

LOCALIZACIÓN DE FUGAS EN REDES DE AGUA POTABLE

Nava Pérez, Jéssica (1), Delgado Galván, Xitlali Virginia (2)

1 [Ingeniería Hidráulica, Universidad de Guanajuato] | [Dirección de correo electrónico: jessinava129@gmail.com]

2 [Departamento de Ingeniería en Geomática e Hidráulica, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [Dirección de correo electrónico: xdelgado@uto.mx]

Resumen

El fenómeno de la fuga ha sido muy estudiado durante los últimos años debido a las grandes consecuencias que tiene. En México y otros países, aproximadamente el 50% del agua se desperdicia por fugas en las redes de abastecimiento, distribución y tomas domiciliarias. El estar perdiendo la mitad del agua de la que disponemos nos ha llevado a realizar estudios y buscar nuevos métodos para intentar reducir las fugas tanto como sea posible. En este trabajo definiremos lo que es una fuga y hablaremos de sus causas y consecuencias, también daremos una imagen general sobre la situación actual de las fugas en México y en particular en el Estado de Guanajuato, posteriormente se hablará de los tipos de fuga, la relación que existe con los materiales y la relación entre fuga y presión. Además, se muestran dos ejemplos realizados mediante programas computacionales para simular fugas y observar su impacto en la red de distribución de agua.

Abstract

Leaks have been studied during the last years due to their significant consequences. In Mexico and other countries, approximately 50% of the water is wasted due to leaks in distribution networks. The fact that we are losing half of the water available, led us to carry out studies and look for methods to try to reduce this problem as much as possible. In this work, we define leakage, its causes and consequences. We describe the current situation of leaks in Mexico and in the state of Guanajuato, we talk about the types of leaks, the relationship with materials, and the relationship between leak and pressure. In addition, two examples are shown, realized with computer programs to simulate leaks in order to observe their impact on water distribution networks.

Palabras Clave

Fuga; Presión; Epanet; Agua; Hidráulica

INTRODUCCIÓN

Entre las diferentes definiciones que podemos encontrar de fugas en los sistemas de distribución de agua, una de las más claras y más utilizadas las define como cierta cantidad de agua que escapa de la red de tuberías por medios diferentes a una acción controlada [1]. La CONAGUA por su parte define el término fuga como salida o pérdida de agua incontrolada en cualquiera de los elementos del sistema de abastecimiento, con o sin presencia de rotura o falla estructural en la tubería [2].

Las fugas dependen en existencia y cantidad de diversos factores como lo son las malas conexiones entre tuberías, corrosión interna o externa de la tubería, daño mecánico causado por una carga excesiva en la tubería, movimiento de la Tierra, altas presiones en la red, daños en las tuberías por excavaciones, la edad de la tubería, temperaturas extremas, defectos en las tuberías y baja calidad de la mano de obra [3]. Otro factor importante causante de fugas en las redes son las altas presiones, las cuales son consecuencia de la urbanización, el cambio climático y el crecimiento poblacional. Este factor es sumamente importante por lo que se han hecho numerosos estudios, básicamente, entre más alta sea la presión mayor será el flujo en la fuga y viceversa.

De manera generalizada, las fugas causan daños en la infraestructura, pérdidas de agua, financieras y de energía, y riesgos de salud. La primera pérdida económica se ve reflejada en el costo de llevar el agua de la fuente de abastecimiento, tratarla y transportarla (para después no ser aprovechada). Las fugas, inevitablemente, también provocan una segunda pérdida económica al dañarse la tubería en sí, tales como la erosión del lecho de la tubería y mayores rompimientos de la tubería, también inducen daños a los caminos y edificios. Además de las pérdidas ambientales y económicas causadas por las fugas, las tuberías dañadas simbolizan un riesgo de salud pública, cada fuga representa una potencial entrada para que los contaminantes, si la presión baja, puedan ingresar al sistema [4]. En 2016, en el estado de Guanajuato, las pérdidas no contabilizadas sumaban un 42% [5].

Tipos de fallas en las tuberías y relaciones con el material

Actualmente, una considerable parte de los materiales de tuberías existentes en las redes de distribución fueron instalados hace más de cien años. Basado en la literatura, existen materiales de finales del siglo 19 [6]. Según Mora [6], los tubos de hierro fundido tienen un alto número de fallas en Canadá con un promedio de 39 fallas/100 km de tubería/ año, mayormente por la edad de la tubería. [7]. Las tuberías antiguas son, en general, de hierro fundido o de asbesto cemento. Actualmente, las tuberías de PVC son frecuentemente utilizadas por su precio, componentes y propiedades mecánicas. Además, es un material termoplástico (manipulable) y es inodoro, insípido, no tóxico, y químicamente inerte. Es resistente a la corrosión. Los mecanismos de deterioración del PVC incluyen degradación química y mecánica; este tipo de tubería presenta una tasa relativamente menor de fallas comparado con otros materiales. Las fallas reportadas en PVC se atribuyen a defectos, condiciones de operación excesivas, y daños inducidos por factores externos [8]. Dice Mora [6] que las fallas se clasifican en tres categorías: a) Roturas circunferenciales, causadas por tensión longitudinal. b) Roturas longitudinales, causadas por la tensión de la sección transversal (tensión radial). C) Grietas en la unión, causadas por una tensión de sección transversal en la unión de la tubería. Esta clasificación debe complementarse con fallas adicionales, como los agujeros debido a la corrosión [9].

Control de fugas

Los organismos operadores implementan programas de control de fugas, con el objetivo de disminuir en lo posible todos los problemas descritos anteriormente. El control de fugas puede prevenir problemas potenciales, incluyendo impedir el colapso de la tubería, lo que usualmente daña otros servicios cercanos, tales como tuberías de gas y conexiones telefónicas, o daña activos como caminos y edificios. Se han hecho importantes esfuerzos en el pasado para desarrollar dichos programas y como resultado los procedimientos ahora están bien establecidos y son sabiamente usados [4]. Los modelos de control de fuga pueden

generalmente clasificarse en dos grandes grupos: (a) pasivo y (b) activo. Un control de fugas pasivo responde únicamente a las fugas reportadas. El control de fugas activo maneja procesos para localizar y reparar fugas sin reportar [3]. La detección de fugas es la reducción de una fuga a una sección de la red de tuberías, mientras que la localización de fugas se refiere a encontrar la posición exacta de la fuga [10].

La localización de una fuga puede ser identificada por diversas técnicas. La inspección visual es probablemente la técnica más simple y menos costosa. Por ejemplo, el asentamiento del suelo, pavimento o aceras puede ser un indicador de una fuga. Similarmente, suelo o vegetación húmeda en una zona usualmente seca es un indicador de una fuga de agua. Sin embargo, la inspección visual no puede detectar fugas ocultas, principalmente en suelos arenosos donde la fuga de agua percola a través del suelo [11]. Afortunadamente, las fugas de agua en tuberías crean un sonido distintivo en el rango de frecuencias de 20 a 1,000 Hz [12]. Los dispositivos acústicos avanzados están equipados con geófonos, un amplificador y filtros de frecuencia para reducir el ruido en segundo plano.

La cantidad de agua perdida en un sistema de distribución puede ser cuantificada mediante un balance hídrico. Hay dos principales metodologías para balance utilizadas para cuantificar el volumen de pérdidas de agua. (1) La metodología estandarizada de balance hídrico IWA/AWWA y (2) La metodología del balance hídrico de Reino Unido. El balance hídrico es una herramienta efectiva para contabilizar el suministro y consumo de agua. El mayor inconveniente de ambas metodologías es que la mayoría de sus componentes son estimados utilizando técnicas no bien definidas. Esta ambigüedad deja espacio para que se manipulen los datos [13]

Relación Presión - Fuga

Hay una relación física entre la tasa de fuga y la presión. Esta relación puede ser expresada en la forma general de la ecuación de orificios: $Q=aP^n$. Donde Q es la tasa de fuga (l/s), y P es la presión (bar). El coeficiente a y el exponente n son constantes [11]. El valor teórico de n para flujo en orificios es 0.5, pero estudios de campo muestran que el valor varía considerablemente. Para grandes sistemas de distribución de agua con materiales de tubería variados, la relación entre Q y P puede asumirse lineal.

El manejo de la presión y el manejo de los activos (reemplazo de líneas principales y de servicio) son las únicas herramientas que pueden reducir las fugas no reportadas y que no son detectables usando equipo acústico [14]. El manejo de los activos es costoso y está fuera del alcance de muchos organismos por lo que el manejo de la presión es la única herramienta proactiva y con costo efectivo que puede reducir las fugas de este tipo. El efecto de operar a diferentes presiones es modelado por los principios de Área de Descarga Fija y Variable (FAVAD, por sus siglas en inglés "Fixed and Variable Area Discharge") y por las ecuaciones de fuga FAVAD modificadas [15]. Sin embargo, es difícil aplicar la representación completa de ecuaciones FAVAD al análisis de fugas en todo el sistema utilizando un modelo hidráulico. Según Mora [6] la teoría de flujo a través de orificios es la cuantificación numérica que relaciona la falla de la tubería con el funcionamiento hidráulico [3]. La teoría FAVAD es una de las más usadas para modelar flujo en tuberías [16]. La teoría toma en cuenta las áreas de algunos tipos de fallas y puede variar con la presión, mientras la velocidad del flujo varía continuamente con la raíz cuadrada de la presión [6].

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados fueron hojas de cálculo Excel, Epanet, que es un programa de dominio público para el análisis de redes de distribución de agua y sus ejemplos incluidos en la descarga. Se utilizaron los ejemplos 1 y 2 incluidos en la descarga del programa y se alteraron los gastos en determinados nodos para simular una fuga. Se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- La red de distribución trabaja en estado permanente.
- Se puede medir la presión en cada nodo de la red, para lo cual se asume que existen registradores instalados en todos los nodos.

- Las tomas clandestinas y los consumos no medidos autorizados serán considerados como fugas, y a su vez estas serán consideradas como un gasto de demanda adicional.
- El gasto de entrada a la red y los gastos demandados en cada nodo son datos conocidos.
- Las características de la red de distribución (elevación, diámetros, material, longitudes, etc.) son conocidas.
- El modelo de la red está calibrado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se trabajó con el ejemplo 1 de Epanet y se le agregó un gasto adicional de 10 l/s que representa la fuga. En la imagen 1 se muestran los resultados más relevantes de las iteraciones realizadas. Cada iteración representa un aumento de 10 l/s en cada nodo.

Se realizó el mismo proceso con la red ramificada del ejemplo 2, esta vez se alteraron tres nodos, a cada uno se le aumentó 15.7 gpm. Los resultados se muestran en la imagen 2. Los porcentajes representan el grado en que la presión de cada nodo se ve afectada con la fuga (partir del nodo 14 los porcentajes son menores al 1%).

La red mallada presenta el mayor porcentaje de pérdidas de presión en el nodo donde se encuentra la fuga, los nodos posteriores siguiendo el sentido del flujo y el nodo inmediato anterior (en ese orden). Por su parte, la red ramificada del ejemplo 2 presenta diferente porcentaje de afectación en cada una de las fugas, además de verse afectados los nodos siguientes (siguiendo el flujo del agua). Los nodos más lejanos a la fuga y los nodos anteriores se ven afectados de una manera casi imperceptible.

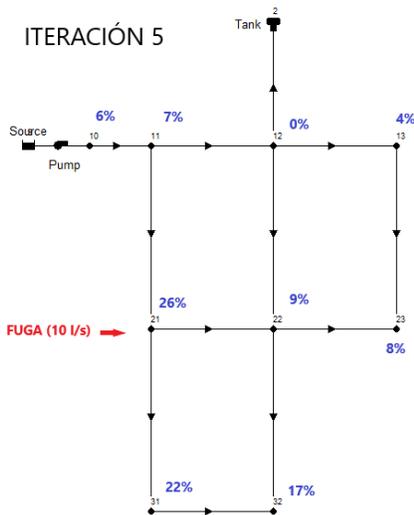


IMAGEN 1: Red del Ejemplo 1 de Epanet, con fuga en el nodo 32

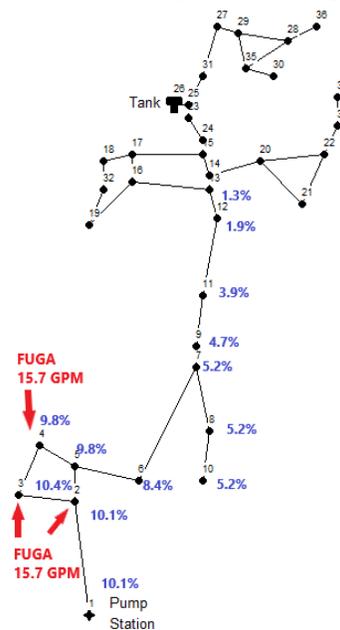


IMAGEN 2: Red del Ejemplo 2 de Epanet, con fuga en el nodo 2, 3 y 4

Aunque las redes presenten comportamientos diferentes según su forma (mallada o ramificada), es clara la pérdida de presión que sufre la red en cada uno de los nodos. Esto podría ser aplicado para localización de fugas, al tener un control de las presiones que se presentan en cada nodo. La observación de estos resultados es útil también para el control de las fugas mediante la aplicación de los principios FAVAD, logrando con éstos y a través de la gestión de la presión, reducir el caudal de la fuga.

CONCLUSIONES

Siendo las fugas un problema de grandes consecuencias, es un tema en el que aún podemos mejorar de gran manera. Las investigaciones son cada vez más en esta área. Es importante seguir explorando opciones y sobre todo ponerlas en práctica, buscando la preservación y correcto uso del agua, en primer lugar, y además la eficiencia de los organismos operadores. Se pretende, a futuro, llegar a un círculo virtuoso en el que el consumidor sienta que debe pagar por el servicio que recibe y que a su vez el organismo operador cuente con el suficiente recurso para invertir en tecnología y brindar un excelente servicio.

El estudio muestra definiciones básicas de fugas, los elementos que influyen y las causas y consecuencias, además, se trabajó con redes de ejemplo con el objetivo de mostrar cómo la presión se ve afectada en puntos alejados y cercanos del lugar de la fuga.

REFERENCIAS

- [1] Ofwat, 2008. International comparison – leakage. Recuperado de http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20140716140541/http://www.ofwat.gov.uk/regulating/reporting/rpt_int_08leakageintro (Consultado 8 de Julio 2018)
- [2] CONAGUA (2015). Mantenimiento y Reparación de Tuberías y Piezas Especiales. En CONAGUA (Ed), Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. México, D.F.
- [3] Puust, R., Kapelan, Z., Savic, D. A., and Koppel, T. (2010). "A review of methods for leakage management in pipe networks." *Urban Water J.*, 7(1), 25–45.
- [4] Stewart Burn, Dhammika DeSilva, Matthias Eiswirth, Osama Hunaidi, Andrew Speers, Julian Thornton (1999). Pipe leakage–future challenges and Solutions. Pipes Wagga Wagga, Australia.
- [5] CEAG (2016). Diagnóstico sectorial agua potable y saneamiento. Guanajuato.
- [6] Jesús Mora-Rodríguez, Xitlali Delgado-Galván, Helena M. Ramos & P. Amparo López-Jiménez (2013): An overview of leaks and intrusion for different pipe materials and failures, *Urban Water Journal*, DOI:10.1080/1573062X.2012.739630
- [7] Makar, J.M., 2000. A preliminary analysis of failures in grey cast iron water pipes. *Engineering Failure Analysis*, 7, 43–53.
- [8] Davis, P., et al., 2007. A physical probabilistic model to predict failure rates in buried PVC pipelines. *Reliability Engineering and System Safety*, 92, 1258–1266.
- [9] O'Day, D.K., et al., 1986. Water main evaluation for rehabilitation/replacement. Denver, CO: AWWA Research Foundation.
- [10] Pilcher, R., Hamilton, S., Chapman, H., Field, D., Ristovski, B., Stapely, S. (2007). Leak location and repair guidance notes, version 1, IWA Publishing, London.
- [11] Al-Ghamdi, A. S. (2011). Leakage–pressure relationship and leakage detection in intermittent water distribution systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 60(3), 178-183.
- [12] Al-Dhowalia, K. H., Kh, S. N., Quraishi, A. A., & Al-Muttair, F. F. (1989). Assessment of leakage in the Riyadh water distribution network. First Progress Report, King Abdulaziz City for Science and Technology.
- [13] Mutikanga, H. E., Sharma, S. K., and Vairavamoorthy, K. (2011a). "Assessment of apparent losses in urban water systems." *Water Environ. J.*, 25(3), 327–335
- [14] Thornton, J., Sturm, R., and Kunkel, G. (2008). *Water loss control*, McGraw-Hill, New York.
- [15] Cassa, A. M., Van Zyl, J. E., and Laubscher, R. F. (2010). "A numerical investigation into the effects of pressure on holes and cracks in water supply pipes." *Urban Water J.*, 7(2), 109–120.
- [16] May, J., 1994. Pressure dependent leakage. *World Water and Environmental Engineering*, Octubre 10.