 1 (State 1)	V0.6	Q7	
Capacitive Sensor 3	V0.7	Q8	
	V1.0	Q9	
	V1.1	Q10	
	V1.2	Q11	
	V1.3	Q12	
	V1.4	Q13	
	V1.5	Q14	
	V1.6	Q15	
	V1.7	Q16	
	VW200 (INT)	(INT) AQ1	
	VW202 (INT)	(INT) AQ2	
	VW204 (INT)	(INT) AQ3	
	VW206 (INT)	(INT) AQ4	
	VW208 (INT)	(INT) AQ5	
	VW210 (INT)	(INT) AQ6	
	VW212 (INT)	(INT) AQ7	
	VW214 (INT)	(INT) AQ8	

Powered by ComDrvS7
www.mhj-tools.com

Nota. Se detalla la relación entre variables de proceso y componentes de control.

En la figura 13 se presenta la lista completa de sensores vinculados al sistema, visualizados en la interfaz de Factory I/O, con sus respectivos estados booleanos.

Figura 13

Registro de sensores digitales activos en la simulación.



Nota. Se incluyen sensores capacitivos, botones de control y selectores operativos.

A continuación, se presenta un análisis detallado y más claro del contenido de la imagen y su relevancia dentro del desarrollo del sistema automatizado del acueducto comunitario

ACUAMIRAMA:

1. Comunicación y direccionamiento:

En el centro de la pantalla se muestra el **host de conexión (192.168.0.3)**, lo cual indica que el entorno Factory I/O está correctamente vinculado a la red local del PLC Siemens LOGO. Cada entrada y salida se asigna a direcciones específicas (por ejemplo, **V0.0 a V0.7** para entradas digitales, **Q1 a Q8** para salidas digitales), lo que permite interpretar el comportamiento del sistema en tiempo real.

2. Panel de sensores (izquierda):

Se listan los sensores digitales conectados, entre ellos:

- Sensores capacitivos 1, 2 y 3: Detectan los niveles de agua en los tanques.
- Selector de modo (Manual/Automático): Permite cambiar la lógica de control del sistema.
- Botones de inicio y paro (Start/Stop Button 1 y 2): Activan o desactivan manualmente la bomba.
- Sensor de paro de emergencia (Emergency Stop): Diseñado para detener inmediatamente la operación ante fallas. Estos sensores generan señales booleanas (verde indica activos) que son interpretadas por el PLC según la lógica programada en LOGO Soft Comfort.

3. Direccionamiento de entradas y salidas (centro):

Se identifica claramente la relación entre:

- Las entradas físicas del sistema (**V0.0 a V1.7**)
- Las salidas del sistema que controlan actuadores (**Q1 a Q8**), tales como válvulas de llenado y vaciado para dos tanques.

Este direccionamiento permite realizar trazabilidad entre la simulación virtual y la programación lógica definida en el entorno del PLC.

4. Panel de actuadores (derecha):

Aquí se observa el estado de los actuadores, como:

- Válvulas de llenado y descarga de Tanques 1 y 2
- Indicadores luminosos para los botones de control
- Funciones de simulación (Pause, Reset, Run) del entorno Factory I/O

El color verde en los indicadores muestra que están en estado **activo**, lo que significa que, en este momento, los tanques están siendo llenados o vaciados según el estado de los sensores y la lógica de control.

Figura 14

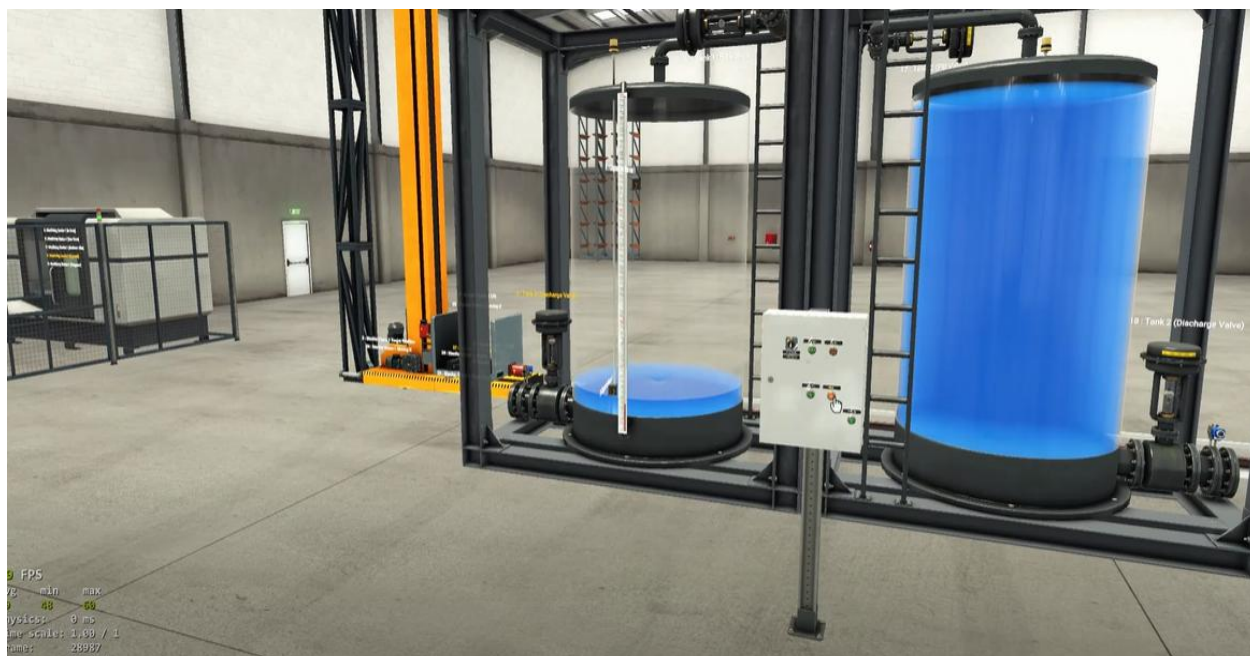
Diseño de la Simulación 3D del Llenado de Tanques de Agua.



Nota. Se observa la disposición tridimensional del sistema simulado en Factory I/O, incluyendo los tanques de almacenamiento, electrobombas, válvulas, sensores y gabinete de control. La simulación permite validar el desempeño del sistema bajo condiciones de operación programadas. Elaborado por los autores

Figura 15

Simulación Llenado de Tanque 2 (con sistema automático activado).



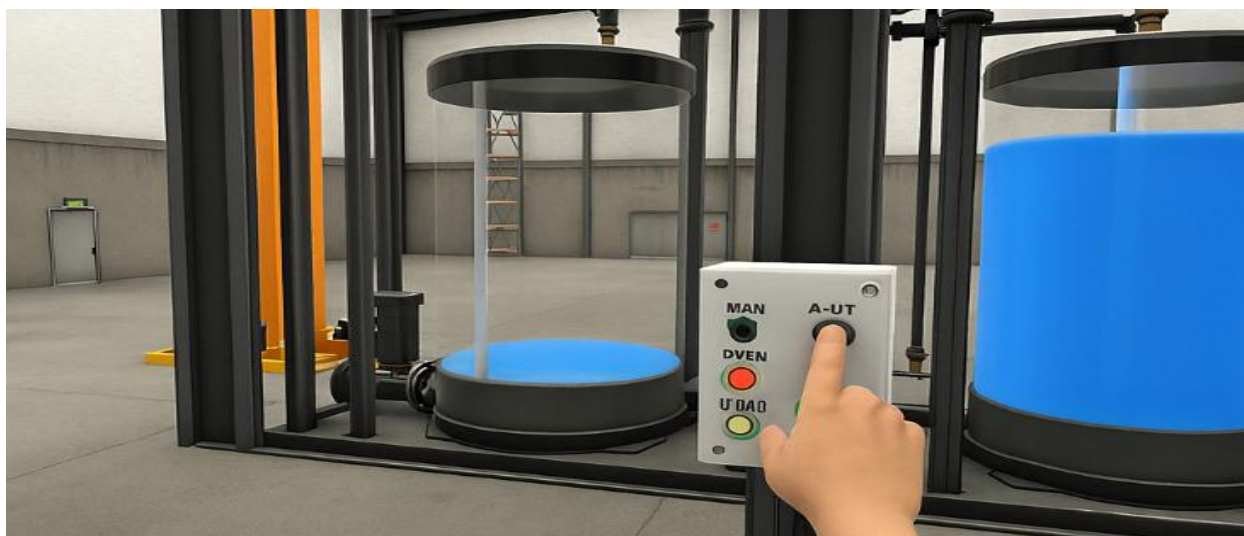
Nota. Se observa el funcionamiento automático del sistema mediante la respuesta del sensor de nivel que activa la bomba principal y detiene el proceso una vez alcanzado el umbral máximo.

Fuente propia.

Previo a esta escena, el sistema se encontraba operando en modo manual, siendo el operador quien controlaba directamente la activación de la bomba y las válvulas. En la siguiente figura, tomada de la simulación realizada en *Factory I/O*, se evidencia el momento preciso en el que el operador gira el selector del panel de control hacia la posición de funcionamiento automático. Esta acción habilita la lógica programada en el PLC Siemens LOGO 8, permite que el llenado del tanque se regule de forma autónoma según los umbrales definidos por los sensores de nivel mínimo (1.000 litros) y máximo (4.930 litros), sin necesidad de intervención humana continua.

Figura 16

Activación del Sistema Automático desde el Panel de Control Virtual.



Nota. Imagen capturada de la simulación 3D en *Factory I/O*, correspondiente al instante en que el operador activa el modo automático desde el panel de control, lo que permite al sistema regular de forma autónoma el proceso de llenado de agua en los tanques, en función de las condiciones hidráulicas previamente configuradas. Fuente: elaborada por los autores.

Además, se realizan pruebas comparativas del desempeño entre el sistema manual y el automatizado. El siguiente cuadro sintetiza los resultados obtenidos, demostrando mejoras en el tiempo de respuesta y la eficiencia del llenado.

Tabla 5 *Comparación de Tiempos de Llenado: Sistema Manual vs Sistema Automatizado.*

Operación	Tiempo (segundos)
Manual	37.70
Automatizada	32.37

Nota. Se evidencia una mejora en la eficiencia temporal del sistema automatizado, con una reducción de más de 5 segundos respecto al sistema manual. Fuente: simulación ejecutada por los autores en *Factory I/O*.

El sistema programado demuestra ser efectivo en la gestión automática del nivel de agua, con una activación precisa de bombas y válvulas, evitando reboses y pérdidas. La eliminación de la supervisión constante y la respuesta automática ante el consumo de agua reflejan una mejora sustancial en la sostenibilidad operativa del acueducto ACUAMIRAMAR. Además, se valida que la implementación de un sistema de control basado en PLC permite escalar o adaptar la lógica a nuevas condiciones o infraestructuras futuras.

Se incluye como evidencia final el enlace al video de simulación desarrollado por los autores, el cual muestra en detalle el funcionamiento del sistema automatizado de control del llenado de tanques implementado en el entorno tridimensional Factory I/O. Esta simulación reproduce fielmente las condiciones operativas del acueducto ACUAMIRAMAR, destacando la activación automática de bombas y válvulas, la lectura precisa de los sensores de nivel, y la respuesta del sistema en modo manual y automático. Asimismo, permite observar el comportamiento en tiempo real ante el consumo de agua y los cambios de estado, validando así la lógica de control establecida. La presentación audiovisual no solo complementa los resultados obtenidos, sino que constituye una herramienta de divulgación y capacitación técnica para operadores y futuros replicadores del proyecto en otros contextos rurales. Enlace de simulación:

https://www.youtube.com/watch?v=MH5Z3LHJx_c

El video asociado muestra el funcionamiento completo del sistema en sus tres etapas, validando la integración entre sensores, lógica programada y elementos de actuación, como una solución replicable y eficiente para el control del nivel de agua en tanques. Fuente: Elaboración propia a partir del diseño programado y la maqueta funcional.

Etapas funcionales del sistema automatizado

El sistema automatizado de control de nivel de agua diseñado con el PLC Siemens LOGO 8 opera mediante tres etapas fundamentales que garantizan su funcionamiento autónomo y confiable: sensado, procesamiento y actuación. A continuación, se describen:

1. Etapa de sensado

El PLC monitorea constantemente los estados de los sensores de nivel ubicados en los tanques. Estos sensores envían señales digitales que indican si el agua alcanza los umbrales mínimos o máximos establecidos. En la simulación, puede observarse cómo los sensores reaccionan en tiempo real a los cambios en el nivel del líquido, lo que constituye el punto de partida para las decisiones del sistema.

2. Etapa de procesamiento

El PLC Siemens LOGO 8 se programa para interpretar las señales recibidas y ejecutar acciones de control. Este sistema trabaja en dos modalidades:

- En modo automático, se activa la bomba cuando el nivel del tanque cae por debajo del mínimo (1.000 litros) y se desactiva al alcanzar el máximo (4.930 litros). La lógica incluye un retardo programado de tres segundos para evitar conmutaciones abruptas y garantizar estabilidad operativa.
- En modo manual, el operador puede activar o detener la bomba mediante pulsadores, aunque los sensores de nivel siguen operando como sistema de seguridad.

Durante la simulación, se visualiza esta lógica mediante diagramas de bloques funcionales y contactos (ladder) en el entorno LOGO Soft Comfort, lo que permite validar el diseño programado.

3. Etapa de actuación

En esta fase, el PLC emite señales a los relés y contactores que controlan el encendido y apagado de las bombas. Como el PLC no está diseñado para manejar cargas eléctricas de alta potencia, se emplean contactores para operar las bombas de agua con seguridad.

- Cuando el sensor de nivel bajo se activa, el PLC ordena el encendido de la bomba.
- Al alcanzar el nivel alto, el relé se desactiva y corta el suministro eléctrico a la bomba.

Esta etapa puede observarse claramente en el video, donde se evidencia el encendido y apagado automático del sistema físico, con respuesta inmediata de los actuadores ante las señales de los sensores.

Construcción del prototipo y validación empírica del funcionamiento

La siguiente imagen evidencia la validación empírica del sistema en su fase de prototipado:

Figura 17

Maqueta Funcional del Sistema de Automatización para dos Tanques de Almacenamiento.



Nota. Fotografía del prototipo físico construido para validar la operación del sistema automatizado de llenado.

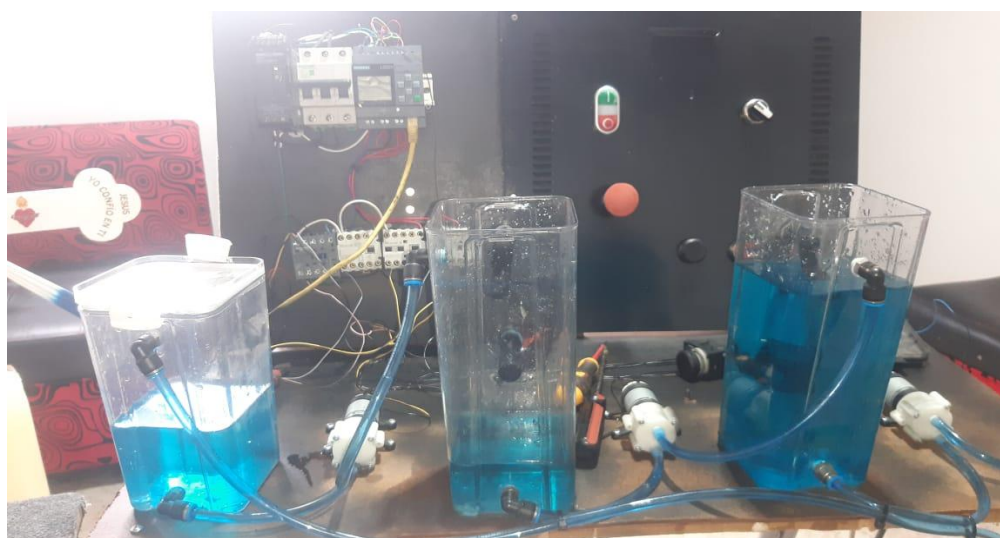
La imagen evidencia el uso de un PLC LOGO 8, electrobombas, sensores de nivel y válvulas automáticas simuladas. Fuente: Elaboración por los autores.

La solución automatizada diseñada para ACUAMIRAMAR representa un salto tecnológico significativo que supera los límites del sistema manual vigente. Su implementación no solo corrige los errores estructurales del pasado, sino que garantiza una continuidad del servicio basado en sensores inteligentes, control programable y sistemas de bombeo eficientes. Esto permitirá a la comunidad contar con un suministro constante, racional y justo del recurso hídrico, ajustado a sus necesidades y capacidades técnicas.

En la Figura 14, se aprecia el montaje empírico del sistema automatizado, conformado por tres tanques transparentes conectados mediante mangueras flexibles, electrobombas, sensores de nivel tipo flotador, válvulas, y un panel de control con PLC Siemens LOGO 8. Esta maqueta permite verificar el comportamiento real del sistema bajo condiciones de operación controladas, validando la lógica de programación diseñada en LOGO Soft Comfort.

Figura 18

Prototipo Físico Funcional del Sistema Automatizado de Llenado de Tanques.



Nota. Elaboración propia a partir del prototipo experimental desarrollado por los autores.

Conclusiones

La evaluación técnica del sistema manual vigente en el acueducto comunitario ACUAMIRAMAR permite identificar deficiencias estructurales como el rebose de tanques, el uso ineficiente de la bomba, la dependencia absoluta del operador y el incremento en los costos operativos. Estos hallazgos evidencian la necesidad urgente de sustituir el sistema por una alternativa automatizada, que garantice mayor confiabilidad, sostenibilidad y eficiencia en la gestión del recurso hídrico, especialmente en comunidades rurales con recursos limitados.

La caracterización de las variables técnicas, eléctricas e hidráulicas del sistema resultó fundamental para diseñar una solución de control robusta y precisa. Se definieron parámetros críticos como la capacidad de almacenamiento de 5.000 litros, la presión hidráulica de 2,94 bar, el caudal máximo de 31 litros por minuto y los umbrales de activación y apagado de la bomba. Adicionalmente, se establecieron las condiciones de operación eléctrica y las protecciones del sistema, garantizando seguridad, continuidad y adaptabilidad al entorno rural mediante la implementación de un PLC Siemens LOGO 8.

La selección de componentes fue guiada por criterios de eficiencia energética, durabilidad, bajo mantenimiento y disponibilidad en el mercado nacional. La bomba Pedrollo CPM660, el PLC Siemens LOGO 8, los sensores de nivel tipo flotador y el gabinete IP66 demostraron ser adecuados para contextos rurales. Esta arquitectura permite un control continuo y confiable, reduce los errores humanos y optimiza el uso de los recursos disponibles, tanto hídricos como eléctricos, fortaleciendo la viabilidad del sistema en términos técnicos y económicos.

La programación y simulación en entornos como LOGO Soft Comfort y Factory I/O validaron el diseño lógico de la automatización, permitiendo anticipar el comportamiento del

sistema ante distintas condiciones operativas. Se logró establecer un control de lazo cerrado que regula automáticamente el encendido y apagado de las bombas según los niveles detectados por los sensores. Esta simulación mostró una mejora sustancial en el tiempo de respuesta del sistema y en la precisión del control de caudal, reforzando su aplicabilidad en situaciones reales.

La construcción del prototipo físico permite validar de forma empírica el funcionamiento del sistema automatizado. La maqueta confirmó que la programación lógica implementada garantiza el llenado controlado de los tanques, activa las válvulas y bombas de forma autónoma y reacciona eficazmente ante situaciones de emergencia o cambios de presión. Esta fase demostró la viabilidad técnica de replicar el modelo en otros acueductos rurales con características similares, promoviendo la apropiación comunitaria de tecnologías accesibles.

El desarrollo del sistema de automatización para el llenado de tanques del acueducto comunitario ACUAMIRAMAR representa una solución integral que responde de forma eficiente a las necesidades operativas de la comunidad. Al eliminar los errores asociados a la supervisión manual, garantizar una distribución equilibrada y reducir los costos operativos, esta propuesta fortalece la sostenibilidad del servicio de agua potable. Su carácter replicable, escalable y adaptable refuerza su pertinencia como modelo de innovación tecnológica aplicable a otros entornos rurales con limitaciones similares.

Recomendaciones

Se recomienda replicar el enfoque de automatización desarrollado en este objetivo en otros acueductos rurales con características similares, priorizando el uso de controladores lógicos programables (PLC) de bajo costo y alta disponibilidad como el Siemens LOGO 8. Igualmente, se sugiere capacitar a los operadores comunitarios en el manejo básico del software LOGO Soft Comfort y en mantenimiento preventivo del sistema, lo cual asegurará su sostenibilidad técnica a largo plazo. Además, se debe considerar la integración futura de módulos de monitoreo remoto que permitan observar el estado del sistema desde una aplicación móvil o interfaz web, favoreciendo la gestión distribuida y el soporte técnico a distancia.

Se recomienda implementar de manera escalonada la solución automatizada diseñada, iniciando con una fase piloto que incluya los componentes fundamentales del sistema (PLC, sensores, bomba principal y válvulas automáticas) para evaluar el comportamiento en condiciones reales y ajustar los parámetros de operación según las particularidades hidráulicas del entorno. A su vez, es imprescindible capacitar al personal técnico y comunitario en el uso y mantenimiento del sistema, garantizando la apropiación del conocimiento tecnológico y la sostenibilidad operativa a largo plazo. Asimismo, se sugiere establecer un protocolo de monitoreo periódico de los niveles de los tanques, el consumo energético de las bombas y la respuesta del sistema frente a variaciones en la demanda, lo cual permitirá documentar el impacto de la automatización sobre la mejora del servicio, optimizar el diseño futuro y justificar la ampliación del modelo a otras comunidades rurales con características similares.

Se recomienda que, una vez implementado el sistema en condiciones reales, se consolide una estrategia de mantenimiento preventivo para cada uno de los equipos seleccionados, con énfasis en la limpieza de sensores, inspección periódica de la bomba y verificación del estado de

la fuente de alimentación. Además, se sugiere capacitar al personal del acueducto en la operación básica del PLC y el uso del software LOGO Soft Comfort, lo que permitirá una mayor autonomía en la gestión técnica local. Esta medida no solo prolongará la vida útil del sistema, sino que fortalecerá el empoderamiento comunitario y reducirá la dependencia de soporte técnico externo, incrementando la sostenibilidad del modelo automatizado a largo plazo.

Se recomienda consolidar un protocolo de validación periódica de las condiciones hidráulicas, eléctricas y operativas programadas en el sistema, especialmente en contextos donde las fuentes de captación, consumo y distribución presentan variabilidad estacional. Asimismo, resulta esencial capacitar al personal operativo en la interpretación de las señales digitales y en la gestión de los dispositivos de control, a fin de garantizar respuestas rápidas ante fallos técnicos o condiciones extraordinarias. Finalmente, se sugiere documentar todas las condiciones identificadas en manuales de operación y mantenimiento, promoviendo así la sostenibilidad del sistema y su replicabilidad en otras zonas rurales con características similares.

Se recomienda incorporar ciclos de prueba adicionales con variación de parámetros hidráulicos simulados (como caudales mayores, interrupciones del suministro o fallos de sensores) con el fin de robustecer el sistema frente a condiciones no previstas. Asimismo, sería pertinente desarrollar una interfaz visual simplificada (HMI) que permita al operador comunitario monitorear el sistema en tiempo real sin necesidad de ingresar directamente a la programación del PLC. Esto facilitará las labores de supervisión, mantenimiento preventivo y futuras modificaciones del sistema automatizado en función del crecimiento de la comunidad o la expansión del acueducto.

Se recomienda que, previo a la implementación definitiva del sistema automatizado en campo, se efectúe una prueba piloto controlada con los mismos parámetros validados en la

simulación, utilizando un entorno físico reducido pero representativo del sistema completo. Esto permitirá verificar la respuesta real del PLC frente a condiciones de operación variables, asegurar la correcta calibración de los sensores y ajustar posibles desviaciones en tiempo real. Además, se sugiere documentar detalladamente el código del programa y mantener respaldo digital de las configuraciones realizadas, de modo que futuros mantenimientos, ampliaciones o réplicas del sistema puedan realizarse de manera eficiente y estandarizada.

Referencias Bibliográficas

Acueducto. (2024a). *Informe de gestión*.

Acueducto. (2024b, abril 16). *Acueducto de Bogotá adopta medidas para desincentivar el consumo excesivo de agua*.

<https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/general/sala-de-prensa/boletines/detalle/medidas+para+desincentivar+el+consumo+excesivo>

Alcaldía de Ibagué. (2013, febrero). *Diagnóstico de las condiciones actuales de presentación del servicio en el acueducto comunitario urbano de la ciudad de Ibagué MIRAMAR*.

Alcaldía de Ibagué. (2023, agosto 29). *Después de 60 años, Calambeo cuenta con 500 tramos de tubería nueva*.

<https://ibague.gov.co/portal/seccion/noticias/index.php?idnt=15485#gsc.tab=0>

Alcaldía de Ibagué. (2024a, octubre 12). *Olga B. asegura que en enero estarían en Ibagué los recursos del gobierno para terminar el segundo acueducto*.

<https://www.ecosdelcombeima.com/ibague/nota-157682-olga-b-asegura-que-en-enero-estarian-en-ibague-los-recursos-del-gobierno-para>

Alcaldía de Ibagué. (2024b, diciembre 31). *Luego de 30 años de espera, Ibagué finalmente tiene Acueducto Complementario*. <https://www.ecosdelcombeima.com/ibague/nota-161107-luego-de-30-anos-de-espera-ibague-finalmente-tiene-acueducto-complementario>

<https://www.ecosdelcombeima.com/ibague/nota-161107-luego-de-30-anos-de-espera-ibague-finalmente-tiene-acueducto-complementario>

Arias, H. (2025, marzo 18). *Análisis - Efectos empresariales de la reducción de la jornada laboral** - Henry Arias | Universidad de Manizales.

<https://www.umanizales.edu.co/umedia/analisis-efectos-empresariales-de-la-reduccion-de-la-jornada-laboral-henry-arias>

- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales [ANLA]. (2021, julio 30). *Resolución 01347*. Por la cual se modifica una licencia ambiental y se adoptan otras determinaciones.
- Ayerdi, A. (2024, noviembre 6). *¿Qué es la automatización de procesos?*
<https://start.docuware.com/es/blog/automatizacion-de-procesos>
- Becerra-Perenguez, D. Y., Acosta-Astaiza, C. P., & Leyton-Luna, J. (2023). Gestión del recurso hídrico en la ruralidad, mediante estrategias de fortalecimiento comunitario. *Entramado*, 20(1). <https://doi.org/10.18041/1900-3803/ENTRAMADO.1.10054>
- Camacho, L. (2020). Revista de Ingeniería. *Revista de Ingeniería*.
<https://revistas.uniandes.edu.co/index.php/rdi/article/view/7489/7890>
- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2020, diciembre 23). *Concepto 156521 de 2020 CRA*. Gestor Normativo de la CRA.
https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/concepto_cra_0156521_2020.htm
- Congreso de Colombia. (1994, julio 11). *Ley 142 de 1994*.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2752>
- Cruz, J.-C., & Guzmán, J. (2023). Propuesta de automatización de un sistema de almacenamiento y uso de aguas lluvias en una vivienda rural del Valle del Cauca. *Revista Sapiencia*, 15(29), 2023. <https://doi.org/10.54278/SAPIENTIA.V15I29.140>
- Ecos del Colombia. (2021, marzo 31). *AcuaMiramar, un verdadero acueducto para orgullo de la comunidad*. <https://www.ecosdelcombeima.com/ibague/nota-169929-acuamiramar-un-verdadero-acueducto-para-orgullo-de-la-comunidad>
- Garzón, A. (2020). *Propuesta de Diseño para el Mejoramiento de la Calidad de Agua para Consumo Humano del Acueducto Comunitario Acuamiramar de la Ciudad de Ibagué*.

- Herrera. (2021, julio 15). *CADe_SIMU y LOGOSoft Comfort. ¿Para qué sirven los programas CADe_SIMU y LOGOSoft Comfort? - YouTube*. <https://www.youtube.com/watch?v=jx27--rP7Zw>
- Idrica. (2023, febrero 16). *La tecnología del agua: 5 ventajas de su implementación - IDRICA*. <https://www.idrica.com/es/blog/la-tecnologia-del-agua-5-ventajas/>
- Lezcano. (2020, agosto 19). *(1891) CADe-SIMU (simulador de automatismo industrial) - YouTube*. https://www.youtube.com/watch?v=f_hyU28J3t8
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio de Colombia. (2022, verano 11). *Proyectos de Agua Potable y Saneamiento Básico | Minvivienda*. <https://www.minvivienda.gov.co/ministerio-planeacion-gestion-y-control-sistema-general-de-regalias-lineamientos-para-presentacion-de-proyectos-proyectos-de-agua-potable-y>
- Ministerio de Vivienda-Ciudad y Territorio. (2023). *Informe de Rendición de cuentas 2023*.
- Moreno, J. (2020, junio). *Revista de Ingeniería*. <https://revistas.uniandes.edu.co/index.php/rdi/article/view/7488/7888>
- Naciones Unidas. (2023). *Agua y saneamiento - Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Niño, J. (2023). *Automatización del sistema de elevadores hidraulicos de la empresa Avicola el Madroño*.
- Orihuela, J., & Sánchez, N. (2016). Diseño estructural de tanques rectangulares y sus aplicaciones. *Ingenium*, 01(02). <https://doi.org/10.18259/ING.2016009>
- Parra, H. D. (2021). *Implementación de un sistema para medir y controlar el abastecimiento del agua para el acueducto comunitario del Barrio Pablo Neruda del Municipio de Sibate Cundinamarca*. <https://hdl.handle.net/10656/14002>

- Pérez, L. (2019, agosto 8). *Sistema automatizado de captación y distribución de agua lluvia y procesos limpios para uso racional del consumo en viviendas de interés social*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/27884>
- Pérez-Rojas, E., Guerrero, C., & Sánchez, D. (2018). Automatización de un sistema de extracción, llenado y distribución de agua potable en Ocaña, Colombia. *Revista Ingenio*, 15(1), 1–7. <https://doi.org/10.22463/2011642X.2442>
- Red, H. (2023, septiembre 20). *Introducción a la Automatización en TI | Red Hat*. <https://www.redhat.com/es/topics/automation>
- Rojas, E., & Ruíz, P. (2019). *Construcción de Tanque de Almacenamiento de Agua Potable para Acueducto del Centro Poblado Barro Blanco en el Municipio Entrerriós – Antioquia* [Trabajo de grado para optar al título de Especialización en Gerencia de Proyectos]. Universidad Piloto de Colombia.
- Ruíz-Piragauta, Y., & Torres-Bello, B. (2022). *Sistema automatizado de recolección de agua lluvia “Bryu” con tecnología Iot* (Vol. 12, Número 1). <http://hdl.handle.net/11349/28275>
- Sánchez, L., & Quiroga, É. (2020, enero). *Revista de Ingeniería*. <https://revistas.uniandes.edu.co/index.php/rdi/article/view/7490/7892>
- Segura, O., Cáceres, F., & Vargas, A. (2017). *Automatización del proceso de llenado y control de nivel en un tanque*.
- Siemens. (2019, noviembre 14). *¡Software LOGO - Siemens Global*. https://www-siemens-com.translate.goog/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/logo/logo-software.html?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

Trujillo, J. (2023, marzo 24). *En el Colombia, 3,2 millones de personas no tienen acceso al servicio de agua potable*. <https://www.larepublica.co/economia/en-el-colombia-3-2-millones-de-personas-no-tienen-acceso-al-servicio-de-agua-potable-3576736>

Zarama, M. (2024). Prototipo de un sistema automatizado para la recolección y almacenamiento de agua, en una casa finca de la vereda de Higuerones-Cauca. *Universidad Mariana*, 12(3). <https://repositorio.umariana.edu.co//handle/20.500.14112/28260>

Zarza, L. (2024, marzo 14). *¿Qué es una bomba hidráulica y cuántos tipos hay? | iAgua*. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-bomba-hidraulica-y-cuantos-tipos-hay>