

ESTIMACIÓN DEL TIEMPO MARGINAL EN RDAP DEBIDO AL CIERRE DE VÁLVULAS CONSIDERANDO EFECTOS DEL FLUJO TRANSIENTE

Juan Carvajal¹ y Jessica Bohórquez, MSc².

¹ Investigador, Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados (CIACUA) Universidad de los Andes

² Profesora instructora, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes

E.mail: jd.carvajal10@uniandes.edu.co, jm.bohorquez@uniandes.edu.co

Introducción

Al momento de llevar a cabo el diseño de una red de distribución de agua potable (RDAP), es común enfrentar el problema bajo la suposición de flujo uniforme. No obstante, en la actualidad, debido a la importancia de una correcta operación del sistema, el diseño es abordado de distintas formas, incluyendo la minimización de los posibles efectos del flujo transiente. El flujo transiente, o golpe de ariete, puede generar fallas en las tuberías e intrusión de aguas contaminadas al sistema (Boulos et al., 2005) y es originado en distintas circunstancias, como, por ejemplo, cierres de válvulas.

Se han realizado estudios en la ciudad de Bogotá, Colombia, con el fin de analizar los efectos del flujo transiente por causa del cierre de válvulas. En aquellos, se encontró la existencia de un tiempo mínimo a partir del cual siempre existirán efectos del transiente en el sistema; a este tiempo se le denomina tiempo marginal. El objetivo de esta investigación era estimar y comprobar la existencia del tiempo marginal en Redes de Distribución de Agua Potable con características disímiles como el caudal máximo, la topología y ubicación de válvulas.

Metodología

Para cumplir el propósito de la investigación, se estableció un problema de optimización. En primer lugar, se escogió el modelo de cierre de válvula. Adicional a esto, se seleccionaron las variables de decisión para la caracterización de los individuos y la población. Luego, las restricciones, las funciones objetivo y los algoritmos de optimización fueron elegidos. Por último, se estableció una herramienta computacional con la capacidad de solucionar el problema antes planteado.

El modelo de cierre seleccionado fue el cierre escalonado propuesto por Bohórquez y Saldarriaga en 2015, el cual usa una estructura realista para aplicar en un sistema actual. A su vez, se utilizaron dos variables de decisión en el modelo de optimización: (1) curva de cierre de la válvula y, (2) el tiempo de cierre. En cuanto a las restricciones hidráulicas consideradas, estas hacen referencia a dos principios fundamentales de los sistemas de distribución de agua potable: conservación de masa y conservación de energía.

Dos funciones objetivo fueron implementadas, cada una asociada con cada variable de decisión. En primer lugar, la minimización del factor potencial de daño por transiente (FPDT) propuesta por Jung et al. en 2011 y por otro lado, la minimización de la cantidad de agua transportada (CAT), para evitar que el algoritmo migre a valores máximos de tiempos de cierre.

Dada la naturaleza del problema, se debe pensar el problema como una optimización multiobjetivo (Carrillo y Mendoza, 2015). Por este motivo, el algoritmo seleccionado para esta investigación fue el NSGA-II, propuesto por Deb et al., en el 2002.

Una vez definido el algoritmo de optimización a implementar, se seleccionó como herramienta computacional el programa Optimal Closure V3, creado por Bohórquez y Saldarriaga en el 2014. Esta plataforma, desarrollada en Visual Studio, permite el uso de una herramienta especial desarrollada por Bentley Systems, Water Object.NET, para ejecutar varias veces Bentley HAMMER

CONNECT, el software utilizado para el modelo hidráulico de transiente. Gómez y Saldarriaga (2016) adaptaron la herramienta Optimal Closure V3 para reducir el tiempo computacional y facilitar su implementación.

Caso de estudio

La RDAP seleccionada para esta investigación fue la red Belén, un sector hidráulico de la red principal de agua potable de una ciudad intermedia en Colombia. La red cuenta con un tanque de suministro y contiene tuberías con diámetros menores a los 305 mm. El sistema está compuesto por 291 nodos y 321 tuberías para una longitud total de 12.8 km. Para solucionar el problema de optimización propuesto, se ubicó la válvula en dos lugares distintos dentro de la red. Las ubicaciones tienden a estar en el centro geográfico de la red, esto con el fin de estudiar los efectos del golpe de ariete a lo largo de esta. Para la ubicación 1, el caudal en la tubería de aguas arriba en estado estable era de 1.98 l/s y para la posición 2, de 0.75 l/s. En ambas ubicaciones, el diámetro de la válvula era de 152.4 mm. El esquema final de la red es presentado en la figura 1.

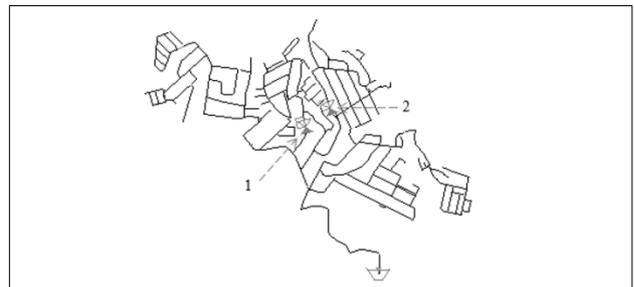


Figura 1.- RDAP con ubicación de válvulas, Belén, Manizales.

Resultados

Primero, se realizó un análisis del área de influencia de las válvulas en sus diferentes ubicaciones. Una vez se determinó el área de influencia de las válvulas, se implementó la herramienta computacional. Para solucionar el problema utilizando el algoritmo NSGA-II (Deb, et al., 2002), se estableció un tamaño de población de 40 individuos y un número de 15 generaciones con una probabilidad de cruce de 0.5 y de mutación de 0.001 (Khalafallah, 2014). Los resultados de la optimización pueden observarse en las figuras 3 y 4.

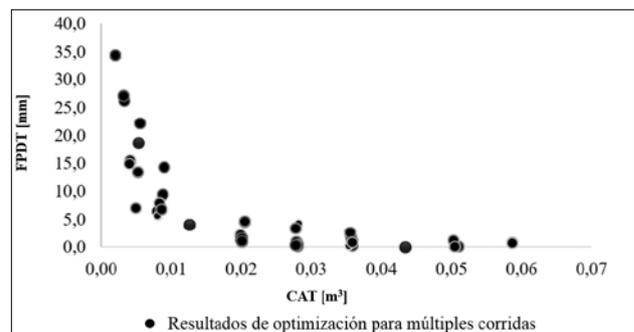


Figura 2.- Resultados de optimización, ubicación de válvula 1.

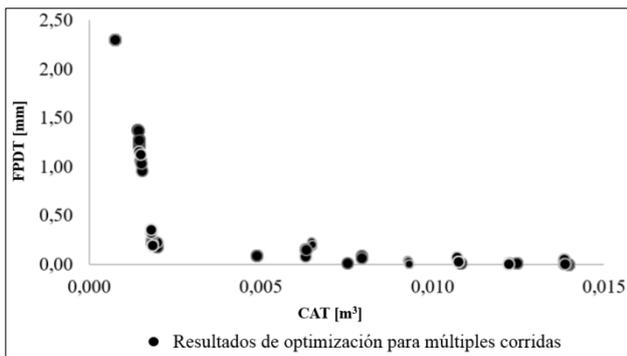


Figura 3.- Resultados de optimización, ubicación de válvula 2.

Para las dos ubicaciones de válvulas evaluadas, los resultados obtenidos muestran una frontera de Pareto bien definida en la cual ningún individuo domina sobre otro. Para la ubicación de válvula 1, el FPDT y la CAT varían en un rango mayor que para la ubicación 2. En el caso de la ubicación 1, el FPDT y la CAT alcanzaron un valor máximo de 40 mm y 0.06 m³ respectivamente. Por otro lado, para la ubicación 2, el FPDT y la CAT alcanzaron valores máximos de 2.5 mm y 0.015 m³.

De las figuras 2 y 3 también es notorio que a partir de desde cierto valor de la CAT, los cambios en el FPDT son imperceptibles. Esto significa que, desde un tiempo específico de cierre, y por encima de este, los efectos del flujo transiente en el sistema no pueden ser reducidos. Este tiempo límite es el tiempo marginal, el cual para la ubicación 1 es de 1.19 segundos, y para la ubicación 2 es de 2.06 segundos.

Conclusiones

Un problema de optimización se propuso para corroborar la existencia del tiempo marginal cuando se busca establecer el cierre óptimo de una válvula en una RDAP. Dada la naturaleza de este problema, fue necesaria la implementación del algoritmo multiobjetivo NSGA-II.

De los resultados obtenidos, es posible realizar distintas conclusiones. En primer lugar, para las dos ubicaciones de válvula estudiadas, los resultados de optimización mostraron la frontera de Pareto esperada, indicando que el algoritmo trabajó de forma correcta. En segundo lugar, los resultados obtenidos no fueron concluyentes acerca de un único cierre de válvula óptimo. Se obtuvieron diferentes curvas de cierre óptimas con el mismo tiempo de cierre. Tercero, de las gráficas de FPDT vs. CAT, es posible observar que el incremento en el tiempo de cierre conlleva a un efecto importante en la minimización del FPDT hasta un valor límite. Este valor hace referencia a la CAT relacionada con un tiempo de cierre específico, confirmando la existencia del tiempo marginal para las dos ubicaciones estudiadas.

Por último, los tiempos marginales obtenidos para ambas ubicaciones indicaron cierres rápidos. Esto es consecuencia del tamaño del área de influencia y de la baja intensidad de la onda de presión creada por la alteración en el flujo. En las ubicaciones estudiadas, los transientes generados no fueron dañinos para la RDAP. Para futuras investigaciones, se recomienda probar ubicaciones de válvulas en lugares donde el caudal en condiciones estables sea más significativo.

Referencias

Bohorquez J., & Saldarriaga J. (2014). Optimización en la operación de válvulas para minimizar efectos por flujo transiente en redes de

distribución de agua potable. Aplicación en red matriz de Bogotá D.C. *Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados – CIACUA, Universidad de los Andes*. Bogotá D.C.

Bohorquez, J., & Saldarriaga J. (2015). Valve Operation Optimization for Minimizing Transient Flow Effects in Water Distribution Systems (WDS): Application to Main Pipes in Bogota, Colombia. *World Environmental and Water Resources Congress 2015: Floods, Droughts, and Ecosystems*. Austin, Texas, USA.

Boulos, P., Karney, B., & Lingireddy, S. (2005). Hydraulic Transient Guidelines for Protecting Water Distribution Systems. *Journal AWWA*.

Carrillo, A., & Mendoza, O. (2015). Introducción al Método de Diferencias Finitas y su Implementación Computacional. *Facultad de Ciencias, UNAM*.

Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (2002). A fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 182-197.

Gómez, J. S., & Saldarriaga, j. g. (2016). Optimización de los tiempos computacionales en el análisis de la operación de válvulas para minimizar los efectos del flujo transiente en redes de distribución de agua potable. *Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados – CIACUA, Universidad de los Andes*. Bogotá D.C.

Jung, B., Boulos, P., & Altman, T. (2011). Optimal transient network design: a multi-objective approach. *Journal AWWA*, 118-12.

Khalafallah, A. (2014). Assessing the Performance of the Non-Dominated Sortic Genetic Algorithm in Optimizing Construction Site Planning. *Computing in Civil and Building Engineering*, 1254-1261.