

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27



Institución Universitaria

ESTADO DEL ARTE PÉRDIDAS TÉCNICAS Y COMERCIALES EN SISTEMAS DE ACUEDUCTOS

Jaime Andrés Moncayo Parra

Ingeniería Mecatrónica

Director (Es) del Trabajo

Elizabeth Cristina Rodríguez Acevedo

Instituto Tecnológico Metropolitano

Facultad De Ingeniería

Medellín

18/03/2022

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

En el marco investigativo se debe resguardar documentos que certifiquen la trazabilidad de los proyectos que maneja EPM en el área de I+D. En este trabajo se desarrolla el estado del arte de soluciones existentes en el mundo, que permitan identificar tecnologías para la identificación de Fugas las cuales son pérdidas técnicas del Índice de Agua No Contabilizada, de aquí en adelante IANC, y las pérdidas comerciales mencionados como Fraudes tipo by-pass. Es importante este trabajo para sentar base a las propuestas que recibirá EPM a lo largo del programa de innovación abierta, no se exponen muchos detalles debido a la confidencialidad que maneja la empresa.

Palabras clave: Innovación, estado del arte, pérdidas técnicas, pérdidas financieras, Retos EPM.

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Agradezco la disposición de Elizabeth Cristina Rodríguez Acevedo y Elizabeth Naranjo Cardona , quienes han sido mi guía profesional para la culminación de este proyecto, además de darme las herramientas necesarias para realizar este trabajo de grado; ya que, me servirá como guía para un próximo proyecto y así poder pulir los conocimientos respecto a la realización de esta clase de trabajos.

También agradezco al INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO por brindarme el acceso a las bases de datos de la IEEE, las cuales fueron de gran apoyo para la realización de este proyecto, por la formación técnica y teórica y por permitirme desarrollar y potenciar mis habilidades evidenciadas en mi práctica profesional. Asimismo, gracias a Innóvate EPM permitiendo explotar mis habilidades blandas para mi desarrollo personal.

ACRÓNIMOS

CPM: monitoreo de tubería computacional

EPM: Empresas Públicas de Medellín

GIS: Sistemas de Información Geográfica

IANC: Índice de Agua No Contabilizada

SSPD: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios

OMS: Organización Mundial de la Salud




 Institución Universitaria	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. GENERALIDADES	9
1.2. Objetivo General	12
1.2.1. Objetivos Específicos	12
2. MARCO TEÓRICO	13
2.1. Agua potable	13
2.2. Recursos no renovables	13
2.3. Escasez de agua	14
2.4. Servicios públicos	14
2.5. Agua No facturada	15
2.6. Índice de Agua no Contabilizada	15
2.7. Pérdida de agua	15
2.8. Pérdidas técnicas	15
2.9. Pérdidas comerciales	16
2.10. Fuga de agua	16
2.11. Clasificación de fugas de agua	17
2.12. Causas principales de fugas de agua	18
2.13. Red de distribución	18
2.14. Optimización	19
2.15. Flujo a presión	19
2.16. Control de presiones	19
2.17. Sistemas de conducción de agua a presión	19


	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.	ESTADO DEL ARTE	20
3.1.	Investigaciones internacionales.....	20
3.2.	Investigaciones nacionales.....	22
4.	METODOLOGÍA.....	25
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
6.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	51
7.	REFERENCIAS.....	53

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22


LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de Pug.....	48
-----------------------------	----

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. ¿Cuánta agua hay en la Tierra?	9
Figura 2. Dificultades generadas por la prestación de los servicios de acueducto	11
Figura 3. Diagrama de reparto de agua desde la red de abastecimiento	11
Figura 4. Fuga de agua	17
Figura 5. Redes de distribución de agua.....	18

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN


1.1. GENERALIDADES

Es innegable que el agua es uno de los recursos no renovables más importantes, no sólo para la humanidad, sino también para para el resto de los animales y seres vivos que habitan en la tierra. Además, este recurso vital contribuye a la estabilidad y regulación de los entornos, del medio ambiente y de los organismos que habitan en este, por lo tanto, se convierte en un factor que determina la supervivencia de la fauna y flora del planeta; no obstante, este elemento vital ha venido alcanzando niveles alarmantes de escasez, Hernández (2006, p. 1) menciona que “del total de agua que ocupa el 75% de la superficie del planeta, 97.5% es salada y sólo el 2.5% es dulce, es decir, apta para el consumo de los organismos vivos”.



Figura 1. ¿Cuánta agua hay en la Tierra? Fuente: <https://cutt.ly/iSpETpm>

Actualmente, gran parte de la población mundial sufre de una seria escasez de agua, y la mayoría de los países más afectados por esta situación son los subdesarrollados, ya que no cuentan con los medios suficientes para hacerle frente a esta situación, en suma de que son estos quienes contaminan, a través de sus deshechos, los ríos y lagos. Colombia, es uno de los países que presenta inconvenientes con el agua, específicamente, con su sistema de redes de acueductos, respecto al agua no facturada.

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22


El “Agua No facturada”, es el agua potable que entra al sistema de distribución de acueductos sin ser contabilizada y por lo tanto no es facturada. Esta se divide en consumos autorizados no facturados como mantenimientos del acueducto, pérdidas técnicas y pérdidas comerciales. Las pérdidas técnicas corresponden a pérdidas del flujo en fugas visibles y no visibles, y rebalses en tanques. Las pérdidas comerciales no son pérdidas de flujo, si no consumos (P. 5).

Según la Constitución Política de Colombia, los servicios públicos son inherentes a la finalidad del Estado y es indispensable su intervención por medio de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) y demás entidades competentes en la prestación de los servicios públicos para optimizarlos bajo parámetros de eficiencia (García, Vargas, & Granados, 2013); uno de esos parámetros desde una visión técnico-operativa es el índice de agua no contabilizada (IANC), tema al cual obedece el presente trabajo.

El índice de agua no contabilizada en las redes de acueductos representa gran importancia en la sostenibilidad de una región, este índice permite identificar el consumo que tiene la ciudad vs cantidad de agua disponible, este al ser un recurso hídrico de gran valor para la vida debe ser cuidado y está regulado por normativa tener ciertas pérdidas, ya sean técnicas por materiales, estructura o geografía o comerciales por hurto o fraude.

Una fuga es una salida de agua no controlada en cualquiera de los componentes del sistema de distribución de agua potable; con mayor frecuencia ocurren en uniones de tuberías, codos, roturas de conductos y válvulas. En los sistemas de conducción de agua a presión es común que se presenten fugas de este líquido, de hecho, estas pueden deberse al agrietamiento transversal, aplastamiento o agrietamiento longitudinal de las tuberías, la corrosión, el mal junteo de los tubos o la falla de las válvulas que pueden incrementar las fugas en una red.

El panorama de este tema en Colombia es impresionante, ya que el nivel normal de pérdidas en el suministro de agua aceptado en el país es de un 30% por razones técnicas y comerciales, pero no es así, porque en La Guajira se pierde el 82% del agua potable, y en otros Departamentos con altas pérdidas son Archipiélago de San Andrés y Providencia (79%), Magdalena (60%), Guaviare (57%) y Arauca (56%). Bogotá pierde el 36%.

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

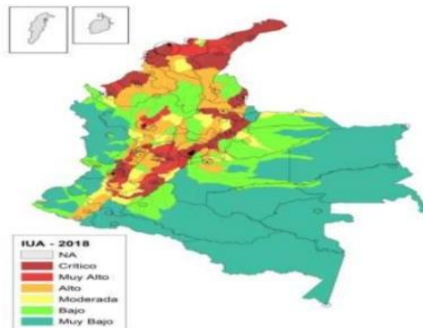


Figura 2. Dificultades generadas por la prestación de los servicios de acueducto. Fuente: Ideam (2018) <https://cutt.ly/kSpAKCQ>

Las pérdidas de agua en la red se pueden registrar en muchos puntos y debido a multitud de causas, ya que todos los elementos son susceptibles de un funcionamiento incorrecto, situación que se debe analizar, prevenir y corregir, en el siguiente diagrama se resumen las distintas posibilidades de reparto del agua.

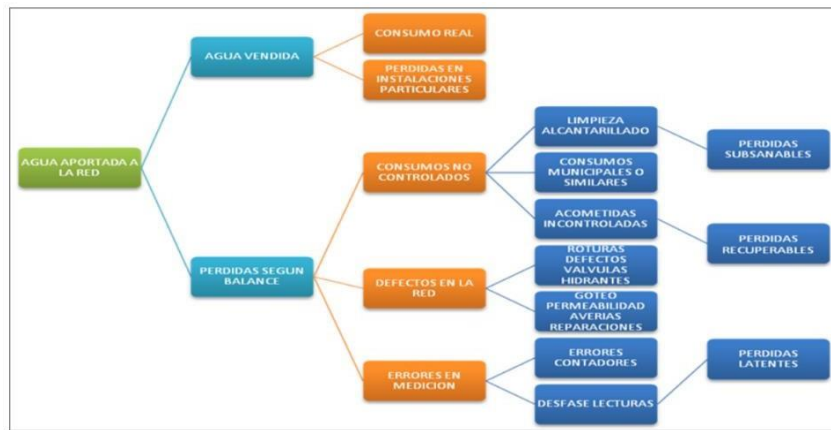



Figura 3. Diagrama de reparto de agua desde la red de abastecimiento. Fuente: <https://cutt.ly/pSpJ1NI>

La situación económica actual del país no permite realizar las grandes inversiones necesarias para la renovación de redes, por lo que, con el control mayor y permanente de las fugas, se puede alargar al máximo la vida útil de las existentes, en espera de tiempos más prósperos, a la vez que se reduce el consumo de recursos.

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Si bien, en las redes de agua potable no se puede evitar que existan fugas, es necesario llevar a cabo acciones permanentes encaminadas a disminuir el número de fugas y los caudales de las mismas. Una de las complicaciones de la detección de fugas es que la mayoría de éstas no se encuentran visibles, por tanto, para reducirlas es necesario contar con alguna herramienta que permita estimar su localización, así como sus caudales.

Motivo por el cual, este documento presenta un estado del arte que busca dilucidar las maneras de identificar las fugas en los canales y tuberías, que afectan la calidad de distribución de agua potable. Para esto se consideraron los factores tanto internos como externos que pueden afectar de una forma u otra el proceso de distribución.

El objetivo es determinar el impacto de estas fugas, puesto que, al tratarse de un sistema tan complejo, la relación entre el esfuerzo para mejorarlos y su variación no es directa. Dado que los valores finales de estos indicadores implican compensaciones a los usuarios o incentivos por parte de entes reguladores, el valor resultante de los indicadores tiene un papel importante en la ecuación de utilidades de la empresa prestadora del servicio.


Identificar las fugas es una tarea demandante ya que debe ser solucionada en el menor tiempo posible. Para ello, se hace la búsqueda exhaustiva de tecnologías a nivel mundial que han podido dar solución a la identificación rápida y eficaz para evitar el derrame continuo de este recurso, para ello se presenta a continuación diferentes empresas, investigaciones y herramientas que permiten dar un panorama hoy en día para adquirir un producto o invertir en un prototipo viable.

1.2. Objetivo General

Analizar el estado del arte pérdidas técnicas y comerciales en sistemas de acueductos

1.2.1. Objetivos Específicos

- Identificar los tipos de metodologías utilizados para la detección y localización de fugas agua en las redes de acueducto.
- Determinar los factores que influyen en la realización del fraude de agua.
- Mostrar las metodologías tradicionales que siguen ejecutando en Colombia.

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

Dado que el tema central de este trabajo son las pérdidas técnicas y comerciales en sistemas de acueductos, se presenta a continuación una serie de conceptos y fundamentos teóricos que ayudan a contextualizar el objetivo de este proyecto de grado respecto a la situación actual que se vive en el país y respecto a los factores coyunturales que ayudan a ofrecer alternativas de solución al mismo.

2.1. Agua potable


Se denomina agua potable o agua para consumo humano, al agua que puede ser consumida sin restricción, en otras palabras, el término que se aplica al agua que cumple con las normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales. Según la Organización Mundial de la Salud (2019) el agua tiene que cumplir los siguientes requisitos para ser potable:

1. No debe tener contaminantes de ningún tipo, ya que pueden perjudicar el organismo.
2. Ha de tener una proporción adecuada de gases y sales disueltas.
3. Tiene que ser incolora, inodora y de sabor agradable.

Por tanto, esta agua que, por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos es apta y aceptable para el consumo humano y cumple con las normas de calidad de agua, y es por ello, que el acceso al agua potable es una cuestión importante en materia de salud y desarrollo en los ámbitos nacional, regional y local, debido al impacto que este genera en el planeta.

2.2. Recursos no renovables

Son aquellos recursos naturales aprovechables por el ser humano, que no pueden producirse o regenerarse a un ritmo que haga sostenible su tasa de consumo, es decir que

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

corren el riesgo de escasear, ya sea por desaparición o degradación. Existen en cantidades fijas o bien son creados naturalmente a un ritmo tremendamente lento.

Los recursos naturales no renovables son, por desgracia, algunos de los más codiciados y de los más útiles para la sociedad industrial, especialmente aquellos que se traducen en la obtención de energía.

2.3. Escasez de agua


Es un fenómeno natural, pero también un fenómeno inducido por los seres humanos. Es la condición en la cual la demanda de este recurso, en todos los sectores, incluyendo el del medio ambiente, no puede ser satisfecha debido al impacto del uso del agua en el suministro o en la calidad del recurso.

La escasez de agua es la condición en la cual la demanda de este recurso, en todos los sectores, incluyendo el del medio ambiente, no puede ser satisfecha debido al impacto del uso del agua en el suministro o en la calidad del recurso (UNESCO, 2017). Aun cuando hay suficiente agua dulce en el planeta para satisfacer las necesidades de una población mundial de cerca de siete mil millones de personas, su distribución es desigual tanto en el tiempo como en el espacio, y mucha de ella es desperdiciada, contaminada y manejada de manera insostenible.

2.4. Servicios públicos

son todas aquellas actividades llevadas a cabo por los organismos del Estado o bajo el control y la regulación de este, cuyo objetivo es satisfacer las necesidades de una colectividad.

Los servicios públicos son una función de Estado, puesto que el Estado no es sino una corporación de servicios públicos administrados por los gobernantes sobre quienes recae, a su vez, la función y la obligación de crear, organizar y garantizar el adecuado funcionamiento de los servicios públicos.

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.5. Agua No facturada

El término se refiere al agua que es producida pero nunca llega al consumidor, ya que se pierde a lo largo de la red de distribución, ya sea a través de derrames, robo o uso ilegal, por el cual no se realiza un pago. DIEHL Metering (2019) expone que:

No solo supone el desperdicio de un valioso recurso natural, sino que también causa daños económicos, ecológicos y humanitarios. Este problema global deteriora el medioambiente a causa de la pérdida de agua potable, genera costes de servicios adicionales (producción, mantenimiento, pérdidas de ingresos) y puede tener consecuencias en los niveles de servicio y en la calidad del agua (p. 4).

Es uno de los problemas más persistentes en los sistemas de agua municipal. Es agua que se bombea o produce pero que luego se pierde o no se tiene en cuenta en el sistema. Finalmente, los costos asociados con el robo, la evaporación, la medición defectuosa, la recopilación de datos deficiente, y especialmente las fugas, se transfieren al contribuyente.

2.6. Índice de Agua no Contabilizada


Uno de los principales parámetros de eficiencia de los prestadores de servicio de agua potable en Colombia es el índice de agua no contabilizada (IANC); este indicador incluye la pérdida técnica, la pérdida no-técnica, el consumo legal no-facturado y las pérdidas comerciales.

2.7. Pérdida de agua

Es el desperdicio involuntario de agua potable que se produce de diversas formas en un sistema de suministro. Estas pérdidas tienen impactos negativos para toda la sociedad, ya que significa el desperdicio de una gran cantidad del líquido que sería consumido por la población.

2.8. Pérdidas técnicas

Corresponden a aquellas debidas a fugas por fallas en los elementos de la red, tales como conductos, conexiones y tanques de almacenamiento. Las pérdidas técnicas o reales de

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

agua se pueden estimar restando las pérdidas aparentes de las pérdidas de agua totales, las cuales se pueden obtener de la diferencia entre el volumen de entrada al sistema y el consumo autorizado.

Es importante tener en cuenta que entre menor sea el número de macro y micromedidores instalados en el sistema, más bajo será el nivel de exactitud del Balance Hídrico. De igual forma, es necesario recordar que el Balance Hídrico debe revisarse, ajustarse y actualizarse anualmente.

2.9. Pérdidas comerciales

Corresponden a consumos ilegales, consumos no medidos, consumos medidos no facturados y a errores de micromedición y facturación.


La estimación de las pérdidas comerciales está sujeta a un alto grado de incertidumbre. En consecuencia, se deben discriminar las pérdidas aparentes en sus componentes para lograr una buena estimación. Quiñonez & Acevedo (2017) explican dos puntos importantes:

En primer lugar, se debe estimar el número de conexiones ilegales. Esto se puede hacer ya sea consultando registros anteriores o realizando muestreos en diferentes sectores del sistema. En segundo lugar, debe estimarse las pérdidas debidas a errores en el manejo de información, así como inexactitudes en la medición. Durante las lecturas de medidores, debe registrarse el número de medidores de agua averiados y hacer estimaciones de los volúmenes perdidos con base en estudios realizados en laboratorios de medidores (p. 10).

Por lo que, en el caso de las pérdidas aparentes, aunque el agua llega al cliente, no es facturada; esto puede ocurrir por errores de micromedición, conexiones clandestinas, derroche de los clientes que no tienen medidor (usuarios aforados), errores con el catastro, entre otras causas.

2.10. Fuga de agua

Es una salida de agua no controlada en cualquiera de los componentes del sistema de distribución de agua potable; con mayor frecuencia ocurren en uniones de tuberías, codos, roturas de conductos y válvulas. En los sistemas de conducción de agua a presión es común

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

que se presenten fugas de este líquido, Fuentes, Palma, & Rodríguez (2011) explican que “las fugas de agua potable en las redes de distribución producen desperdicio de agua, reducen la eficiencia de las redes y generan una pérdida económica a los organismos operadores del sistema de distribución de este tipo de líquido” (p. 3).

2.11. 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.).



Figura 4. Fuga de agua. Fuente: <https://cutt.ly/SSaoX17>

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Comúnmente, las fugas de agua son escapes de agua muy frecuentes en viviendas, edificios e instalaciones deportivas como piscinas. Pueden ser la fuente de problemas que causan pérdidas económicas importantes a los propietarios e incluso derivar en problemas más graves y costosos. Por eso, su detección es muy importante.

2.12. 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.

2.13. Red de distribución

Es el conjunto de instalaciones de almacenamiento y sistemas de transporte, todos interconectados, que permiten llevar una mercancía a su consumidor final, es decir, esta red incluye todos los activos y operaciones llevadas a cabo por la compañía para trasladar el bien o servicio que produce hasta su cliente.

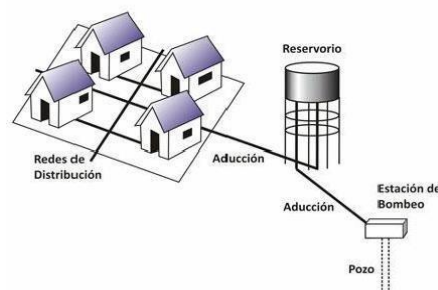



Figura 5. Redes de distribución de agua. Fuente: <https://cutt.ly/VSaajYQ>

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.14. Optimización

Proceso de diseño y/o construcción para lograr la mejor armonía y compatibilidad entre los componentes de un sistema o incrementar su capacidad o la de sus componentes, aprovechando al máximo todos los recursos disponibles, en otras palabras, consiste en encontrar sus valores máximos y mínimos, esto significa que hay que encontrar los valores en el dominio de la función para los cuales se alcanza el máximo y mínimo en el co-dominio

2.15. Flujo a presión


Aquel transporte en el cual el agua ocupa todo el interior del conducto, quedando sometida a una presión superior a la atmosférica. Los flujos a presión en conducciones cerradas se desarrollan en conductos o tubos rígidos totalmente llenos. Las diferencias de presión en un tubo con flujo forzado mantienen al fluido en movimiento independientemente de que el trazado de la conducción sea horizontal, descendente o ascendente (Basile, 2020).

2.16. Control de presiones

Es de esperar que la reparación de tuberías rotas o con algún desperfecto, se refleje en una disminución del volumen de fugas, y eso a su vez, en algún grado, contribuya a bajar el volumen de agua que debe ingresar a la red (Beltrán & Abril, 2014). Es decir, la eliminación de fugas debiera ir a un ritmo más rápido que la aparición de nuevas roturas. Sin embargo, en algunas ciudades hay experiencias de que aun sin aumentos en el consumo, la reparación de fugas realizada no se reflejó en el suministro requerido.

2.17. Sistemas de conducción de agua a presión

Está diseñado para aumentar la baja presión en un sistema de agua con el fin de lograr un caudal de agua y una presión suficientes para los consumidores. Los sistemas de aumento de presión de agua en general consisten en una o más bombas que están instaladas en un sistema de aumento de presión para aumentar la presión en un sistema hasta un cierto punto independiente del caudal y la presión de entrada.

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. ESTADO DEL ARTE


En los últimos años, al concebir los sistemas de abastecimiento de agua, además de los conceptos de cobertura, calidad, continuidad, cantidad y costos, se ha dado énfasis a los problemas relacionados con el uso eficiente del agua, puesto que, actualmente se gastan y utilizan de manera ineficiente grandes cantidades de la misma y, a menudo, la demanda está creciendo mucho más rápido de lo que la naturaleza puede abastecer

Razón por la cual, en este apartado del trabajo conviene mencionar que en lo referente a la existencia de tecnologías orientadas a la identificación de fugas técnicas en las tuberías de sistemas de acueductos se puede establecer que tanto las empresas de servicios públicos, técnicos y expertos en la materia, son grandes conocedores de los diferentes mecanismos y herramientas necesarias para detectar cualquier tipo de anomalías que ocurre o pueda ocurrir.

3.1. Investigaciones internacionales

Peñañiel (2018) en su trabajo “Análisis de las pérdidas de agua en el sistema de abastecimiento: Caso de estudio EP-EMAPA-A” para el Instituto Politécnico de Leiria de Ecuador, llevó a cabo a evaluación de calidad del servicio de abastecimiento de agua en la ciudad de Ambato, particularmente en el subsistema Troya, a través de un análisis de indicadores de desempeño, con el objetivo de reducir el valor total del agua no facturada.

El análisis se inició con la recopilación de información para el cálculo de los indicadores internacionales (Balance Hídrico e Índice Infraestructural de Fugas - IIF). Con ello se pudo determinar que para 2017 el porcentaje de pérdidas (reales + aparentes) es de 46,32%, mientras que el porcentaje de agua no facturada (pérdidas comerciales) es de 47,67%. El indicador IIF dio como resultado 1,59, lo que se traduce en una adecuada gestión en materia de reparación de fugas y control activo de éstas. Considerando los indicadores de desempeño nacionales se determinó que la gestión de la EP-EMAPA-A tiene un buen nivel de servicio.

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Por su parte, Rodríguez, Mamani, & Herrera (2019) en su investigación “SMARTWATER para la detección de fugas de agua” para la Universidad Nacional de Jujuy en Bolivia, trataron de indagar sobre las causas que provocan fugas de agua potable en los sistemas de abastecimiento domiciliario. Proponiendo una alternativa de solución a través de dos prototipos para detectar en forma eficiente, las fugas en las redes de conexión de agua potable, a partir de la implementación de sistemas embebidos, para detección de la fugas y control, que incluye tecnología hardware de bajo costo, en relación con los productos disponibles actualmente en el mercado, con un software para control y manejo adecuado.

El resultado de su propuesta fue el siguiente, en cuanto a los modelos que se presentaron:


- 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.

Para Ramirez (2017) en su estudio “Metodología de Evaluación de Pérdidas de Agua Potable y Análisis de Factibilidad de Medición Continúa en Grandes Conducciones. Caso: Gran Alimentadora- Valparaíso” para la Universidad Técnica Federico Santa María de Chile. Este trabajo se enfocó en realizar mediciones de caudal en cámaras de ventosas de la Gran Alimentadora y en sus derivaciones, para determinar el caudal nocturno que consume cada sector abastecido por la Gran Alimentadora.

Además, se recopiló datos del volumen de agua producido por el Estanque Lyon y del volumen de agua facturado. Estos valores darán como resultado el volumen total de agua que se perdió el 2016, el cual tiene un componente de pérdida técnica y de pérdida comercial, de esta manera, con los valores de caudal nocturno para cada sector de

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

derivación y el volumen de pérdida total, se puede aplicar la metodología BABE (Burst and Background Estimates).


La conclusión del análisis realizado por la autora fue que, en el sistema de agua potable estudiado, las pérdidas comerciales son mayores que las pérdidas técnicas, aunque ambas son cercanas al 50% de la producción total de agua para ese sistema específico. Esto significa, que las pérdidas por robo de agua, por el deterioro de los medidores instalados en los arranques de los clientes o por errores de lectura de consumo de agua son mayores a las pérdidas por daños en la infraestructura.

Por lo que recomendó preparar un Plan de Reducción de Pérdidas enfocado en las pérdidas comerciales, regularizando clientes ilegales y renovando medidores antiguos por tecnología nueva y más precisa. Este proceso generará una ganancia económica inmediata, ya que se comenzará a facturar agua que antes era una pérdida para la empresa.

3.2. Investigaciones nacionales

En las nacionales, se hace necesario mencionar el trabajo de Ramírez (2014) titulado “Análisis de las pérdidas de agua en los sistemas de abastecimiento” para la Universidad Santiago de Cali, quien indica que en las Empresas Municipales de Cali EMCALI, EICE y ESP, el indicador actual para medir la gestión de pérdidas de agua en el sistema de acueducto es el Índice de Agua No Contabilizada y su nivel aceptable se encuentra en el 30%. Actualmente, dicho indicador se encuentra 24 puntos porcentuales sobre el valor máximo establecido por el ente regulador, es decir en 54%, situación que ha llevado a la empresa a desarrollar una política para la reducción y el control de las mismas, enfocado en tres aspectos fundamentales el medio ambiente, la conservación de recursos y los costos económicos para prestadores y consumidores.

Del mismo modo, Areiza & Caraballo (2019) en su trabajo “Análisis de las pérdidas de agua en los sistemas de abastecimiento público, identificando sectores y causas influyentes en los altos índices de agua no contabilizada (IANC) en el municipio de Turbo Antioquia” para Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Este estudio se centró en brindar una estrategia desde el ámbito de la distribución, tratando especialmente de la implementación

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22


de una serie de sistemas de medición y control de caudales y volúmenes brindados a ciertos subsectores del municipio, para que, por medio de diseños correspondientes a la población atendida y volúmenes facturados se identifique las zonas con la mayor problemática e Indicadores de Agua No Contabilizada más elevado a fin de tomar las medidas necesarias para disminuirlos.

La conclusión de este proyecto caracterizado por una metodología con un enfoque cualitativo y del tipo aplicada, donde por medio de un levantamiento de información y encuestas a personal experto en las áreas social, operativa y comercial de la empresa de Aguas Regionales EPM S.A. E.S.P. se establecieron las zonas principales para la ubicación de los sistemas de medición para validar, por medio de la información y datos a recopilar el volumen de agua distribuido, iniciando así un proceso de trabajo comercial para la comparación de estos volúmenes con la sumatoria de los consumos de cada uno de los clientes para cada subsector, obteniendo unos IANC confiables y, teniendo así, las bases suficientes para actuar sobre las zonas con los indicadores más elevados, sea mediante estrategias sociales, comerciales o jurídicas.


Finalmente, Castillo (2016) en su investigación titulada “Diseño del programa de inspección de la reducción de pérdidas en el sistema de acueducto de Coservicios S.A E.S.P” para la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, tuvo como objetivo diseñar un programa de inspección de las actividades de reducción de pérdidas en el sistema de acueducto de Coservicios S.A E.S.P, ya que la empresa registraba niveles de pérdidas de agua que excedían los niveles permitidos por el Gobierno y los directivos deseaban conocer los aspectos en los cuales se estaba fallando y se podía mejorar.

De esa forma inició un diagnóstico de la situación actual, luego identificación, caracterización y documentación de los procesos de reducción de pérdidas donde se determinaron las variables a inspeccionar. Después se llevó a cabo la ejecución del diseño de un modelo de inspección con su posterior validación a través de una prueba piloto y finalmente se realiza el diseño de implementación de dicho modelo.

El resultado de este proyecto fue que se evidenció que la aplicación de la prueba piloto trajo consigo beneficios para la empresa en aspectos financieros ya que se identificaron 11

 Institución Universitaria	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

usuarios a los cuales se les debe cambiar a multiusuarios y 2 a los cuales se les debe cambiar de uso, lo que genera nuevos ingresos a la empresa debido a la nueva facturación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo. Y, recomendó analizar exhaustivamente los subsistemas de acueducto de la planta del Sur y Mode debido a que en los últimos años han presentado altos niveles de pérdida de agua.


	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto se hace uso de la metodología del Scrum para la gerencia del proyecto debido a que es una metodología ágil que permite el desarrollo del proyecto de manera rápida estableciendo reuniones semanales para verificar el avance del mismo y determinar las futuras tareas a realizar, junto con algunas herramientas de la metodología de Despliegue de la Función de Calidad o QFD por sus siglas en inglés, para el diseño de la solución. Además, se utilizó como guía, artículos digitales que se pueden detallar en la biografía, especializados en el tema, los cuales sirvieron como base, ya que se analizaron las experiencias que allí se describen, relacionando los elementos utilizados en las pruebas, con los resultados que éstas arrojan, a través de los conceptos generales que pueden tomarse como base para su implementación, de manera que puedan hacerse pruebas con diversos sistemas de acueductos y se obtengan los resultados que se asocian en este proyecto.

Además, el objetivo central estuvo enfocado en poder presentar una herramienta para los equipos retadores de EPM, para que ella pueda evaluar las propuestas de los programas de innovación abierta, por tanto, la metodología propuesta involucra una matriz de selección que permita elegir al final del ciclo, una empresa que cumpla con los requisitos del Reto y obtenga mayor puntaje de acuerdo con los criterios de evaluación específicos.

Esta matriz tiene a disposición términos de fácil entendimiento y acople como metodología ágil a ser proyectada, estos elementos son: Criterios de selección y las propuestas identificadas, los primeros son argumentados por los profesionales en el campo es decir los equipos retadores quienes disponen de estas habilidades técnicas. Y por último elemento las propuestas a ser seleccionadas en este caso las propuestas de las empresas solucionadoras. El contexto general de esta metodología es tener una alternativa de referencia para evaluar las demás de acuerdo con los criterios antes mencionados.

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

OBJETIVO 1. IDENTIFICAR LOS TIPOS DE METODOLOGÍAS UTILIZADOS PARA LA DETECCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE FUGAS AGUA EN LAS REDES DE ACUEDUCTO


La fuga de agua se produce por la red y las conexiones de servicio en las juntas y accesorios, por la rotura debido a cargas excesivas impuestas y agujeros causados por la corrosión, se han desarrollado muchos métodos de detección de fugas basados en modelo y mecanismos.

Existen varios métodos para la detección directa de Fugas basadas en la detección física visual o palpable. Del fluido, que se denominan métodos basados en hardware, estos métodos dependen mucho del equipo físico instalado a lo largo de la tubería. Por otro lado, hay enfoques de monitoreo de tubería computacional (CPM), que se refieren a los sistemas basados en software que operan con instrumentación limitada y proporcionan herramientas algorítmicas que amplían las posibilidades de los operadores de tuberías para reconocer las fugas en línea.

Algunos de los métodos usados en la práctica para localizar fugas emplean, son los siguientes:

1. Algoritmos genéticos

Hay que enfatizar el artículo investigativo realizado por Fuentes, Palma, & Rodríguez (2011) en México, que lleva por nombre “Estimación y localización de fugas en una red de tuberías de agua potable usando algoritmos genéticos” del año 2011, donde indican que la detección de fugas en una red de tuberías es complicada, ya que en su mayoría no se encuentran visibles, por tanto, exponen un método para detectar fugas a lo largo de las tubería con el que se determina el caudal de las mismas y la posición donde ocurren en las tuberías de una red cerrada.

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22


Los autores exponen que “el procedimiento propuesto se basa en las mediciones de la presión en la unión de las tuberías, el conocimiento de las características de la red y la estimación de las demandas de caudal”, puesto que se considera que la red funciona en flujo permanente a presión y que sólo existe una fuga por cada tubería de la red.

Este artículo muestra la información relacionada a la forma en la que emplean la teoría de la computación evolutiva, en particular, un algoritmo genético simple, como mecanismo de búsqueda de la solución óptima. Este proceso es iterativo hasta disminuir el error entre las cargas medidas y las calculadas con este método. Se incluye un ejemplo a partir de las mediciones obtenidas en laboratorio para mostrar la bondad del método y la forma de aplicarlo.

En Perú, específicamente en Tacna se llevó a cabo la “Aplicación del algoritmo genético multiobjetivo Strength Pareto Evolutionary Algorithm y su efectividad en el diseño de redes de agua potable. Caso: Sector Viñani-Tacna” en el año 2017 por Quevedo (2017). En este la autora, considera que el algoritmo (SPEA) de redes de distribución de agua es adecuado, siempre y cuando se aplicado a redes de gran tamaño, ya que la elección de los diámetros cumple con las restricciones hidráulicas, pudiéndose minimizar el problema y reduciendo los cálculos, así como el tiempo.

El SPEA demostró en las redes de agua potable del sector de Viñani-Tacna los siguientes resultados: Se evidencia notables mejoras respecto a los métodos tradicionales de diseño que se limitan a verificar condiciones hidráulicas y no pretenden optimizar el diseño de la red de agua potable. El costo estimado de la red optimizada es económicamente superior a la red sin optimización, además, que el método del gradiente es el mejor método de cálculo de redes debido a que la manipulación de las matrices dispersas reduce el tiempo de cálculo en el computador el cual no es posible en el método de la teoría lineal (pág. 117).

Igualmente, en Perú se ha aplicado este algoritmo, pudiéndose observar en el trabajo investigativo de Flores (2018) titulado “El algoritmo genético para el cálculo del diámetro de las tuberías de una red de distribución de agua potable en el distrito de Tarapoto 2018”. Esta investigación sin duda estuvo precedida por el desarrollo de un sistema basado en el

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

modelo del algoritmo genético para mejorar el proceso del cálculo del diámetro de las tuberías de las redes de distribución de agua potable. Flores (2018) determinó que:

El gradiente es el método matemático adecuado para realizar el análisis hidráulico de redes de distribución de agua, su efectividad ha sido comprobada no solo al obtener el conjunto de diámetros adecuados, el 100% de aceptación, para cada tubería, sino también en cumplir con los límites de velocidad y presión en cada una de ellas (pág. 49).


Es por ello, que se puede visualizar el modo en cómo este mecanismo tecnológico funciona en la detección temprana de la fuga de agua, con una capacidad para localizar fallas bastante elevados, haciéndolo óptimo en las ciudades.

2. Análisis de IANC en sistemas de abastecimiento

Una de las metodologías más reconocidas para evaluar las pérdidas de agua en sistemas de abastecimiento de países en vías de desarrollo fue la propuesta por la Asociación Internacional del Agua. Esta metodología se fundamentó en el desarrollo de un balance de masas del sistema, el cual permitió conocer las condiciones técnicas de funcionamiento, determinar los índices de pérdidas (IANC) en los subsistemas que lo constituyeron, y formular un programa de disminución y control de pérdidas de agua (Liemberger & Wyatt, 2019)

Puede decirse también que IANC es un indicador que representa el porcentaje de pérdidas de agua y refleja la eficiencia con la que opera el sistema. La aplicación del IANC en sistemas de abastecimiento es una herramienta útil para el estudio y desarrollo de programas de control de pérdidas de agua (González, García, & Guardiola, 2011).

De la misma forma, Bueno, Monroy, & Zafra en su estudio “Análisis de agua no contabilizada en el sistema de abastecimiento urbano del municipio de Facatativá, Colombia” del año 2020, donde establecen que el sistema posee un menor precio en el AP (22,2 %) con respecto a sistemas latinoamericanos de referencia. Sin embargo, el sistema posee un mayor precio (33,3 %) en relación con el promedio colombiano. El análisis ARIMA muestra que los efectos

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

del AP en un instante de tiempo determinado se transfieren durante seis meses en el sistema de abastecimiento.

3. Ecuaciones del Golpe de Ariete


En la actualidad es necesario contar con sistemas dinámicos, robustos y confiables junto con algoritmos que sean capaces de detectar y diagnosticar fallas, por ello Guillén, Dulhoste, & Gildas en su trabajo investigativo “Un enfoque para la detección y localización de fugas en tubería utilizando observadores de estado” del año 2016, llevaron a cabo ecuaciones del Golpe de Ariete donde se discretizan utilizando el método de diferencias finitas, este método maneja como condiciones de frontera, la presión a la entrada de la bomba y la presión en el otro extremo de la tubería.

Asimismo, los autores enfatizan que este modelo puede utilizarse para estimar de manera directa el flujo de una fuga y la posición en la que se está presentando, usando solamente dos variables medidas: la presión en un extremo de la tubería y el flujo en el otro extremo.

4. Modelo hidráulico Software ArcMap 10.4.1

Alvarado (2016) en su proyecto de grado “Propuesta Metodológica para Localizar Tuberías de Distribución de Agua Potable con Mayor Probabilidad de Presentar Fugas No Visibles” de 2016 menciona que en la búsqueda sistemática de fugas no visibles, Empresa de Acueducto de Bogotá en los últimos años ha realizado importantes esfuerzos en mejorar su operación, entre todas las actividades que se han propuesto está la actualización del sistema de información geográfica de las redes de distribución de agua potable, debido al desgaste natural de los materiales, altas presiones, malas prácticas de instalación, entre muchas otras, las tuberías de un acueducto cualquiera comienzan a presentar fallas y en consecuencia antes de que el recurso llegue al lugar de consumo (viviendas, colegios, fábricas, etc.) se pierde en la red de distribución (pág. 1)

Además, explica cómo funciona la metodología propuesta se basa en el uso de dos softwares, el primero es ArcMap 10.4.1:

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Con éste se realiza un procesamiento de la información geográfica con el objetivo de obtener información asociada con cada tubería. Una vez obtenida tal información se hace uso del software R con el cual se encuentra el modelo matemático que describe la probabilidad de que una tubería presente una fuga no visible.

Finaliza, diciendo que una vez se tienen las funciones que determinan la probabilidad se regresa al programa ArcMap 10.4.1 y se le ingresa el modelo matemático en donde se calcula la probabilidad de fuga de cada tubería para las tuberías que se encuentren en un espacio geográfico determinado.


5. Medición Inteligente (AMR/AMI)

Esta tecnología representa una solución para la medición de agua, ya que ahorra recursos y permite que los datos de medición de agua sean recogidos en forma instantánea sobre la marcha. Arniella (2017) en su artículo “Tecnologías inteligentes para infraestructura hídricas” del año 2017 explica que “después de instalar el dispositivo y el software de lectura en una camioneta o camión de trabajo, la cuadrilla puede obtener rápidamente lecturas de medición precisas simplemente por medio de conducir a través de un área de servicio”.

Destacando que este dispositivo permite aminorar el costo de lectura de medición al eliminar la lectura de medición manual, mejora la seguridad de los empleados al reducir el número de personal en la calle, también monitorea el sistema de agua de manera puntual y detecta las fugas de agua de manera más rápida para que sean reparadas con más celeridad.

6. Software EPANET

Esta tecnología también integra un modelo matemático basado en un algoritmo genético (GA) y la simulación con el software EPANET para la calibración y simulación del sistema fuente de abasto de agua del acueducto. De ello, se puede revelar el proyecto de Bosch & Recio (2014) que lleva por nombre “Calibración y simulación del sistema fuente para abasto de agua del acueducto El Gato” en la Habana, Cuba.

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22


En este proyecto, para poder llevar a cabo la calibración se empleó “una función de ajuste que minimiza las diferencias entre las mediciones en el sistema y los resultados simulados con EPANET”, lo que logró demostrar que se alcanza un nivel adecuado de calibración del modelo, y mediante el proceso de validación se evaluó la capacidad del mismo para reflejar el comportamiento del sistema ante un escenario de operación diferente, también se observó una buena correlación para los caudales observados y simulados, al igual que para las cargas piezométricas medidas y simuladas.

El aporte principal del trabajo fue la estimación de los parámetros como rugosidad de las tuberías, coeficientes de las fugas existentes y demandas reales en el sistema.

Por otro lado, Fonseca & Rodríguez “Detección y localización de fugas en las redes de agua potable del acueducto del acueducto Acuarra o Acuarra San Francisco, Cundinamarca, Cundinamarca mediante electroacústica y análisis de presiones” del año 2017, donde también se empleó el software EPANET. Los resultados obtenidos por los autores fueron los siguientes:

La metodología empleada permitió identificar en la red 4 una pérdida de agua de 3264,72 m³ en dos meses, equivalente al 93,65 % de pérdidas totales para esta red, mientras que para la red 3 se encontró una pérdida de agua de 2430,24 m³ para dos meses representando un 53,20% de las pérdidas totales. Como resultado la administración del acueducto sustituyó 700 m de red comprendida en los tramos identificados con fugas, de tal forma que el porcentaje de pérdidas se redujo en la última facturación de un 67% a 41% en la red 4 y de un 46% a 42% en la red 3.

En efecto se puede mencionar que el modelo hidráulico practicado permitió simular en condiciones ideales la operación de la red de distribución, al comparar los resultados del modelo con los registros tomados en campo fue posible verificar la existencia de anomalías en el comportamiento de presiones de la red, por tanto, su fiabilidad es del 80% para detectar fugas de agua.

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

7. Tecnología iDroloc

Por otra parte, en Chile es uno de los países en América Latina que está haciendo uso de la tecnología “iDroloc para la detección de fugas de agua” desde el año 2018, esta tecnología es llevada a cabo por la empresa SUEZ en la cual se plantea una alternativa más precisa y eficaz que los métodos acústicos convencionales y detecta fugas que pasan desapercibidas. De hecho, SUEZ (2018) explica que a través de su tecnología:


Inyecta helio en la tubería para descubrir fugas a través de un difusor que genera burbujas para aumentar la superficie de contacto entre el helio y el agua, lo que optimiza la disolución, lo que sin duda, los métodos acústicos convencionales no han podido detectar en dos años.

De igual manera, la empresa SUEZ manifiesta que por medio de la utilización de este procedimiento mucho más avanzado que el tradicional, permite detectar más del 90% de las pérdidas no visibles en superficie, lo que lo hace una herramienta más precisa y efectiva en la inspección y localización de escape de técnico en las tuberías de sistemas de acueductos.

8. Tecnología Utilis

En este caso, Israel es uno de los países que también ha tenido preocupación por el gasto excesivo de agua que se genera por medio del desperdicio de la misma por fugas de agua, motivo por el cual la empresa Aqua Intelligence (2019) en su proyecto “Utilis de Israel aplica tecnología satelital para detectar fugas de agua potable” se ha encargado de desarrollar un método innovador y eficaz para maximizar la productividad en la detección de fugas de agua y ayudar a las empresas a reducir el agua no contabilizada a través de la tecnología satelital llamada Utilis, “ofrece un rápido servicio de pre-localización de fugas con alto nivel de precisión y con capacidad de identificar fugas desde 0,1 litros por minuto hasta una profundidad entre 1 y 3 metros”.

Ahora bien, la empresa también explica que esta tecnología emplea algoritmos para analizar imágenes satelitales procesadas con tecnología de radares de apertura sintética que rastrean el espectro del agua presente en suelo y subsuelo. Esta información es depurada y

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

presentada a través de reportes en línea en el Sistema de Información Geográfica de las empresas prestadoras de servicios de agua potable o en apps disponibles en App Store y Google Play.

9. Termografía infrarroja aislada y técnicas de Machine Learning

En cuanto a esta tecnología se puede considerar la tesis “Termografía infrarroja aislada y técnicas de Machine Computacionales como Técnica Híbrida no Destructivas para la Visualización de Infraestructura y fugas en redes de agua” de Carreño (2017) en España. El objetivo principal de este trabajo fue estudiar cómo tales herramientas, a base de ensayos no destructivos (END), son adecuadas para la visualización de elementos de la infraestructura y para la detección de fugas, puesto que las fugas no visibles pueden significar pérdidas de agua, mientras no sean reparadas, y daños indirectos, según sea el tiempo que lleve la fuga o la magnitud que posea.


La autora Carreño sostiene que:

La termografía puede funcionar como un medio de visión artificial, que puede conducir a la visualización de la infraestructura, ayudando a la corrección temprana de fugas. Por otra parte, los métodos de Machine Learning pueden ayudar a clasificar/obtener información a partir de grandes cantidades de datos.

De allí, la autora concluyó que la termografía es una herramienta polivalente que puede ser útil para los fines que persiguió en su trabajo que fue el de la visualización de infraestructura y fugas en redes de agua, más aún le quedan elementos por investigar para que tenga una fiabilidad del cien por ciento, por ello debe ser complementada con otras técnicas.

10. Robot S300 – PIPELINE

Esta tecnología para la detección de fugas de agua Robot S300 – PIPELINE es empleada en los Estados Unidos para localizar, además de fugas de agua, anomalías en las tuberías que estén presentes o puedan ocurrir. García, Ceccarelli, Tapia, & Torres (2017) en su trabajo investigativo titulado “Pipeline Inspection Tests Using a Biomimetic Robot”, establecen la

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

importancia que tiene este método en la ubicación exacta de la fuga de agua en el sistema de acueducto.

Asimismo, aluden que la visualización efectiva que se puede tener en las tuberías, no puede llevarse a cabo a través de un sistema convencional como el alcance visual del ser humano o robots comerciales, por lo que, este robot es una herramienta infalible para el descubrimiento de cualquier falla en las tuberías. Otro aspecto que los autores destacan es la visualización con la que cuenta el robot dentro de la tubería, puesto que “utiliza cámara de visión nocturna, y toma fotografías con una resolución mínima de 5 MP, para saber las condiciones en las que se encontraron y determinar si se requirió un mantenimiento inmediato”.


11. Radar de tuberías

En la actualidad, se han ido favoreciendo metodologías no destructivas en la búsqueda de componentes de los sistemas de abastecimiento de agua (SAA), de ello, Cabrera, Herrera, & Izquierdo (2012) en su trabajo titulado “Detección de tuberías mediante georadar en sistemas de abastecimiento de agua” de Coimbra, Portugal, dieron aportes muy significativos en la materia.

Para este trabajo se hizo relevante la aplicación de metodologías estadísticas para generar rutas de mapeos adaptativas en la captura de datos mediante procesos no destructivos, por lo que se implementó la exploración del terreno con georadar, lo que contribuyó enormemente en la obtención de información acerca de la existencia, o no, de tuberías enterradas y su posible dirección y ubicación espacial, sin necesidad de destruir elementos importantes, mejorando sin duda, los habituales barridos exhaustivos con GPR, optimizando con ello el tiempo de exploración y la cantidad de datos necesarios para llevar a cabo el registro de los componentes del SAA.

12. Sistema Nautilus

No obstante, el Valle de Aburrá desde hace unos 5 años, Empresas Públicas de Medellín (2016) ha venido efectuando sus labores por medio de la tecnología llamada “Sistema

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Nautilus” de la firma española Aganova, la cual es una esfera que inspecciona el estado de aproximadamente 70 kilómetros de tuberías del sistema de acueducto, logrando disminuir los mantenimientos correctivos que lleven a posibles interrupciones en el servicio de acueducto por fugas. De hecho, EPM explica que es:

Una esfera con un diámetro de seis centímetros es introducida en la red de acueducto de EPM en el Valle de Aburrá. La esfera se desplaza por la tubería y, si en su recorrido encuentra una fuga no visible, genera un informe que es enviado a las cuadrillas de EPM para que adelanten la reparación y así se eviten impactos posteriores en la prestación del servicio a la comunidad.


Vale decir, que esta tecnología acústica hace parte de las estrategias no convencionales que se ejecutan en el país para reducir los mantenimientos correctivos, disminuir las interrupciones del servicio de acueducto por obras de reparación y evitar daños de gran impacto en las redes de distribución del sistema antes de que las fugas no visibles de agua afloren y sea necesario interrumpir la prestación del servicio para adelantar las reparaciones.

Por su parte, España también utiliza la tecnología 'submarino' esfera para detectar fugas de agua en tuberías por medio del sistema Nautilus, el cual localiza los focos de ruido de las filtraciones en los conductos para después calcular la posición exacta de la fuga a través de algoritmos matemáticos.

Aganova Grupo (2014)

El principal cometido de Nautilus es captar las fugas en las tuberías, analizando el sonido que producen, sin interrumpir el suministro de agua potable en la población. Para ello, la esfera se introduce en la red a través de las ventosas existentes y puede navegar libremente por el conducto durante más de 12 horas, recorriendo hasta 20 kilómetros en cada inmersión.

De este dispositivo se puede decir que informa sobre la localización exacta de una fuga cuando no se ha notado un problema específico en un tramo concreto, así como también

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

permite conocer el estado real de la tubería, dando información importante durante el proceso de toma de decisiones sobre renovación de tuberías.

13. Sistema de taponamiento

De cierta manera corresponde a un sistema novedoso de corte y reconexión, que genera una alternativa nueva en el mercado para evitar el fraude debido a la complejidad de la herramienta y la distancia de aplicación del dispositivo. La empresa Aquasoft (2016)


Se cuenta con herramientas de aplicación en manguera flexible con núcleo en acero, con medidas especiales según la necesidad del corte que van de 40, 60, 80, 100 y 120 cm de largo. La herramienta y el tapón a utilizar es de uso exclusivo de la empresa operadora de los servicios públicos de acueducto y pueden ser fabricados en formas especiales para cada ciudad.

Sin duda, este dispositivo constituye una alternativa adecuada en el mercado para evitar el fraude debido a la complejidad de la herramienta y la distancia de aplicación del módulo.

14. Georadar en operación

El hurto de agua potable se realiza de muchas formas diferentes, como a través de la manipulación de medidores de consumo, la reapertura o reconexión ilegal de conexiones previamente cerradas (cortadas), por ejemplo, por la falta de pago del servicio y a través de instalaciones ilegales, con frecuencia también llamadas clandestinas o fraudulentas. Por ello, es importante mencionar el trabajo de Ziemendorff & Kersting de la Universidad de San Martín de Porres – Perú, en su trabajo titulado “Comparación de Tecnologías para la Localización de Conexiones Ilegales de Agua Potable” del año 2020, ya que aluden al sistema de Georadar en operación.

Según los autores el Georadar capta los reflejos que se producen en las diferentes capas del terreno, las cuales se producen acorde a la conductividad del material, a partir del tiempo de tránsito entre la señal de transmisión y la señal del reflejo, calcula la profundidad donde se produce el reflejo. Para ello el equipo es empujado lentamente sobre la superficie del subsuelo a escanear, los resultados del escaneo son mostrados en una pantalla incorporada

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

al equipo (pg. 7). Esta tecnología se usa desde hace algunos años para la detección de conexiones ilegales en varios países como en Chile, Colombia y Perú.

De igual forma, se puede indicar también la tesis de Tavera que tiene por nombre “Aplicación del georadar para la mejora del rendimiento de una red hídrica” para la Universidad Politécnica de Valencia – España del año 2008, en la cual consideran que para “la detección y localización de acometidas ilegales el Georadar puede ser incluso más eficaz que en el caso de localización de fugas”, además que tiene la ventaja de ser un método no destructivo, es decir, cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales.

Finalmente, la empresa Panatec de España (2020) explican la forma en la que funciona los georadares


Se escoge un tramo de la tubería principal conocida y se desplaza el equipo paralelamente a la misma, de forma que se discurre transversalmente a las acometidas de los usuarios. De esta manera, si pasamos por encima de una tubería enterrada el Georadar detecta una discontinuidad electromagnética en la señal recibida, que se visualiza en la pantalla de una forma característica y reconocible, lo que permite que se pueda descubrir conexiones ilegales.

Los sistemas basados en georadar (GPR) ofrecen resultados inmediatos a los requerimientos necesarios, permitiendo objetivar la calidad de diferentes parámetros de la estructura, estableciendo umbrales y observando tendencias de evolución.

15. Método electroacústico

Consiste en ubicar instalaciones ilegales induciendo un sonido en las tuberías de agua, el cual se propaga a través de las tuberías a cierta distancia y puede ser localizado desde la superficie con un geófono. El sonido es inducido mediante un oscilador que es colocado en algún punto de la tubería, como en un hidrante, pero más frecuentemente en una conexión (Rodríguez, 2005).

Asimismo, el autor menciona que hay dos tipos de osciladores: el primero se acopla directamente a la columna de agua y, al cerrarse, produce un impulso hidráulico que se

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

propaga en el sistema produciendo sonidos audibles; y el segundo tipo de oscilador también se coloca en algún punto de la tubería y somete las tuberías a vibraciones al golpearlas desde afuera, como un martillo eléctrico.

El método es usado a nivel mundial desde muchos años para la localización de tuberías plásticas.


16. Innovador sistema “Emasagra” de detección de fugas y enganches ilegales

De acuerdo con Europa Press (2017) para el Diario 20 minutos de España, este dispositivo mantiene activo un servicio de telecontrol de la red las 24 horas al día y los inspectores han hecho uso de cámaras endoscópicas para el hallazgo de tomas y enganches ilegales. La empresa aplica así técnicas de innovación avanzadas en la gestión y mantenimiento de la red como consecuencia de la aportación tecnológica y experiencia del Grupo Suez, al que pertenece. En esa línea, recientemente se instalaron pre-localizadores de fugas en la red de abastecimiento del barrio del Albaicín.

17. Detección de fraudes en el consumo de agua potable con Baroscopio

El boroscopio es un instrumento que juega un papel determinante para la detección sobre el terreno de las instalaciones, sobre todo las que utilizan el bypass o tubo de trasvase antes del contador para robar agua de la red de abastecimiento. Los boroscopios por su rapidez de aplicación y facilidad de uso de detección son una herramienta de gran valor en este tipo de actuaciones y además ofrecen la posibilidad de grabar la prueba en vídeo (Ruiz, 2018).

El uso del boroscopio permite la realización de diagnósticos precisos al poder ver directamente en el monitor cual es el estado interno de lo inspeccionado y la causa que produce el posible problema si lo hubiera o grabar la sesión para compartir con terceros o formar parte de un informe.

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

18. Inspección interna de redes con cámaras endoscópicas

Ahora bien, el trabajo investigativo de Juárez del año 2017 nombrado “Diseño de un Sistema de Inspección de Tuberías mediante Cámara y Robot Móvil”, muestra la manera en la que funcionan las cámaras endoscópicas ára la inspección interna de redes


Consiste en la introducción de cámaras de video, previstas de diodos LED con cables flexibles en las redes de agua potable desde cualquier punto, como desde una válvula, aunque para la localización de conexiones ilegales en sitios definidos muchas veces es necesario perforar un hueco en la tubería para tener un punto de acceso cercano, el mismo tiene que ser reparado posteriormente.

Continúa explicando que los cables regularmente son muy rígidos para que permitan conducir la cámara por largos trayectos de hasta 60 metros, empujándolas. En las redes de agua se usa tanto para la detección de fugas como para la detección de instalaciones ilegales, para lo cual es necesario cortar el servicio en la zona sondeada previamente, aunque también hay sistemas que funcionan bajo presión.

De igual manera, la empres AGM TEC (2016) señala que:

Los endoscopios dotados con microcámaras son herramientas de alta tecnología que, en el caso de la detección contra el fraude de aguas, son capaces de introducir una sonda de entre uno y cinco metros de longitud por una tubería o conducto, habitualmente de ¼ de pulgada de diámetro. La sonda dotada con una microcámara debe seguir sin dificultad el trayecto de la tubería para comprobar que la instalación está realizada conforme a normativa.

Algo que es relevante en este tipo de tecnologías que permite al operario visualizar el correcto estado de las instalaciones, pero a su vez debe ser capaz de ofrecer la prueba incuestionable cuando se detecta fraude de aguas, por ello es de gran importancia una captación nítida y con detalle de la sesión de inspección, así como su captura en modo de vídeo o imágenes en un soporte digital estándar.

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para De la Cruz (2014) la razón de tratar este método, aparte del anterior, consiste en que los resultados de los factores evaluados son sumamente diferentes para cada tipo de cámara endoscópica y que pueden ser usadas tanto en forma combinada como también cada uno por sí mismo en combinación con otros métodos.


19. Datalogger para detectar Bypass en tuberías

Para comprender, adecuadamente, el método propuesto para la detección de conexiones ilegales tipo bypass es necesario conocer bien lo que es el golpe de ariete tal como lo señala (Franzini et al., 1999 citado en Ziemendorff, Sewerin, & Montero, 2020) El golpe de ariete es la disminución brusca de la velocidad de un líquido en una tubería debido al movimiento (cierre/apertura) de una válvula, ocasionando una serie de ondas cinéticas que se transforman en ondas de compresión y viceversa, provocando que la masa líquida.

Formas de bypasses y métodos convencionales para detectar Bypass

Hay diferentes formas de colocar un bypass ilegal a la conexión propia legal y las formas de detectarlo dependen de cómo fue colocado, el trabajo de Cifuentes titulado “Manual práctico e ilustrado para la instalación de un “bypass” a una válvula existente”. Específicamente depende de:

1. Si el bypass se conecta al mismo circuito de agua interno del predio. En el primer caso, la detección del consumo ilegal es relativamente simple, porque saldría agua desde el predio aún si fue cortado previamente el servicio. Sin embargo en la práctica muy pocas veces se puede detectar un bypass con ese método, sea porque el bypass no está conectado a circuito interno, sea porque cuenta con una llave cerrada al momento de la inspección o porque el predio cuenta con una válvula de antirretorno.
2. Si en el momento de realizar la inspección de la conexión sospechosa se está realizando algún consumo. En el segundo caso, basta con cerrar el servicio legal por un corto tiempo, y comparar la presión de esta conexión sospechosa con la presión normal en este momento y en este punto, porque al momento de realizar un consumo a través del bypass, la presión variará considerablemente debajo del nivel normal. Igualmente es raro detectar un bypass de esta forma, por un lado porque el tiempo de uso del servicio de agua es normalmente

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

corto y por el otro lado porque la presencia de personal del operador puede alertar al hurtador de no usar el servicio en el preciso momento en el cual se realiza la inspección de su conexión.

20. Tecnología TUBICAM R

Diseñado para la inspección de tuberías y conductos. Con una sonda de 30 metros de longitud puede cubrir la mayor parte de las inspecciones que se pueden encontrar de forma habitual.

21. Medidores de agua DSRA20


Milenium Ingeniería y Proyectos S.A.S. (2020) y la empresa Aguas de Pereira al sur de la capital risaraldense iniciaron con una prueba piloto, el primer prototipo fue elaborado con otros materiales, que luego se fueron revisando y ajustando, pero los resultados indicaron una recuperación importante en la facturación. Pero, que al paso del tiempo vieron la posibilidad de usar otros materiales dentro de los que se encontraba el polipropileno.

Lo que permitió optimizar su desarrollo, ya que el polipropileno hace mucho más liviano el dispositivo, además de ser un material resistente a la compresión y tracción, tiene mínimos problemas de oxidación. El diseño del dispositivo puede ser usado en el 85% de marcas de medidores de media pulgada y tres cuartos disponibles en el país.

Otra ventaja del material fue la reducción de los costos de producción y finalmente cumple con su propósito inicial y es evitar la manipulación del medidor por parte del usuario y el robo a manos de persona dedicadas al hurto de medidores.

22. Noggin® 500 SmartCart

Las empresas de agua y los gobiernos locales pierden ingresos diariamente por estas conexiones ilegales. Además, estos grifos clandestinos suponen un riesgo para otros usuarios inocentes de la red de agua. Cuando las conexiones ilegales se instalan en la red de agua, pueden introducir suciedad y otros contaminantes junto con fragmentos del material extraño de la tubería (acero, plástico, etc.) en el suministro de agua limpia (Sensors & Software, 2019).

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Es una herramienta útil para ayudar a detener el fraude del agua. Una vez que la compañía de agua sospecha que alguien ha pasado por alto el medidor de agua, GPR proporciona un enfoque no intrusivo para evaluar la presencia de un grifo ilegal antes de traer un equipo de construcción para excavar en busca de pruebas visibles.


23. Implementación de la Inteligencia Artificial contra el fraude en el consumo de agua

El grupo de investigación de la Universidad de Sevilla – España, denominado “PAIDI TIC-150 Tecnología Electrónica e Informática Industrial”, encargados de llevar a cabo el proyecto Decoa (Detección de consumos ocultos para la disminución de agua no facturada debido a pérdidas no técnicas), un enunciado académico que puede traducirse por el descubrimiento de fraudes o robos en la red de suministro. Los resultados apuntan a que hasta un 6% de usuarios podrían incurrir en estas irregularidades.

Por tanto, para poder accionar este dispositivo parten de la información que les proporcionan las bases de datos de clientes de Emasesa sobre los consumos individuales, las facturas emitidas y la localización geográfica de los suministros. A partir de ahí, aplican técnicas de minería de datos para estudiar el comportamiento de cada suministro y detectar si es anómalo o se encuentra dentro de lo normal. Aquellos comportamientos anómalos pueden indicar un fraude o uso irregular del agua (Freire, 2016).

Por otro lado, la Revista Técnica de Medio Ambiente (2021) recalca que la compañía SOREA encargada de gestionar el ciclo integral del agua en Sant Cugat ha iniciado este año una prueba piloto con una tecnología pionera basada en Inteligencia Artificial para detectar fugas y fraudes en la red de distribución de agua potable, la cual consiste en un dispositivo no invasivo en la red que es capaz de medir caudales muy pequeños (desde 0,02 l/min), lo que permite detectar fugas incluso de un grifo mal cerrado. La revista menciona que:

Las tecnologías actuales para la detección de fugas son normalmente procesos complejos que requieren actuar sobre la red o bien interrumpir el servicio para detectar donde se produjo la fuga. Con esta prueba piloto, SOREA busca implantar innovaciones que le permitan operar de una manera más ágil, sostenible y, a ser posible, sin afectaciones en el servicio y así evitar molestias a la ciudadanía.

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22


Además, añada que esta tecnología está formada por sensores especiales que se colocan en el cuerpo de las tuberías o válvulas y un transmisor de datos que envía la información a un servidor, donde un programa de Inteligencia Artificial detecta anomalías en el caudal, de hecho, se han realizado varios ensayos con el fin de poderse aplicar en tuberías de diferentes diámetros, materiales, caudales y presiones. Por lo que, dispositivos como este resultan especialmente útiles para fugas que se encuentran habitualmente en los tramos de acometida entre la tubería principal y el contador del usuario y que son imperceptibles, pero representan pérdidas que, aunque no se pueden medir, se producen y lógicamente hay que eliminar. También sirve para la detección de fraudes a los hidrantes y redes contra incendio.

24. Empleo de Mapas inteligentes

Cio Spain (2016) alude en su artículo investigativo “Mapas inteligentes para detectar y gestionar el fraude en el agua”, que la empresa especializada en Sistemas de Información Geográfica (GIS) ha desarrollado la primera tecnología de mapas inteligentes que permite detectar y gestionar el fraude en el agua. Con la plataforma ArcGIS, las gestoras de servicios de agua pueden obtener información detallada sobre un mapa del uso del agua en zonas verdes y piscinas y localizar posibles anomalías o manipulaciones en el consumo para poner en marcha acciones de prevención y de corrección del fraude. Cio Spain menciona que:

ArcGIS detecta y analiza a partir de imágenes satélite los terrenos con piscinas y zonas verdes, como parques y jardines, con información en tiempo real sobre el uso del agua, como el nivel de riego, el índice de vegetación o el volumen de agua en una piscina. Estos datos se cruzan con los históricos y niveles de consumo de las gestoras, así como con información del catastro para establecer espacios, tanto públicos como privados, con un posible uso irregular del agua o incluso fuera del registro oficial.

Es por ello, que esta tecnología permite la gestión integral y en un único entorno de todas las acciones de control y supervisión del fraude, además de que puede analizarse de forma detallada las pérdidas que implica el uso irregular del agua, cómo optimizar las infraestructuras para evitar el fraude, cuántos técnicos son necesarios para inspeccionar

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

una zona, o incluso, crear alertas automáticas para los operarios a través de tablets o smartphones cuando se detecta un espacio con posible fraude.

Luego de analizar la información encontrada en el estado del arte, se encontró que hay diferentes estrategias para la detección de fugas alrededor del mundo, entre las cuales se destacan los algoritmos genéticos, Análisis de IANC en sistemas de abastecimiento, Ecuaciones del Golpe de Ariete, Modelo hidráulico Software ArcMap 10.4.1, Medición Inteligente (AMR/AMI), Software EPANET, Tecnología iDroloc, Tecnología Utilis, Termografía infrarroja aislada y técnicas de Machine Learning, Robot S300 – PIPELINE, Radar de tuberías, Metodologías tradicionales y Sistema Nautilus.


El común denominador de todos los procesos es la implementación de softwares estadísticos y predictivos, que permiten mediante modelos probabilísticos establecer correlaciones entre las posibles variables que favorezcan la aparición de fugas, dificultando la distribución de agua potable y afectando tanto al consumidor final como a la entidad prestadora del servicio.

También es importante destacar que el procesamiento de señales juega un papel fundamental en la detección de fugas, ya que permite mediante controladores, identificar posibles puntos propensos a fugas, además de proveer una retroalimentación en tiempo real acerca del estado del sistema. Este monitoreo es muy útil para disminuir los tiempos de fuga, permitiendo que el usuario final disfrute del servicio, además da la posibilidad de rastrear secciones de tubería donde pueda haber susceptibilidades a fugas.

En cuanto a los softwares probabilísticos, a pesar de que son herramientas poderosas y valiosas para la identificación de fugas, se caracterizan por tener altísimos costos en el mercado, lo cual dificulta su adquisición y limita las posibilidades de adquisición considerando el presupuesto de las empresas de monitoreo y distribución.

OBJETIVO 2. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL FRAUDE DE AGUA

Las empresas sanitarias por lo general presentan cierto porcentaje de agua no facturada, es decir, aquella agua que se produce, pero no se logra cobrar al consumidor final. Las fallas

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

en la infraestructura de las redes de las empresas sanitarias y los consumos ilegales o fraudulentos son los dos factores que explican esta pérdida.

Es importante destacar que el fraude de agua genera a través de su acción graves problemas de carácter económico, ambiental y social, que, si bien no representan una pérdida real de agua, sí representa una imposibilidad de la entidad prestadora del servicio los volúmenes producidos, entregados y consumidos por los usuarios. De hecho, los altos costos económicos que se defraudan y la necesidad de gestionar un recurso vital tan necesario y escaso como es el agua han sido motivos suficientes para que empresas e instituciones investiguen, detecten y expongan las formas de enganches ilegales en el sistema de acueductos en las ciudades.


Los factores que causan esta brecha son sistemas de facturación inexactos, deficientes registros de clientes, fugas causadas por el deterioro de la infraestructura, mala gestión de la presión del agua, medición inexacta, depósito desbordamiento, lavado innecesario, gestión insuficiente y conexiones ilegales a la red de agua

Según Europa Press (2017) ha explicado que existen factores que han podido favorecer las bolsas de fraude, como son la facilidad de difusión de nuevas formas de defraudación y la manipulación de instalaciones, entre otros.

Podemos encontrar diversos tipos de anomalías como manipulaciones de contador, tomas fraudulentas, derivaciones anteriores a contador, reposiciones ilegales e incluso fraudes administrativos, por lo cual hemos planteado una acción coordinada entre áreas para disminuir las cifras de agua no registrada.

Algunas de las variables que normalmente se consideran para la identificación de un consumo fraudulento son los descensos progresivos en el consumo, descensos bruscos en el consumo, consumo anormalmente bajo y ubicación geográfica.

Si bien las variables antes mencionadas y la experiencia de los inspectores son un factor importante en la detección de consumo fraudulento, hay variables que no son evidentes y que hacen complejo caracterizar el consumo fraudulento. Entre estas se encuentra el consumo máximo, mínimos, número de lecturas y estimadores de variabilidad.

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Estas variables consideran el consumo histórico y Bureau Veritas cuenta con una base de datos que contiene los consumos históricos de ESSBIO incluidos aquellos que han cometido fraude de agua. Razón por la cual resulta importante contar con dotaciones más avanzadas, es decir, con sistemas de tecnología y control de redes que permitan coordinar los trabajos para minimizar las pérdidas de agua potable y para proteger ese recurso vital.

Muchos factores pueden afectar el porcentaje de agua perdida como proporción del agua distribuida. Si la utilidad mantiene una presión promedio baja en el sistema de distribución, tendrán un porcentaje de NRW relativamente bajo, esto no refleja la condición verdadera de los activos o desempeño de la distribución del agua.


Otro problema que puede influir en el NRW, calculado como un porcentaje, es el consumo de agua por persona, si el consumo individual promedio es alto, las pérdidas del sistema se mostrarán como un porcentaje relativamente bajo. Si el sistema de tuberías no es muy extenso, la pérdida por fugas también se mostrará como relativamente baja en términos del porcentaje de NRW. (Fluence Corp, 2016).

No obstante, el patrón que más caracteriza el consumo fraudulento es que cuando se ha cometido fraude en el consumo de agua, existe una alta probabilidad de que vuelvan a cometer fraude nuevamente. Cuando no ha cometido fraudes, la probabilidad de cometer fraude dependerá del número de meses sin consumo durante el último año y de las variaciones los consumos de agua los meses anteriores. A mayor variación durante los últimos seis meses, mayor es la probabilidad de fraude.

El porcentaje de error en la predicción de consumos fraudulentos puede tener sus causas en el comportamiento que se percibe como aleatorio de los clientes como el hecho que dejen sus casas por un tiempo debido a vacaciones u otras actividades. Este patrón de comportamiento es difícil de detectar y altera variables como son los meses sin consumo, las desviaciones entre los consumos y los promedios de consumo.

OBJETIVO 3. METODOLOGÍAS TRADICIONALES QUE SIGUEN EJECUTANDO EN COLOMBIA

La detección de fugas es el procedimiento que se lleva a cabo para la identificación de los sectores de mayor pérdida de agua en una red de distribución de agua potable, es decir, son


	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

procedimientos que se llevan a cabo para reducir el problema de buscar fugas en la red completa, a buscarlas en sectores específicos, dadas unas sospechas por altas pérdidas. Deben detectar los sectores donde la cantidad de agua perdida sea más alta, para que después se utilicen procedimientos más detallados (metodologías de localización), donde se determine su lugar exacto. Este último requiere de una gran precisión ya que es el paso que precede a la excavación y reparación del daño.

Colombia, forma parte de los países que todavía, en muchas partes del país sigue implementando metodologías convencionales para la detección de fugas de agua, de ello, Ávila (2012) en su trabajo denominado “Nuevas Metodologías y tecnologías para la renovación/rehabilitación de tuberías en sistemas de agua potable” del año 2012 indica que para la implementación de las tecnologías, muchas empresas en el mercado colombiano se hallan muy limitados y condicionados, es decir, no hay una gran oferta de ello debido al escaso conocimiento que se tiene, así como también el miedo de incursionar en dichas tecnologías.

Las empresas prestadoras del servicio en Bogotá utilizan un procedimiento completo, que incluye las inspecciones periódicas a la red para identificar los sectores donde es más probable encontrar fugas (detección). Si los coeficientes de pérdidas son muy altos se implementan metodologías de localización de fugas, los cuales permiten encontrarla con la precisión necesaria para su reparación.

Infortunadamente en algunas zonas de Colombia, actualmente se siguen utilizando sistemas tradicionales de registros de corte o precintos metálicos o plásticos Para realizar el corte y reconexión del servicio de agua en los acueductos municipales, los cuales son, sin duda, fácilmente removibles por los usuarios ocasionando el fraude o adulteración del servicio, lo que genera una cartera morosa para la empresa y pérdidas millonarias en aguas no contabilizada. Los puntajes de selección son -1 si es peor a la alternativa de referencia, 0 si el criterio es igual a la alternativa de referencia o 1 si el criterio se ajusta mejor a la alternativa de referencia. A continuación, se presenta el borrador a modo gráfico de la matriz mencionada.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Característica de ingeniería	Propuesta de referencia	Análisis de radar de apertura sintética	Ensayos geofísicos inducidos	Análisis energético en tuberías
Económica		0	-1	1
Escala		1	1	0
Tiempo		1	1	-1
Eficiencia		-1	-1	-1
Total	Referencia	1	0	-1

Tabla 1. Matriz de Pug. Fuente: Elaboración propia.


De ello, Cientech (2020) menciona que “en el país existe el índice de agua no contabilizada que supera el 43%. Esto representa una pérdida cercana a los 300 mil millones de pesos anuales en facturación de las empresas de acueducto y alcantarillado”. Estos indicadores son entregados por la Superintendencia de Servicios Públicos y las empresas, de acuerdo con el marco tarifario, deben establecer programas y actividades para reducir el robo de agua. Algunos de estos métodos son:

- **Detección de Fugas**

Existen varias técnicas para la detección de fugas en una red de distribución de agua potable:

- Subdivisión de los distritos de medición de caudal a sectores más pequeños cerrando válvulas o instalando más medidores de caudal.
- El uso de localizadores de fugas.
- Inspecciones utilizando dispositivos acústicos.

La Subdivisión de los distritos de medición por cierre de válvulas es la más utilizada en Bogotá, cuando el monitoreo muestra que la cantidad de agua pérdida en un distrito determinado se ha incrementado, se procede a cerrar las válvulas internas para subdividir el distrito en áreas más pequeñas donde se puede identificar mejor los daños. Si se generan problemas de abastecimiento por cerrar las válvulas durante el día, este procedimiento se puede llevar a cabo por las noches.

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Cada área es monitoreada por un medidor de caudal y se realiza el número de veces que sea necesario para obtener la mejor precisión posible de donde se encuentra la fuga. Como resultado se obtienen áreas sospechosas que luego son inspeccionadas con equipos de localización y áreas normales (Rodríguez, 2015).


Generalmente funciona colocando un medidor de caudal en la entrada de cada área. Luego, se va reduciendo sistemáticamente el tamaño del área que se está investigando por medio del cierre de válvulas en cada sección de la tubería. Si se presenta un gran cambio en la cantidad de agua que se está perdiendo en el sector, significa que la sección que se cerró contiene una gran parte de las pérdidas del área y es muy probable que contenga fugas. Este procedimiento puede generar problemas de abastecimiento y calidad del agua; por esta razón su uso dejó de ser popular, aunque en Colombia se sigue utilizando.

Otros métodos convencionales

Venta de agua en bloque: en los Municipios rurales de Colombia como Pinchote, la empresa Acuasan, la cual ha tenido que implementar este tipo de mecanismos para intentar controlar la red que abastece a los usuarios del sector, ya que también han detectado una gran cantidad de conexiones fraudulentas, lo cual ha generado grandes daños en la red para su consumo.


Este método consiste en vender agua en bloque para los consumidores, de tal manera que la responsabilidad de la entidad se limita a entregar estos caudales en un punto determinado con el fin de que sea distribuido de la mejor manera posible (Monsalve & Uribe, 2016).

Análisis de patrones de consumo: EPM realiza análisis de patrones de consumo que permiten establecer una probabilidad de que una instalación sea fraudulenta, de dicho análisis surge un listado de instalaciones que son enviadas a campo para su revisión por parte de un contratista. La revisión consta, además de la inspección visual de la estación de medida, de ciertas pruebas que permiten establecer si la vivienda queda con flujo de agua una vez es cerrada la llave.

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Sin embargo, el hallazgo de un bypass o una conexión paralela requiere de una revisión más profundas que, en la mayoría de los casos, requieren apique, debido a que no se cuenta con herramientas de precisión que indiquen exactamente el lugar del apique, este tipo de intervenciones resultan frecuentemente infructuosas, además de costosas (Grupo EPM, 2019).

Asimismo, el autor alude que este miedo se debe principalmente al poco manejo de los mecanismos de detección, ya que la mayoría son importados, por tanto, la capacitación para la implementación y operación de las mismas es poco accesible y los costos de dichos equipos son bastante elevados en ciertos casos. En Colombia se utilizan metodologías tradicionales para la detección y localización de fugas, para la detección el procedimiento más usado (en la ciudad de Bogotá) es la subdivisión de los distritos de medición por cierre de válvulas. Para la localización, se usan metodologías acústicas. Entre las conclusiones se propone que las metodologías utilizadas en Colombia sean basadas en modelos hidráulicos, que permitan un monitoreo por un mayor número de horas al día y también que para la localización de fugas se usen métodos acústicos.

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO


Todo sistema de distribución de agua potable tiene problemas de pérdidas de agua como resultado de diseños inadecuados, problemas por operación o instalación del sistema, problemas mecánicos de los materiales utilizados, accidentes que puedan ocurrir en el sistema o como consecuencia del deterioro del sistema después de varios años de operación. Estas pérdidas pueden llegar a ser del orden del 10 – 40% del total de agua producida, lo cual tiene un impacto económico importante en las empresas.

Las empresas prestadoras del servicio son las responsables de la reducción y control de las fugas, lo cual solo puede ser conseguido con un sistema de control de fugas que incluye la caracterización, detección, localización, y reparación de las fugas. Por esto resulta tan importante conocer, desarrollar e implementar las metodologías que hagan más eficiente el sistema de control de fugas de cada empresa.

Se concluye que las tecnologías más recientes involucran ciencia de datos mezclados con instrumentación para brindar una mejor solución a la identificación de las Fugas y Fraudes. Estamos en una era de datos, cualquier aplicación que intensifique en análisis para identificar patrones es la mejor alternativa que se pueda plantear.

Se pueden clasificar las investigaciones o metodologías expuestas en el documento en dos principales las cuales son intrusivos o no intrusivos, es decir, si requieren de obra civil para ser implementadas o son tecnologías que no afectan la red de acueducto, y estas a su vez se clasifican por independiente en metodologías auditivas, ópticas o analíticas. La tecnología de mapeo de sonido sería la alternativa óptima y económica para alimentar un banco de datos para identificar a través de patrones en la vibración de la acometida si existe Fraude o Fugas en las redes de acueductos.


Ahora bien, el comportamiento de las metodologías puede cambiar considerablemente dependiendo del fabricante de los dispositivos, las condiciones de operación de la red de

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

distribución de agua potable, la experiencia de los operadores de los equipos y la calidad de los sistemas computacionales e instrumentos utilizados.


Las metodologías utilizadas en Colombia muestran que en la práctica se continúan utilizando los métodos tradicionales. Para la detección se utiliza el método de balance de agua en el sistema que se ha demostrado que puede tener altas probabilidades de error por la cantidad de factores que afectan su resultado. Se podría tratar de utilizar alguna metodología que incluya un modelo hidráulico y que permita el continuo monitoreo del sistema sin alterar de manera brusca su operación. Para la localización de deberían utilizar metodologías que optimicen el uso del tiempo para sectorizar aún más la fuga, antes de utilizar los métodos acústicos.

Por último, a nivel profesional en la práctica es necesario adaptarse completamente a las herramientas digitales para una comunicación asertiva con el equipo de trabajo, alineando el desarrollo diario laboral a las competencias que brinda la academia.

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

7. REFERENCIAS

- Aganova Grupo. (2014). 'submarino' esfera para detectar fugas de agua en tuberías. Obtenido de El Mundo: <https://cutt.ly/GQ40T8O>
- AGM TEC. (2016). *Detectar Fraude con Aguas con Endoscopio*. Obtenido de <https://cutt.ly/PWWZK9s>
- Aquasoft. (2016). *Dispositivo de Corte Antifraude*. Obtenido de <https://cutt.ly/tWEyu74>
- Alvarado, C. (2016). *Propuesta Metodológica para Localizar Tuberías de Distribución de Agua Potable con Mayor Probabilidad de Presentar Fugas No Visibles*. Obtenido de Universidad de los Andes: <https://cutt.ly/tQ44HcH>
- Aqua Intelligence. (2019). *Utilis de Israel aplica tecnología satelital para detectar fugas de agua potable*. Obtenido de <https://cutt.ly/0Q4N5aj>
- Arniella, E. (2017). *Tecnologías inteligentes para infraestructura hídricas*. Obtenido de Banco Interamericano de Desarrollo: <https://cutt.ly/UQ43bYa>
- Ávila, C. (14 de febrero de 2012). *Nuevas Metodologías y tecnologías para la renovación/rehabilitación de tuberías en sistemas de agua potable*. Obtenido de Universidad de los Andes: <https://cutt.ly/uQ8asce>
- Bosch, P., & Recio, I. (2014). *Calibración y simulación del sistema fuente para abasto de agua del acueducto El Gato*. Obtenido de Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH): <https://cutt.ly/nQ8IIIb>
- Bueno, D., Monroy, E., & Zafra, C. (2020). *ánalisis de agua no contabilizada en el sistema de abastecimiento urbano del municipio de Facatativá, Colombia*. Obtenido de <https://cutt.ly/NQ7rC3A>

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Cabrera, D., Herrera, M., & Izquierdo, J. (2012). *Detección de tuberías mediante georadar en sistemas de abastecimiento de agua*. Obtenido de <https://cutt.ly/EQ8HIEN>

Carreño, E. (julio de 2017). *Termografía infrarroja aislada y técnicas de Machine Computacionales como Técnica Híbrida no Destructivas para la Visualización de Infraestructura y fugas en redes de agua*. Obtenido de Universitat Politècnica de València: <https://cutt.ly/0Q8FUac>

Cientech. (2020). *Una solución para evitar el fraude o el robo de medidores de agua*. Obtenido de <https://cutt.ly/cWWANjX>

Cifuentes, C. (enero de 2018). *Manual práctico e ilustrado para la instalación de un "bypass" a una válvula existente*. Obtenido de Universidad Militar Nueva Granada: <https://cutt.ly/yWW0I41>

Cio Spain. (23 de septiembre de 2016). *Mapas inteligentes para detectar y gestionar el fraude en el agua*. Obtenido de <https://cutt.ly/yWEq6ZA>


De la Cruz, M. (2014). *Reparación, rehabilitación y renovación de redes*. Obtenido de <https://cutt.ly/gWWXD3m>

Europa Press. (octubre de 2017). *Emasagra recupera más de 340.000 metros cúbicos de agua con su sistema de detección de fugas y tomas ilegales*. Obtenido de Diario 20 minutos: <https://cutt.ly/HWEeGyl>

Empresas Públicas de Medellín. (15 de noviembre de 2016). *Con nuevas tecnologías, EPM monitorea el estado de las redes de acueducto en el Valle de Aburrá*. Obtenido de EPM: <https://cutt.ly/2Q4Ce2M>

Freire, E. (2016). *Inteligencia artificial contra el fraude en el consumo de agua*. Obtenido de ABCdsevilla: <https://cutt.ly/AWEqCYi>

Flores, I. (2018). *Aplicación del algoritmo genético para el cálculo del diámetro de las tuberías de una red de distribución de agua potable en el distrito de Tarapoto 2018*. Obtenido de Universidad Nacional de San Martín: <https://cutt.ly/WQ8T5mS>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Fonseca, J., & Rodríguez, J. (2017). *Detección y localización de fugas en las redes de agua potable del acueducto del acueducto Acuarr o Acuararrayan San Francisco, Cundinamarca ancisco, Cundinamarca mediante electroacústica y análisis de presiones*. Obtenido de Universidad de La Salle: <https://cutt.ly/IQ7pSRf>

Fuentes, O., Palma, A., & Rodríguez, K. (2011). *Estimación y localización de fugas en una red de tuberías de agua potable usando algoritmos genéticos*. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México: <https://cutt.ly/bQ8gMkj>

García, E., Ceccarelli, M., Tapia, R., & Torres, C. (2017). *Pipeline Inspection Tests Using a Biomimetic Robot*. Obtenido de <https://cutt.ly/mQ4Bjxs>

Grupo EPM. (mayo de 2019). *Retos de Innivación 2019: Convocatoria para Presentar Alternativas de Solución*. Obtenido de <https://cutt.ly/zWW4hQF>

González, F., García, M., & Guardiola, J. (2011). *Why is non-revenue water so high in so many cities?* Obtenido de International Journal of Water: <https://cutt.ly/pQ7ru5C>

Guillén, M., Dulhoste, J., & Gildas, B. (2016). *Un enfoque para la detección y localización de fugas en tubería utilizando observadores de estado*. Obtenido de Universidad de los Andes: <https://cutt.ly/rQ7uP9u>


Juárez, A. (2017). *Diseño de un Sistema de Inspección de Tuberías mediante Cámara y Robot Móvil*. Obtenido de <https://cutt.ly/GWWL4Vd>

Liemberger, R., & Wyatt, A. (2019). *Quantifying the global non-revenue water problem*. Obtenido de <https://cutt.ly/NQ7yzFu>

Milenium Ingeniería y Proyectos S.A.S. (2020). Obtenido de <https://cutt.ly/AWW5afc>

Monsalve, M., & Uribe, J. (2016). *Programa de Reducción de Pérdidas en la Red de Distribución del Sistema de Acueducto del Municipio de San Gil*. Obtenido de Universidad Pontificia Bolivariana: <https://cutt.ly/HWWVrtA>

Panatec. (2020). *Georadares - GROUND PENETRATING RADAR*. Obtenido de <https://cutt.ly/XWWG5Ga>

	INFORME FINAL	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Quevedo, V. (2017). *Aplicación del algoritmo genético multiobjetivo Strength Pareto Evolutionary Algorithm y su efectividad en el diseño de redes de agua potable. Caso: Sector Viñani-Tacna*. Obtenido de Universidad Privada de Tacna: <https://cutt.ly/YQ8Y54N>

Rodríguez, D. (diciembre de 2005). *Estado del arte de las metodologías para la detección y localización de fugas en sistemas de distribución de agua potable*. Obtenido de Universidad de los Andes: <https://cutt.ly/CQ8dEIN>

SUEZ. (2018). *sistema de detección de fugas*. Obtenido de <https://cutt.ly/iQ8EUTv>

Revista Técnica de Medio Ambiente. (febrero de 2021). *SOREA inicia una prueba piloto en Sant Cugat para detectar fugas y fraudes de agua con IA*. Obtenido de <https://cutt.ly/PWEpyov>

Rodríguez, D. (diciembre de 2005). *Estado del arte de las metodologías para la detección y localización de fugas en sistemas de distribución de agua potable*. Obtenido de Universidad de los Andes: <https://cutt.ly/CQ8dEIN>

Ruiz, A. (noviembre de 2018). *El fraude en el consumo de agua potable y la ayuda del boroscopio para su localización*. Obtenido de lagua: <https://cutt.ly/iWW3xfX>

Sensors & Software. (2019). *NOGGIN Sistemas GPR adaptables*. Obtenido de <https://cutt.ly/WWW6OiB>

Tavera, M. (mayo de 2008). *Aplicación del georadar para la mejora del rendimiento de una red hídrica*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia: <https://cutt.ly/4WWGajE>

Ziemendorff, S., & Kersting, M. (2020). *Comparación de Tecnologías para la Localización de Conexiones Ilegales de Agua Potable*. Obtenido de Universidad de San Martín de Porres: <https://cutt.ly/8WWFoUm>

Ziemendorff, S., Sewerin, S., & Montero, J. (2020). *Detección de instalaciones ilegales de agua potable con el uso de golpes de ariete*. Obtenido de Universidad de San Martín de Porres: <https://cutt.ly/DWWMpVJ>