

# REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE MEDIANTE LA LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE VÁLVULAS Y TURBINAS

<sup>1</sup>Juan Miguel García y <sup>2</sup>Camilo Salcedo

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes.

<sup>2</sup>Profesor Instructor, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes.  
Carrera 1 No. 18A-12, Bogotá, Colombia. Tel: +(571) 3394949 ext. 1745  
E-mail: jm.garcia2744@uniandes.edu.co, ca.salcedo959@uniandes.edu.co

## Introducción

Las pérdidas de agua en las Redes de Distribución de Agua Potable (RDAP) constituyen uno de los problemas más importantes a nivel operativo que las Empresas de Servicios Públicos (ESP) deben enfrentar, ya que afectan la eficiencia con la cual el servicio de acueducto es prestado a una población determinada. Con el fin de cuantificar la importancia de estas pérdidas de agua se han determinado diferentes indicadores de desempeño que reúnen tanto las pérdidas de agua técnicas como comerciales en un sistema, siendo los más utilizados el Índice de Agua No Contabilizada – IANC, y recientemente el Índice de Pérdidas por Usuario Facturado – IPUF debido a cambios que se han presentado en el marco normativo durante los últimos años.

Al combinar los indicadores mencionados previamente, y combinarlos con las pérdidas económicas en que debe incurrir una ESP debido a las pérdidas de agua, se establece una situación problemática que debe ser solucionada incorporando conceptos y técnicas innovadoras, buscando que resulten factibles y efectivos desde el punto de vista económico y operativo; de este modo se da paso a los métodos que serán descritos posteriormente, y que serán implementados en este trabajo.

Ahora bien, con el fin de minimizar las pérdidas de agua en una RDAP, se han propuesto diferentes aproximaciones que atacan directamente las pérdidas técnicas, también conocidas como fugas. Dentro de estas técnicas se puede encontrar la rehabilitación de la infraestructura existente en el sistema, la sectorización de la RDAP, la gestión de las presiones (Farley & Trow, 2003), entre otros. Debido a la cercana relación existente entre la presión en los nudos de la red de distribución y los caudales de fuga, se ha demostrado de manera contundente que la gestión de las presiones resulta ser el método más eficiente para la reducción de fugas, lo cual es logrado mediante la localización óptima de distintos tipos de válvulas en la RDAP, tales como las válvulas de control, y las más utilizadas: Las válvulas reductoras de presión (VRP).

A partir del uso de la técnica descrita previamente, se ha evidenciado que cuando se realiza el control de presiones a través del uso de válvulas reductoras de presión (VRP), los excesos de presión son disipados en este accesorio hidráulico, lo cual está evitando la posibilidad de aprovechar de una manera más eficiente dicha energía en el funcionamiento de la red de distribución. Por lo anterior, algunos autores han propuesto el uso de bombas utilizadas como turbinas (BUTU) en RDAP (Carravetta, Del Giudice, Fecarotta & Ramos, 2013), reemplazando así las válvulas reductoras de presión, convirtiéndose en una alternativa eficiente para la reducción de pérdidas de agua, mientras se obtienen algunos beneficios económicos en los costos operacionales de la Empresa de Servicios Públicos.

Dado lo anterior, en la presente investigación se propone la comparación de la efectividad en la reducción de pérdidas de agua mediante el uso de válvulas reductoras de presión (VRP) y las bombas utilizadas como turbinas (BUTU), determinando la

localización óptima de estos accesorios, así como sus ajustes operativos mediante la implementación de distintos métodos metaheurísticos.

## Metodología

Para la reducción de las pérdidas técnicas de agua en RDAP, en la presente investigación se propone una metodología que busca determinar cuál técnica para el control de las presiones es más eficiente en la reducción de fugas, entre el uso de válvulas reductoras de presión y las bombas utilizadas como turbinas, en ambos casos haciendo uso de procedimientos de optimización metaheurísticos.

Con el fin de lograr lo anterior, en primer lugar, se realiza una comparación entre distintos algoritmos metaheurísticos en términos de su desempeño computacional y calidad de las soluciones óptimas alcanzadas. Dentro de los algoritmos considerados en esta etapa se encuentran el *Non-Sorting Genetic Algorithm II* – NSGA-II (Deb, 2000), el *Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2* – SPEA2 (Zitzler, Laumanns, & Thiele, 2001), entre otros, los cuales han sido ampliamente utilizados para la solución de problemas asociados con los recursos hídricos previamente.

Una vez que este algoritmo es seleccionado, se realiza su implementación computacional para construir dos Frentes de Pareto distintos; el primero de ellos está compuesto por un conjunto de soluciones que minimizan las pérdidas de agua y reducen los costos de inversión para la instalación de las válvulas reductoras de presión (VRP); en el segundo caso el Frente de Pareto está constituido por un conjunto de soluciones que minimizan las pérdidas de agua y maximizan los beneficios económicos percibidos al implementar las bombas como turbinas (BUTU).

Para la construcción de dichos Frentes de Pareto, se realiza una aproximación inicial a una solución factible mediante la reducción del espacio de solución en donde el algoritmo de optimización realiza su búsqueda. En el caso de las bombas como turbinas, esta reducción consiste en identificar aquellas zonas de la red en donde se cuenta con los mayores excesos de presión en los nudos, identificados mediante un criterio hidráulico. En el caso de las válvulas reductoras de presión, la reducción del espacio de solución está enfocada a identificar aquellas tuberías que representan las mejores ubicaciones para una VRP dada la importancia relativa de la tubería candidata en términos de su efecto sobre las presiones de la red (Ali, 2015).

Posteriormente, se realiza la ejecución del algoritmo implementado en MATLAB, realizando las simulaciones hidráulicas mediante el motor hidráulico de EPANET (Rossman, 2000). Es importante mencionar que ambos programas computacionales se encuentran vinculados mediante el Toolkit del Programador (Rossman, 2000), incrementando así la agilidad del algoritmo de optimización.

Finalmente, la metodología aquí descrita es aplicada a distintas

redes utilizadas como casos de estudio, dentro de las cuales se encuentra una red de distribución patrón que ha sido utilizada por diversos autores para comparar las soluciones obtenidas referentes al problema de localización óptima de válvulas (Jowitt & Xu, 1990). Con estos resultados, se realiza una comparación entre las dos técnicas de reducción de pérdidas técnicas analizadas en esta investigación, así como con resultados obtenidos en estudios previos (Saldarriaga & Salcedo, 2015), cuyo objetivo también consistió en resolver el problema de determinar la localización óptima de válvulas reductoras de presión en redes de distribución de agua potable.

## Referencias

- Ali, M. E.** (2015). "Knowledge Based Model for the Optimal Location of Control Valves in Water Distribution Networks", *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 141, no. 1.
- Carravetta, A., Del Giudice, G, Fecarotta, O. & Ramos, H.** (2013). "Pump as Turbine (PAT) Design in Water Distribution Network by System Effectiveness", *Water*, pp. 1211-1225.
- Deb, K.** (2001). "Multi-objective Optimization Using Evolutionary Algorithms", *John Wiley & Sons Inc.*, ISBN: 978-0-471-87339-6, New York.
- Farley, M. & Trow, S.** (2003). "Losses in Water Distribution Networks: A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control", *IWA Publishing*, Londres, Inglaterra.
- Jowitt, P. & Xu, C.** (1990). "Optimal Valve Control in Water Distribution Networks", *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 116, no. 4, pp. 455-472.
- Rossman, L.** (2000). "EPANET2 User's Manual". *U.S. Environmental Protection Agency*, Cincinnati, Ohio.
- Saldarriaga, J. & Salcedo, C.** (2015). "Determination of Optimal Location Settings of Pressure Reducing Valves in Water Distribution Networks for Minimizing Water Losses", *Procedia Engineering – 13<sup>th</sup> Computer Control for Water Industry Conference – CCWI*, vol. 119, pp. 973-983, Leicester, Reino Unido.
- Zitzler, E., Laumanns, M., & Thiele, L.** (2001). "SPEA2: Improving the Strength Pareto Evolutionary Algorithm", *TIK-Report 103*, Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, Zurich, Switzerland.