

## SMARTWATER para la detección de fugas de agua

Cintia Rodríguez<sup>1</sup>, Ismael Mamani<sup>1</sup>, Analía Herrera Cognetta<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Estudiante Ingeniería Informática, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy,  
Av. Bolivia 1239, 4600, San Salvador de Jujuy, Jujuy, Argentina  
{cinturodriguez19, ismamamani22}@gmail.com

<sup>2</sup> Profesor Sistemas de Información, Ingeniería Informática, Facultad de Ingeniería,  
Universidad Nacional de Jujuy, Av. Bolivia 1239, 4600, San Salvador de Jujuy, Argentina  
aniherrera012@gmail.com

**Resumen.** El trabajo que se presenta trata sobre la investigación de las causas que provocan fugas de agua potable en los sistemas de abastecimiento domiciliario. Se propone entonces una solución a partir de la implementación de sistemas embebidos, para detección de la fugas y control, de manera eficiente, eficaz y a bajo costo.

**Palabras clave:** sistema de abastecimiento de agua potable, control y detección de fugas, sistema embebido

### 1 Introducción

Una de las principales preocupaciones a nivel mundial, consiste en tomar medidas adecuadas, que ayuden a fomentar la preservación y control de los recursos naturales no renovables, entre los cuales se destaca el agua dulce.

Un gran porcentaje de agua en el mundo, lo constituye el agua salada, que proviene de océanos, mares y aguas subterráneas, y sólo alrededor de un 3% del total de agua en la Tierra es dulce, necesaria para la vida de la mayoría de los organismos, plantas y principalmente la vida humana. Este porcentaje de agua dulce, disminuye con el paso de los años por el aumento de la población mundial, por lo que es de fundamental importancia cuidar este recurso natural. [García, 2015]

El consumo doméstico es una fuente crítica del agotamiento de este recurso. Las conexiones de redes de agua, brindan a la sociedad un medio para satisfacer sus necesidades básicas, por lo que su diseño y mantenimiento es importante, no solo para garantizar la satisfacción de una necesidad, sino para prevención de la pérdida.

Actualmente en la República Argentina, las pérdidas en las etapas de producción y distribución de agua son del orden del 40% del total producido [Greenpeace, 2017] por lo que es de sumo interés implementar métodos y técnicas que resuelvan o al menos mitiguen el problema.

Una fuga se puede considerar como la salida de agua no controlada, en cualquiera de los componentes del sistema de distribución de agua potable; con mayor frecuencia ocurre en uniones de tuberías, codos, roturas de conductos y válvulas.

## 2 Propuesta

El presente trabajo propone una alternativa de solución para detectar en forma eficiente, las fugas en las redes de conexión de agua potable. Se desarrollará entonces, el prototipo de un sistema embebido, que incluye tecnología hardware de bajo costo, en relación a los productos disponibles actualmente en el mercado, con un software para control y manejo adecuado.

En el desarrollo del prototipo se usarán tecnologías propias de sistemas embebidos, que permitirán, entre otras cosas, integrar diferentes sensores y actuadores para medir y detectar el nivel del caudal de agua, implementando tecnología Arduino, para mostrar el estado y resultados a través de una aplicación de escritorio.

## 3 Alcance

El Sistema detector de fugas para redes de abastecimientos de agua potable, se limitará a las siguientes funciones:

Detección precisa y en el menor tiempo posible, de fugas de agua en redes de abastecimiento de agua potable, en la localidad Villa Jardín de Reyes de la provincia de Jujuy.

Registración de caudal y variación de presión dentro del conducto.

Monitoreo del control y funcionamiento de válvulas.

Envío de alarmas a los operadores en caso de detectar un punto de fuga.

## 4 Antecedentes

A nivel nacional, se han implementado costosas herramientas para detectar los posibles puntos de fugas de agua dentro de las redes. Entre ellas se pueden nombrar a IDROLOC, que utiliza helio para la detección; o detectores de fugas que emplean instrumentos que trabajan con ultrasonido tales como el Hydrolux HL 50. No obstante, aunque estas herramientas resultan ser precisas, el tiempo dedicado a la detección es considerable.

La localización de fugas, basadas en ultrasonido, sin embargo, necesita previamente del aviso o informe de una persona testigo de la fuga.

La fuga producida en las redes subterráneas es visible en la superficie luego de transcurridas entre 8 y 12 horas, dependiendo del caso. Tal transcurso, sumado al tiempo en que se demora el personal de mantenimiento capacitado, en llegar a la zona de pérdida, determina que la cantidad de agua que se desperdicia es importante.

Por ello, la implementación del sistema propuesto, logrará a una detección de la fuga de manera inmediata, evitando mayores pérdidas.

## 5 Relevamiento inicial

Para lograr datos específicos con respecto a las fugas y su tratamiento, se realizaron visitas a la empresa Agua Potable S. E. de la Provincia de Jujuy y se entrevistó a profesionales, y trabajadores.

En lo que respecta a la provincia de Jujuy, según datos aportados por la empresa AGUA POTABLE S.E. las pérdidas en el año 2010 fueron del 59% y actualmente son del 49,60%, según se refiera a la cantidad de volumen facturado o a la cantidad de volumen producido.<sup>1</sup> En este documento se advierte que el factor de agua no contabilizada para el año 2017 fue del 49,60%. Este factor se refiere al agua que es bombeada o producida, pero que posteriormente se pierde por factores como el robo, fugas en tuberías o incluso una incorrecta medición de los datos.

### 5.1 Sistema de abastecimiento de agua potable

Es un conjunto de instalaciones capaces de captar, conducir, almacenar y distribuir agua a una localidad, cumpliendo condiciones de cantidad y calidad. Para instalar estas redes de abastecimiento de agua, se deben realizar estudios previos para determinar la capacidad de consumo y su crecimiento poblacional.

### 5.2 Partes del sistema de abastecimiento de agua

Un sistema de abastecimiento de agua, está conformado generalmente por: fuentes de abastecimiento (río, laguna, pozo, agua de lluvia); obra de captación: presa, bocatoma, captaciones; línea de conducción; planta de tratamiento; línea de impulsión y línea de aducción; reservorio y red de distribución (red matriz y red secundaria)

### 5.3 Sistema basado en GIS y herramientas de detección manual de fuga

La Empresa Agua Potable cuenta con un sistema GIS, que proporciona información sobre el consumo de cada cliente, ubica de manera precisa a cada cliente en la red de distribución, además de las redes de distribución próximas y las mediciones de caudales, entre otras funciones.

En caso de detectar una fuga de agua en las redes de abastecimiento, un sector de la empresa, controla el estado y realiza el informe correspondiente. Este informe, es dirigido al personal responsable de la reparación, lo que significa ya una demora considerable.

---

<sup>1</sup> Documento de audiencia pública- REVISION TARIFARIA INTEGRAL DE AGUA POTABLE S.E- 10/02/2017

#### **5.4 Diagnóstico de la situación actual (problemas y deficiencias)**

A pesar de que el sistema cuenta con información valiosa, ésta se encuentra dispersa y variada, por lo que es necesaria la integración de toda la información obtenida para realizar un análisis más preciso, y presentar resultados esperados, tales como: reportes de balance de masa y estadísticas de lectura.

Integrar y analizar la información permitirá facilitar el proceso para la toma de decisiones sobre el tratamiento y control de fugas.

Resulta entonces imprescindible, contar con una herramienta que permita predecir las posibles fugas de agua en sectores críticos, teniendo en cuenta los factores de antigüedad, material empleado para las redes, circulación de vehículos, y otros.

#### **5.5 Clasificación de fugas de agua**

Las fugas de agua se pueden clasificar según el tipo de detección:

Observables: Son aquellas que pueden ser detectadas por el agua que emerge a la superficie.

No Observables: Son aquellas que debido a la poca presión que ejercen quedan subyugadas en el suelo.

Según el daño producido en el material. Por fisura: son causadas principalmente debido al paso de tiempo y a la resistencia del material, provocadas por el paso de vehículos, construcciones, reparación de asfalto, reparaciones consecutivas de cañerías. Y se clasifican en: longitudinal, transversal y combinada.

Por orificio: una de sus principales causas tiene relación con la presión interna a la que se somete o bien al material interno que transporta (piedras, granillas, etc.).

#### **5.6 Causas principales de fugas de agua**

Entre las principales causas de fugas de agua, se pueden mencionar las siguientes: Circulación de vehículos de gran porte. Material no apto o de baja calidad usado en la instalación de conductos de agua. Sismos o hundimientos del suelo. Trabajos de excavación y perforación cercanos a la red. Alta presión de caudal para diámetros de cañería inadecuados. Material rocoso que transporta el agua dentro del conducto. Mala instalación: conexiones, tuberías expuestas a la superficie. Falta de mantenimiento de las redes. Desgaste o fatiga en los materiales de los conductos.

#### **5.7 Requisitos a satisfacer o Información esperada**

Se espera que el sistema cumpla con los siguientes requisitos:

Observación y Control de zonas con antecedentes de fugas de agua o catástrofes naturales.

Según estadísticas y balances anuales, estimar pérdidas causadas por fuga y obtener información actualizada.

Por cada punto de fuga detectado, determinar causa, problema, tipo de solución y su tiempo estimado (corto o mediano plazo).

Control y seguimiento estadístico de los caudales en las tuberías.

### 5.8 Control de Fuga

El control de fuga se puede realizar en dos sectores: Planta de tratamiento y Redes de distribución. El sistema propuesto estará abocado a las redes de distribución.

A continuación, se definen ecuaciones con el fin de determinar indicadores necesarios para el control de las fugas de agua:

$$VD = V \text{ Prod} + V \text{ Exportado} - V \text{ Importado.} \quad (1)$$

$$VP = V \text{ Malgastado} + V \text{ desviado por vía fraudulenta} + V \text{ de fuga de agua} + V \text{ por defecto de medición.} \quad (2)$$

$$VD = V \text{ Contabilizado} + V \text{ sin medir} + V \text{ de servicio de red} + VP. \quad (3)$$

$$IP (\%) = ((V \text{ medido} - V \text{ Prod}) / V \text{ Prod}) * 100. \quad (4)$$

$$V \text{ consumido} = V \text{ contabilizado} + V \text{ de servicio.} \quad (5)$$

$$RR: (V \text{ consumido} / V \text{ Prod}) * 100. \quad (6)$$

$$RH: (V \text{ Consumido} + V \text{ desviado por fraude} + V \text{ por defecto de medida} / VD) * 100. \quad (7)$$

V: Volumen; VD: Volumen distribuido; V Prod: Volumen Producido, VP: Volumen de Pérdida; IP: Índice de Pérdida, V medido: Volumen estimado para facturación, RR: Rendimiento de la Red; RH: Rendimiento Hidráulico.

### 5.9 Identificación y descripción de las funcionalidades que son necesarias desarrollar para el nuevo sistema.

El sistema a desarrollar contemplará las siguientes funcionalidades principales:

Localización automática de fugas de agua en redes de abastecimiento de agua potable: El sistema permitirá localizar un punto de fuga de agua de manera automática.

Registración de caudal y variación de presión dentro del conducto: El sistema permitirá registrar en una base de datos el caudal y la variación de presión de agua en tiempo real.

Detección y registración de fugas: El sistema permitirá detectar y registrar una fuga de agua.

Monitoreo del control y funcionamiento de válvulas: El sistema permitirá el control de válvulas en cada momento, verificando su funcionamiento.

Envío de alarmas a los operadores en caso de la detección de un punto de fuga: El sistema enviará mensajes a los usuarios responsables en caso de registrar y detectar una fuga de agua, por medio de una aplicación.

### **5.10 Herramientas elegidas para el desarrollo - Justificación:**

Para el desarrollo del proyecto se elige la versión de Laravel 5.6, ya que cuenta con documentación y tutoriales disponibles en la red que pueden ser consultados, además Laravel facilitará el mantenimiento del producto, la integridad y el tiempo de desarrollo. El framework cuenta con una curva de aprendizaje relativamente baja, entre otras ventajas, además de la facilidad de uso y la practicidad, brinda seguridad al respaldar las consultas SQL pasándolas al patrón Modelo Vista Controlador.

Este tipo de framework también se adapta con un desarrollo a medida ágil, compatible con la metodología con la que se pretende abordar el proyecto. Aportando funcionalidades y variedades de bibliotecas diseñadas para que sean utilizadas directamente por los desarrolladores.

ARDUINO IDE es una herramienta esencial para el desarrollo del prototipo, ya que consta de placas Arduino, que deben programarse y este entorno de desarrollo es ideal, brinda documentación extensa para ser consultada, así como foros donde varios usuarios resuelven problemas típicos.

## **6 Etapa de Diseño**

### **6.1 Planificación**

Para analizar concretamente la red de distribución, será necesario reducir el área de estudio a sectores más pequeños, con superficie y consumo inferior a la media normal, para tener mayor control de los factores involucrados y así detectar y localizar las fugas.

Se usará el concepto DMA, definido como un área de un sistema de distribución de agua creada por el cierre de válvulas, que aísla y desconecta a ésta del resto de la red, de forma que pueda ser medida la cantidad de agua que entra y sale de esa área.

El flujo de agua puede ser analizado a partir de ese aislamiento para medir el nivel de las pérdidas. La clave para la división de una red en áreas menores consiste en que el cierre de las válvulas, para medir el flujo de entrada de un área, no afecte a la provisión de agua de ninguna otra área. Para ello es necesario que ninguna arteria principal de la red de agua forme parte.

Es por ello que se presenta como solución realizar un análisis aplicando un modelo basado en DMA donde se instalen los medidores de flujo en sus llaves de entrada y salida. A fin de poder regular el nivel de pérdida en cada DMA, para que la actividad de localización concreta de la pérdida se dirija a las zonas más afectadas, o con mayor probabilidad o tendencia de presentar pérdidas.

### 6.2 Zona de estudio

Localidad Villa Jardín de Reyes. Área Comprendida en calle Jorge Cafrune segmento entre calles Daniel Andreoli- Chango Toconas.

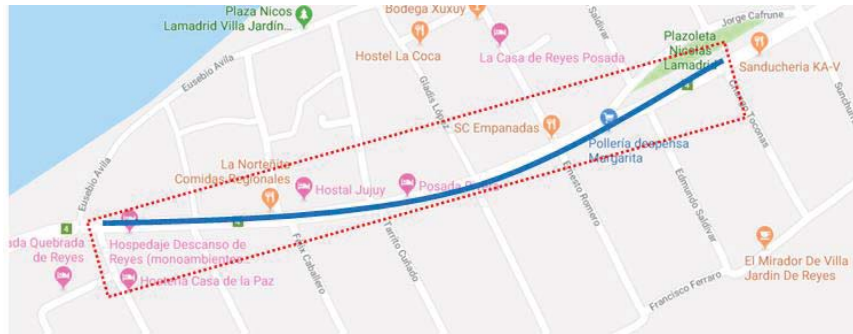


Fig. 1 Localización geográfica de la zona de estudio

En el área elegida se definen medidores, distinguiéndolos por las categorías: Doméstico, y No doméstico, dado que en el sector estudiado no existen clientes especiales (industrias, hospitales, entre otros).

En base a lo definido, se puede plantear un escenario con la siguiente estructura:

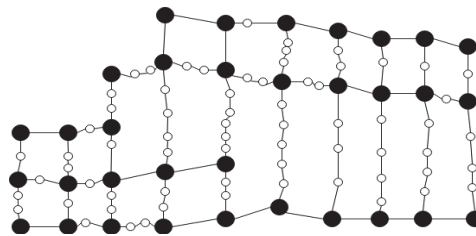


Fig. 2 Grafo G de medidores e intersecciones

Donde:

- Intersección del camino.
- Medidor.
- Longitud del camino.

Y cuya notación correspondiente es:  $G(N,A)$ ,  $N=\{Nd \cup Nnd\}$   
 Nd: Nodo de consumo doméstico

Nnd: Nodo de consumo no domestico  
 $A = \{(i,j)/i,j \in N\}$

**6.3 Fase 1: Proceso de tratamiento de datos**

A fin de no publicar datos privados, se realizará la simulación considerando dimensiones de red normalizada por estándares. Se utilizará el software libre EPANET versión 2.0, que permite dibujar la red y su comportamiento. Los datos serán preparados en un data set, con el cuidado suficiente para que el resultado sea compatible con la situación real. Se desarrollarán los procesos de ETL (*Extract, Transform and Load*) y se definirán todas las variables necesarias para la creación de los modelos.

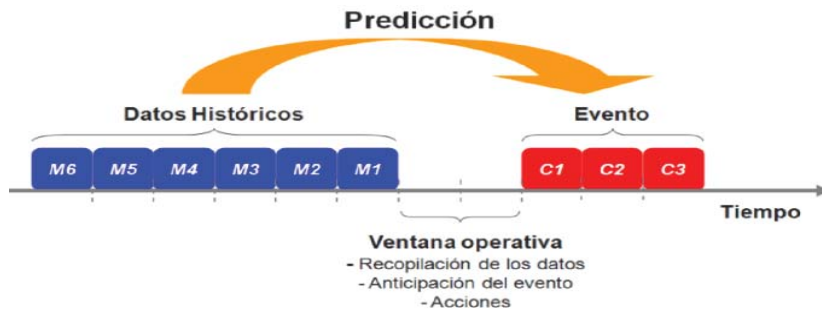


Fig. 3 Modelo de Predicción

**6.4 Fase 2: Desarrollo del modelo de fuga**

Para el desarrollo del modelo se considera como variable única la existencia de una fuga, se aplica entonces un modelo de regresión logística, que tomará el valor 1 si se produce la fuga en un periodo de tiempo, y el valor 0 en caso contrario. El modelo logístico dará en consecuencia, la siguiente representación de la probabilidad de fuga

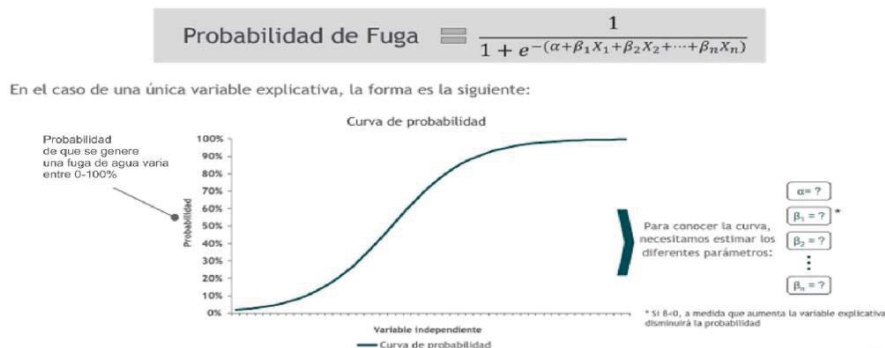


Fig. 4 Representación de la probabilidad de una fuga



En vista de la gran variedad de situaciones que pueden agregarse al análisis, tales como conexiones ilícitas y rotura de tuberías por actos delictivos, se agregarán variables relacionadas con el tipo de tubería (rigidez, diámetro, presión permitida), variables relacionadas con la temporada de consumo (tipo de consumo, nivel de presión, rendimiento de la red, etc.). Variables para representar el tipo de suelo, profundidad de cañería, ubicación de la red, entre otras.

Con este modelo, se busca determinar, en primer lugar qué variables afectan directamente para que se produzca la fuga, en segundo lugar su nivel de importancia y el grado de impacto.

**Modelo 1:** Control de las válvulas de presión. Gran parte de las fugas se debe a que estas generan una presión mayor a la soportada por los materiales, generando un desgaste y en consecuencia la rotura. Este caso se aplica a situaciones donde se mantiene tanto un sobreesfuerzo de presión al conducto como a cambios de presión.

Representación 1

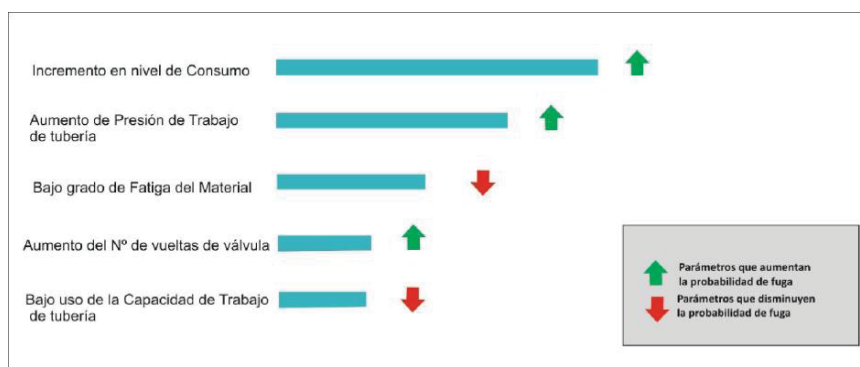


Fig. 5 Modelo de Predicción de fuga- Control de válvula

**Modelo 2:** Detectar los causantes de las fugas y mediante relaciones estimar el sector donde se halla la fuga. Para esto se estudiarán fenómenos naturales recientes o accidentes geográficos que influyan, en busca de determinar cuáles ocurren con mayor frecuencia, y cuales son responsables en la generación de la fuga.

Representación 2: Modelo de Detección de fuga

Se empleó el método de detección más simple que, consiste en comparar los caudales de entrada y salida obtenidos durante el muestreo, esto es:

$$Q_{\text{perdida}}(k) = Q_{\text{salida}}(k) - Q_{\text{entrada}}(k). \quad (2)$$

Existe pérdida si  $Q_{\text{perdida}}$  supera un valor umbral. Una mejora notable se obtiene si se emplean los datos de los caudales filtrados. En caso de pérdida, el caudal de entrada aumenta y el de salida disminuye, este comportamiento se conoce como firma de la falla.

Parámetros: Tipo de Consumo: Consumo doméstico-Material de tubería: policloruro de vinilo PVC-Circuito de red de distribución: abierto (tipo espina de pescado)-Nivel de suelo: uniforme.

## 7 Conclusión, situación actual y fases futuras

El sistema propuesto aun se encuentra en fase de desarrollo, sin embargo durante la investigación de los temas que son afines al mismo, fue posible adquirir y ampliar conocimientos, así mismo fue imprescindible realizar un análisis profundo para sintetizar los conceptos y proponer una solución eficaz en cuanto a tiempo de localización y detección de fugas, considerando el aspecto económico y utilizando nuevas tecnologías que se encuentran en el mercado.

En cuanto a los modelos que se presentaron en la sección de diseño:

El Modelo 1 presentado, fue aprobado por especialistas de la empresa, con experiencia en la temática.

El Modelo 2 está en estudio para su aprobación, también por especialistas de la empresa.

A futuro se espera cumplir con las siguientes fases de desarrollo:

Fase 3: Revisión del modelo. Será sometido a una serie de test estadísticos y validado sobre una muestra diferente a la que se utiliza inicialmente.

Fase 4: Implementación del modelo en los sistemas de la empresa.

## Referencias

1. García, I El Mapa de Agua en la Argentina, <http://fabiangarcia.com.ar/el-mapa-del-agua-en-argentina/> (2015)
2. Greenpeace Cambio Climático <http://www.greenpeace.org/argentina/es/campanas/cambio-climatico/> (2017)
3. The Internet of Things. IoT Smart City – What is Smart Water?. The Internet of Things. <http://www.infiniteinformationtechnology.com/iot-smart-city-what-is-smart-water.> (2019)
4. Roger S. Pressman, Ingeniería del Software Un enfoque Práctico, Editorial McGraw Hill (2010)
5. Smart Water Management using Internet of Things Technologies. <https://iiot-world.com/connected-industry/smart-water-management-using-internet-of-things-technologies/> (2019).
6. Rosas Quiterio P. (2017) Desarrollo de un sistema para detección de fugas para tuberías horizontales en tiempo real por medio de gradientes de presión (Tesis doctoral). Instituto Politécnico Nacional, SEPI, ESIME Zacatenco, México.
7. Lloyd Owen, D. A. Smart Water Technologies and Techniques (1st ed.). Wiley-Blackwell (2018)
8. Arduino - Introduction <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> (2019)
9. Sanchez, J Laravel: ventajas del framework PHP de moda. <https://www.freelancer.com.ar/community/articles/ventajas-del-framework-moda-laravel> (2019)
10. Llamas, L. Medir Distancia con Arduino y Sensor de ultrasonidos Hc-Sr04 <https://www.luisllamas.es/medir-distancia-con-arduino-y-sensor-de-ultrasonidos-hc-sr04/>.(2015)
11. Llamas, L. Medir caudal y consumo de agua con arduino y caudalímetro. <https://www.luisllamas.es/caudal-consumo-de-agua-con-arduino-y-caudalimetro/>