

## DETECCIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

**Autores:** Edward Leonardo Tovar Romero<sup>1</sup> – eltovarr@udistrital.edu.co  
Jorge Alberto Valero Fandiño<sup>2</sup> – javalerof@udistrital.edu.co  
Nelson Obregón Neira<sup>3</sup> – nobregonn@javeriana.edu.co

**Docente asesor:** No aplica

**Semillero K**

### PALABRAS CLAVE

Fugas de agua, sistemas de acueducto, métodos de detección de fugas, redes de distribución, monitoreo.

### INTRODUCCIÓN

Las fugas de agua son un problema frecuente en los sistemas de acueducto y pueden ocurrir en cualquiera de sus componentes, desde la captación hasta la distribución. Este documento analiza los métodos contemporáneos de detección de fugas en redes de distribución, subrayando su importancia para mitigar los impactos económicos, sociales y ambientales asociados. La metodología del estudio incluye la revisión de literatura, la clasificación de la información y la

presentación de métodos de detección de fugas aplicables tanto en campo como en oficina. En términos generales, la detección de fugas ha avanzado significativamente gracias a la incorporación de sensores que captan ondas infrarrojas, sonoras y de presión, etc. así como del uso de metodologías modernas como las redes neuronales y modelos bayesianos. Aunque los métodos de detección de fugas suelen clasificarse en estáticos y dinámicos, en Colombia, los operadores de acueducto han preferido predominantemente los métodos dinámicos. No obstante, para optimizar los limitados recursos humanos, tecnológicos y financieros disponibles, es crucial adoptar un enfoque que integre ambos tipos de métodos. En conclusión, el país aún enfrenta

<sup>1</sup> Ingeniería Sanitaria. Profesor.

<sup>2</sup> Ingeniería Sanitaria. Profesor.

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. Profesor.

desafíos significativos en cuanto a la investigación y desarrollo de tecnologías para la detección de fugas.

## REFLEXIÓN

Una red de distribución de agua potable consiste en un conjunto de tuberías de diámetros reducidos que transportan el agua desde la red matriz hasta los usuarios finales. Estas redes, que forman parte de los sistemas de acueducto (SA), suelen estar gestionados por empresas públicas o privadas. A pesar de las variaciones en el tamaño del sistema, los materiales utilizados y su esquema de operación, todos los SA enfrentan un problema operacional común: las fugas.

Las fugas de agua pueden ocurrir en diversas partes de los SA, incluyendo la captación, tratamiento, conducción, almacenamiento y distribución. Este documento se enfoca en describir los métodos actuales de detección de fugas en redes de distribución de agua potable, ya que este componente es el más extenso de los SA y las fugas en él tienen un impacto

considerable en los ámbitos económico, social y ambiental.

En esta investigación se realizó una revisión bibliográfica en diversas bases de datos, empleando palabras clave tanto en español como en inglés, tales como "fugas en redes de acueducto", "métodos de identificación de fugas en acueductos" y "predicción de fugas en redes de agua potable", entre otras. Posteriormente, se clasificó la información en función de los métodos de identificación de fugas, distinguiendo entre aquellos aplicables en campo y en oficina. Finalmente, los hallazgos más representativos son presentados en este documento.

En términos generales, una fuga se refiere a la pérdida de agua a través de un orificio o fisura, ocasionada por deficiencias en la construcción, operación o mantenimiento de los SA. Las consecuencias de estas fugas son diversas y pueden tener un impacto significativo en varios niveles. En primer lugar, afectan negativamente las finanzas de

las empresas proveedoras de servicios de acueducto, lo que a su vez incrementa el costo del agua para los usuarios (Cody & Narasimhan, 2020) & (EPA, 2024). Además, las fugas pueden causar daños colaterales en la infraestructura circundante, como las redes de gas, alcantarillado y telecomunicaciones, y además pueden tener potenciales implicaciones para la salud pública, por efecto de la contaminación cruzada con redes de alcantarillado. Las fugas, también pueden llevar al colapso de vías y taludes. Adicionalmente, desde una perspectiva ambiental, las fugas obligan a una mayor explotación de las cuencas abastecedoras y los acuíferos para compensar la pérdida de agua, lo que genera impactos ecológicos adversos.

Para reducir la vulnerabilidad de los SA ante las fugas, se debe realizar una búsqueda y reparación periódica de las mismas. Tradicionalmente, se ha identificado que los elementos de corte o regulación de flujo son puntos particularmente propensos a fugas. Sin embargo, otro componente donde la ocurrencia

de fugas es frecuente es la red de distribución (Boztaş, Özdemir, Durmuşcelebi, & Firat, 2019).

Los métodos de detección de fugas se pueden clasificar en monitoreo estático y monitoreo dinámico según el grado de automatización de los procesos (Billmann & Isermann, 1987) & (Romano, Woodward, & Kapelan, 2017). El monitoreo estático utiliza sensores ubicados en puntos clave de la red, usualmente donde se sospecha que puede haber fugas. Estos sensores registran datos sobre el comportamiento de la red, permitiendo una detección rápida de las fugas. Sin embargo, la implementación de los sensores puede ser costosa y en algunos casos estos pueden generar falsas alarmas. Este tipo de monitoreo es fundamental en los Sistemas de Distribución Inteligente, que se basan en la vigilancia continua de la red (Public Utilities Board Singapore., 2016). Por otro lado, el monitoreo dinámico requiere el desplazamiento de personal y equipos de detección a las áreas de la red

donde se sospecha la presencia de fugas. La selección de estas áreas se basa en evaluaciones periódicas e inspecciones diagnósticas realizadas por los operadores del sistema.

Los métodos de detección de fugas también pueden clasificarse según las etapas llevadas a cabo para su identificación. Una clasificación común agrupa la detección de fugas en dos categorías: la primera, denominada "Identificar – Localizar – Puntualizar" (ILP, por sus siglas en inglés), y la segunda, conocida como "Identificar – Localizar – Ubicar – Puntualizar" (ILLP, por sus siglas en inglés) (El-Zahab & Zayed, 2019). Estas dos categorías se diferencian en que ILLP cuenta con una etapa adicional llamada ubicación. En términos generales, en la fase de identificación, se busca distinguir entre una fuga real y una falsa. La localización, tiene como objetivo reducir el área de búsqueda de la fuga a un segmento específico de la red. En la etapa de ubicación, se determina la posición exacta de la fuga con una precisión de hasta 0.3 m.

Finalmente, en la fase de puntualización, se define con más precisión la posición de la fuga, reduciendo el radio de búsqueda a menos de 0.20 m (El-Zahab, Asaad, Abdelkader, & Zayed, 2018) & (Hamilton & Charalambous, 2020). Este proceso de detección de fugas permite reducir progresivamente el área de intervención requerida para las reparaciones, lo que a su vez optimiza la asignación de recursos.

En la identificación de fugas, se pueden emplear dispositivos invasivos o no invasivos, cuyo uso combinado depende del criterio del operador. Entre los dispositivos no invasivos más utilizados se encuentran aquellos que operan mediante la detección de ondas de radio (Bimpas, Amditis, & Uzunoglu, 2010), ondas sonoras (Hamilton S., 2009), ondas electromagnéticas (Ng, Chen, & Tseng, 2017), radiación infrarroja (Fahmy & Moselhi, 2009), cambios de presión (Guo, Yang, & Guo, 2008), vibraciones (Martini, Troncosi, Rivola, & Nascetti, 2013), y ondas hertzianas (Bustamante-Alvarez, Chavez-Irazabal,

Gonzales-Calienes, & Soto-Cordov, 2024). En contraste, dentro de los métodos invasivos se halla la inyección de trazadores, cuyo afloramiento revela la presencia de fugas (Yussof, Anisah, & Ho, 2022).

Durante las últimas cuatro décadas, los dispositivos para la detección de fugas han experimentado un desarrollo significativo (El-Zahab, Asaad, Abdelkader, & Zayed, 2018). En la década de 1980, el método acústico era el más utilizado, superando al uso de trazadores de gas. En los años 90, se introdujeron los métodos de detección por vibración y georradar. Posteriormente, en la primera década del 2000, se integraron tecnologías más avanzadas, como los sensores infrarrojos, las mediciones de tasas de flujo y la fibra óptica. Lo anteriormente expuesto evidencia que la detección de fugas ha impulsado el desarrollo de una industria altamente especializada.

La simulación computacional también ha desempeñado un papel crucial en la identificación de fugas (Hu, Chen, Chen, Tan,

& Shen, 2021). Al comparar las presiones observadas en campo con las simuladas a través de modelos computacionales calibrados y validados, es posible detectar discrepancias que, en la mayoría de los casos, indican la presencia de fugas. Estas discrepancias permiten identificar las áreas donde se recomienda implementar primero un monitoreo estático, antes de proceder con un monitoreo dinámico, previo a la reparación de las fugas (Zhang & Wang, 2011).

Uno de los avances más destacados en la detección de fugas se encuentra en el desarrollo de modelos con soporte bayesiano (MSB) (Cody, Dey, & Narasimhan, 2019). Estos modelos permiten reducir la incertidumbre a medida que se obtienen más mediciones. Los MSB para la identificación de fugas integran diversos factores, tales como la antigüedad de las tuberías, las propiedades del suelo y las presiones.

Por otra parte, en los últimos años se ha avanzado significativamente en la

integración de la inteligencia artificial (IA) en la detección de fugas (Li & Chen, 2023). Por ejemplo, en 2020 se desarrolló una red neuronal capaz de identificar fugas en las uniones de tuberías mediante el análisis de los cambios de presión en la red (Bohorquez, Alexander, Simpson, & Lambert, 2020).

A nivel mundial, la investigación en el campo de las fugas en redes de acueducto se halla concentrada en Estados Unidos, China, Inglaterra y Brasil (El-Zahab & Zayed, 2019).

En Colombia, las empresas de acueducto están obligadas a presentar informes periódicos sobre los volúmenes de fugas en sus redes, con el fin de establecer metas de reducción de estas. Para cumplir con esta tarea, los operadores realizan mayoritariamente monitoreos dinámicos, lo que implica una inspección exhaustiva de las redes. Por lo tanto, resulta necesario integrar el monitoreo estático como etapa preliminar.

Aunque en Colombia es notable el uso de diversos dispositivos para la detección de

fugas, no se han llevado a cabo investigaciones enfocadas al diseño y construcción de estos dispositivos. Sin embargo, la mayoría de las investigaciones han estado orientadas a evaluar los impactos de las fugas sobre las redes. Por ejemplo, Céspedes Henao (2008), evaluó la viabilidad económica de reemplazar las tuberías de la red de acueducto, en función del valor del agua recuperada tras identificar y reparar fugas. Muñoz Gómez (2009) cuantificó económicamente el efecto de las fugas no visibles sobre los costos de operación de una red acueducto, concluyendo que es necesario que las empresas de acueducto reduzcan las fugas para que sus operaciones sean económicamente rentables. Según Alvarado Vargas (2016), en el año 2015 las pérdidas de agua en Bogotá oscilaron alrededor del 41%, razón por la cual, el mismo investigador, propuso una metodología para identificar las tuberías con alta probabilidad de existencia de fugas. Finalmente, Celeita Arias (2018) evaluó el punto a partir del cual resulta económicamente inviable localizar y



reparar fugas no detectables.

## CONCLUSIONES

Las redes de distribución de agua potable, independientemente de su tamaño o los materiales empleados, enfrentan de manera universal el desafío de las fugas. Estas pueden ocurrir en diversas partes del sistema, desde la captación hasta la distribución, y representan un problema operativo significativo a nivel mundial.

Las fugas de agua tienen efectos adversos en varios niveles: económicos (aumentan los costos operativos y, por ende, el precio del agua), sociales (afectan la infraestructura circundante, como las redes de gas y telecomunicaciones) y ambientales (incrementan la explotación de recursos hídricos, con consecuencias ecológicas negativas).

La detección de fugas es un proceso complejo y esencial que precede a su reparación. La detección de fugas puede realizarse mediante monitoreo estático o dinámico. El monitoreo

estático, aunque útil para la detección inmediata de fugas, es más propenso a emitir falsas alarmas. El monitoreo dinámico, por su parte, implica la movilización de personal y equipos para inspeccionar zonas sospechosas.

La tecnología para la detección de fugas ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, con la incorporación de métodos avanzados como sensores infrarrojos, vibración, georradar, y más recientemente, con los modelos predictivos con soporte bayesiano y la IA. Estos últimos ofrecen herramientas poderosas para reducir la incertidumbre y mejorar la precisión en la detección de fugas, integrando factores como el material y la antigüedad de las tuberías, así como las condiciones del suelo.

En Colombia, los operadores de acueductos deben informar periódicamente sobre las fugas en sus redes para reducirlas, realizando principalmente monitoreos dinámicos. Se sugiere integrar el monitoreo estático para mejorar la detección de fugas.

Sin embargo, a pesar del uso de dispositivos para detectar fugas, no se han diseñado nuevos dispositivos para su identificación.

Para optimizar el uso de recursos humanos y financieros, se recomienda comenzar la identificación de fugas con el cálculo de la probabilidad de su existencia en cada tramo de la red de acueducto. Esta estimación inicial debe basarse en las propiedades de las tuberías (diámetro, material y antigüedad de las tuberías), en las condiciones operativas de la red (caudales y presiones), en factores climáticos y en los elementos circundantes (proximidad a vías, árboles, tipo de tráfico, etc.). De esta forma, los equipos de inspección se dirigirán prioritariamente a los tramos con mayor probabilidad de fugas. Este análisis preliminar, basado en estadística, contribuirá a reducir tanto los costos como los tiempos de detección de fugas.

Aunque en Colombia existen profesionales capacitados para desarrollar dispositivos de identificación de fugas, la limitada

colaboración entre el ámbito académico, el sector público y el sector privado dificulta el diseño, construcción, puesta en marcha y validación de tales dispositivos. Además, la falta de acceso a información detallada de las empresas de acueducto sobre la ubicación de las fugas impide el diseño y evaluación de metodologías estadísticas con altos niveles de confiabilidad. Estos desafíos abren un campo de oportunidades de investigación, orientadas a la gestión integral del recurso hídrico, cruciales para enfrentar los retos que el cambio climático plantea.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado Vargas, C. C. (2016). Propuesta metodológica para localizar tuberías de distribución de agua potable con mayor probabilidad de presentar fugas no visibles [Universidad de Los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/6e026fff-6230-431f-add3-7f8e39ab108c/content>



- Billmann, L., & Isermann, R. (1987). Leak detection methods for pipelines. *Automatica*, 23(3), 381-385. doi:[https://doi.org/10.1016/0005-1098\(87\)90011-2](https://doi.org/10.1016/0005-1098(87)90011-2)
- Bimpas, M., Amditis, A., & Uzunoglu, N. (2010). Detection of water leaks in supply pipes using continuous wave sensor operating at 2.45 GHz. *Journal of Applied Geophysics*, 40(3), 226-236. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2010.01.003>
- Bohorquez, J., Alexander, B., Simpson, A. R., & Lambert, M. F. (2020). Leak Detection and Topology Identification in Pipelines Using Fluid Transients and Artificial Neural Networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 146(6). doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.00011](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.00011)
- Boztaş, F., Özdemir, Ö., Durmuşçelebi, F., & Firat, M. (2019). Analyzing the effect of the unreported leakages in service connections of water distribution networks on non-revenue water. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 4393–4406. doi:<https://doi.org/10.1007/s13762-018-2085-0>
- Bustamante-Alvarez, R., Chavez-Irazabal, W., Gonzales-Calienes, R., & Soto-Cordov, M. (2024). Water Supply Leak Detection Based on Audio Signal Processing. *Nanotechnology Perceptions*, 20(9). doi:<https://doi.org/10.62441/nanontp.v20iS9.57>
- Celeita Arias, D. A. (2018). Factibilidad Económica de la Localización y Reparación de Fugas no Detectables en Redes de Distribución de Agua Potable [Universidad de Los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/7a79cad9-2c0d-42d2-8b70-9f68050eb9be>

- Céspedes Henao, J. D. (2008). Efecto del agua perdida por fugas detectables y no detectables sobre la decisión de compra de tuberías con criterio único de costo mínimo [Universidad de Los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/33439e49-8c84-4355-921e-24bd0f09dd93/content>
- Cody, R. A., Dey, P., & Narasimhan, S. (2019). Linear Prediction for Leak Detection in Water Distribution Networks. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 11(1). doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)PS.1949-1204.0000415](https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000415)
- Cody, R., & Narasimhan, S. (2020). A field implementation of linear prediction for leak-monitoring in water distribution networks. *Advanced Engineering Informatics*, 45. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101103>
- El-Zahab, S., & Zayed, T. (2019). Leak detection in water distribution networks: an introductory overview. *Smart water*, 4(5). doi:<https://doi.org/10.1186/s40713-019-0017-x>
- El-Zahab, S., Asaad, A., Abdelkader, E., & Zayed, T. (2018). Development of a clustering-based model for enhancing acoustic leak detection. *Canadian journal of civil engineering*, 46(4). doi:<https://doi.org/10.1139/cjce-2018-0229>
- EPA. (2024, April 2). Environmental Protection Agency. Retrieved August 28, 2024, from Water sense: <https://www.epa.gov/watersense/statistics-and-facts>
- Fahmy, M., & Moselhi, O. (2009). Automated Detection and Location of Leaks in Water Mains Using Infrared Photography. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 24(3). doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000094](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000094)
- GUO, X.-l., Yang, K.-l., & Guo, Y.-x.

- (2008). Hydraulic pressure signal denoising using threshold self-learning wavelet algorithm. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, 20(4), 433-439. doi:[https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(08\)60077-3](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(08)60077-3)
- Hamilton, S. (2009). ALC in low pressure areas - It can be done. *Water loss*, (pp. 131-138). Cape Town.
  - Hamilton, S., & Charalambous, B. (2020). *Leak Detection: Technology and Implementation* (2nd ed.). IWA Publishing. doi: <https://doi.org/10.2166/9781789060850>
  - Hu, Z., Chen, B., Chen, W., Tan, D., & Shen, D. (2021). Review of model-based and data-driven approaches for leak detection and location in water distribution systems. *Water supply*, 21 (7).
  - Li, L., & Chen, H. (2023). Artificial Intelligence and Internet of Things-Based Leak Detection Method for the Water Supply Network. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 2023. doi:<https://doi.org/10.1155/2023/3443047>
  - Martini, A., Troncosi, M., Rivola, A., & Nascetti, D. (2013). Preliminary Investigations on Automatic Detection of Leaks in Water Distribution Networks by Means of Vibration Monitoring. *Advances in Condition Monitoring of Machinery in Non-Stationary Operations* (pp. 535-544). Springer. doi:[https://doi.org/10.1007/978-3-642-39348-8\\_46](https://doi.org/10.1007/978-3-642-39348-8_46)
  - Muñoz Gómez, A. (2009). Cuantificación económica del efecto de las fugas no detectables de agua sobre los costos de operación globales de una red de distribución de agua potable [Universidad de Los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/8a340f9d-bafb-4049-b0a2-08ac1b2d6763/>

content

- Ng, K. S., Chen, P.-Y., & Tseng, Y.-C. (2017). A design of automatic water leak detection device. 2017 IEEE 2nd International Conference on Opto-Electronic Information Processing (ICOIP), (pp. 70-73). Singapore. doi:10.1109/OPTIP.2017.8030701
- Public Utilities Board Singapore. (2016). Managing the water distribution network with a Smart Water Grid. Smart Water, 1. doi:https://doi.org/10.1186/s40713-016-0004-4
- Romano, M., Woodward, K., & Kapelan, Z. (2017). Statistical Process Control Based System for Approximate Location of Pipe Bursts and Leaks in Water Distribution Systems. Procedia Engineering, 186, 236-243. doi:https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.235
- Yussof, M., Anisah, N., & Ho, H. W. (2022). Review of Water Leak Detection Methods in Smart Building Applications. Buildings, 12(10). doi:https://doi.org/10.3390/buildings12101535
- Zhang, H., & Wang, L. (2011). Leak detection in water distribution systems using Bayesian theory and Fisher's law. Transactions of Tianjin University, 17, 181-186. doi:https://doi.org/10.1007/s12209-011-1594-4