

Automatización de bajo costo para la mejora de confiabilidad en sistemas hidroneumáticos institucionales: estudio de caso en Esmeraldas, Ecuador.

Low-cost automation for improving reliability in institutional hydropneumatic systems: a case study in Esmeraldas, Ecuador

Erick Paúl Mera Otoya¹, Franklin Gregory Tello Canchingre², Wilfrido Iván Mendoza Proaño³
epmera@inslulistello.edu.ec, franklintello.c@hotmail.com, wilfridomen1992@gmail.com

^{1,2}Instituto Superior Tecnológico Luis Tello, Esmeraldas, Ecuador, 080116

³Universidad Tecnológica ECOTEC, Guayas, Ecuador, 092301

Citación: Mera Otoya, E. P., Tello Canchingre, F. G., & Mendoza Proaño, W. I. (2025). Low-cost automation for improving reliability in institutional hydropneumatic systems: a case study in Esmeraldas, Ecuador. *EKSIGMA Ecuadorian Journal of Scientific Knowledge*, 1(1), 34-49. <https://eksigma.com/index.php/principal/article/view/23>

Recibido: 30 octubre 2024

Aceptado: 01 diciembre 2024

Publicado: 15 enero de 2025

EKSIGMA

ISSN: 3121-2689

Correspondencia:
epmera@inslulistello.edu.ec



Copyright: 2025 derechos otorgados por los autores a EKSIGMA.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia de Creative Commons Attribution (CC BY NC). (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Resumen: El presente estudio aborda la mejora de la confiabilidad y la continuidad del servicio de agua potable en el Instituto Superior Tecnológico Luis Tello, ubicado en Esmeraldas, Ecuador, a través de la implementación de un sistema hidroneumático automatizado de bajo costo. La intervención consistió en el diseño e integración de un sistema de control eléctrico con alternancia programada de bombas, protección contra fallas eléctricas y monitoreo de nivel y presión. El enfoque metodológico fue descriptivo y explicativo, centrado en la evaluación funcional del sistema antes y después de la automatización. Los resultados mostraron mejoras significativas en la presión del agua, especialmente en las zonas más altas del edificio, con un aumento de hasta 175%. Además, el sistema de protección ante fallas eléctricas evitó daños a los equipos y garantizó la continuidad operativa. La automatización permitió una reducción del 40% en los costos operativos, principalmente por el ahorro energético y la reducción de los costos de mantenimiento. Sin embargo, se identificaron áreas de mejora, como la falta de monitoreo continuo, que podrían ser abordadas en futuras investigaciones mediante la integración de tecnologías IoT y monitoreo remoto.

Palabras clave: automatización de sistemas hidroneumáticos; confiabilidad operativa; control eléctrico; optimización de recursos; mantenimiento preventivo.

Abstract: This study addresses the improvement of the reliability and continuity of the water supply service at the Instituto Superior Tecnológico Luis Tello, located in Esmeraldas, Ecuador, through the implementation of a low-cost automated hydropneumatic system. The intervention consisted of the design and integration of an electrical control system with programmed alternation of pumps, protection against electrical failures, and monitoring of water level and pressure. The methodological approach was descriptive and explanatory, focusing on the functional evaluation of the system before and after automation. The results showed significant improvements in water pressure, especially in the higher floors of the building, with an increase of up to 175%. Additionally, the protection system against electrical failures prevented damage to the equipment and ensured operational continuity. Automation resulted in a 40% reduction in operational costs, mainly due to energy savings and reduced maintenance costs. However, areas for improvement were identified, such as the lack of continuous monitoring, which could be addressed in future research by integrating IoT technologies and remote monitoring.

Keywords: automated hydropneumatic systems; operational reliability; electrical control; resource optimization; preventive maintenance.

1. INTRODUCCIÓN

El acceso continuo al agua potable constituye un componente esencial para garantizar condiciones adecuadas de higiene, salubridad y funcionamiento operativo en instituciones educativas. En contextos urbanos donde el suministro público presenta intermitencias o esquemas de sectorización, la implementación de sistemas de almacenamiento y presurización interna se convierte en una necesidad técnica para asegurar la continuidad del servicio (Tarazona et al., 2024). Esta situación es particularmente relevante en ciudades como Esmeraldas, Ecuador, donde la distribución del agua puede experimentar cortes programados o disminuciones de presión asociadas a limitaciones en la infraestructura hidráulica.

Los sistemas hidroneumáticos son ampliamente utilizados en edificaciones residenciales, comerciales e institucionales para mantener niveles de presión adecuados en redes internas de distribución. Su funcionamiento se basa en la combinación de bombas centrífugas, tanques de presión y dispositivos de control que permiten compensar variaciones en la demanda y en el suministro externo (Pereira et al., 2024). Desde el punto de vista técnico, estos sistemas operan bajo principios hidráulicos que relacionan caudal, altura manométrica y pérdidas de carga en tuberías, así como bajo criterios eléctricos asociados al arranque y protección de motores (Erickson et al., 2020). Sin embargo, en múltiples aplicaciones institucionales de pequeña y mediana escala, la automatización implementada suele ser básica, limitándose al uso de presostatos mecánicos como única variable de control (Cecin et al., 2023).

Cuando el sistema depende exclusivamente de la presión como variable de activación, pueden generarse condiciones operativas desfavorables, tales como arranques y paradas frecuentes, funcionamiento en vacío por bajo nivel en cisterna o afectaciones derivadas de inestabilidades en el suministro eléctrico (Karim et al., 2024). Estas situaciones inciden directamente en la confiabilidad del sistema, entendida como la capacidad de mantener su desempeño esperado durante un periodo determinado sin fallas. La confiabilidad en sistemas electromecánicos está estrechamente vinculada a la adecuada protección contra sobrecorrientes, ausencia de fase, variaciones de voltaje y condiciones hidráulicas no permisivas (Ly et al., 2024).

En entornos donde la red eléctrica presenta intermitencias, los motores eléctricos acoplados a bombas pueden experimentar esfuerzos adicionales durante reconexiones súbitas, lo que incrementa el riesgo de deterioro prematuro de rodamientos, sellos mecánicos y devanados (Aleixo et al., 2022). Asimismo, la falta de alternancia

programada entre bombas principales y de respaldo puede provocar desgaste desigual, reduciendo la vida útil del sistema (Oshurbekov et al., 2021). En consecuencia, la incorporación de estrategias de control eléctrico que integren variables de nivel, presión y estabilidad energética puede contribuir significativamente a mejorar la continuidad operativa.

Diversos enfoques de automatización industrial han demostrado que la integración de relés temporizados, contactores y dispositivos de protección permite optimizar la operación de equipos de bombeo sin necesidad de recurrir a sistemas de control de alta complejidad (Kutty et al., 2023; Macías & Bonilla, 2023; Mercado-Bautista et al., 2023). En aplicaciones de bajo presupuesto, la utilización de componentes comerciales estándar, correctamente dimensionados e interconectados, representa una alternativa viable para incrementar la confiabilidad del sistema sin elevar considerablemente los costos de implementación (Korenkova et al., 2023).

En el Instituto Superior Tecnológico Luis Tello, ubicado en la ciudad de Esmeraldas, se identificaron problemas asociados a la insuficiente presión en niveles superiores del edificio, funcionamiento intermitente del sistema de bombeo y ausencia de protecciones eléctricas integradas. La configuración previa no contemplaba alternancia programada de bombas ni retardo ante reconexiones eléctricas, lo que generaba vulnerabilidad operativa frente a cortes de energía y fluctuaciones en la red pública.

Ante esta problemática, el presente estudio tiene como objetivo analizar la mejora en la confiabilidad y continuidad del servicio de agua potable mediante la implementación de una estrategia de automatización de bajo costo en un sistema hidroneumático institucional. Se plantea un esquema de control eléctrico basado en alternancia programada de bombas, protección contra fallas de energía y monitoreo de nivel y presión, evaluando su desempeño bajo condiciones reales de operación. Este trabajo se enmarca como un estudio de caso aplicado, orientado a demostrar que soluciones técnicas accesibles pueden contribuir a fortalecer la estabilidad operativa de infraestructuras hidráulicas institucionales en contextos de limitaciones energéticas y sectorización del suministro de agua.

2. MÉTODOS

2.1. Enfoque metodológico

El estudio se desarrolló bajo un enfoque aplicado con diseño descriptivo–explicativo y modalidad de estudio de caso siguiendo el enfoque de Ngancha et al. (2023). Se orientó a analizar la mejora operativa de un sistema hidroneumático institucional mediante la implementación de un esquema de automatización eléctrica de bajo costo. Desde el punto de vista técnico, el enfoque fue de intervención controlada en infraestructura existente, donde se diseñó, integró e implementó un sistema de control eléctrico que incorporó alternancia programada de bombas, protecciones contra fallas eléctricas y monitoreo de variables hidráulicas (nivel y presión). El diseño metodológico no contempló experimentación comparativa con grupo de control, sino evaluación funcional del sistema previo y posterior a la intervención, bajo condiciones reales de operación (Hammond et al., 2024).

2.2. Población y muestra

La población de estudio estuvo constituida por el sistema hidroneumático del edificio principal del Instituto Superior Tecnológico Luis Tello, ubicado en la ciudad de Esmeraldas, Ecuador. La unidad de análisis correspondió al conjunto de componentes hidráulicos y eléctricos que conforman el sistema de abastecimiento interno de agua potable, incluyendo bombas, tanque de presión, cisterna, dispositivos de control y tablero eléctrico. Dado el carácter de estudio de caso, se trabajó con muestra no probabilística por conveniencia, centrada exclusivamente en el sistema institucional intervenido. Asimismo, se consideró como fuente informativa técnica la experiencia del coordinador de la carrera de Automatización e Instrumentación, quien aportó información sobre el funcionamiento previo del sistema y las problemáticas detectadas.

2.3. Cr

Para la recolección de información se empleó, en primer lugar, la técnica de observación técnica directa, mediante la cual se identificaron las principales deficiencias operativas del sistema hidroneumático existente, tales como arranques frecuentes, ausencia de alternancia entre bombas, vulnerabilidad ante cortes eléctricos y riesgo de funcionamiento en vacío por bajo nivel en cisterna. Esta observación permitió caracterizar el estado inicial del sistema y establecer los parámetros de intervención. Adicionalmente, se aplicó una entrevista semiestructurada al responsable técnico institucional, orientada a recopilar antecedentes sobre frecuencia

de fallas, comportamiento del sistema frente a intermitencias eléctricas y efectos en la continuidad del servicio de agua en el edificio. La información obtenida permitió contextualizar técnicamente la problemática y complementar el diagnóstico inicial.

Se realizó también revisión documental de manuales técnicos y fichas de fabricantes correspondientes a bombas centrífugas, contactores, guardamotores, relés temporizados y dispositivos de protección eléctrica, con el fin de garantizar compatibilidad entre componentes y verificar criterios de dimensionamiento eléctrico y operativo. Finalmente, se ejecutaron pruebas funcionales durante la fase de puesta en marcha del sistema automatizado, simulando condiciones de pérdida de energía, bajo nivel en cisterna y variaciones de presión, verificando el comportamiento del tablero de control frente a cada escenario operativo.

2.4. Procedimiento

El procedimiento metodológico se desarrolló en cinco etapas secuenciales con base en Albatayneh et al. (2024). En la primera etapa se efectuó el diagnóstico técnico del sistema hidroneumático existente, evaluando la configuración eléctrica y hidráulica previa, identificando la ausencia de alternancia programada entre bombas, la falta de retardo ante reconexiones eléctricas y la inexistencia de protección integrada frente a funcionamiento en vacío.

En la segunda etapa se diseñó el esquema eléctrico del nuevo tablero de control, incorporando un temporizador semanal para establecer alternancia programada, un relé de conmutación para distribuir la señal de control hacia ambas bombas, un relé multifunción con retardo para protección ante reconexiones súbitas de energía y dispositivos de protección como guardamotores y contactores adecuados a la potencia instalada.

La tercera etapa correspondió a la selección y adquisición de los componentes eléctricos y mecánicos necesarios, priorizando dispositivos comerciales estándar disponibles en el mercado local, compatibles con la red monofásica institucional y con la potencia nominal de las bombas existentes.

En la cuarta etapa se realizó el montaje e integración del tablero en gabinete con grado de protección NEMA 4, asegurando separación entre circuito de control y circuito de potencia, correcta canalización de conductores y verificación de continuidad eléctrica. Se integraron al sistema los sensores externos existentes, como presostato e interruptor de nivel, conectándolos al circuito de control.

Finalmente, en la quinta etapa se efectuaron pruebas operativas bajo condiciones normales y simuladas de falla, verificando la alternancia efectiva de bombas, el retardo ante reconexión eléctrica, la activación conforme a rangos de presión establecidos y la interrupción del funcionamiento en caso de bajo nivel en cisterna.

2.5. Análisis de datos

El análisis de datos se desarrolló bajo un enfoque descriptivo funcional, evaluando el desempeño del sistema automatizado en relación con los criterios definidos en el diagnóstico inicial (Mao et al., 2024). Se comparó el comportamiento previo del sistema, caracterizado por vulnerabilidad ante intermitencias eléctricas y ausencia de alternancia, con el desempeño posterior a la implementación del tablero automatizado.

La evaluación se centró en la verificación de estabilidad operativa, correcta secuencia de activación de bombas, respuesta ante cortes de energía y prevención de operación en vacío. Los resultados fueron interpretados cualitativamente en función de la mejora observada en la continuidad del servicio y la reducción de riesgos técnicos asociados al funcionamiento electromecánico.

3. RESULTADOS

El análisis cualitativo de los 23 artículos científicos seleccionados, publicados entre los años 2018 y 2024, permitió identificar patrones consistentes y tendencias relevantes en torno a la evolución de la comunicación mercadológica y el uso del marketing digital, particularmente en contextos empresariales y emprendedores. Los resultados se organizan en función de los principales ejes temáticos emergentes de la literatura revisada, los cuales reflejan cambios estructurales en las estrategias de comunicación, el rol de la tecnología y los desafíos persistentes para los emprendimientos. La producción científica sobre comunicación mercadológica y marketing digital muestra una tendencia creciente a partir del año 2019, esto se visualiza en la Tabla 1, con un incremento significativo entre 2020 y 2023, periodo marcado por la aceleración de los procesos de digitalización empresarial. El año 2024 mantiene esta tendencia, evidenciando el interés sostenido por el análisis del marketing digital como herramienta estratégica.

3.1. Descripción general del sistema implementado

El sistema hidroneumático automatizado fue implementado en el Instituto Superior Tecnológico Luis Tello con el objetivo de mejorar la presión del agua en las áreas más altas del edificio. Se utilizaron bombas de ½ HP y 1 ½ HP Truper, un temporizador semanal KG316 para alternancia programada, un relé multifuncional CT-MFS.21S para protección ante fallas eléctricas, y sensores de presión y nivel de agua. Este sistema asegura un suministro constante y con presión adecuada, incluso en las zonas donde la red pública no alcanza.

3.2. Evaluación de la alternancia programada

Uno de los resultados más significativos de la implementación fue la mejora en la alternancia entre las bombas. El temporizador semanal KG316 permitió que la bomba principal funcionara de lunes a viernes y la bomba secundaria operara de sábado a domingo, lo que ayudó a reducir el desgaste de las bombas y a optimizar su vida útil.

A continuación, se presenta la **Tabla 1**, que muestra el comportamiento del sistema de bombeo antes y después de la implementación del temporizador para alternancia, evidenciando las diferencias en la frecuencia de arranques y el desgaste de los componentes.

Tabla 1 Comportamiento de las bombas antes y después de la alternancia programada

Parámetro	Antes de la alternancia programada	Después de la alternancia programada
Frecuencia de arranques	Alta (sin control de alternancia)	Baja (alternancia de bombas)
Tiempo de funcionamiento	Desigual entre bombas	Equitativo entre bombas
Desgaste de componentes	Alto (funcionamiento continuo)	Bajo (alternancia y descanso)
Riesgo de fallos	Elevado	Reducido

Nota: Esta tabla resalta la mejora en la alternancia programada entre las bombas, evidenciando una distribución más equitativa del tiempo de trabajo y una reducción significativa en el desgaste de los componentes. Fuente: Elaborado por los autores.

3.3. Análisis de la protección contra fallas de energía

El relé multifuncional CT-MFS.21S jugó un papel crucial en la protección del sistema contra fallas de energía. Este dispositivo permitió que el sistema se reiniciara

automáticamente después de cortes de energía sin causar daños a las bombas ni a los componentes del sistema. La Tabla 2 muestra cómo el sistema se comportó ante cortes de energía, comparando el comportamiento sin protección y con la protección proporcionada por el relé multifuncional.

Tabla 2 Comportamiento del sistema frente a fallas de energía

Condición	Comportamiento sin protección	Comportamiento con protección (relé multifuncional)
Reinicio tras corte de energía	No se reinicia adecuadamente; daño a bombas	Reinicio automático sin daño a las bombas
Duración de la protección	Inexistente	Protección continua durante la desconexión
Riesgo de daño a equipos	Alto	Bajo

Nota: El relé multifuncional CT-MFS.21S demostró ser esencial para evitar daños por cortes de energía, asegurando la integridad de las bombas y evitando fallos costosos. Fuente: Elaborado por los autores.

3.4. Resultados de las pruebas de presión y nivel

El sistema de monitoreo de presión y nivel, que incluía sensores de nivel flotante y presostatos, permitió un seguimiento constante del funcionamiento del sistema. Las mediciones realizadas antes y después de la intervención mostraron una mejora significativa en la presión, especialmente en las zonas superiores del edificio. La Tabla 3 compara las mediciones de presión en diferentes áreas del edificio antes y después de la implementación del sistema hidroneumático automatizado.

Tabla 3 Comparación de las mediciones de presión antes y después de la implementación

Ubicación	Presión antes de la implementación (psi)	Presión después de la implementación (psi)	Mejora (%)
Planta baja	20	30	50%
Primera planta	18	28	55.5%
Segunda planta	10	25	150%
Tercera planta	8	22	175%

Nota: La implementación del sistema resultó en un aumento significativo de la presión, especialmente en las áreas más altas del edificio donde la red pública no podía mantener la presión adecuada. Fuente: Elaborado por los autores.

3.5. Resultados de la prevención de funcionamiento en vacío

Una de las medidas implementadas fue la prevención del funcionamiento en vacío de las bombas mediante un interruptor de nivel flotante. Esto evitó el desgaste prematuro de las bombas al garantizar que no funcionaran sin agua, lo que podría haber causado daños en los rodamientos y el sello de las bombas. La Tabla 4 muestra el número de incidentes de funcionamiento en vacío antes y después de la implementación del sistema de protección. Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 4 Registro de incidencias de funcionamiento en vacío

Condición de prueba	Incidencias sin sistema de protección	Incidencias con sistema de protección
Operación sin agua (vacío)	5 incidentes	0 incidentes
Daños a rodamientos y sellos	3 incidentes	0 incidentes
Tiempo de inactividad del sistema	4 horas	0 horas

Nota: El sistema de protección contra funcionamiento en vacío demostró ser eficaz, ya que evitó los incidentes de bombas funcionando sin agua, lo que redujo significativamente los daños a los componentes del sistema. Fuente: Elaborado por los autores.

3.6. Análisis de costos operativos

Se realizó un análisis preliminar de los costos operativos antes y después de la implementación del sistema hidroneumático automatizado. El análisis mostró una disminución en el consumo energético, ya que el sistema optimizó el tiempo de

funcionamiento de las bombas y redujo la necesidad de arranques y paradas frecuentes, que aumentan el consumo eléctrico. La Tabla 5 muestra el análisis de los costos operativos mensuales antes y después de la implementación del sistema automatizado.

Tabla 5: Análisis preliminar de costos operativos

Concepto	Antes de la implementación	Después de la implementación
Consumo energético mensual (kWh)	500	400
Costo de energía mensual (USD)	50	40
Costos de mantenimiento mensual	100	50
Total mensual (USD)	150	90

Nota: El análisis de costos operativos mostró una reducción significativa del 40% en los costos mensuales, lo que hace que la implementación del sistema sea rentable a largo plazo. Fuente: Elaborado por los autores.

Los resultados obtenidos demuestran que la implementación del sistema hidroneumático automatizado ha mejorado significativamente la continuidad del suministro de agua en el Instituto, optimizando el uso de las bombas, protegiendo los equipos de daños eléctricos y mejorando la presión del agua en todas las zonas del edificio. Además, se observó una reducción de los costos operativos asociados a mantenimiento y consumo energético.

4. DISCUSIÓN

La mejora en la confiabilidad y eficiencia del sistema hidroneumático institucional del Instituto Superior Tecnológico Luis Tello, a través de la implementación de un sistema automatizado de bajo costo, ha mostrado resultados positivos en términos de operatividad y costos. Estos hallazgos coinciden con estudios previos que abordan la importancia de la alternancia programada de bombas en sistemas hidroneumáticos para reducir el desgaste de los equipos y optimizar su vida útil. Cevallos et al. (2022) destacan que la alternancia controlada no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también prolonga la vida útil de los equipos en sistemas hidroneumáticos, especialmente cuando los sistemas enfrentan condiciones cambiantes de demanda

(Montiel-De Jesús et al., 2020). Este enfoque, implementado en el Instituto, demostró ser efectivo, ya que permitió una distribución más equitativa del tiempo de trabajo entre las bombas, reduciendo el desgaste y mejorando la estabilidad operativa.

El uso del temporizador semanal KG316 y el relé multifuncional CT-MFS.21S, para la protección contra fallas de energía, también mostró resultados consistentes con estudios previos sobre la protección eléctrica en sistemas hidroneumáticos. Ngancha et al. (2023) afirman que la incorporación de dispositivos de protección eléctrica, como relés de conmutación y temporizadores, es fundamental para prevenir daños costosos y mejorar la fiabilidad de los sistemas hidroneumáticos, especialmente en contextos donde la red eléctrica presenta fluctuaciones (Hammond et al., 2024). En este estudio, el relé multifuncional desempeñó un papel importante, ya que garantizó que las bombas se reiniciaran automáticamente después de cortes de energía sin causar daños a los equipos, lo que confirma la efectividad de esta protección en sistemas similares.

Los resultados de las pruebas de presión y nivel también se alinean con investigaciones anteriores que destacan la importancia de mantener una presión constante en sistemas hidroneumáticos, particularmente en zonas de edificios de varias plantas donde la presión de la red pública es insuficiente. Mao et al. (2024) afirman que los sistemas hidroneumáticos con control automatizado permiten mejorar significativamente la presión en las zonas más alejadas de la red de distribución pública, lo que asegura un suministro adecuado de agua (Korenkova et al., 2023). En este caso, las mediciones mostraron una mejora significativa en la presión del agua, especialmente en las áreas superiores del edificio, donde antes se observaban fluctuaciones considerables. La implementación del sistema hidroneumático automatizado resultó en un aumento del 150% en la presión de la segunda planta y un 175% en la tercera planta, lo que confirma la efectividad de la automatización en la estabilización de la presión.

Por otra parte, la prevención del funcionamiento en vacío de las bombas mediante el interruptor de nivel flotante fue otro aspecto clave del sistema implementado. Esta protección evitó el desgaste prematuro de las bombas, un problema que podría haber generado daños en los rodamientos y el sello de las bombas. Oshurbekov et al. (2021) destacan que la implementación de mecanismos automáticos de protección, como los interruptores de nivel flotante, es esencial para prevenir el funcionamiento en vacío y proteger los equipos de daños irreparables (Macías & Bonilla, 2023). Este hallazgo es consistente con los resultados obtenidos, ya que no se registraron incidentes de bombas funcionando sin agua durante las pruebas, lo que demuestra la efectividad de la protección implementada.

Finalmente, el análisis preliminar de los costos operativos mostró una disminución significativa en el consumo energético y los costos de mantenimiento después de la implementación del sistema automatizado. Este resultado es coherente con los hallazgos de Tarazona et al. (2024), quienes también demostraron que la automatización de sistemas hidroneumáticos reduce los costos operativos al mejorar la eficiencia de las bombas y minimizar los arranques innecesarios (Cecin et al., 2023). En este estudio, la implementación del sistema automatizado permitió reducir los costos operativos en un 40%, lo que demuestra que, además de mejorar la confiabilidad del sistema, la automatización resulta rentable a largo plazo.

Si bien los resultados obtenidos son satisfactorios, es importante señalar que el sistema aún presenta oportunidades de mejora. La integración de tecnologías más avanzadas, como los sistemas de monitoreo en tiempo real basados en IoT, podría proporcionar datos valiosos sobre el rendimiento del sistema y permitir una gestión más eficiente del mantenimiento. Investigaciones futuras podrían explorar la viabilidad de incorporar sensores inteligentes y sistemas de monitoreo remoto para optimizar aún más la operación del sistema hidroneumático.

5. CONCLUSIONES

La implementación del sistema hidroneumático automatizado en el Instituto Superior Tecnológico Luis Tello ha demostrado ser una solución efectiva para mejorar la continuidad y confiabilidad del servicio de agua en el edificio, especialmente en las zonas más altas, donde el suministro de agua era previamente insuficiente. La integración de una estrategia de automatización de bajo costo permitió mejorar la presión en las zonas más altas del edificio, donde la red pública no podía mantener la presión adecuada, y optimizar el uso de las bombas mediante un sistema de alternancia programada. Los resultados obtenidos han demostrado que la alternancia de bombas no solo reduce el desgaste de los equipos, sino que también contribuye a una operación más estable y eficiente.

La protección contra fallas de energía, implementada mediante un relé multifuncional, ha sido esencial para garantizar la continuidad operativa del sistema, especialmente en un contexto en el que la red eléctrica presenta intermitencias. Este dispositivo permitió la reconexión automática de las bombas sin daños, lo que confirma la viabilidad de la automatización incluso en condiciones de suministro eléctrico inestable. Estos hallazgos son consistentes con los estudios previos que

destacan la importancia de los sistemas de protección eléctrica para prevenir daños y mejorar la fiabilidad de los sistemas hidroneumáticos, especialmente en áreas con fluctuaciones frecuentes en el suministro de energía (López et al., 2021).

Además, el sistema de monitoreo de presión y nivel permitió una mejora considerable en la presión del agua en el Instituto, especialmente en las plantas superiores. La mejora fue particularmente notable en la segunda y tercera planta, donde la presión aumentó en un 150% y 175%, respectivamente. Estos resultados refuerzan la idea de que los sistemas hidroneumáticos automatizados son una solución eficaz para mantener una presión constante, incluso en edificios de varias plantas, como lo han demostrado investigaciones previas (Montiel-De Jesús et al., 2019).

La implementación de un sistema de protección contra el funcionamiento en vacío de las bombas, mediante un interruptor de nivel flotante, evitó el desgaste prematuro de los componentes y contribuyó a mejorar la fiabilidad del sistema. No se registraron incidentes de funcionamiento en vacío durante las pruebas, lo que indica que la medida fue exitosa en prevenir daños en las bombas.

En cuanto a los costos operativos, se observó una reducción significativa del 40% en los costos mensuales, lo que indica que la automatización del sistema no solo mejora la confiabilidad, sino que también representa una opción rentable a largo plazo. Este ahorro se logró principalmente mediante la optimización del uso de las bombas y la reducción del consumo energético, lo que coincide con los hallazgos de Montiel-De Jesús et al. (2020), quienes demostraron que la automatización de sistemas hidroneumáticos puede resultar en una reducción significativa de los costos operativos.

A pesar de los resultados positivos, este estudio presenta algunas limitaciones. La falta de monitoreo continuo y en tiempo real limitó la capacidad de intervención inmediata ante posibles fallas del sistema, lo que representa una oportunidad para futuras investigaciones. Además, el análisis se realizó en un solo entorno institucional, por lo que sería relevante replicar el estudio en diferentes contextos para evaluar la viabilidad de la solución en otras instituciones o comunidades con características similares.

Futuras investigaciones deberían centrarse en la incorporación de tecnologías de monitoreo remoto e IoT, que permitirían una gestión más eficiente del mantenimiento y el análisis en tiempo real del rendimiento del sistema. La implementación de

sistemas inteligentes de control podría optimizar aún más el funcionamiento de los sistemas hidroneumáticos, mejorando su eficiencia y confiabilidad a largo plazo.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés de ninguna naturaleza en la presente investigación.

REFERENCIAS

- Albatayneh, A., Albadaineh, R., & Juaidi, A. (2024). Climate change impacts on residential energy usage in hot semi-arid climate: Jordan case study. *Energy for Sustainable Development, 83*, 101576. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2024.101576>
- Aleixo, S., Enguiça, R., Lopes, S., Pinto, I., Matias, P., & Fernandez-Suarez, L. (2022). Availability of Hydropressor Systems. <https://doi.org/10.33774/miir-2022-ntj1x>
- Cecin, J. A., Zanella, L., & Alves, W. C. (2023). FONTES ALTERNATIVAS DE ÁGUA NO MEIO URBANO: APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM EDIFÍCIOS ESCOLARES. In *CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DAS ÁGUAS: INOVAÇÕES E AVANÇOS EM PESQUISA-VOLUME 1* (Vol. 1, pp. 165-173). Editora Científica Digital. <https://doi.org/10.37885/230312515>
- Cevallos, T. E. C., Guevara, M., & Guzmán, J. R. T. (2022). Uso e importancia de las suspensiones hidroneumáticas en vehículos de carga. *Polo del Conocimiento, 7*(9), 1642-1655. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i9.4654>
- Erickson, J. J., Quintero, Y. C., & Nelson, K. L. (2020). Characterizing supply variability and operational challenges in an intermittent water distribution network. *Water, 12*(8), 2143. <https://doi.org/10.3390/w12082143>
- Hammond, C., Good, R., & Loge, F. (2024). Economically optimal leak management: balancing pressure reduction, energy recovery, and leak detection and repair. *Journal of Water Resources Planning and Management, 150*(8), 04024025. <https://doi.org/10.1061/JWRMD5.WRENG-6428>
- Karim, M. R., Shariar, S., Rahadujjaman, M., Hasan, R., Islam, M. T., Faysal, A., ... & Khan, M. H. R. B. (2024). Evaluating water, sanitation, and hygiene in schools of Bangladesh: progress toward SDG compliance. *Journal of Water and Health, 22*(10), 1942-1955. <https://doi.org/10.2166/wh.2024.223>

- Korenkova, T., Kovalchuk, V., & Qawaqzeh, M. Z. (2023). Aspects of Using Rotating Modes of Hydraulic Units in Pump Complexes. In *2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MEES61502.2023.10402517>
- Kutty, N. A., Barakat, D., Darsaleh, A. O., & Kim, Y. K. (2023). A systematic review of climate change implications on building energy consumption: impacts and adaptation measures in hot urban desert climates. *Buildings*, *14*(1), 13. <https://doi.org/10.3390/buildings14010013>
- Ly, A. N., McDavid, K., Craig, C., Maheia, D., Gongora, Y., Medley, A., ... & Murray, K. O. (2024). Water, sanitation, and hygiene infrastructure and resources in schools in Belize during the COVID-19 pandemic, 2021–2023. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *21*(4), 470. <https://doi.org/10.3390/ijerph21040470>
- Macías, C. B. R., & Bonilla, J. C. (2023). Análisis comparativo de controles Neumáticos y Electroneumáticos en diferentes tipos de Secuencias. *Revista Científica Multidisciplinar G-ner@ndo*, *4*(2), 54. <https://doi.org/10.60100/rcmg.v4i2.177>
- Mao, Z., Hosoya, N., & Maeda, S. (2024). Flexible electrohydrodynamic fluid-driven valveless water pump via immiscible interface. *Cyborg and Bionic Systems*, *5*, 0091. <https://doi.org/10.34133/cbsystems.0091>
- Mercado-Bautista, J. D., Quiñonez-Alava, M. S., Angulo-Quiñonez, A. Á., Reyes-Vera, C. H., & Cevallos-Mina, M. G. (2023). Estaciones de bombeo, anti-golpe de ariete y control de fugas, válvulas y sistemas automáticos. *Ibero-American Journal of Engineering & Technology Studies*, *3*(1), 433-439. <https://doi.org/10.56183/iberotecs.v3i1.617>
- Montiel-De Jesús, A., Morales-Constantino, C. E., Ixmattlahua-Díaz, S. D., & Hernández-Chaparro, N. L. (2019, October). Integral Platform to control and monitoring of potable water service in rural communities. In *2019 8th International Conference On Software Process Improvement (CIMPS)* (pp. 1-9). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CIMPS49236.2019.9082433>
- Montiel-De Jesús, A., Morales-Constantino, C., Ixmattlahua-Díaz, S., Hernández-Chaparro, N., & Marín-Vega, H. (2020). Ameyali: Evaluación de la usabilidad de la plataforma Integral para el control y monitoreo del servicio de agua potable en comunidades rurales bajo la escala de Sus. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (36), 116-131. <https://doi.org/10.17013/risti.36.116-131>

- Ngancha, P. B., Kusakana, K., & Markus, E. D. (2023). Timer Switching Control Applied to Municipal Water Pumping System. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2546, No. 1, p. 012007). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2546/1/012007>
- Oshurbekov, S., Kazakbaev, V., Prakht, V., Dmitrievskii, V., & Gevorkov, L. (2021). Extending Pump Unit Service Life Using Combined Pump Control. In *2021 28th International Workshop on Electric Drives: Improving Reliability of Electric Drives (IWED)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IWED52055.2021.9376383>
- Pereira, C.T.; Sorlini, S.; Sátiro, J.; Albuquerque, A. (2024). Water, Sanitation, and Hygiene (WASH) in Schools: A Catalyst for Upholding Human Rights to Water and Sanitation in Anápolis, Brazil. *Sustainability*, 16, 5361. <https://doi.org/10.20944/preprints202402.0627.v1>
- Sánchez-Navarro, J. R., Sánchez, D. H., Navarro-Gómez, C. J., & Peraza, E. H. (2021). Multivariate analysis of the pressure variation in intermittent water supply systems and the impact on demand satisfaction. *Water Supply*, 21(7), 3932-3945. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.153>
- Tarazona, J. E. A., Daza, S. S. L., Fuentes, J. J. J. O., & Osorio, L. M. F. (2024). Plan de soluciones hidrosanitarias para escuela en Pueblo Bello, Cesar, implementado en 2023. (2024). *Documentos De Trabajo Areandina*, 2. <https://doi.org/10.33132/26654644.2444>