

## INSTALACIÓN DE ESTACIONES IOT PARA EL MONITOREO Y DIAGNÓSTICO DE LA RED DE AGUA EN LA CIUDAD DE GUANAJUATO

LIZETH TORRES<sup>1</sup> Y MARTÍN JIMÉNEZ MAGAÑA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INSTITUTO DE INGENIERÍA-UNAM.

<sup>2</sup> FES ARAGÓN

Un sistema de agua inteligente es uno de los seis ingredientes que conforman una *Smart City*; el resto son sistemas que involucran la gestión de energía, movilidad, edificios, servicios públicos y economía. El objetivo de integrar estos sistemas es conseguir que las ciudades sean más eficientes para mejorar la calidad de vida de sus habitantes<sup>1</sup>. En términos generales, un sistema de agua inteligente maneja un enfoque holístico para administrar este recurso invaluable, así como la infraestructura que rodea su abastecimiento, tratamiento y distribución<sup>2</sup>. Técnicamente, los sistemas de agua inteligentes utilizan sensores capaces de recopilar datos en tiempo real y transmitirlos a la nube, es decir, sensores adecuados para el internet de las cosas (*Internet of Things: IoT*). Estos sensores permiten ejecutar maniobras indispensables para una buena gestión de las redes de distribución de agua, como, por ejemplo, el monitoreo de la calidad y la detección de fugas, que son tareas que se deben realizar considerando que se pierde alrededor de 40% del agua potable en México. Lo anterior, debido a que

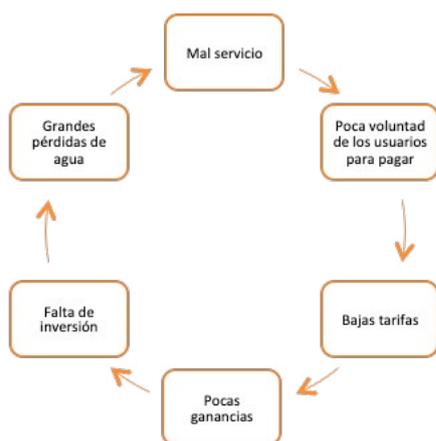


Figura 1. Círculo vicioso de las pérdidas de agua

muchos de los organismos que gestionan el agua han entrado en el círculo vicioso de las pérdidas (ver Figura 1), el cual, sólo se puede romper midiendo y usando las herramientas en las que se apoya la hidroinformática<sup>3</sup>.

En este sentido, con apoyo de CONACyT, el IIUNAM y el Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guanajuato (SIMAPAG) emprendieron la implementación del piloto de un sistema de agua inteligente en la ciudad de Guanajuato, que utiliza tecnología IoT para obtener información en tiempo real de los sensores hidráulicos y de calidad ubicados en estaciones IoT.

En el presente contexto, una estación IoT es un espacio físico (por ejemplo, una caja de válvulas) que se compone de tres sistemas: una fuente de alimentación, una matriz de sensores y un dispositivo de telemetría, que envía la información capturada por los sensores a un espacio virtual en la nube: una plataforma *web*.

### Descripción de la red de agua de la ciudad de Guanajuato

De la demanda de agua de la ciudad de Guanajuato, 40% proviene de dos plantas de tratamiento: “Los Filtros” e “Ing. Salvador Yañez Castro”. La primera planta es abastecida por las presas “La Soledad” y “La Esperanza”, mientras que la segunda es abastecida por “Presa de Mata”. Del agua potable restante, 60% proviene de pozos. La red de distribución de agua de la ciudad de Guanajuato tiene una extensión aproximada de 655.382 km y tiene tuberías con diámetros que van de 4” a 16”, de las cuales, 72% es de PVC. La red se divide en 26 macro-sectores, de los cuales, uno se llama “3 Estrellas”, que incluye al sector “Los Alcaldes”: área elegida para la puesta en marcha del piloto de un sistema de agua inteligente. Este sector se abastece por un tanque superficial con un volumen de 1000 m<sup>3</sup>, que a su vez, se abastece de una estación conocida como “Cárcamo Yerbabuena”, que es proveída por agua de los pozos. El trazo del sector se muestra en la Figura 2.

### Descripción del sistema de agua inteligente “Los Alcaldes”

Actualmente, el sistema de agua inteligente “Los Alcaldes” cuenta con dos estaciones IoT. La primera estación está localizada en la entrada del sector, mientras que la segunda se encuentra en el Hospital General de Guanajuato. Se tienen proyectadas dos más: una en una estación de autobuses y otra en un extremo del sector. La primera estación es un espacio subterráneo rectangular con paredes de concreto a la que se accede mediante una escalera marina. La tubería principal,

que distribuye el agua al sector, tiene un diámetro de 3" y atraviesa esta estación. En esta tubería se instaló una válvula reductora de presión (VRP) junto con dos transductores de presión: un transductor aguas arriba y el otro aguas abajo de la VRP. También, se instaló un medidor de gasto aguas abajo de la VRP con el fin de medir la demanda de los usuarios del sector. Adicionalmente, un *bypass* se montó en la tubería principal, en el cual, se colocaron sensores de pH, temperatura y cloro. El objetivo del *bypass* es permitir que los sensores puedan aislarse mientras se ejecutan actividades de mantenimiento sin necesidad de interrumpir el suministro de agua.

La estación fue diseñada para ser autónoma energéticamente, cuenta con un sistema de suministro de energía de origen fotovoltaico con una capacidad de almacenamiento para operar hasta 30 días sin sol. Se muestra una imagen de esta estación en la Figura 3. La estación está equipada con dos dispositivos de telemetría que envían las mediciones tomadas por los sensores hacia una plataforma *web*. Un dispositivo envía las mediciones proporcionadas por los transductores de presión y el otro envía las mediciones proporcionadas por el medidor de gasto, pH, temperatura y cloro. Ambos dispositivos utilizan diferentes protocolos de comunicación para trabajar con los diversos sensores que están conectados a ellos, incluidos los protocolos analógicos y digitales: 4-20 mA, HART, RS-232/485, UART, SPI, I2C. Además, los dispositivos tienen un módulo de comunicación de radiofrecuencia que es compatible con las redes 2G y 3G de cualquier operador de telefonía celular global, lo que permite la comunicación entre los dispositivos y la plataforma *web*, donde se reciben, muestran y almacenan los datos para su análisis.



Figura 3. Estación IoT en la entrada de "Los Alcaldes"

La plataforma *web*, que administra el análisis y el almacenamiento de datos, utiliza los servicios de computación en la nube de Microsoft Azure®, que incluyen herramientas como IoT Hub y Stream Analytics, para manejar los dispositivos de telemetría y las bases de datos de SQL Server, para almacenar la información. La plataforma *web* fue diseñada para ser escalable y robusta, así como para recibir y procesar grandes cantidades de datos. Además, fue concebida para permitir el uso de algoritmos complejos que son esenciales para un sistema de abastecimiento inteligente.

El envío de datos desde ambos dispositivos se realiza cada 10 minutos. Los datos almacenados se pueden descargar en los siguientes archivos de datos .csv, .pdf y .xls; éstos están etiquetados con los nombres de las variables y tienen marcas de fecha y hora asociadas que indican el envío de las mediciones.

La estación del hospital está equipada con un dispositivo de telemetría que transmite la información de un medidor de gasto y un transductor de presión. Su sistema de alimentación está conformado por un banco de baterías que se recarga durante el día con la energía de la radiación solar que logra captar un panel solar. Una imagen de esta estación se muestra en la Fig. 4.

### Usos de la información

El monitoreo en tiempo real de los parámetros hidráulicos, así como los asociados a la calidad del agua, puede permitir a los responsables mejorar el servicio de distribución, reducir las pérdidas de agua y minimizar los costos de manteni-

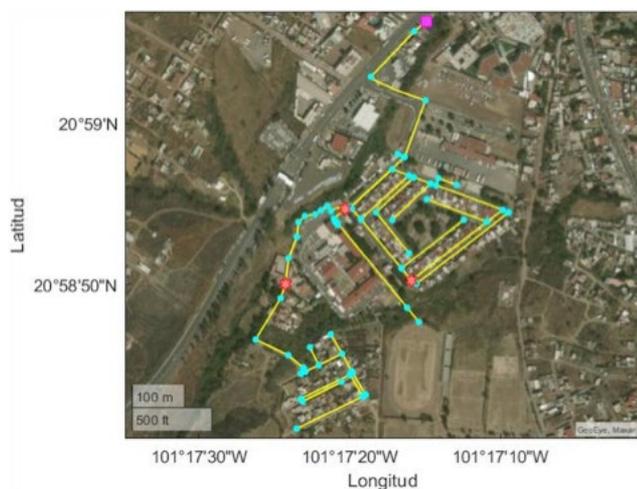


Figura 2. Trazo del sector "Los Alcaldes" realizado en EPANET

## COORDINACIÓN DE ELÉCTRICA Y COMPUTACIÓN



Figura 4. Estación IoT en el Hospital General de Guanajuato

miento aumentando la resiliencia de las redes de distribución. Sin embargo, el monitoreo en tiempo real *per se* no es suficiente para lograr una gestión integral de las redes. Para lograr este objetivo, es necesario utilizar la información en tiempo real como alimento para algoritmos de predicción. En otras palabras, se requiere hidroeinformática para articular la información que propicie una distribución eficiente del agua.

Una de las métricas más utilizadas para la detección de fugas en un sector de una red de distribución de agua, que se puede calcular a partir de la información que se captura en las estaciones IoT, es el mínimo nocturno, que es el caudal promedio más bajo durante un período de 24 horas. El mínimo nocturno, generalmente, se obtiene entre las 00:00 y las 4:00, *i.e.*, cuando la mayoría de los tanques se han llenado y los usuarios están dormidos.

En la Figura 5 se muestra el consumo de agua de los usuarios de “Los Alcaldes” durante una semana del mes de julio de 2019. En esta figura se puede apreciar el mínimo nocturno semanal. Muchas otras métricas también se utilizan para

caracterizar el agua, como la demanda promedio, la máxima demanda o la máxima demanda promedio. A partir de estas métricas, se puede formular modelos matemáticos para describir y predecir el comportamiento de la demanda de agua. Estos modelos, además de ayudar en el diagnóstico de fugas, son herramientas clave para proyectar y planear nuevos desarrollos o expansiones, como tanques de almacenamiento, estaciones de bombeo y capacidad de conducción.

Para complementar un buen servicio de distribución de agua, se debe asegurar que el agua sea potable y apta para el consumo humano, por lo que es necesario medir parámetros físicos, químicos y microbiológicos asociados a su calidad. En este contexto, hay dos tipos de problemas de calidad del agua. El primero es un problema crónico con el origen del agua, los procesos de tratamiento y los errores del operador que afectan la calidad. Este tipo de problema, generalmente, se rectifica en la etapa de tratamiento y puede detectarse mediante métodos analíticos de laboratorio. El segundo tipo de problema proviene de la interrupción intermitente o única de la calidad debido a la intrusión de contaminantes deliberada o accidental. Estos problemas, que podrían provocar impactos catastróficos en la salud humana, no pueden detectarse con métodos convencionales de muestreo y análisis. Los métodos analíticos de laboratorio existentes, especialmente para análisis microbiológicos, no brindan advertencias en tiempo real y son demasiado lentos para el desarrollo de la respuesta operativa en el caso de un evento de falla. A menudo, cuando se obtienen los resultados de laboratorio, ya se ha suministrado el agua a los consumidores.

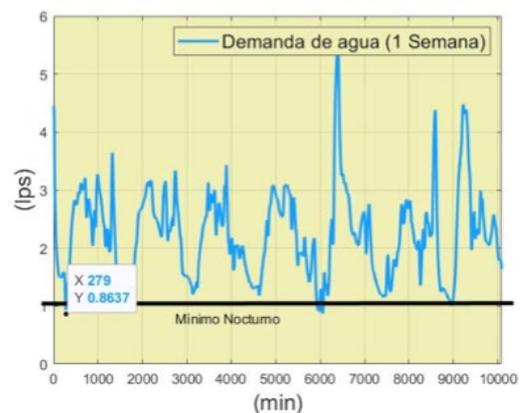


Figura 5. Demanda de agua en una semana de julio del 2019 en “Los Alcaldes”

Por ejemplo, el pH es uno de los parámetros operativos más importantes de la calidad del agua. La Organización Mundial de la Salud recomienda que el pH del agua debe estar entre 6.5 y 9.5, preferiblemente en menos de 8 para una desinfección eficaz con cloro. Si el pH es bajo puede indicar lixiviación y nitrificación, es decir, daños en el sistema de distribución. Si los valores de pH son extremos pueden ser el resultado de derrames accidentales, de la intrusión de contaminantes a través de tuberías rotas o corroídas, de fallas en el tratamiento o debido a la presencia de microorganismos que cambian el pH al producir desechos metabólicos básicos o ácidos.

En conclusión, el monitoreo en línea del pH y otros parámetros asociados a la calidad del agua, son componentes importantes de un sistema de alerta temprana que puede permitir a los gestores identificar rápidamente cualquier problema potencial y aplicar medidas correctivas para proteger al consumidor<sup>4</sup>.

### **Agradecimientos**

El trabajo que se presenta en este artículo fue financiado parcialmente por SIMAPAG y CONACYT - Atención a Problemas Nacionales, Convocatoria 2017, Proyecto 4730. |

### **Referencias**

---

1. Neirotti, P.; De Marco, A.; Cagliano, A. C.; Mangano, G. y Scorrano, F. (2014). Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts. *Cities*, 38, 25-36.
2. Farah, E. y Shahrour, I. (2017). Leakage detection using smart water system: Combination of water balance and automated minimum night flow. *Water Resources Management*, 31(15), 4821-4833.
3. Makropoulos, C. y Savić, D. A. (2019). Urban hydroinformatics: Past, present and future. *Water*. 11(10), 1959.
4. Banna, M. H.; Imran, S.; Francisque, A.; Najjaran, H.; Sadiq, R.; Rodriguez, M. y Hoorfar, M. (2014). Online drinking water quality monitoring: review on available and emerging technologies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 44(12), 1370-1421.