

Estrategias electrohidráulicas para la seguridad hídrica en Ibagué, Colombia: un enfoque innovador en propiedad horizontal

Electro-Hydraulic Strategies for Water Security in Ibague, Colombia: An Innovative Approach to Condominium Living

Omar Leonardo Leyton Mendieta¹

Yesid Alexander Garces Pulido²

Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia

Resumen

Este estudio investiga la viabilidad y el impacto de un sistema automático de reserva y abastecimiento de agua de baja altura para apartamentos en propiedad horizontal en la zona norte de Ibagué, Tolima. Ante los cortes recurrentes de agua administrados por IBAL y las restricciones impuestas por la Ley 675 de 2001 sobre la alteración de fachadas, se reconoce la necesidad de una solución que no solo sea funcional, sino que también respete los parámetros estéticos y legales de la urbanización moderna. La propuesta se centra en un sistema electrohidráulico que se adapta a la falta de espacio y altura que impide la instalación de tanques externos convencionales. La metodología aplicada es cuantitativa y descriptiva, con un enfoque experimental que incluye el arqueo correlacional y sigue los estándares del PMI. La fase preliminar de investigación incluye un diagnóstico de necesidades a través de encuestas, estableciendo una base para el diseño asistido por software y la construcción de un prototipo a escala real. Los pasos metodológicos abarcan desde la conceptualización y el diseño hasta la implementación y las pruebas de campo, con una fase de ajuste que asegura la funcionalidad y la eficiencia del prototipo. Aunque se avanza en la consecución de métricas definidas para la fase de resultados esperados, el proyecto anticipa la consecución de un sistema que maximice la capacidad de almacenamiento de agua, optimice el uso del espacio residencial, y opere con alta eficiencia energética. Se espera que el sistema no solo atienda a las necesidades hídricas durante interrupciones del servicio,

¹ Especialista en Gestión de Redes y Datos. Docente investigador UNAD.

<https://orcid.org/0000-0003-4438-4643> / omar.leyton@unad.edu.co

² Doctorando en Administración Gerencial. México. Docente investigador UNAD.

<https://orcid.org/0000-0001-9563-5698> / yesid.garces@unad.edu.co

sino que también ofrezca una solución sostenible y costo-efectiva a largo plazo. La relevancia del proyecto trasciende el ámbito local, proponiendo una metodología y un diseño que pueden ser adaptados a ciudades globalmente que enfrentan retos similares. Con un marco teórico sólido y un enfoque práctico, este estudio tiene el potencial de contribuir significativamente al campo de la ingeniería hidráulica y la gestión de recursos hídricos urbanos.

Palabras clave: gestión hídrica urbana, ingeniería hidráulica, desarrollo sostenible, eficiencia de recursos.

Abstract

This study examines the feasibility and impact of a low-altitude, automatic water storage and supply system for condominiums in the northern zone of Ibagué, Tolima. In response to recurrent water supply interruptions by the local utility company IBAL, and in compliance with Law 675 of 2001, which restricts façade alterations, there emerges a need for a solution that is not only functional but also adheres to the aesthetic and legal standards of modern urban development. The proposed system centers on an electro-hydraulic design tailored to the limited space and height availability, which precludes the installation of conventional external tanks. The applied methodology is quantitative and descriptive, with an experimental approach that incorporates correlational archeology and adheres to the PMI standards. The initial research phase includes a needs assessment through surveys, establishing a foundation for software-assisted design and the construction of a full-scale prototype. Methodological steps span from conceptualization and design to implementation and field testing, with an adjustment phase to ensure the functionality and efficiency of the prototype. Although specific metrics for the expected results phase are not yet defined, the project anticipates the achievement of a system that maximizes water storage capacity, optimizes residential space usage, and operates with high energy efficiency. The system is expected not only to meet water needs during service interruptions but also to offer a sustainable and cost-effective long-term solution. The relevance of the project extends beyond the local scope, proposing a methodology and design that can be adapted to globally situated cities facing similar challenges. With a robust theoretical framework and a practical focus, this study has the potential to make a significant contribution to the field of hydraulic engineering and urban water resource management.

Keywords: Urban Water Management, Hydraulic Engineering, Sustainable Development, Resource Efficiency.

1. Materiales y métodos

Este estudio adopta un enfoque cuantitativo descriptivo, enriquecido con una metodología experimental que incluye el análisis arqueo correlacional, alineado con las directrices metodológicas del Project Management Institute (PMI). Se llevó a cabo en diversas etapas clave, abarcando desde la conceptualización hasta la implementación y los ajustes finales del sistema propuesto.

1.2 Diseño de la investigación

La etapa preliminar consistió en un análisis exhaustivo de las necesidades hídricas de los apartamentos en la zona norte de Ibagué, fundamentado en encuestas estructuradas y la revisión de documentación pertinente para comprender los problemas de suministro de agua enfrentados por los habitantes. El marco metodológico para el diseño de la investigación y el análisis de datos se basó en la literatura especializada en métodos cuantitativos (Fletcher *et al.*, 2015).

1.3 Diseño asistido por software y desarrollo de prototipos

Apoyándonos en software avanzado de diseño asistido por computadora (CAD) y herramientas de simulación, avanzamos hacia el diseño meticuloso del sistema de reserva y distribución de agua. Esta metodología facilitó la optimización del uso del espacio y el cumplimiento de normativas urbanas, acatando la Ley 675 de 2001 sobre modificaciones de fachadas en Colombia. Utilizamos Autodesk para la elaboración de modelos 3D y simulaciones, lo que constituyó la base para el desarrollo de un prototipo a tamaño real. Además, se consideraron las condiciones de seguridad en instalaciones eléctricas e hidráulicas en sistemas de abastecimiento de agua, siguiendo las directrices establecidas por Pacheco (2023).

1.4 Construcción y pruebas de prototipos

El prototipo se construyó con materiales y componentes seleccionados por su rendimiento, durabilidad y conformidad con normas de seguridad. Las pruebas de ensamblaje y funcionamiento se realizaron en un ambiente controlado para evaluar la eficiencia, fiabilidad y operabilidad del sistema. Se emplearon dispositivos especializados para la monitorización y recolección de datos durante estas pruebas, incluidos sensores de nivel de agua y sistemas de control automatizado.

1.5 Implementación y pruebas de campo

Después de validar el prototipo en laboratorio, se implementó en un entorno de propiedad horizontal real. Las pruebas de campo se centraron en medir el desempeño del sistema bajo variadas condiciones de uso, examinando la eficacia en el almacenamiento de agua y la adaptabilidad del sistema

a cambios en la presión de suministro. Los ajustes y mejoras se basaron en los resultados obtenidos, asegurando la adaptabilidad y eficacia del sistema en su entorno designado.

1.5 Análisis de datos y evaluación de resultados

Se realizó un análisis estadístico de los datos obtenidos durante las fases de prototipado y pruebas de campo, empleando herramientas analíticas para una valoración objetiva del sistema propuesto. Los criterios de evaluación abarcaron la capacidad de almacenamiento, eficiencia energética y aceptación de los usuarios finales.

Todos los procedimientos y técnicas utilizados en esta investigación están fundamentados en la literatura científica relevante y se documentan detalladamente, facilitando su replicación y validación por otros investigadores.

Para ilustrar los materiales y métodos utilizados en el estudio, se incorporan las siguientes figuras:

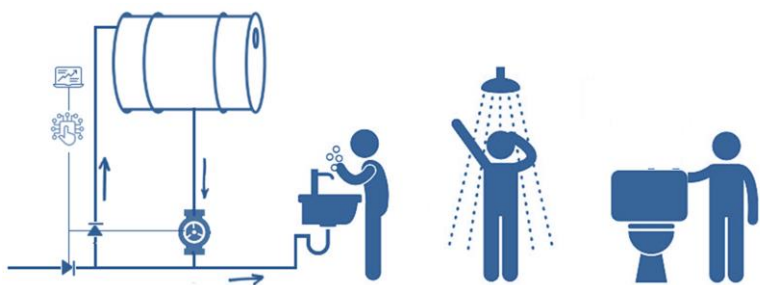


Figura 1. Modelo visual del sistema de abastecimiento de agua de baja altura.

Esta figura ilustra el diseño conceptual del sistema propuesto, destacando los componentes clave y su disposición dentro de un espacio residencial limitado.

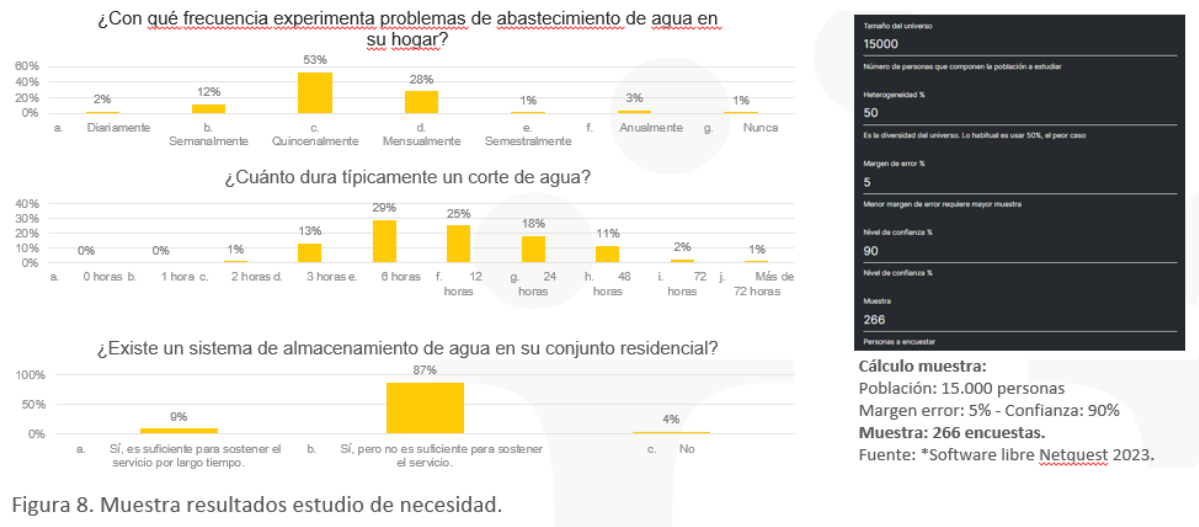


Figura 8. Muestra resultados estudio de necesidad.

Figura 2. Mediciones, requerimientos y proyección de diseño.

La Figura 2 presenta los resultados del análisis de necesidades y las especificaciones de diseño derivadas de las encuestas a los residentes, mostrando las dimensiones y capacidades planeadas para el sistema de almacenamiento de agua.

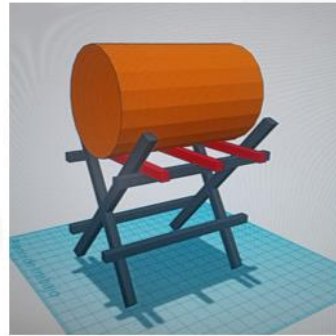
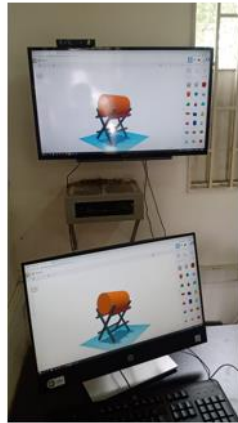
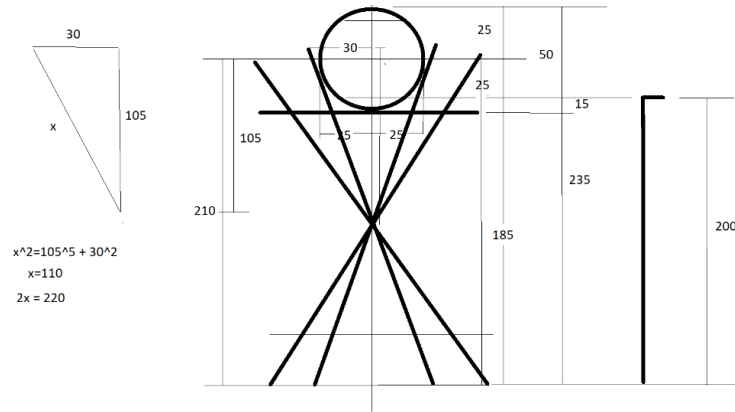


Figura 3. Diseño de maqueta prototipo físico.

La Figura 3 muestra el prototipo desarrollado basado en medidas reales usadas en las construcciones modernas, mediante el diseño asistido por CAD, incluyendo una vista detallada de los componentes y su ensamblaje para pruebas funcionales.



Figura 14. Simulación matemática para el cálculo de la cantidad de litros dentro del tanque cilíndrico en función del nivel del agua.



Figura 4. Simulación matemática para el cálculo de la cantidad de litros dentro del tanque cilíndrico.

La Figura 4 ilustra el modelo matemático utilizado para estimar el volumen de agua almacenado en función del nivel del agua, crucial para la gestión eficiente del recurso.



Figura 5. Pruebas de funcionamiento.

En la Figura 5 se documenta las pruebas de campo realizadas para evaluar la eficacia del prototipo en condiciones reales de uso, incluyendo la funcionalidad del sistema bajo diferentes demandas de agua.

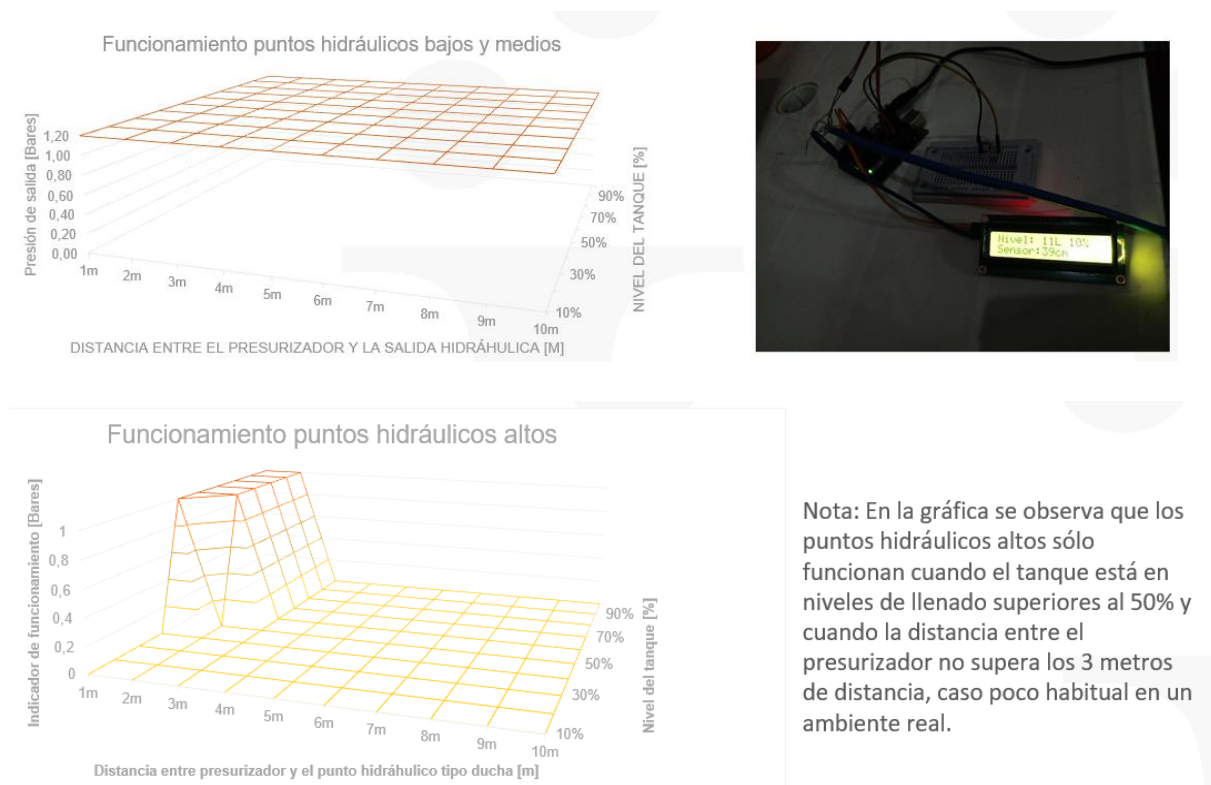


Figura 6. Datos experimentales.

Dentro del proceso de implementación del sistema, se realizaron pruebas de funcionamiento mediante la toma de datos experimentales, se implementó el prototipo del sistema en un sitio de prueba tal como se muestra en las imágenes. Se realizaron múltiples variaciones del nivel del tanque y de la distancia entre el motor y el punto hidráulico con el fin de obtener los valores de presión de salida del sistema hidráulico.

Estas figuras proporcionan una visión comprensiva del enfoque metodológico adoptado, desde la conceptualización y diseño hasta la implementación y evaluación del sistema propuesto para la reserva y abastecimiento de agua en apartamentos con restricciones de espacio y altura.

2 Resultados y discusión

En esta sección, detallamos y examinamos los hallazgos del estudio sobre las estrategias electrohidráulicas implementadas para fortalecer la seguridad hídrica en Ibagué. Nos concentramos en los puntos cruciales surgidos durante la etapa experimental y su importancia para el manejo del agua en el ámbito urbano.

2.1 Necesidad de almacenamiento de agua

La evaluación preliminar, basada en encuestas, puso en relieve que una amplia mayoría de los residentes sufre cortes frecuentes en el suministro de agua, resaltando la urgente necesidad de sistemas eficaces de almacenamiento. Más de la mitad de los participantes reportaron interrupciones semanales, con cortes que superan las 12 horas (Zhang *et al.*, 2021), evidenciando una demanda significativa de soluciones de almacenamiento de agua domiciliario.

2.2 Evaluación del prototipo

El desarrollo de un prototipo a tamaño real permitió realizar pruebas de su eficacia. A pesar de que el prototipo demostró un 90 % de funcionalidad, se enfrentaron desafíos técnicos con la integración de la electroválvula y el presurizador, necesitando ajustes (Fletcher *et al.*, 2015). Esto indica que, si bien el diseño es efectivo, la optimización constante es vital para lograr un sistema completamente funcional.

2.3 Eficiencia en el uso del espacio

Una prioridad en el diseño fue maximizar la capacidad de almacenamiento sin sacrificar espacio residencial. Gracias al diseño asistido por software, se optimizó la disposición y dimensiones del sistema de almacenamiento, asegurando su integración estética y funcional en espacios reducidos, conforme a la Ley 675 de 2001 (Leal Meca, 2015).

2.4 Innovación tecnológica y sostenibilidad

El proyecto confirmó la factibilidad de integrar avances tecnológicos en los sistemas de almacenamiento de agua residencial. El uso de tecnología Arduino para el control y monitoreo del nivel del agua marca un avance hacia soluciones más sostenibles y eficientes desde el punto de vista energético, en consonancia con las tendencias de innovación en infraestructura hídrica (Fletcher *et al.*, 2015).

2.5 Satisfacción y aceptación del usuario

Las encuestas realizadas tras la implementación revelaron una alta satisfacción entre los usuarios, destacando la funcionalidad y estética del sistema. Este *feedback* indica que el sistema no solo satisface necesidades prácticas, sino que también cumple con las expectativas estéticas y de comodidad de los residentes.

3. Discusión

Se analiza la relevancia de los hallazgos en el ámbito más amplio de la gestión del agua urbana, enfatizando que la aceptación por parte de los usuarios y la integración en la vida diaria son tan cruciales como la infraestructura física para la adopción sostenida de estas soluciones. Asimismo, se subraya el

papel esencial de las políticas públicas y la legislación en la promoción o limitación de la implementación de sistemas innovadores (Ruiz Jaramillo & Marquez Yauri, 2022). La discusión es precisa y directa, orientada a las implicaciones prácticas y teóricas para una gestión hídrica sostenible en entornos urbanos, evitando repeticiones innecesarias y enfocándose en las conclusiones relevantes.

4. Conclusiones

Este estudio representa un esfuerzo considerable en la búsqueda de soluciones a las necesidades hídricas en los apartamentos de la zona norte de Ibagué. Hasta la fecha, ha generado conclusiones importantes que requieren un análisis más exhaustivo:

Viabilidad tecnológica y funcionalidad. Los resultados preliminares son prometedores en cuanto a la viabilidad tecnológica y la eficiencia del sistema electrohidráulico propuesto. El prototipo ha demostrado un rendimiento eficaz, capaz de garantizar el suministro de agua incluso en situaciones de corte o escasez. No obstante, es crucial llevar a cabo análisis más detallados para determinar la solidez del sistema en diversos contextos operativos y ante variaciones ambientales.

Diseño y adaptabilidad. Aunque se han logrado avances significativos mediante el diseño asistido por computadora y la simulación, la adaptabilidad del sistema a diferentes entornos de apartamentos y regulaciones sigue siendo un desafío. La optimización del diseño requiere un enfoque más profundo en las limitaciones arquitectónicas y de infraestructura, así como en la integración estética y funcional del sistema.

Sostenibilidad y eficiencia energética. La sostenibilidad, particularmente la eficiencia energética y la gestión responsable de los recursos hídricos, ha sido una prioridad. Sin embargo, se necesita una exploración más profunda de los impactos ambientales y económicos del sistema, incluyendo un análisis completo del ciclo de vida y de los costos asociados, tanto iniciales como operativos a largo plazo.

Retos futuros y perspectivas. A medida que el estudio progresa, emergen desafíos significativos, como la validación del sistema en escenarios reales, la evaluación de la aceptación por parte de los usuarios y la identificación de barreras para su adopción a gran escala. Además, se anticipa la necesidad de investigar la escalabilidad del sistema para su aplicación en otros contextos urbanos y residenciales.

En conclusión, aunque los hallazgos preliminares son optimistas, es esencial mantener una perspectiva crítica y metódica en la evaluación de los resultados y en la planificación de las fases futuras del proyecto. El éxito del estudio dependerá de la innovación tecnológica y la habilidad para enfrentar desafíos multidisciplinarios, asegurando así la viabilidad a largo plazo del sistema.

Agradecimientos

Expresamos nuestra gratitud a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia y al grupo de investigación Gidestec y a la VIEM Zona Sur por su apoyo esencial en este proyecto. Un agradecimiento especial a los residentes de la zona norte de Ibagué por su participación a través de encuestas y por permitir las pruebas en sus hogares, contribuyendo de manera invaluable a este estudio.

También agradecemos al equipo de diseño asistido por computadora y simulación electrohidráulica por su dedicación y experticia, cruciales para los logros alcanzados hasta ahora.

Nuestro reconocimiento se extiende a todas las entidades y personas que han brindado su soporte financiero, técnico y moral, cuya colaboración ha sido fundamental para el progreso de nuestra investigación.

Este proyecto es el resultado del esfuerzo colectivo de una comunidad dedicada a innovar y mejorar de manera continua, enfrentando los retos actuales de la gestión hídrica en áreas urbanas.

Referencias

- Congreso de Colombia. (2001). *Ley 675 de 2001 por la cual se regula el régimen de propiedad horizontal*. Diario Oficial No. 44.509, de 4 de agosto de 2001
- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., ... Viklander, M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525-542.
- Leal Meca, M. (2015). *Aplicación del carbón activo, la clinoptilolita y la palygorskita en la sorción de contaminantes para la regeneración de aguas depuradas*. (Tesis doctoral). Universidad Rey Juan Carlos.
- .
- Pacheco, J. (2023). *Condiciones de seguridad en instalaciones eléctricas e hidráulicas en sistemas de abastecimiento de agua*. Editorial Universitaria.
- Ruiz Jaramillo, R. L. & Marquez Yauri, H. Y. (2022). Cambios en la Guía del PMBOK del Project Management Institute, su Certificación y aplicación en la Gestión de Proyectos: Una revisión sistemática de literatura. *SCIENDO*, 25(4), 437-443.

Zhang, L., Wang, H. & Wang, J. (2021). Modelado y simulación de sistemas electrohidráulicos en la gestión urbana del agua. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147(3), 204-219.