

# PROPUESTA DCI

**Tema de tesis:** Estimación de demandas de agua en tuberías con ramales mediante observadores de entrada desconocida no lineales.

**Responsable:** Dr. Francisco Ronay López Estrada

**Línea de Investigación:** Sistemas Mecatrónicos

## 1 Resumen

Este trabajo propone una metodología basada en modelo para la estimación de múltiples demandas de caudal nodales, usando sólo los datos de presión y flujo de entrada al sistema de tuberías. Para el diseño del algoritmo de estimación se propone considerar observadores de entrada desconocidas no lineales. A diferencia de métodos basados en observadores lineales como Luenberger o el filtro de Kalman, un observador no lineal podría estimar las entradas con un tiempo de convergencia menor. Para el diseño del observador se considerará el modelo de columna de agua rígida, el cual ha demostrado su aplicabilidad en múltiples trabajos particularmente dedicados a la detección de fugas. El método propuesto se validará en el laboratorio de hidroinformática del ITTG.

## 2 Introducción

Una red de distribución de agua (RDA) es un conjunto de tuberías que trabajan a determinadas presiones para abastecer agua potable a los usuarios (Sankar et al., 2015). El conocimiento preciso de las demandas nodales que varían en distintos horarios, es un requisito previo para la predicción de la presión y la calidad del sistema de distribución. En consecuencia, conocer las demandas coadyuva a mejorar la operación del sistema de distribución por parte de los operadores de la RDA (Letting et al., 2017).

Las presiones y los caudales en las redes de distribución varían acorde a las demandas nodales, las cuales por lo general no son medibles, por ello su estimación es un problema de vital importancia en la gestión de la red. La estimación de las demandas se realiza a partir de los estados medidos y se ve como un problema inverso cuya solución depende de cuántas variables de estado son medibles. Ideal y tecnológicamente es posible colocar sensores para disponer de mediciones en toda la red hidráulica, sin embargo, los costos y la complejidad de estos sistemas hacen prohibitivo instrumentar un red hidráulica completa. En la literatura se ha abordado el problema de colocación de sensores al considerar las restricciones presupuestarias y la calidad de los datos medidos (Sarrate et al., 2014; Bermúdez et al., 2018) y el tiempo necesario para detectar eventos anormales Antunes and Dolores (2016); Schal et al. (2016). Por otro lado, se ha demostrado que el número de sensores se puede reducir mediante la agrupación de los nodos de demanda (Jung et al., 2016) según características de calidad del agua (Qin and

## PLANTA DE RED GENERAL

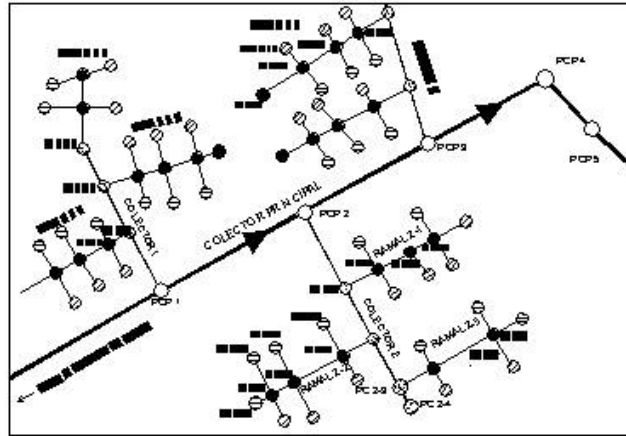


Figure 1: Caption

Boccelli, 2017). En Ribeiro et al. (2015), se utiliza una técnica de clasificación para seleccionar nodos con el fin de ubicar sensores de presión. Debido a las dificultades antes mencionadas, con respecto a la colocación de sensores y de la importancia de ello, la estimación simultánea de las demandas nodales junto con las presiones y los caudales no medidos, a partir de datos obtenidos de un número limitado de sensores, es un problema de investigación latente y abierto a la investigación.

Es importante mencionar que en un trabajo previo de maestría se logró la estimación de demandas considerando un filtro de Kalman Extendido (Torres et al., 2019). Sin embargo, una de las ventajas que presenta este método es la velocidad de convergencia de la estimación de la demanda, esto debido a que el método propuesto es muy sensible a cambios en el tiempo de muestreo, a la consideración de ruido acotado y la linealización del modelo. Otra razón por la cual los métodos basados en EKF son lentos se debe a que en cada instante de muestreo es necesario calcular los jacobianos, esto conlleva a un alto número de iteraciones que al final reducen la aplicabilidad experimental del método. En este trabajo se propone diseñar un método de estimación de demandas considerando un observador de entradas desconocidas no lineal. Para tal efecto el modelo no lineal del sistema se representa de la siguiente forma:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), u_d(t)) + g(x)\omega(t) \quad (1)$$

$$y(t) = h(t) \quad (2)$$

donde  $x(t)$  representa los estados del sistema,  $u(t)$  las entradas medidas y  $u_d(t)$  las entradas desconocidas.  $\omega(t)$  representa el vector de perturbaciones y  $y(t)$  las salidas medidas. El objetivo de un observador es estimar las entradas desconocidas mediante la información de las salidas, los estados y las entradas medidas. Para efecto de estimación de una entrada desconocida un observador de estados no lineal podría considerar la estructura siguiente:

$$\dot{z}(t) = N(\rho)z(t) + G(\rho)u(t) + M(\rho)\hat{\omega} + K_1(\rho)y(t) \quad (3)$$

$$\hat{x}(t) = z(t) - Ey(t) \quad (4)$$

$$\hat{w}(t) = K_2(y(t) - \hat{y}(t)) \quad (5)$$

Donde  $z(t)$  son los estados del observador,  $\hat{x}(t)$  los estados estimados del sistema,  $\hat{\omega}(t)$  las entradas estimadas del sistema.  $N$ ,  $G$ ,  $M$  son matrices que se calculan mediante procedimientos algebraicos.  $K_1, K_2$  son las matrices del observador de entradas desconocidas las cuales deben calcularse tal que el error de estimación entre el sistema lineal y el observador de estados tienda a cero conforme el tiempo tiende a infinito Martínez-García et al. (2019). Este trabajo no es trivial, pues debe de considerarse además ruido de medición presentes en todos los sensores así como perturbaciones externas tales como las vibraciones en tuberías. Por otro lado el reto principal de este trabajo no es diseñar un solo observador de entradas desconocidas, sino múltiples observadores en cascada que estimen las demandas en una sistema de tuberías con ramales como el que se muestra en la Fig. 2

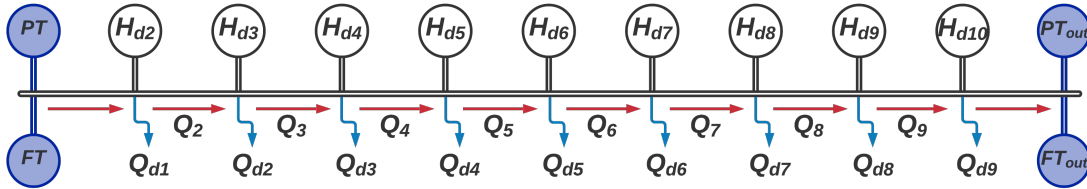


Figure 2: Tubería con nueve demandas de caudal.

Nótese que en este esquema se conocen las mediciones de presión y caudales en los extremos, pero no en todos los ramales de la tubería. Por ello las mediciones de presión y caudal de entrada son considerados para estimar la demanda  $Q_{d1}$  y en una segunda etapa  $Q_{d1}$  y  $H_{d2}$  son considerados como las entradas del siguiente observador. El principal problema de este esquema es que se "arrastra" un error de convergencia tal que el observador 2 no puede ser más rápido que el observador 1, puesto que para estimar  $Q_{d2}$  es necesario tener un estimación adecuada de  $Q_{d1}$ . Este problema no se puede resolver con filtros de Kalman, debido a su naturaleza estocástica y discreta. En este trabajo se espera proponer esquemas que no solo mejoren los tiempos de convergencia sino también reduzcan los errores de estimación de demanda. Por otro lado, es importante mencionar que el trabajo no busca detectar fugas, aunque una fuga también podría modelarse como una demanda desconocida. Sin embargo, se estudiarán los efectos de las fugas cuando sobre los observadores de demanda en la red hidráulica piloto del ITTG.

### 3 Hipótesis

Considerando un enfoque de observadores de entrada desconocidas no lineales, se estimarán demandas desconocidas en redes de distribución de agua con ramales con errores de esti-

mación y convergencia menores a los considerados con EKF.

## **4 Objetivos**

### **General**

Estimar demandas en una red de distribución de agua con ramales mediante observadores de entrada desconocidas no lineales.

### **Específicos**

- Estudiar los métodos de estimación de demandas con EKF
- Diseñar un estimador de una demanda en una red con un ramal
- Extender el método de estimación con múltiples ramales
- Desarrollar un algoritmo para la estimación de demandas aún bajo condiciones de una fuga

## **5 Metas**

1. 2 artículos de congresos de prestigio
2. 2 artículos publicados o aceptados en revistas JCR
3. 1 convenio de colaboración con la Universidad de Grenoble
4. 1 estancia internacional
5. 1 artículo de congreso sometido
6. 1 artículo de revista sometido

## 6 Cronograma de actividades

Actividad	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8
Estado del arte	X	X	X	X				
Sem. Predoc.		X						
Diseño del OED con un ramal			X	X				
OED con múltiples ramales			X					
Estancia					X	X		
Validación experimental						X		
Exam. Pred						X		
Tesis							X	X

## 7 Financiamiento

Para el desarrollo de la tesis se cuenta con el laboratorio de hidroinformática el cual cuenta con una red hidráulica instrumentada con sensores industriales, un sistema SCADA industrial y una PC con alto poder de cómputo. Debido a ello, no se requiere financiamiento adicional.

## 8 Vinculación

Se buscara fortalecer el acuerdo de colaboración que se tiene con la Universidad de Grenoble Francia con el Dr. Gildas Becancon, quien es experto mundial en el modelado de redes de distribución de agua potable.

## Publicaciones

Antunes, C.H. and Dolores, M. (2016). Sensor location in water distribution networks to detect contamination events—a multiobjective approach based on nsga-ii. In *2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, 1093–1099. IEEE.

Bermúdez, J.R., López-Estrada, F.R., Besançon, G., Valencia-Palomo, G., Torres, L., and Hernández, H.R. (2018). Modeling and simulation of a hydraulic network for leak diagnosis. *Mathematical and Computational Applications*, 23(4), 70.

Jung, D., Choi, Y., and Kim, J. (2016). Optimal node grouping for water distribution system demand estimation. *Water*, 8(4), 160.

Letting, L., Hamam, Y., and Abu-Mahfouz, A. (2017). Estimation of water demand in water distribution systems using particle swarm optimization. *Water*, 9(8), 593.

- Martínez-García, C., Astorga-Zaragoza, C., Puig, V., Reyes-Reyes, J., and López-Estrada, F. (2019). A simple nonlinear observer for state and unknown input estimation: Dc motor applications. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*.
- Qin, T. and Boccelli, D.L. (2017). Grouping water-demand nodes by similarity among flow paths in water-distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(8), 04017033.
- Ribeiro, L., Sousa, J., Marques, A., and Simões, N. (2015). Locating leaks with trustrank algorithm support. *Water*, 7(4), 1378–1401.
- Sankar, G.S., Kumar, S.M., Narasimhan, S., Narasimhan, S., and Bhallamudi, S.M. (2015). Optimal control of water distribution networks with storage facilities. *Journal of Process Control*, 32, 127–137.
- Sarrate, R., Blesa, J., Nejjari, F., and Quevedo, J. (2014). Sensor placement for leak detection and location in water distribution networks. *Water Science and Technology: Water Supply*, 14(5), 795–803.
- Schal, S., Bryson, L.S., Ormsbee, L.E., et al. (2016). A simplified procedure for sensor placement guidance for small utilities. *IJCIS*, 12(3), 195–212.
- Torres, L., Jiménez-Cabas, J., González, O., Molina, L., and López-Estrada, F.R. (2019). Kalman filter for leak diagnosis in pipelines: Brief history and future research.