

Jornadas de Automática

Detección y localización de fugas en redes de distribución de agua potable

Blesa, Joaquim^{a,b,c,*}

^aSafety and Automatic Control Research Center (CS2AC), 08222, Terrassa; joaquim.blesa@upc.edu

^bSerra Húnter Fellow, Department of Automatic Control, Universitat Politècnica de Catalunya Barcelona Tech, 08019, Barcelona, España.

^cInstitut de Robòtica i Informàtica Industrial, CSIC-UPC, 08028, Barcelona, España.

To cite this article: Blesa, Joaquim. 2025. Leak detection and localization in water distribution networks.

Jornadas de Automática, 46. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2025.46.12188>

Resumen

Las redes de agua potable enfrentan graves pérdidas por fugas (hasta 30 %), agravando la escasez hídrica mundial. En Europa, se estima que el 25 % del agua tratada se pierde produciendo un coste económico y medioambiental importante. La UE y España impulsan soluciones mediante directivas y fondos para digitalización con el objetivo de minimizar estas pérdidas. Este trabajo aborda el problema de la detección y localización de fugas en redes de distribución de agua. En primer lugar, se presenta una revisión de los principales métodos existentes en la literatura técnica. Posteriormente, se presentan dos metodologías específicas: un método para la detección de fugas y otro para su localización precisa. Finalmente, estas propuestas metodológicas son implementadas y evaluadas mediante su aplicación a dos casos de estudio.

Palabras clave: Detección de fallos, Diagnóstico de fallos, Hidroinformática, Sistemas de abastecimiento y distribución de agua, Filtrado y estimación para Diagnosis

Leak detection and localization in water distribution networks

Abstract

Drinking water networks suffer significant losses from leaks (up to 30 %), worsening global water scarcity. In Europe, an estimated 25 % of treated water is lost, resulting in substantial economic and environmental costs. The EU and Spain are promoting solutions through directives and digitalization funding to minimize these losses. This work addresses the problem of leak detection and localization in water distribution networks. First, the main existing methods reported in the technical literature are reviewed. Then, two specific methodologies are introduced: one for leak detection and another for accurate leak localization. Finally, these methodological approaches are implemented and evaluated through their application to two case studies.

Keywords: Fault Detection, Fault Diagnosis, Hydroinformatics, Water supply and distribution systems, Filtering and estimation for FDI

1. Introducción

Las redes de distribución de agua potable (WDN, Water Distribution Networks) constituyen una infraestructura crítica para el desarrollo de las ciudades modernas, debido a su gran impacto socioeconómico. Estas redes son complejas, tanto por su gran extensión —que puede involucrar miles de tuberías— como por su comportamiento hidráulico no lineal. Uno de los principales retos operativos es la detección y control de fugas, que pueden representar hasta un 30 % del volumen total

de agua distribuida Puust et al. (2010), una cifra preocupante dada la creciente escasez del recurso hídrico. Se estima que en un futuro cercano, cerca del 50 % de la población mundial podría carecer de acceso seguro y asequible al agua Gosling and Arnell (2016). En este contexto, las Naciones Unidas han definido el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS 6), que promueve el acceso universal al agua potable mediante una gestión eficiente, la reducción de pérdidas y la mejora de la calidad del agua.

* Autor para correspondencia: joaquim.blesa@upc.edu
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

En Europa, se pierde alrededor del 25 % del agua tratada como agua no contabilizada, lo que genera pérdidas económicas anuales superiores a 27.000 millones de euros y un considerable impacto ambiental. Cada metro cúbico perdido implica la emisión de aproximadamente 3 kg de CO_2 debido a la energía invertida en su captación, tratamiento y distribución, sumando unas 25 millones de toneladas de CO_2 anuales en la UE —equivalente a las emisiones de 5 millones de personas. Este nexo agua-energía refuerza la urgencia de mejorar la eficiencia hídrica como estrategia clave frente al cambio climático. La Comisión Europea, mediante normativas como la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE), el Pacto Verde Europeo y la revisión de la Directiva de agua potable (2020/2184), ha destacado la necesidad de una gestión sostenible, con especial énfasis en el control de fugas.

En España, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC 2021–2030) identifica la gestión eficiente del agua como una prioridad ante los efectos del cambio climático. En esta línea, el PERTE de Digitalización del Ciclo del Agua promueve el uso de tecnologías avanzadas para el monitoreo de redes, con énfasis en la detección temprana de fugas, mantenimiento predictivo y control inteligente.

La supervisión de fugas es esencial para mejorar la resiliencia de las WDN, reducir costes operativos y fomentar el uso sostenible del recurso. Este proceso se estructura en tres etapas: detección (identificación de anomalías en presión o caudal), localización (delimitación geográfica de la fuga) y sensorización estratégica (ubicación óptima de sensores). Para su implementación se combinan sensores de presión, caudalímetros, contadores de lectura automática y sistemas acústicos, junto con algoritmos analíticos basados en modelos hidráulicos o datos históricos. La validación, mediante simulaciones o pruebas experimentales, garantiza su eficacia bajo distintas condiciones operativas.

En este trabajo se presenta el problema de la detección y localización de fugas en WDN. Se da una visión genérica de los métodos existentes y por otro lado se presentan un método de detección y un método de localización de fugas que se aplican a dos casos de estudio.

La estructura del resto del artículo es la siguiente: La Sección 2 introduce las redes de distribución de agua. La Sección 3 aborda el problema de la detección de fugas y presenta un método que se aplica a la detección de fugas en una red real. La Sección 4 presenta los métodos de localización de fugas e introduce un método que se aplica a la localización de fugas a un banco de pruebas utilizado por la comunidad científica. La Sección 5 presenta las conclusiones.

2. Redes de distribución de agua

Las redes de distribución de agua en las poblaciones de cierta dimensión están divididas en Zonas de Medición Sectorizada (DMA, District Metered Area) que son sectores hidráulicamente aislados de la red en los que toda el agua que entra y sale se puede medir con precisión, lo que permite controlar y analizar el consumo y las pérdidas de agua de manera localizada. Los componentes principales de las DMA son:

1. Entradas, alimentan la red con agua que proviene en la mayoría de los casos de depósitos conectados a la red. Las

DMA's pueden tener una o varias entradas.

2. Válvulas reductoras de presión (PVR, Pressure Valve Regulator): garantizan que siempre haya una presión de agua adecuada y confortable para el uso de los consumidores.
3. Tuberías: distribuyen el agua a lo largo de la red.
4. Nodos: pueden ser uniones entre tuberías o puntos donde los usuarios finales están conectados a la red.
5. Sensores: se pueden instalar distintos tipos de sensores en la red de distribución de agua, principalmente sensores de presión y de caudal.

En las redes más modernas también existen contadores de lectura automática (AMR, Automatic Meter Reading) que son dispositivos de lectura remota que se acoplan a un contador de agua existente. Este dispositivo permite informar sobre la demanda de consumo del nodo en el que está instalado. En la Figura 1 se muestra la red de distribución de agua L-Town que es una red ficticia desarrollada como banco de pruebas para evaluar métodos de detección y localización de fugas en el marco del desafío internacional BattLeDIM (Battle of the Leakage Detection and Isolation Methods) Vrachimis et al. (2022). Este desafío fue organizado para comparar objetivamente diversas metodologías basadas en datos SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), incluyendo mediciones de presión y caudal, con el fin de identificar y localizar fugas en redes de agua. Como se puede observar la red L-Town está dividida en 3 zonas (A, B y C).

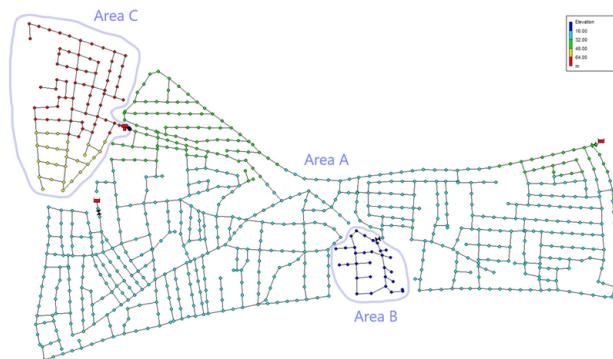


Figura 1: Esquema de la la red L-Town

La Figura 2 presenta el esquema conceptual de una DMA genérica, en el que se ilustran las principales variables que intervienen en su funcionamiento. Las demandas de los usuarios, que generalmente no se registran en tiempo real salvo que se disponga de un sistema de lectura automática (AMR) en los contadores de consumo de los diferentes usuarios, junto con las fugas presentes en la red, determinan la demanda total del DMA, es decir, el caudal de entrada al sistema. A su vez, estas variables, en combinación con las condiciones de contorno (como la presión en el punto de entrada y la configuración de los distintos elementos de control) condicionan la distribución de presiones en los nodos internos de la red.

En la práctica, las DMA's suelen contar al menos con mediciones de caudal y presión en los puntos de entrada, tanto para fines de facturación como para el control operativo. Adicionalmente, es común la instalación de sensores de presión distribuidos estratégicamente en el interior de la red, con el objetivo de supervisar su comportamiento hidráulico y detectar posibles anomalías.

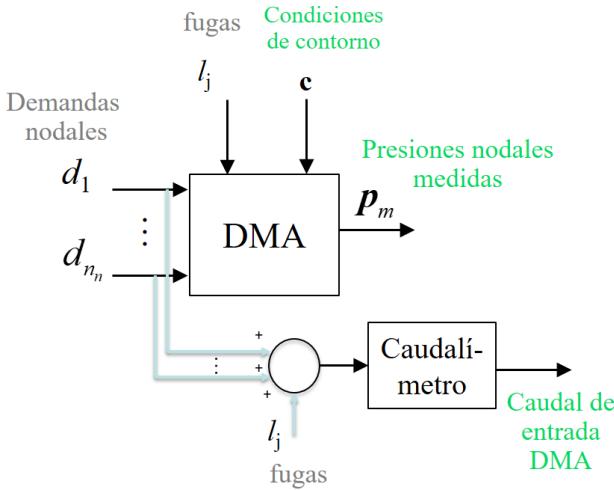


Figura 2: Esquema conceptual de una DMA genérica

Una WDN puede modelarse como un sistema estático utilizando las ecuaciones no diferenciales de Hazen-Williams, considerando que los cambios en las demandas y los caudales son lo suficientemente lentos como para asumir que el sistema opera en un régimen estacionario. La relación del caudal en las tuberías puede describirse de la siguiente manera:

$$q_{ij} = (h_i - h_j)|h_i - h_j|^{1/a} \left(\frac{10,7 L_{ij}}{C_{ij}^a D_{ij}^{4,87}} \right)^{1/a} \quad (1)$$

donde q_{ij} es el caudal en la tubería entre los nodos i y j en m^3/h , h_i y h_j son las cargas hidráulicas (heads) de los nodos i y j respectivamente en metros [m], L_{ij} es la longitud de la tubería y $D_{i,j}$ su diámetro, ambos en metros [m], C_{ij} es el coeficiente de rugosidad de la tubería, y a es el exponente del caudal, cuyo valor es 1.852. Además, se puede establecer un balance de caudales en los nodos aplicando la ley de conservación

$$g_i - d_i = 0 \quad (2)$$

donde d_i es la demanda en el nodo i y g_i es la suma de los caudales que pasan por el nodo i , ambos en m^3/s . Típicamente, las demandas en los nodos de una red se estiman a partir de los registros de facturación disponibles. Estos registros permiten calcular el consumo promedio diario asociado a cada nodo en relación con el consumo total del sistema. A partir de esta información, se asume que las demandas nódulas siguen un patrón de distribución común, de modo que cada nodo mantiene una proporción fija del caudal total que ingresa a la red. Esta aproximación facilita la modelación hidráulica, aunque introduce limitaciones en la representación de variaciones espacio-temporales del consumo real.

3. Detección de fugas

La detección de fugas en redes de distribución de agua se puede abordar mediante métodos directos o indirectos. Los métodos directos buscan detectar físicamente la fuga en el terreno o infraestructura. Son generalmente aplicados de forma manual o in situ: Mediante inspección visual, uso de geófonos

o correladores acústicos Hunaidi and Chu (1999), Cámaras térmicas Fahmy and Moselhi (2010) o mediante el uso de Gas trazador. Estos métodos son costosos y lentos para grandes redes ya que requieren acceso físico al sitio donde está la fuga y personal capacitado. Los métodos indirectos para la detección de fugas se fundamentan en el análisis de datos hidráulicos y en la evaluación del comportamiento operativo del sistema, con el fin de identificar indicios de pérdidas. Estos enfoques resultan especialmente adecuados para redes de gran tamaño y entornos con supervisión continua, ya que pueden integrarse de forma eficiente con sistemas SCADA. La mayoría de estos métodos se basa en el análisis del Caudal Mínimo Nocturno (MNF, por sus siglas en inglés) de una DMA, que consiste en monitorizar el caudal mínimo de entrada al sector, el cual típicamente se registra durante la madrugada, entre las 2:00 y las 6:00 horas, cuando la demanda de los usuarios es mínima (Marzola et al., 2021).

A partir de un análisis estadístico del caudal de demanda total en una DMA, denotado como q_{DMA} , es posible construir un modelo de estimación de la demanda. En la mayoría de los DMAs, especialmente aquellas con usuarios residenciales, la demanda presenta un comportamiento periódico. Esto permite obtener un modelo promedio a partir de los datos históricos de caudal horario Alves et al. (2022a), el cual puede utilizarse para predecir su evolución futura. Posteriormente, el caudal real medido en la entrada del DMA puede compararse con la estimación; la diferencia entre ambos (el residuo) puede emplearse para detectar la presencia de posibles fugas de agua en la red, tal como se muestra en el esquema de la Figura 3.

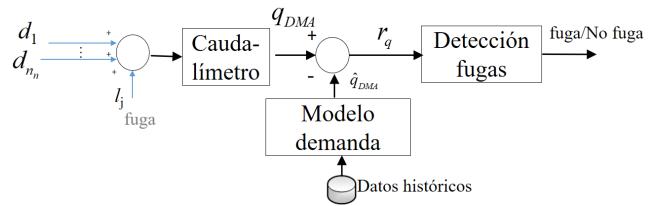


Figura 3: Esquema detección basada en caudal de entrada DMA

La Figura 4 presenta el caudal medio horario de una DMA perteneciente a la red de distribución de agua potable de Barcelona, obtenido a partir de datos reales de caudal horario recopilados durante varios meses. Además, se incluyen los valores máximos y mínimos horarios registrados en dichos datos.

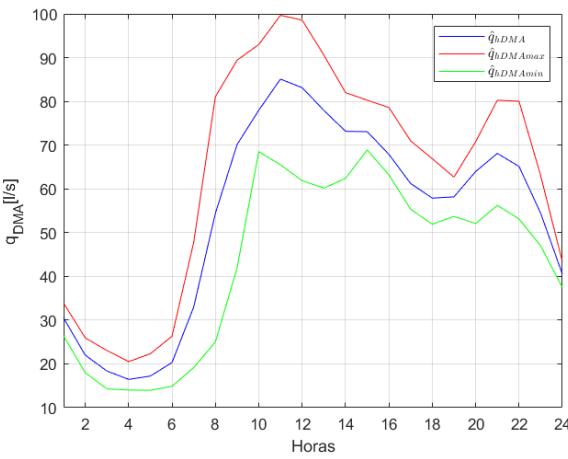


Figura 4: Valores horarios de la estimación media del caudal total de consumo de la DMA y valores horarios máximos y mínimos de los datos reales utilizados en la calibración

Como se puede observar, la divergencia entre el caudal promedio y los caudales mínimo y máximo observados es mucho menor en las horas de la madrugada. Considerando el esquema de detección de fugas de la Figura 3 la detección de fugas se podría implementar mediante

$$\begin{cases} r_{q_{DMA}}(k) > th(k) \Rightarrow \text{Fuga} \\ \text{En otro caso} \Rightarrow \text{No Fuga} \end{cases} \quad (3)$$

donde k es el instante de tiempo horario. El residuo de caudal $r_{q_{DMA}}(k)$ y el umbral de detección $th(k)$ se obtienen de la siguiente manera

$$\begin{aligned} r_{q_{DMA}}(k) &= q_{DMA}(k) - \hat{q}_{DMA}(k) \\ th(k) &= \beta(q_{DMAmax}(k) - \hat{q}_{DMA}(k)) \end{aligned} \quad (4)$$

donde $q_{DMA}(k)$ y $\hat{q}_{DMA}(k)$ son los caudales medido y estimado en la hora k , $\beta \geq 1$ es un factor de seguridad y $q_{DMAmax}(k)$ el caudal máximo observado en el histórico de datos correspondiente a la hora k . La Figura 5 muestra un escenario de fuga de 2.5l/s que se inicia en $k = 90$ (en la tarde del cuarto día).

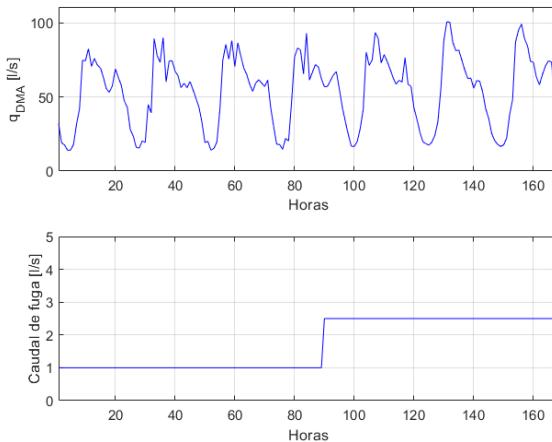


Figura 5: Escenario de fuga de 2.5l/s a partir de $t=90h$

Aplicando el método de detección (3) se obtiene el resultado que se muestra en la Figura 7. Como se puede observar,

la fuga se detecta en $k = 101$ (en las horas de madrugada del quinto día), pero la fuga no es suficientemente grande como para mantener la alarma unos instantes de tiempo ya que el umbral de detección crece en las siguientes horas.

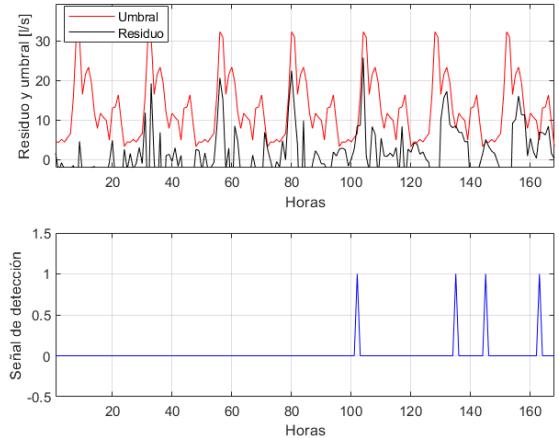


Figura 6: Detección de fuga utilizando error instantáneo y umbral adaptativo

Con el fin de lograr una detección de fugas más robusta, y siguiendo las ideas propuestas en Alves et al. (2022a), cada residuo horario $r_{q_{DMA}}(k)$, que representa el error en la estimación de la demanda, puede modelarse como una variable aleatoria con distribución normal. En condiciones sin fuga, esta distribución tiene media cero, mientras que en presencia de una fuga, la media se desplaza hacia un valor distinto de cero, correspondiente a la magnitud de la fuga l . Se asume además que la varianza estadística de esta distribución normal, denotada como $\sigma^2(k)$, representa el error de estimación del caudal de demanda en el instante k . Dado que la demanda presenta un comportamiento periódico (por ejemplo, con un periodo de 24 horas), se puede suponer que la varianza también es periódica, es decir, $\sigma^2(k) = \sigma^2(k + 24)$. El valor de $\sigma^2(k)$ para cada instante horario puede determinarse mediante la calibración de funciones de distribución a partir de datos históricos de caudal de demanda de la DMA. Por lo tanto, además de la media y los valores máximos y mínimos horarios del caudal, también es posible estimar la varianza asociada a cada hora del día.

$$r_{q_{DMA}}(k) \sim N(l, \sigma^2(k)) \quad (5)$$

Finalmente, fusionando la información obtenida en una ventana temporal de H horas (H funciones de distribución normales) se obtiene la siguiente función de distribución normal

$$N(l_H(k), \sigma_H^2(k)) \quad (6)$$

$$\text{donde } \sigma_H^2(k) = \sum_{i=0}^{i=H-1} \frac{1}{\sigma^2(k-i)} \text{ y } l_H(k) = \frac{\sum_{i=0}^{i=H-1} \frac{r_{q_{DMA}}(k-i)}{\sigma^2(k-i)}}{\sum_{i=0}^{i=H-1} \frac{1}{\sigma^2(k-i)}}$$

De este modo, la detección de fugas en la red puede formularse como en la ecuación (3), evaluando en este caso si la media estimada de la distribución normal, denotada como $l_H(k)$, supera un determinado umbral. Este umbral de detección puede definirse a partir del valor máximo histórico observado de $l_H(k)$ en condiciones normales (sin fuga), multiplicado por un factor de seguridad $\beta > 1$. En relación con la elección del horizonte temporal H , que actúa como una ventana móvil en el

cálculo del promedio ponderado, se debe considerar un compromiso entre dos factores: por un lado, la capacidad de filtrar errores instantáneos en la estimación de la demanda (robustez); y por otro, la capacidad de respuesta ante la aparición de una fuga (rapidez de detección). Una elección adecuada es tomar $H = T$, normalmente $T = 24$, de modo que se asegura que las horas con menor varianza —y, por tanto, mayor precisión en la estimación del caudal— se incluyan sistemáticamente en todas las ventanas temporales.

Al aplicar este nuevo método de detección al escenario de fuga ilustrado en la Figura 5, se obtiene el resultado mostrado en la Figura 7. Como se puede observar, la fuga es detectada en el instante $k = 98$, lo cual representa una detección más temprana en comparación con el método anterior. Además, la señal de detección se mantiene persistente en el tiempo, lo que refuerza la fiabilidad del diagnóstico. Por otro lado, el valor estimado de $l_H(k)$ proporciona una aproximación de la magnitud de la fuga (en este caso, 2,5 l/s), lo cual resulta de utilidad para las etapas posteriores de localización de fugas.

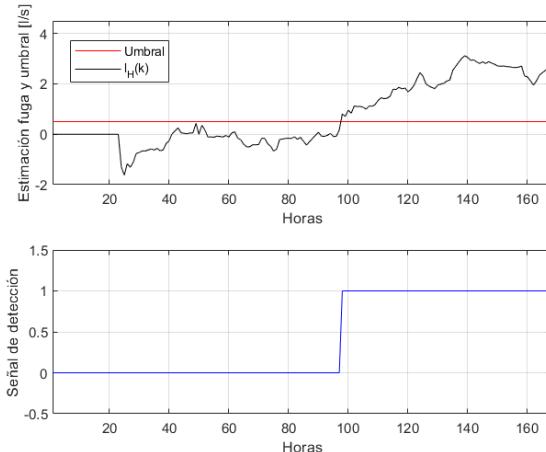


Figura 7: Detección de fuga utilizando error y umbral promedio ponderado

4. Localización de fugas

Los métodos de localización de fugas se agrupan comúnmente en dos grandes categorías: los basados en modelos y los fundamentados en datos. Los primeros requieren un modelo hidráulico detallado y calibrado de la red, que incluya tanto las características físicas como las demandas, con el fin de realizar simulaciones que permitan contrastar resultados teóricos con datos reales. Un enfoque pionero fue propuesto en Pudar and Liggett (1992), donde se analiza el impacto de fugas hipotéticas en cada nodo de la red para inferir su posible ubicación. Más adelante, Pérez et al. (2014) introdujo una metodología ampliamente utilizada que emplea una matriz de firmas de fallos generada mediante simulaciones hidráulicas, comparando estas con las presiones medidas en campo para identificar la localización más probable de la fuga.

En los últimos años han emergido métodos basados en datos, orientados a superar las limitaciones de los enfoques basados en modelos, como la complejidad de calibración, la estructura de la red y los errores de modelado (Blesa and Pérez (2018)). Estos métodos utilizan las señales obtenidas por sen-

sores instalados en la red y recurren a históricos de datos en lugar de modelos hidráulicos.

En particular, muchas metodologías se basan en sensores de presión ubicados en nodos internos de la DMA, generando residuos de presión r_{s_j} como diferencia entre medidas reales y estimaciones en condiciones sin fuga. Estos residuos se pueden calcular como

$$r_{s_j} = \hat{p}_{s_j}(c) - p_{s_j}(c), \quad \forall j = 1, \dots, n_s, \quad (7)$$

donde \hat{p}_{s_j} y p_{s_j} son, respectivamente la estimación de presión sin fuga en el nodo con sensor s_j y la medición de presión en el nodo interno s_j . c representa la condición de operación definida por las mediciones en la entrada, y n_s es el número de sensores internos instalados en la DMA. Las estimaciones de presión sin fuga pueden calcularse mediante un modelo hidráulico o mediante un histórico de datos. Si se dispone de un modelo físico de la DMA, se puede calcular la matriz de sensibilidad de fugas Ω como

$$\Omega = \begin{bmatrix} \frac{dr_{s_1}}{df_1} & \dots & \frac{dr_{s_1}}{df_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{dr_{s_{n_s}}}{df_1} & \dots & \frac{dr_{s_{n_s}}}{df_n} \end{bmatrix} \quad (8)$$

donde $\frac{dr_{s_j}}{df_i} = \frac{\hat{p}_{s_j}(c) - \hat{p}_{s_j}^i(c)}{f_i}$, $\hat{p}_{s_j}^i(c)$ es la presión en el nodo con sensor s_j considerando una fuga en el nodo interno i , denotada como f_i y n es en número de nodos internos totales de la red. Entonces, la localización de fugas puede formularse como la correlación máxima entre los residuos observados y las diferentes hipótesis de fuga

$$\arg \max_{i \in 1, \dots, n_s} \frac{\omega_i r}{\|\omega_i\| \|r\|} \quad (9)$$

donde ω_i es la columna i -ésima de la matriz de sensibilidad (8) y r es el vector de residuos cuyas componentes se calculan mediante la ecuación (7). En general, los valores de la matriz Ω tienden a ser mayores cuanto menor es la distancia entre el sensor instalado y la fuga. Por lo tanto, en ausencia de un modelo hidráulico de la red, la localización de fugas puede plantearse como la búsqueda de la componente máxima del residuo (Alves et al. (2021))

$$\arg \max_{s_j \in s_1, \dots, s_{n_s}} r_{s_j} \quad (10)$$

La principal desventaja del método de localización de fugas definido por la ecuación (10), en comparación con el basado en la ecuación (9), es que su resultado no corresponde a un nodo específico, sino a un clúster asociado a uno de los n_s sensores de presión internos. No obstante, debido a su simplicidad y al hecho de que no requiere un modelo físico de la red, constituye un buen punto de partida para el desarrollo de métodos más sofisticados de localización de fugas basados en datos. Por ejemplo, a partir de las presiones registradas, es posible estimar las presiones en todos los nodos internos de la DMA considerando las n_s mediciones disponibles. Para ello, se define una función de interpolación ϕ_i que debe tener en cuenta las distancias hidráulicas entre el nodo i y los n_s nodos con sensores de presión

$$\hat{p}_i(c) = \phi_i(p_{s_1}(c), \dots, p_{s_{n_s}}(c)), \quad \forall i = 1, \dots, n, \quad (11)$$

Entre las técnicas de interpolación que pueden emplearse se encuentran el kriging (Soldevila et al. (2020)) y las funciones de base radial (Radial Basis Functions, RBFs)(Alves et al. (2022b)). Una vez estimadas las presiones en todos los nodos, se pueden calcular los residuos correspondientes para cada nodo interno de la DMA en cada instante de tiempo, denotados como $\hat{r}_i(k)$, con $i = 1, \dots, n$, de manera análoga a lo definido en la ecuación (7). Una vez se han calculado las presiones estimadas en todos los nodos, se pueden calcular los residuos para todos los nodos internos de la DMA para cada instante de tiempo $\hat{r}_i(k) \quad i = 1, \dots, n$ de la misma manera que en (7). A continuación, se puede definir un índice de probabilidad $\alpha_i(k)$

$$\alpha_i(k) = \frac{\hat{r}_i(k) - \hat{r}^{\min}(k)}{\hat{r}^{\max}(k) - \hat{r}^{\min}(k)} \quad (12)$$

donde $\hat{r}^{\max}(k)$ y $\hat{r}^{\min}(k)$ son los valores máximo y mínimo de los residuos calculados (por interpolación) para todos los nodos $i = 1, \dots, n$. El valor de $\alpha_i(k)$ es una medida de qué nodos, entre los n existentes, presentan los residuos más afectados por la fuga y, por lo tanto, permite identificar los candidatos a ser el nodo con fuga. Esta información puede combinarse con las probabilidades iniciales de fuga en cada nodo $P_i(k-1)$ mediante la regla de Bayes, con el fin de obtener las probabilidades posteriores actualizadas de fuga

$$P_i(k) = \frac{P_i(k-1)\alpha_i(k)}{\sum_{j=1}^n P_j(k-1)\alpha_j(k)} \quad (13)$$

Finalmente, la localización del nodo con fuga puede estimarse utilizando las probabilidades posteriores de fuga

$$\hat{j}(k) = \arg \max_{i \in \{1, \dots, n\}} \{P_i(k)\} \quad (14)$$

En la Figura 8 se representan las probabilidades P_i asociadas a los diferentes nodos de la red ante una fuga localizada en el Área A de la red L-Town, utilizando el método descrito anteriormente y considerando una interpolación mediante funciones de base radial (RBFs) del tipo *Thin Plate*. Como puede observarse, los nodos con mayor probabilidad de fuga se agrupan en las proximidades del nodo donde efectivamente se ha producido la fuga.

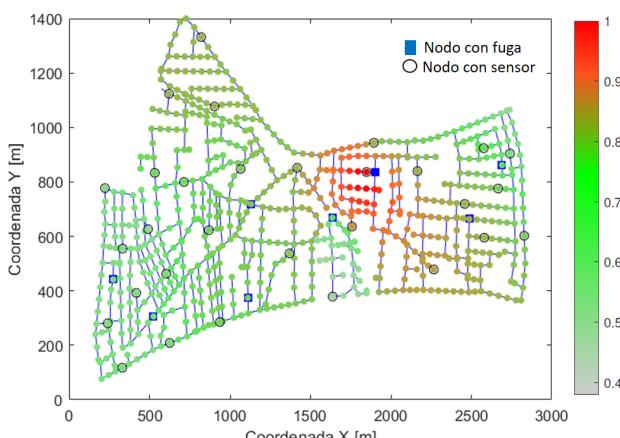


Figura 8: Probabilidades de fuga en nodos internos

5. Conclusiones

Este trabajo aborda el problema de la detección y localización de fugas en WDNs. Se han presentado y contextualizado dos metodologías específicas: un método para la detección de fugas y otro para su localización precisa. Finalmente, estas propuestas metodológicas se han implementado y evaluado mediante su aplicación a dos casos de estudio reales con resultados satisfactorios.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto PID2023-148840OB-I00 (SEAMLESS), financiado por MCIN/ AEI.

Referencias

- Alves, D., Blesa, J., Duviella, E., Rajaoarisoa, L., 2021. Robust data-driven leak localization in water distribution networks using pressure measurements and topological information. Sensors 21 (22). DOI: [10.3390/s21227551](https://doi.org/10.3390/s21227551)
- Alves, D., Blesa, J., Duviella, E., Rajaoarisoa, L., 2022a. Leak detection in water distribution networks based on water demand analysis. IFAC-PapersOnLine 55 (6), 679–684, 11th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes SAFEPROCESS 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.07.206>
- Alves, D., Blesa, J., Duviella, E., Rajaoarisoa, L., 2022b. Multi-leak detection and isolation in water distribution networks. In: Proceedings 2nd International Join Conference on Water Distribution System Analysis (WDSA) Computing and Control in the Water Industry (CCWI). pp. 108–119. DOI: <https://doi.org/10.4995/WDSA-CCWI2022.2022.14056>
- Blesa, J., Pérez, R., 2018. Modelling uncertainty for leak localization in water networks. IFAC-PapersOnLine 51 (24), 730–735. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.09.656>
- Fahmy, M., Moselhi, O., 2010. Automated detection and location of leaks in water mains using infrared photography. Journal of Performance of Constructed Facilities 24 (3), 242–248. DOI: [10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000094](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000094)
- Gosling, S. N., Arnell, N. W., 2016. A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. Climatic Change 134 (3), 371–385. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0853-x>
- Hunaidi, O., Chu, W. T., 1999. Acoustical characteristics of leak signals in plastic water distribution pipes. Applied Acoustics 58 (3), 235–254. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(99\)00013-4](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(99)00013-4)
- Marzola, I., Alvisi, S., Franchini, M., 2021. Analysis of mnf and favad model for leakage characterization by exploiting smart-metered data: The case of the gorino ferrarese (fe-italy) district. Water 13 (5), 643. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13050643>
- Perez, R., Sanz, G., Puig, V., Quevedo, J., Escofet, M. A. C., Nejjari, F., Mesequer, J., Cembrano, G., Tur, J. M. M., Sarrate, R., 2014. Leak localization in water networks: A model-based methodology using pressure sensors applied to a real network in barcelona [applications of control]. IEEE control systems magazine 34 (4), 24–36. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCS.2014.2320336>
- Pudar, R. S., Liggett, J. A., 1992. Leaks in pipe networks. Journal of Hydraulic Engineering 118 (7), 1031–1046.
- Puust, R., Kapelan, Z., Savic, D., Koppell, T., 2010. A review of methods for leakage management in pipe networks. Urban Water Journal 7 (1), 25–45.
- Soldevila, A., Blesa, J., Jensen, T. N., Tornil-Sin, S., Fernandez-Canti, R. M., Puig, V., 2020. Leak localization method for water-distribution networks using a data-driven model and Dempster-Shafer reasoning. IEEE transactions on control systems technology 29 (3), 937–948. DOI: [10.1109/TCST.2020.2982349](https://doi.org/10.1109/TCST.2020.2982349)
- Vrachimis, S. G., Eliades, D. G., Taormina, R., Kapelan, Z., Ostfeld, A., Liu, S., Kyriakou, M., Pavlou, P., Qiu, M., Polycarpou, M. M., 2022. Battle of the leakage detection and isolation methods. Journal of Water Resources Planning and Management 148 (12), 04022068. DOI: [10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001601](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001601)