

**Métodos e instrumentos para la reducción de pérdidas por agua no contabilizada en redes
de distribución hídrica**

María Camila Murillo Flautero

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Ambiental

Director:

Diana Marcela Muñoz Nieto

Magíster en Ingeniería Ambiental

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Ingeniería ambiental

Bogotá, Colombia

2022

Resumen

En este informe de investigación se identifica y analiza el contexto mundial del recurso hídrico referente a las pérdidas de agua para el consumo humano en redes de distribución, como los acueductos. Identificado la metodología e instrumentación más relevante y aplicable para el tratamiento y disminución de porcentaje en pérdidas de agua en los acueductos, analizando los modelos y estrategias de diferentes estudios aplicados a esta problemática para un adecuado tratamiento y disposición del recurso hídrico.

En la actualidad el agua potable dentro de las redes de distribución posee altos índices del agua no contabilizada (IANC). Este índice es un aspecto técnico y comercial en el cual se logra obtener una medición de la condición física de un sistema como la administración de sus recursos. Por lo tanto, evaluando el funcionamiento de técnicas como el tratamiento de minería de datos entre muchas más, se relacionan y evalúan diferentes casos exitosos a nivel mundial y/o nacional después de la instalación de sistemas de control y seguimiento en redes, permitiendo contrarrestar las incidencias dentro del flujo de procesos de un acueducto.

Palabras clave: IANC, pérdidas de agua, redes de distribución, sistemas de control, reducción de pérdidas de agua.

Abstract

This research report identifies and analyzes the global context of water resources regarding water losses for human consumption in distribution networks, such as aqueducts. It identifies the most relevant and applicable methodology and instrumentation for the treatment and reduction of the percentage of water losses in aqueducts, analyzing the models and strategies of different studies applied to this problem for an adequate treatment and disposal of water resources.

At present, drinking water in distribution networks has high rates of unaccounted-for water (IANC). This index is a technical and commercial aspect in which it is possible to obtain a measurement of the physical condition of a system as well as the management of its resources. Therefore, evaluating the performance of techniques such as data mining treatment among many others, different successful cases are related and evaluated worldwide and/or nationally after the installation of control and monitoring systems in networks, allowing to counteract the incidences within the process flow of an aqueduct.

key words: IANC, water losses, distribution networks, control systems, water loss reduction.

Tabla de contenido

Resumen.....	2
Abstract.....	3
Lista de tablas	6
Lista de Figuras.....	7
Introducción	8
Objetivos.....	9
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos	9
Capítulo 1. Causales de pérdidas de agua en redes de distribución.....	10
Normatividad internacional y problemáticas asociadas al abastecimiento y distribución de agua potable.....	10
Sistemas de abastecimiento y distribución.	15
Tipo de Pérdidas (IANC).....	17
Pérdidas Comerciales.....	19
Pérdidas Técnicas	20
Pérdidas por consumo fraudulento.....	24
Capítulo 2. Métodos e instrumentos para reducir pérdidas de agua en redes de distribución.	25
Balance Hídrico	25
Funcionalidad del medio hídrico en fuentes de distribución.	27
Estudios de identificación para el suministro intermitente en redes de distribución	28
Herramientas para el control de agua no contabilizada	33
Métodos para el cálculo de costos en el servicio hídrico de Colombia.....	36

Propuestas para la reducción hídrica en el sistema de acueducto y alcantarillado.	37
Reducción de la su medición mediante la optimización de la micro medición.	37
Reducción de la submedición mediante la optimización de la facturación	38
Reducción de fugas fraudulentas	39
Reducción de errores en la macro medición a la entrada y salida de las plantas.....	39
Capítulo 3. Sistemas de control y seguimiento en redes de distribución hídrica	41
Cadena de valor de la industria de Smart Water	41
Softwares creados de la industria de Smart Water.....	44
WaterWiSe	44
Waterbox.....	47
SCADA	52
Resumen de métodos o sistemas de control y seguimiento en redes de distribución hídrica	57
Conclusiones	60
Recomendaciones	62
Referencias bibliográficas.....	63

Lista de tablas

Tabla 1 Cálculos CRA	11
Tabla 2 Estimativos de IANC	13
Tabla 3 Balance de Agua propuesto por la IWA.	27
Tabla 4 Comparación de la calidad de agua entre zonas IWS en Arraján y las zonas IWS y CWS de Hubli-Dharwad.....	31
Tabla 5 Cálculo de costos en el servicio de agua.....	36
Tabla 6 Estimaciones y previsiones del mercado de Smart Water en el mundo.	43

Lista de Figuras

Figura 1 Interrelación de la ciudad con los servicios de acueducto y alcantarillado.....	17
Figura 2 Muestra de monitoreos	31
Figura 3 Red de distribución de agua abierta y ramificada	35
Figura 4 Estimaciones y previsiones del mercado de Smart Water en el mundo.	44
Figura 5 Relación entre las capas de Water WiSe: IDEAS y DSTM	46
Figura 6 Sonda del sensor multiparámetro WaterWiSe (izquierda), y la sonda acoplada a una válvula de compuerta (derecha)	47
Figura 7 Infraestructura de software de experimentación.....	49
Figura 8 Nodo sensor WaterBox y análisis de potencia.	49
Figura 9 Operación de instalación de WaterBox	51
Figura 10 Diagrama de bloques del sistema SCADA.....	53
Figura 11 Aspectos hídricos de Israel Fuente.....	55

Introducción

Por medio de la investigación a diversos estudios presentados en Latinoamérica y el mundo sobre los recursos hidráulicos disponibles, se ha evidenciado como se degradan recursos hídricos, generando considerables incrementos en costos generales de su abastecimiento. Incrementos producidos por la necesidad de explotación de nuevas fuentes hídricas, en muchas ocasiones las fuentes hídricas convencionales terminan ineficientes en su distribución y consumo, por causales de contaminación y daños críticos en el origen de las fuentes primarias de obtención.

En Colombia $67\text{m}^3/\text{s}$ de agua residual se descarga en fuentes hídricas, solo el 8.0 % es tratada previamente al vertimiento, incumpliendo la ley 142 de 1994, que establece el régimen de servicios públicos domiciliarios y actividades que realicen prestadores del servicio. (DNP, 2021).

Para las empresas abastecedoras de agua, cada volumen del fluido de extracción será potabilizado y transportado por la red de distribución urbana, para su posterior entrega, sin embargo, no siempre es dirigida para todos los usuarios pertenecientes a una población. (IMTA, 2007). Todo usuario debe tener por derecho el acceso a estos servicios públicos, aunque normalmente por su lejanía a la urbanización, a muchas zonas rurales no se les garantiza ni retribuye ningún tipo de compensación o avance en la implementación del servicio de acueducto, justamente por esta perspectiva de objetividad, el valor del Índice del Agua No Contabilizada (IANC) suele incrementarse en zonas rurales por la irregularidad de obtención de este recurso para esta población, normalizando los hurtos de agua en las redes de distribución. Por estos eventos presentados, es necesario conocer las diferentes metodologías de obtención hídrica para entender las causales de hurtos o irregularidades, logrando identificar el porcentaje de IANC en cualquier zona de estudio.

Objetivos

Objetivo general

Identificar los métodos necesarios para la reducción del índice de agua no contabilizada (IANC) en las redes de distribución hídrica.

Objetivos específicos

Identificar en un contexto mundial las causales referentes a las pérdidas de agua en redes de distribución.

Reconocer los métodos e instrumentos más relevantes para su aplicabilidad en la reducción de pérdidas por agua no contabilizada.

Relacionar casos exitosos a nivel mundial y/o nacional que se han dado a través de la instalación de sistemas de control y seguimiento en redes.

Capítulo 1. Causales de pérdidas de agua en redes de distribución.

Normatividad internacional y problemáticas asociadas al abastecimiento y distribución de agua potable.

De acuerdo con las Naciones Unidas (2020), El 20% de la población mundial enfrenta escasez de agua, incrementándose un 50% en los próximos 50 años. 1/6 de personas en el mundo no tiene acceso diario a agua potable. 1.6 millones de muertes anualmente por beber agua contaminada.

Debido al aumento de la población mundial, el calentamiento global y la reducción en el suministro de agua, se estima que en los próximos quince años el mundo sufrirá una reducción del 35% en el abastecimiento de agua de consumo. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), el incrementar el acceso a fuentes de agua limpia es esencial para:

Reducción de enfermedades relacionadas con el agua.

Mejorar el bienestar de buena parte de la población mundial.

Sustentar el desarrollo económico en países desarrollados y en desarrollo.

Aliviar la pobreza.

Según CRA (2016) & Kavilando 2017), se establece por medio de la Resolución No. 750 de 2016, el uso racional del agua en el país, a través del “artículo 80 de la Constitución Política de 1991, en el que se señala que es deber del Estado planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución”

Existen tratados internacionales de derechos humanos que comparten obligaciones precisas en relación al acceso de agua potable y saneamiento para toda persona cómo:

La Convención sobre la eliminación de todas las formas de discriminación contra la mujer, aprobada en 1979 (art. 14 2)

El Convenio N° 161 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) sobre los servicios de salud en el trabajo, aprobado en 1985 (art. 5)

La Convención sobre los Derechos del Niño, aprobada en 1989 (arts. 24 y 27 3)

La Convención sobre los derechos de las personas con discapacidad, aprobada en 2006 (art. 28).

Según la (OMS/UNICEF, 2017) En 2015, tres de cada diez personas en todo el mundo no tenían acceso a servicios de suministro de agua gestionados de forma segura.

La CRA define en la Resolución 151 del 2001 que el consumo básico destinado a satisfacer las necesidades primarias de la sociedad, determinando un consumo base referente a 20 m³/suscriptor-mes.

Acorde a el análisis de estudios de consumo promedio realizados por la CRA, se debe definir el valor según el clima de cada región, cómo se indica en la siguiente tabla:

Tabla 1.

Rangos de consumo básico de acuerdo según el clima.

Tipo de clima	Altitud (msnm)	Rango de consumo básico (m³/suscriptor/mes)
Cálido	0 - 1000	19
Templado	1000 - 2000	18
Frío	>2000	17

Nota. Datos tomados de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2001.

En los datos Internacionales de abastecimiento y pérdidas hídricas del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Comisión, de acuerdo con un estudio de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), la BBC (2013) proyecta que la demanda mundial de agua aumentará en un 55% entre 2000 y 2050. Para entonces, calcula el Environmental Outlook 2050, más del 40% de la población mundial puede estar en condiciones de escasez.

Según la CRA (2008) Las pérdidas de agua internacionales se catalogan de la siguiente manera:

1. En base a una población total con acceso a agua potable de 1902,7 millones de habitantes, de la cual el 44% se abastece a través de conexiones domiciliarias individuales.
2. Al valor reflejado en una alta dispersión entre los países en vía de desarrollo, la cual va desde un valor de 100 L/hab/d para muchos sistemas dentro de los países más vulnerables o los que hasta ahora están presentando escasez de agua, para un valor de hasta 400 L/hab/d en ciudades reconocidas de América Latina y Asia Oriental. Por lo cual el valor final se estima a un promedio conservador.

Tabla 2.

Estimativos del Índice de Agua No Contabilizada.

	Población abastecida (millones, 2002)	Dotación (L/hab/d)	IANC (%)	Estimativos de IANC				IANC Total
				Desagregación (%)		Volumen (billones de m ³ /año)		
				Pérdidas Técnicas (%)	Pérdidas Comerciales (%)	Pérdidas Técnicas	Pérdidas Comerciales	
Países Desarrollados	744.8	300	15	80	20	9.8	2.4	12.2
Países en desarrollo	837.2 ^a	250 ^b	35	60	40	16.1	10.6	26.7

Nota. Tomado del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2019.

El IDEAM analizó la estimación del uso de agua para el año 2012, evaluando que los volúmenes de agua usados en Colombia suelen ser por sectores productivos.

Reflejando resultados de esta demanda por área hidrográfica junto con la representación espacial de las presiones por el uso hídrico en las subzonas hidrográficas que integran estas zonas de estudio.

Según el (ENA, 2018) el mecanismo de agua y saneamiento del Enesa (Entidad Estatal de Seguros Agrarios) presento 4 contextos ilustrativos sobre la desigualdad social en el abastecimiento hídrico, en un periodo de 3 años entre el 2010–12 y 2013–15, los cuales se dividen de la siguiente manera:

1. Desigualdad en mortandad por enfermedad diarreica aguda para niños menores a 5 años en el gradiente social interdepartamental definido por ingreso (producto interno bruto per cápita).

2. Desigualdad en morbilidad tratada por factores en el gradiente social interdepartamental del agua, establecido por la cobertura de accesibilidad al sistema de acueducto.

3. Desigualdad en morbilidad tratada por factores en el gradiente social interdepartamental del agua, establecido por la cobertura de accesibilidad al sistema de alcantarillado.

4. Desigualdad en morbilidad tratada por hepatitis viral A en el gradiente social interdepartamental determinado por la calidad del agua (índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA) en el área urbana.

Estos 4 factores demuestran la realidad de desigualdad en la salud respecto a este recurso hídrico. Según un estudio de (Enesa Colombia, 2019) del agua y saneamiento, se refleja la desigualdad en la distribución de oportunidad en el bienestar del acceso al servicio de agua y el saneamiento básico en esta disposición, determinando relevantes desigualdades en la salubridad del territorio nacional.

Según este análisis la desigualdad en temas de salud se relaciona al acceso del recurso hídrico para un modelo conceptual adoptado por la Comisión OMS sobre los Determinantes Sociales de la Salud (World Health Organization Commission on Social Determinants of Health, 2008), el cual especifica la disposición de acueducto y alcantarillado acorde al estrato social al que pertenezca la comunidad, factor determinante a niveles de salud.

Por ende, los determinantes ambientales establecidos en estos aspectos temáticos posibilitan un mayor análisis en la desigualdad de bienestar y salud de una población producto de su nivel jerárquico o gradiente social, demostrando los influyentes políticos y sociales en la obtención de los recursos naturales para todo un territorio nacional.

Según la (Superintendencia de Servicios públicos Domiciliarios, 2015) La regulación, control y vigilancia del estado en los servicios públicos se debe regir a través del Artículo 62. Organización. Artículo modificado por el artículo 10 de la Ley 689 de 2001, donde se cita explícitamente en desarrollo del artículo 369 de la Constitución Política de Colombia, en todos los municipios deberán existir “Comités de Desarrollo y Control Social de los Servicios Públicos Domiciliario” compuestos por usuarios, suscriptores o suscriptores potenciales de uno o más de los servicios públicos a los que se refiere esta ley, sin que por el ejercicio de sus funciones se causen honorarios.

Consiguiente al cumplimiento de estas leyes, se debe realizar la distribución hídrica a través de redes de distribución, las cuales se reconocen según Tipos de redes de abastecimiento (2013), como un "Conjunto de conducciones e instalaciones que conecta los puntos de entrega de la red de aducción (depósito o válvula de control) con las acometidas domiciliarias”.

Sistemas de abastecimiento y distribución.

La distribución de abastecimiento de agua se da por medio de un proceso el cual conduce el agua desde las áreas de almacenamiento hasta los predios de los usuarios del servicio.

Un sistema inicial de abastecimiento se compone por un conjunto de instalaciones que conectan a las fuentes de suministro con las acometidas domiciliarias.

Se divide en cuatro componentes de diferentes funciones específicas:

Captación.

Estación de tratamiento.

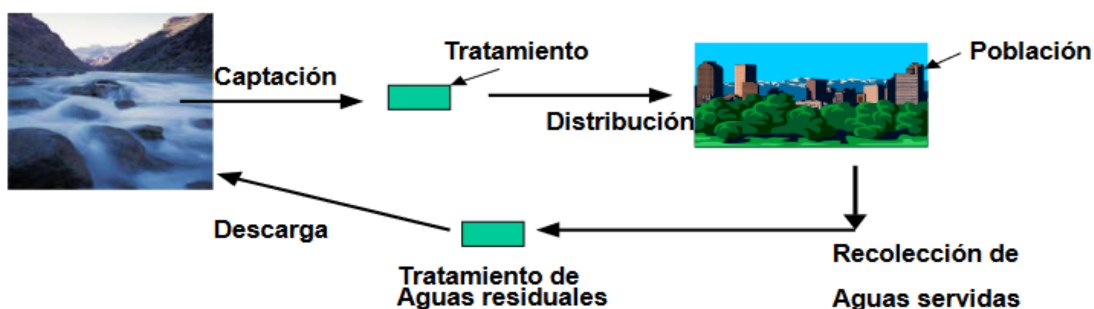
Red de aducción.

Red de distribución.

Cómo lo expresa el (Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2006) Los elementos principales de conducción son redes matrices, las cuales conducen grandes volúmenes de agua hacia toda la ciudad, y redes secundarias, que distribuyen el agua en cada calle y sobre las cuales están instaladas las acometidas.

Figura 1.

Interrelación de la ciudad con los servicios de acueducto y alcantarillado.



Nota. Tomado del documento Plan Maestro de Acueductos y Alcantarillado de Bogotá, 2006.

Las redes de distribución poseen un diseño mallado junto a un trazado fluido que va por suelo urbano o periurbano dentro de un mismo municipio.

Se conforma por cuatro elementos conectados por funciones específicas:

Captación: Hace referencia a instalaciones de regulación, derivación, alumbramiento y conducción de las aguas superficiales y subterráneas, iniciando por fuentes de suministro y disponiéndose en instalaciones de tratamiento. Alcanza presas, azudes, pozos, canales, estaciones de bombeo y conducciones de agua bruta.

Estación de tratamiento: Hace referencia a instalaciones de potabilización que permiten que el recurso hídrico se suministre alcanzando los valores paramétricos que se señalan en el Decreto 140/2003 del 7 de febrero, donde se definen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

Red de aducción: Hace referencia a las conexiones de las estaciones de tratamiento con las redes de distribución. Normalmente esta red se estructura en ramificación intercalando estaciones elevadoras, permitiendo a cada rama terminar en un depósito o válvula de control. Suele atravesar diversos municipios, manteniéndose exenta de acometidas e hidrantes a fin de no condicionar su régimen de explotación.

Red de distribución: Hace referencia conducciones e instalaciones que conectan el depósito o válvula de control con las acometidas domiciliarias.

Su estructura es mallada y de trazado por el suelo urbano o periurbano dentro de un mismo municipio.

Tipo de Pérdidas (IANC)

El índice de agua no contabilizada se puede describir como el agua potable común que no se halla en disposición de los usuarios en los servicios de acueducto, aun cuando está estipulado que esta cantidad debería estar en flujo las 24 horas del día, estas pérdidas se relacionan a causales como:

Recursos de agua insuficientes.

Infraestructura inadecuada.

Consumo desmesurado por parte de los usuarios.

Pérdidas excesivas en la red de distribución.

El incremento de urbanidad no planeado junto con el esparcimiento no sistemático en las redes de distribución de agua potable que lo siguen, suelen ser generales en las causales potentes del IANC o IWS (siglas en inglés).

Este suministro intermitente genera conflicto y puede resultar un costo adicional para los usuarios receptores del servicio de acueducto, ya que se ajusta el uso del servicio

a los horarios estipulados del servicio o en la inversión de los tanques de almacenamiento para evitar estos inconvenientes.

Por lo tanto, es de suma importancia reconocer los estudios aplicados a los índices de crecimiento y solución de esta problemática.

En un proyecto para la gestión Integral del Recurso Hídrico, el (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2019), implementaron diferentes incentivos hacia el uso racional del agua, como:

Establecimiento del rango de consumo básico. Consumo destinado a satisfacer las necesidades esenciales de consumo de las familias.

Reconocimiento de un nivel máximo de pérdidas de agua en el sistema, a través de las tarifas. En un total de pérdidas técnicas más comerciales.

Incentivos a la micro medición. Como derecho y deber de los usuarios y de los prestadores.

El IANC constituye todas las pérdidas de agua, reflejando la unión de las pérdidas técnicas y comerciales, las cuales se pueden estimar según la CRA (2004), por medio de la siguiente ecuación:

$$IANC (\%) = \frac{AP - AF}{AP}$$

Donde “AP” es referente al Volumen total (m³) de agua potable en la salida de las Plantas Productoras de Agua Potable y donde “AF” relaciona el volumen (m³) de facturación de la empresa prestadora del servicio.

El (Banco Interamericano de Desarrollo, 2017) estimó que el 45% del agua procedente de acueductos en Latinoamérica es agua no registrada, factor común con diferentes países europeos, quienes han enfrentado nuevos retos en materia de reducción de pérdidas, logrando alcanzar niveles superiores al promedio de Latinoamérica.

Por lo cual, bajo diferentes análisis presentados en este documento, se examina la metodología convencional y moderna de Europa y el mundo, para la estimación y remediación de pérdidas de agua potable en las redes de distribución hídrica.

El índice IANC mundial es excesivamente alto, constituyéndose en una problemática ambiental para la correcta operación de los sistemas de las empresas de acueductos, referenciando los aspectos técnicos y comerciales, para el suministro de mayor cantidad de los consumidores.

Esta problemática se produce por dos factores particulares, como lo son las pérdidas técnicas y pérdidas comerciales o físicas, las cuales se dan por escapes dentro de las tuberías y/o accesorios, en su estructura, al igual que la saturación dentro de los tanques de almacenamiento o la planta de tratamiento, conociéndose como pérdidas visibles y no visibles.

Visibles: Si el agua brota hacia la superficie del terreno o pavimento.

No visibles: Si el agua se infiltra hacia el subsuelo, o si llega a drenarse hacia la tubería del alcantarillado.

Pérdidas Comerciales

Estas pérdidas hacen referencia a aquellas provocadas por errores en los procesos de distribución por una mala gestión administrativa. Reflejando consumos no autorizados y autorizados que a su

vez no están facturados, evidenciando un mal proceso en la micro medición del agua o consumos externos por conexiones clandestinas.

Cómo volúmenes consumidos no facturados, volúmenes no contabilizados por defectos en los micromedidores, consumos a través de conexiones clandestinas, etc.

Si el recaudo de una empresa de acueducto es superior a un 90% es admisible, si por el contrario es inferior al 90% es inadmisibles por incurrir en pérdidas financieras, ya que las máximas pérdidas admisibles deben ser de un 10% para el correcto sostenimiento económico que debe tener la empresa de abastecimiento.

La clasificación de causales en pérdidas comerciales es:

Gestión imprecisa para la macro medición y micro medición, por incorrecta lectura de los medidores instalados en cada hogar.

Conexiones externas o irregulares.

En el caso de los países en desarrollo, la IWA recomienda usar un 5% del consumo medido facturado como una estimación inicial hasta que se disponga de una evaluación más detallada. De acuerdo con Lambert (2010), las pérdidas aparentes excederán usualmente 5% en sistemas con tanques de almacenamiento de los suscriptores. Al respecto, se recomienda que cada persona prestadora realice una evaluación y cuantificación de los componentes de pérdidas aparentes dentro de su propio sistema en vez de utilizar un porcentaje del volumen de ingreso al sistema.

Pérdidas Técnicas

Estas pérdidas se reconocen inicialmente por la presencia de fugas en los componentes de conducción y distribución de agua, por medio de una filtración en los tanques de almacenamiento o por escapes en las conexiones domiciliarias.

La clasificación de causales de una fuga es por:

Desgaste de material de tuberías por el tipo de suelo a su alrededor.

Fragmentación de tuberías por el permanente paso de vehículos.

Corrosión por electrólisis en los materiales de contacto producto de la fusión de metales.

Incorrecta mano de obra para transporte e instalación de tuberías.

Materiales deficientes para implementados en las redes.

Sobrepresiones o subpresiones en rangos superiores o inferiores al diseño, por un mal manejo del sistema.

Limpieza de las redes y tanques de almacenamiento.

Desbordamientos de los tanques de almacenamiento en su operación manual o por ineficiente estado del sistema.

Consumo operacional en el lavado de tuberías y tanques de almacenamiento.

Para poder detectar correctamente la localización de fugas dentro de una red de agua, es prioritario dividir con anterioridad la red de agua en el área de estudio, la cual no debe ser muy amplia, de manera que sea fácil ubicar la causal de pérdidas junto con la localización de la fuga.

Identificando cartográficamente aspectos como:

1. Edificación que necesite suministro hídrico a una presión elevada a la presión planificada para el área.
2. Usuarios en relación al consumo.
3. Niveles del suelo.

En las pérdidas técnicas podemos encontrar las siguientes pérdidas:

Pérdidas de Fondo: Hacen referencia a la unión de todas las fugas pequeñas que haya en la red, las cuales no han sido detectadas visual o auditivamente. Un buen manejo en el flujo de la

presión del agua determina una mejora significativa en la prevención de estas pérdidas.

Pérdidas por fugas: Esta pérdida se da por la aparición de alguna tubería rota. En el caso de una pérdida por fuga se da la siguiente clasificación:

Fugas notificadas: Se refiere a fugas de fácil visibilidad, suelen ser detectadas por la falta de suministro a los usuarios.

Fugas no notificadas: Se refiere a fugas por tuberías rotas las cuales no han sido descubiertas en el proceso de detección de fugas, Influyendo en un incremento anual en la pérdida de agua.

Los tiempos de fugas también tienen una división para su clasificación:

Tiempo de Detección: Es el tiempo transcurrido desde el inicio de la fuga hasta su detección en el área.

Tiempo de Localización: Es el tiempo exacto en el que se ubica la detección de la fuga.

Tiempo de Reparación: Es el tiempo en el que se planifica la reparación de la fuga hasta que quede subsanada la fuga en la tubería.

Posteriormente las pérdidas técnicas de agua se pueden calcular substrayendo las pérdidas aparentes de las pérdidas totales, este cálculo se obtiene a partir de la diferencia del volumen de entrada con el sistema y consumo autorizado. El volumen de entrada se adquiere en base de las mediciones anuales desde los macro medidores consiguientes a la planta de tratamiento.

Entre menos haya macro medidores y micromedidores instalados en el sistema, más leve será el nivel de precisión en el Balance Hídrico. Por estos aspectos es vital revisar el Balance Hídrico y gestionar su actualización cada año, bajo los protocolos descritos.

Generalmente el volumen del agua se pierde debido al resultado de diferentes fallas en la

infraestructura del acueducto, como las grietas, fracturas y filtraciones que se puedan presentar.

Las causales de estas fallas se pueden presentar por factores que ejerzan acciones de control, como alta presión, aptitud de material, flujo de procesos productivos y conservación del material y herramientas estructurales, elementos externos no controlables, referentes a las características hídricas y del suelo, o siniestros desarrollados por externos.

Algunas causales de pérdidas de agua son producto de la evaporación directa en el suelo, una vez que el agua ha llegado al suelo sólo puede salir por transpiración a través de las hojas de la planta, evaporación directa del suelo a la atmósfera o percolación profunda.

1. Las pérdidas por transpiración a través de las hojas de plantas, se da por fotosíntesis y sus procesos de turgencia producto del crecimiento, ya que su organización se da como una red de tuberías.
2. Las pérdidas de agua que se dan desde el suelo a la atmósfera son consecuencia de los suelos están desprotegidos, ya que no poseen cobertura, lo cuales se caracterizan como “suelos desnudos”.
3. Las pérdidas de agua que se dan por percolación profunda, se da producto del agua que no se infiltra en el suelo, provocando una escorrentía.

Es de importancia recalcar que, en el contexto actual de la situación ecológica y ambiental del mundo, una de las problemáticas más relevantes en las pérdidas de agua, son causadas por la desigualdad que representa su distribución geográfica, ya que influyen directamente en las medidas económicas y políticas de los diferentes países, determinado asó una relación social en este recurso hídrico. La disponibilidad y distribución para el consumo humano se relaciona directamente por los aspectos económicos y políticos no por su volumen.

Pérdidas por consumo fraudulento

Se refieren al consumo de agua adquirido por conexiones ilegales, las cuales no están medidas o estimadas por la empresa prestadora del servicio. Estas pérdidas se pueden dar por medio de las tuberías y de piezas especiales como, válvulas, ventosas o grifos de las etapas de producción y distribución. Ya que gente clandestina invierte los medidores, Este uno de los mayores exponentes en la poca disponibilidad del agua, exponiendo los esquemas y estándares en un precario valor económico, junto con su comercialización instancia y privatización.

Por estos motivos en la actualidad hay tanta poca disponibilidad del recurso hídrico, reflejando los esquemas y estándares en su valor económico, comercialización instancia y privatización. Estos aspectos impactan mundialmente a los diversos cambios organizacionales en el manejo y propiedad de este recurso, disponiendo este recurso como un referente comercial y no como un bien común, impidiendo a la comunidad el derecho de acceso al agua para convertirse en clientes que podrán los recursos naturales, brindando esta provisión solo por medio de un contrato de compraventa a través un servicio público, incrementando mundialmente la eficiencia económica del negocio.

Capítulo 2. Métodos e Instrumentos para Reducir Pérdidas de Agua en Redes de Distribución

Esta metodología permite realizar las estimaciones relativas del progreso e incremento de las poblaciones objeto de estudio, al igual que sus consumos de agua y “caudales de aguas residuales generados para los horizontes temporales considerados en los planes directores de abastecimiento y saneamiento hídrico” (EADIC, 2018).

Balance Hídrico en Redes de Distribución

El balance hídrico es un proceso vital en la gestión de distribución de los recursos hidráulicos, ya que a través de este proceso se desarrolla la planificación requerida para establecer el tipo de demanda hídrica en las redes de distribución. Este proceso inicia con la investigación de la disponibilidad hidráulica en la zona de estudio donde se instale la red de distribución, junto con la calidad y patrón de variabilidad del agua. Permitiendo obtener la estimación de la demanda hídrica actual y futura, asignando su disponibilidad geográficamente para su abastecimiento.

Los parámetros base a tener en cuenta para la obtención de datos en la realización de balances hídricos deben ser:

Características físicas de las zonas de desarrollo.

Población y área.

Vialidad (densidad de la red por zonas de desarrollo).

Precipitaciones y temperatura.

Escurrecimientos superficiales medio multianual y seguro.

Agua subterránea.

Recurso hídrico.

Situación actual de los sistemas usuarios del recurso agua e infraestructura hidráulica.

Abastecimiento de agua potable.

Patrón actual de cultivos y pastos por zonas de desarrollo.

Situación sanitaria.

Sistema tarifario - Agua potable y alcantarillado.

Sistemas de riego.

Infraestructura hidráulica.

Por medio del balance hídrico se puede obtener un análisis detallado acorde a la situación de pérdidas de agua en la gestión operacional y comercial en la prestación del servicio de la red de distribución. La Asociación Internacional del Agua (IWA – siglas en inglés), presenta a través la variedad hídrica, diferentes alternativas para la obtención de datos referentes a las pérdidas de agua en las redes de distribución, Categorizándose acorde a la tabla 3 presentada a continuación.

Tabla 3.*Balance de Agua propuesto por la IWA.*

	Consumos autorizados	Consumos autorizados facturados	Consumos facturados medidos
			Consumos facturados no medidos.
		Consumos autorizados no facturados	Consumos no facturados medidos.
			Consumos no facturados no medidos.
Volumen Distribuido al Sistema	Pérdidas de agua	Pérdidas aparentes	Consumos no autorizados.
			Errores de medición en micromedidores.
		Pérdidas reales	Fugas en líneas de transmisión o líneas principales.
			Fugas y desborde en tanques de almacenamiento.
			Pérdidas en conexiones antes del micromedidor.

Nota. Tomado de Control y Reducción del Agua No Contabilizada, Manosalvas, 2011.

Funcionalidad del medio hídrico en fuentes de distribución

El medio hídrico se referencia en su funcionalidad como dos aspectos fundamentales de diferentes elementos en perfecta coalición.

El primero se refiere al suministro hídrico, el cual corresponde al volumen de agua que se extrae sosteniblemente de fuentes superficiales y subterráneas, o de fuentes no convencionales.

Como los insumos obtenidos por desalinización del mar, reutilización y reciclaje hídrico en la recolección de lluvia y/o niebla. Incrementando la efectividad para reutilización de éste agua en sectores de principal uso (agricultura, energía, industria y municipal/doméstico), de igual forma este proceso contribuye en la disminución de la demanda general de este recurso, permitiendo expandir el suministro hídrico a más usuarios, incluyendo la fauna y flora quienes también se benefician de este flujo.

El segundo hace referencia al acceso del recurso hídrico, iniciando por su transporte desde la fuente de origen hasta el punto de acceso y disposición final, teniendo en cuenta la cantidad requerida y tratamiento realizado para la distribución a cada usuario. (Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos, 2019).

Identificación del suministro Intermitente en Redes de Distribución de Agua

Según el (Banco Interamericano de Desarrollo, 2017) en Arraiján ubicado en el país de Panamá y Hubli-Dharwad ciudad del estado de Karnataka en India. La identificación de inconvenientes por extracción de agua en redes de distribución ha generado la afectación en el suministro general del recurso hídrico que reciben diferentes hogares en las zonas de estudio mencionadas, ya que la distribución de agua se ha reducido en diferentes hogares por la aparición de indicios de agua no contabilizada. En la ciudad de Hubli-Dharwad y ciudades cercanas dentro de India, muchos usuarios por efectos del suministro intermitente deben gastar de su propio capital para la implementación de tanques y/o contenedores de almacenamiento, al igual que bombas de extracción de agua dentro de las redes de distribución para lograr la obtención del recurso.

Por lo tanto, es importante tener en cuenta que el uso inadecuado en el mantenimiento y manipulación de las bombas de extracción, tanques y/o contenedores de almacenamiento del agua que se infiltran en las redes de abastecimiento, puede generar diferentes enfermedades en la

comunidad e intermitencia constante en el flujo de distribución hídrica por las roturas provocadas en estos procesos, el (Banco Interamericano de Desarrollo, 2017) seleccionó zonas con diferentes condiciones de suministro hídrico, donde se llevó a cabo un estudio del IANC de un acueducto, por medio del análisis de la presión, caudal, turbiedad y cloro que fueron monitoreados en cuatro puntos dentro de estas zonas, evaluando sus diferentes características y condiciones de suministro. Adquiriendo muestras de calidad del agua de grifos domésticos, estudiando su turbiedad, cloro e indicadores bacterianos durante 3 años, junto con los registros de reparaciones de las tuberías, estableciendo así las tasas de rotura en las diversas áreas de los sistemas de distribución. Con los monitoreos de presión se reflejaron los horarios de intermitencia en los suministros de agua, detectando a su vez presiones negativas que representaron riesgos en la calidad del agua. En condiciones regulares e irregulares del suministro. En términos de generalidad, la calidad del agua resultó de mayor incremento en las zonas de Arraiján en comparación con los resultados de monitoreo de calidad del agua de áreas Hubli-Dharwad, India. El caudal per cápita de ingreso a las zonas de estudio fue avanzado y constante durante la noche, revelando significativas pérdidas. Los índices de rotura en las tuberías fueron de gran variedad dentro de estas zonas. Aunque no se estableció una relación característica dentro del suministro intermitente del agua. Con los índices de rotura de incremento, se logró demostrar que el bombeo intermitente se produjo por los altos índices de rotura. Los resultados del análisis de estudio de Arraiján, en comparación con los que se conocieron en el estudio en Hubli-Dharwad (India), donde se usaron métodos similares, demostraron el origen y gravedad del IANC y sus efectos de variación dentro de los sistemas de distribución. Demostrando que las técnicas avanzadas en los monitoreos de estas redes de suministro de agua ofrecen oportunidades de identificación de los problemas en los sistemas con

pérdidas de agua. Cómo el análisis de índice de rotura de tuberías, presiones bajas, negativas y altas y los resultados de suministro intermitente.

La presencia de fuentes de contaminación fecal, aumento en la capa freática, pérdidas constantes, concentración de desinfectantes residuales, inadecuados o inconsistentes, prácticas de almacenamiento doméstico de mala salubridad, pueden agravar significativamente los efectos negativos del IANC.

A partir de los análisis de Arraján y los demás resultados mencionados, se describen metodologías y herramientas para la solución del control de IANC en el servicio de agua potable en ALC. La metodología del monitoreo hidráulico junto con el estudio en la calidad de agua permite diagnosticar los servicios intermitentes para las mejores prácticas dentro de los sistemas de distribución continua, cómo:

Mantener la presión constante junto con el cloro residual durante períodos de suministro.

Coordinar el manejo de tiempos de suministro, regímenes de presiones y agua de primera descarga, logrando mejorar el potencial de la calidad del servicio en sistemas con intermitencia.

Esta correspondiente gestión permite evitar las inversiones en infraestructura costosa para el aumento de la capacidad del sistema de distribución, así mismo genera un incremento en la producción de agua.

Figura 2.

Estaciones para monitoreo de consumos de agua.



Nota. Suministro intermitente en el contexto de esfuerzos por mejorar el abastecimiento de agua potable en América Latina y el Caribe, Banco Interamericano de Desarrollo, 2017.

Tabla 4.

Comparación de la calidad de agua entre zonas IWS en Arraiján y las zonas IWS y CWS de Hubli-Dharwad.

Ubicación	% de muestras de rutina con problemas de calidad indicados (# total de muestras analizadas)				Eventos de primera descarga que presentan al menos con E.Coli ≥ 1 MPN/100ml	% de muestras almacenadas con E.Coli ≥ 1 MPN/100ml (n)
	E.Coli ≥ 1 MPN/100ml	Coliformes totales ≥ 1 MPN/100ml	Turbiedad ≥ 5 NTU	Cloro libre residual ≤ 0.2 mg/L		
IWS de Arraiján*	0,5% (182)	1,6% (182)	1,8% (182)	0% (226)	4 de 33	11% (71)
IWS de HubII-Dharwad	31,7% (589)	64,9% (589)	55,6% (586)	61,1% (557)	12 de 15	34% (266)
CWS de HubII-Dharwad	0,7% (587)	17,7% (586)	55,5% (618)	31,7% (575)	ND	12% (332)

Nota. Suministro intermitente en el contexto de esfuerzos por mejorar el abastecimiento de agua potable en América Latina y el Caribe, Banco Interamericano de Desarrollo, 2017.

Las estadísticas de “IWS de Arraiján” incluyen muestras de rutina y aguas almacenadas de 7S, AL y VB y muestras de primera descarga de estas tres zonas y Las Nubes. Las muestras

de rutina de Arraiján solamente incluyen a aquellas obtenidas en estaciones de monitoreo aguas abajo y grifos domésticos. Entre paréntesis se exhibe el número total de muestras de cada categoría.

Herramientas para el Control de Agua no Contabilizada

Para el control de las pérdidas de agua no contabilizada, pueden construirse estaciones de Control hidráulico otras herramientas precisas para lograr corregir estos índices de pérdidas de agua en los acueductos.

Una estación de control hidráulico debe soportar los fenómenos físicos que se presentan a consecuencia de tener un líquido (agua) en permanente movimiento a través de ella, tales como acumulación de aire, transporte de sedimentos y materiales pétreos y de cualquiera otra índole que se introduzca en la tubería, principalmente cuando se presentan daños como red estallada; cavitación (Efecto hidrodinámico que se genera en la creación de roturas de vapor dentro del agua, donde hay fuerzas que responden a diferencias de presión) . O daños de ariete (bomba hidráulica), por lo cual es vital realizar un buen mantenimiento preventivo o correctivo que prevengan estos daños, sin que ello signifique dejar a la comunidad usuaria sin servicio.

(EMCALI, 2011)

La estación de control hidráulico se debe construir acorde a un fácil acceso, asegurando una tapa de resistencia, como mecanismo de impedimento al acceso de personas ajenas al personal encargado de la estación, el acondicionamiento debe ser óptimo para las labores de mantenimiento, desagüe y limpieza, las tapas deben permitir la operación desde el exterior a las válvulas de guarda. (EMCALI, 2011).

Medir y reducir pérdidas de agua

Mantener una comunicación efectiva con los clientes.

Evitar potencial contaminación del agua por reflujo y conexiones cruzadas, manteniendo cloro residual y presión suficiente cuando el agua está corriendo.

Recoger y administrar datos operativos por medio de sistemas contabilizadores.

Administrar los sistemas de distribución utilizando una base de datos GIS.

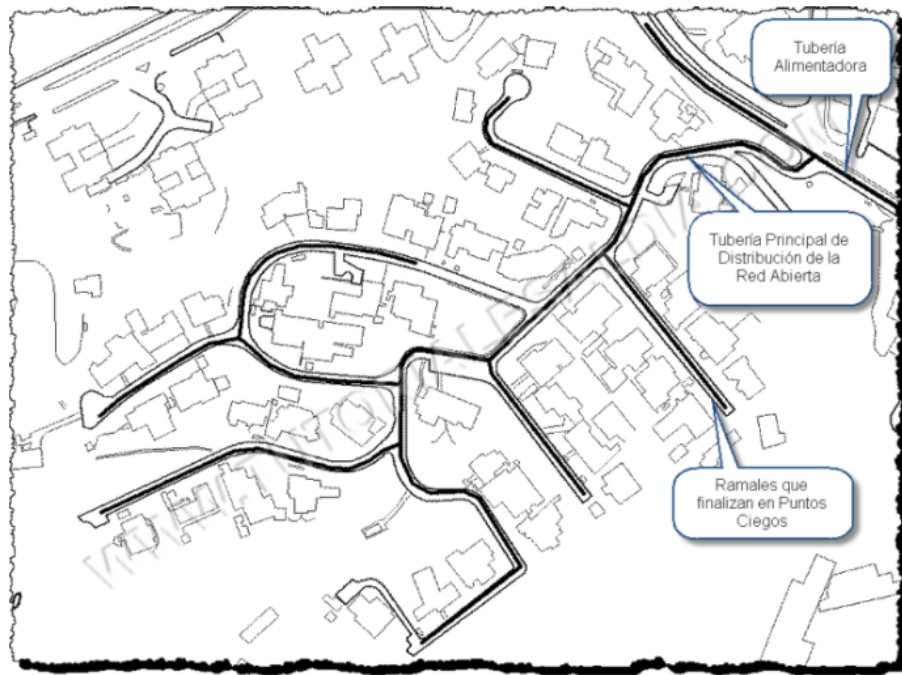
Permite alcanzar eficientemente los procedimientos realizados por las empresas prestadoras del servicio, alcanzando y sosteniendo en los niveles más bajos las pérdidas de agua dentro del sistema que puedan generarse.

Realizando un minucioso análisis de los resultados de diversas entidades de servicio de agua dentro del país, el índice de agua no contabilizada, suele ser un factor intermitente, el cual genera cifras hipotéticas poco confiables, ya que los medidores actuales no permiten tener estadísticas exactas sobre estas pérdidas.

Otra herramienta fundamental para el control de agua no contabilizada, puede ser la instalación de una red de distribución de agua potable abierta o ramificada, la cual se caracteriza por contar con una tubería principal de distribución (la de mayor diámetro) desde la cual parten ramales que terminarán en puntos ciegos, es decir sin interconexiones con otras tuberías en la misma Red de Distribución de Agua Potable. (Tutoriales Ingeniería Civil, 2013)

Figura 3.

Red de distribución de agua abierta y ramificada.



Nota. Tomado de Abastecimiento de agua en red de distribución de agua potable: ¿Abierta o Cerrada?, Tutoriales Ingeniería Civil, 2013.

Es conveniente si el terreno lo permite, regular la implementación de tuberías que no generen agua de manera directa en la red de tuberías. Influidando en se establezcan alternativas para un mejor flujo en la disposición del agua, en los casos que se genere alguna falla en los ramales de la red (conformación de mallas).

Por este motivo, en general en los desarrollos urbanos, se opta por la implementación de una conformación de redes de distribución cerradas de agua potable, Así represente un incremento del presupuesto para su instalación. Ya que para estos trabajos debe predominar siempre el criterio operativo o de confiabilidad sobre el económico.

Métodos para el Cálculo de Costos en el Servicio Hídrico de Colombia.

En Colombia, el cálculo de la tarifa de servicios público está amarrada al IANC, generando derroches y tarifas que no se ajustan completamente a la actualidad, lo cual puede ser muy peligroso ya que podrían estarse omitiendo datos de mayores pérdidas.

En la siguiente tabla se muestra cómo se estima un cálculo de costos en el servicio de agua en el país de Colombia:

Tabla 5.

Costos asociados al cobro en el servicio de agua.

Costo de Administración (CMA)	Costo medio de largo plazo (CMLP)
Costo de Referencia = CMA (Cargo Fijo) + CMLP (Cargo por Consumo)	
Costo Medio de Operación (CMO)	Costo Medio de Inversión (CMI)
CMO + CMI	
Valor de Reposición de Activos (VRA)	Valor Presente de las Inversiones (VPI)
VRA + VPI	

Nota. Tomado del Documento Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado, Empresa de Acueducto y Alcantarillado Bogotá, 2006.

Donde en el Costo Medio Operacional, que se define como precio por metro cúbico (\$/m³) comprendido a partir de costos de operación dentro de un año base, los cuales se asocian a un volumen de demanda del año. Para los gastos de operación deben excluirse aquellos gastos que se recuperen directamente del usuario o se cobren de una forma distinta a la tarifa fija,

igualmente los activos incluidos en los componentes de inversión, calculándose con la siguiente fórmula:

$$CMO = \frac{\sum \text{De gastos de inversión}}{m^3 \text{ producidos } (1 - P)}$$

Para esta fórmula se debe tener en cuenta que P es el IANC. Concluyendo que entre más elevado sea el IANC, motivando estratégicamente a la empresa para que sostenga exacto este factor, ya que cualquier ingreso que reciba la entidad prestadora del servicio público será superior, en vista que el sobre costo dentro de las tarifas no es inconveniente por lo que el usuario termina cancelándolo de sus propios ingresos.

Propuestas para la Reducción de Pérdidas de Agua en el Sistema de Acueducto y Alcantarillado.

Reducción de la su medición mediante la optimización de la micro medición.

Para esta propuesta es vital entender en mantenimiento correctivo, el cual funciona como un reemplazo de los medidores, una vez se identifica que estos no están cumpliendo su función para la que fueron diseñados.

Según un estudio de (Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P., 2017) Dando una extensa revisión a la base de datos comercial, de los usuarios que estén reportados como:

Invertidos: Por medio de este formato se puede realizar un cronograma e iniciar visitas a los predios requeridos para la instalación correcta del micromedidor con sus sellos de seguridad. Soportando así bien a la humedad y futuras pérdidas por evaporación, para su posterior ajuste en la base de datos.

Construcción: Por medio de este formato se puede realizar un cronograma e iniciar visitas a los predios requeridos semestralmente, identificando que se hayan culminado las obras que estén desarrollando, para su posterior ajuste en la base de datos.

Desocupados: Por medio de este formato se puede realizar un cronograma e iniciar visita de verificación de ocupación o no del predio, para su posterior ajuste en la base de datos.

Vidrio Ilegible: Por medio de este formato se puede realizar un cronograma e iniciar visitas a los predios, donde se le debe exigir a los usuarios la instalación de un medidor. Formulando así un proyecto de micro medición para los barrios correspondientes a los estratos 1, 2 y 3, logrando gestionar sus recursos presentándolo a instancias cofinanciadoras.

Enterrados: Formulación de un proyecto de micro medición para los barrios correspondientes a los estratos 1, 2 y 3 incluyendo las acometidas enterradas y cajas logrando gestionar sus recursos presentándolo a instancias cofinanciadoras.

Bloqueados: Realizar visita a los predios y determinar si existe algún predio construido, si hay acometida y micro medición o si está en uso actualmente para su posterior inclusión en la base de datos.

Directos: Formulación de un proyecto de micro medición para los estratos 1, 2 y 3. Aquellos que pertenezcan a los estratos 4 y 5 se les deben remitir oficios para que adquieran e instalen su equipo de medida en un periodo de 30 días no se realiza la empresa prestadora del servicio deberá hacerlo después de este tiempo.

Reducción de la submedición mediante la optimización de la facturación

Para lograr reducir estas pérdidas provocadas por inconsistencias de facturación, (Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P., 2017) propone:

Brindar estandarización en los procesos de solicitud de bloqueos para los usuarios receptores del servicio de acueducto, por el tiempo que se pacte entre usuario y la empresa prestadora del servicio.

Implementación por parte de la empresa prestadora de servicios, un programa de vigilancia en instalación de micro medición.

Mejoramiento de la información entregada por la lectura de los micromedidores. Ajustándose al mínimo % del margen de error.

Generar estadísticas de las denuncias y de reclamos de los usuarios. Para realizar un correcto seguimiento.

Programar la instalación de micromedidores nuevos hasta tener una cobertura del 100% del servicio de acueducto.

Reducción de fugas fraudulentas

Para lograr reducir estas pérdidas provocadas por fuentes clandestinas (Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P., 2017) propone:

Verificación periódica de captación.

Verificación periódica de uniones en mal estado que ocasionen fugas.

Verificación periódica de perforaciones en las conducciones.

Reducción de errores en la macro medición a la entrada y salida de las plantas.

Para lograr reducir estas pérdidas provocadas por inconsistencias de la macro medición a la entrada y salida de las plantas (Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P., 2017) propone:

Instalación de macro medidores en zonas rurales y demás zonas donde carezcan de alguna clase de medición.

Instalación de macro medidores sectores masivos clandestinos.

Gestionar recursos especializados como geófonos, correladores y prelocalizadores, para la realización de las actividades propuestas.

Para el mantenimiento en las plantas de tratamiento:

Mantenimiento de espesores en los filtros y reposición de lecho filtrante en la planta de tratamiento.

Mantenimiento de espesores en el canal de unificación de caudal.

Mantenimiento de compuerta de los sedimentadores y de los filtros.

Mantenimiento de tanque para lavado de filtros.

Mantenimiento de válvulas de Fondo de los sedimentadores.

Seguimiento reparación de daños.

Control de presiones.

Sectorización y actualización de sectores hidráulicos.

Capítulo 3. Sistemas de Control y Seguimiento en Redes de Distribución Hídrica

Cadena de valor de la industria de Smart Water

Las fugas y rupturas son un aspecto inevitable de la gestión de los sistemas de distribución de agua, proporcionando considerables pérdidas de agua en la red de distribución ya que no se detectan durante mucho tiempo. Por ejemplo, en los Estados Unidos, se calcula que cada año hay que sustituir 7.000 km de tuberías con un coste de unos 2.700 millones de dólares, proporcionando un 10% en las pérdidas estimadas de agua, las cuales se reflejan en unos 4.300 millones de dólares al año (EPA, 2007); países como Inglaterra, Francia e Italia informan pérdidas de agua del 20 al 30% (Asociación Internacional del Agua, 2006). Solo en Estados Unidos, se calcula que se producen 237.600 roturas de tuberías al año (EPA, 2007). Las fugas suelen producirse por la acumulación de corrosión que provoca fallos estructurales en las tuberías envejecidas, sobre todo en el caso de las que están en desuso. Para los operadores de servicios de agua, la capacidad de detectar y localizar rápidamente las roturas de tuberías y fugas, suelen ser muy costosas en términos de reparación y daños a las propiedades e instalaciones circundantes.

Investigadores de la Unión Europea (UE) y China lograron desarrollar en 2015, redes de sensores inteligentes capaces de captar energía electrónica para el sector hídrico en el marco de una iniciativa financiada por la UE. La tecnología de captación de energía se utilizó para proporcionar un suministro de energía sostenible a redes de sensores inalámbricos inaccesibles en sistemas de distribución de agua. (Staffordshire University, 2015).

El proyecto SmartWater (Smart sensor networks with energy harvesting for real time monitoring in urban water infrastructure), tuvo como base el mejoramiento en la vigilancia

independiente dentro de la infraestructura hídrica. Para ello, se investigaron redes de sensores inteligentes con captación de energía para la monitorización en tiempo real.

Este proyecto se conformó por seis institutos de investigación de China, los Países Bajos y el Reino Unido con experiencia en redes de sensores inteligentes y comunicación. Las seis organizaciones eran también líderes en tecnología de recolección de energía, monitorización inteligente, modelización en tiempo real y control en el sistema de distribución de agua.

Los investigadores abordaron el reto de los recursos energéticos limitados para la monitorización del sistema de distribución de agua examinando la red de sensores e identificando sistemas de gestión inteligente de la energía para mejorar el consumo energético.

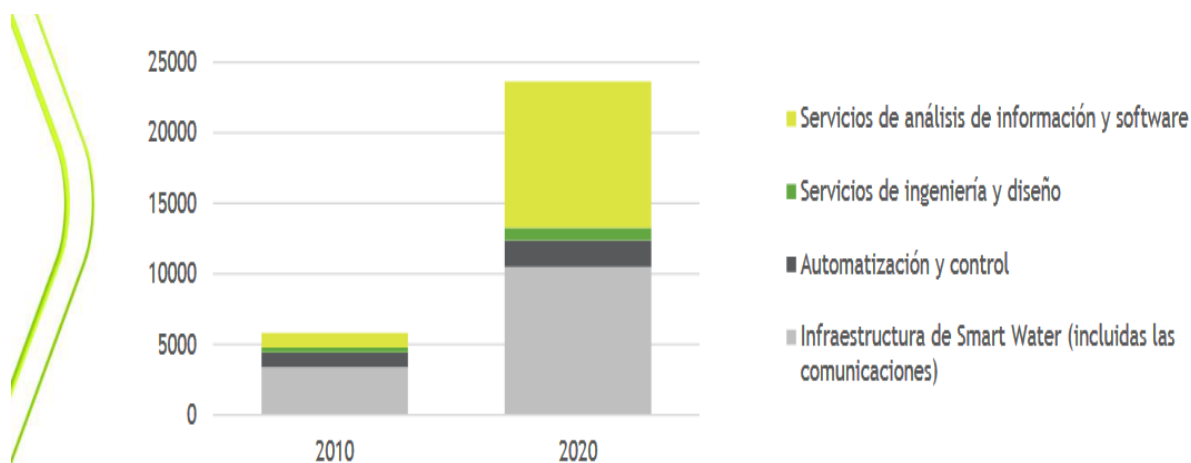
Los resultados se aplicaron comercialmente para construir un registrador de datos autoalimentado para la utilización de las empresas de suministro de agua. También hubo un beneficio significativo en los resultados para los usuarios receptores de estos servicios, incluyendo la reducción de la dependencia en la energía de las baterías, la reducción de los costos de instalación y supervisión. Así mismo obtuvieron un menor consumo de agua, gracias a la detección de anomalías en el sistema de suministro de agua y el ahorro de energía.

Esta alianza formó a investigadores en el ámbito de la captación de energía electrónica, para la gestión de redes de sensores inteligentes e inalámbricos, modelización y optimización del sistema de distribución hídrico, logrando que el personal pueda desempeñarse en funciones destacadas a nivel internacional en este ámbito de investigación, y permitiendo contribuir de forma significativa a la futura investigación e innovación en Europa y mundialmente.

Smart Water Networks ha logrado ofrecer uno de los mercados de mayor crecimiento para la tecnología del agua en todo el mundo, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 13,9% entre 2013 y 2018 (Networking tips for a smarter future, 2014).

Tabla 6.

Estimaciones y previsiones del mercado de Smart Water en el mundo (millones de dólares).

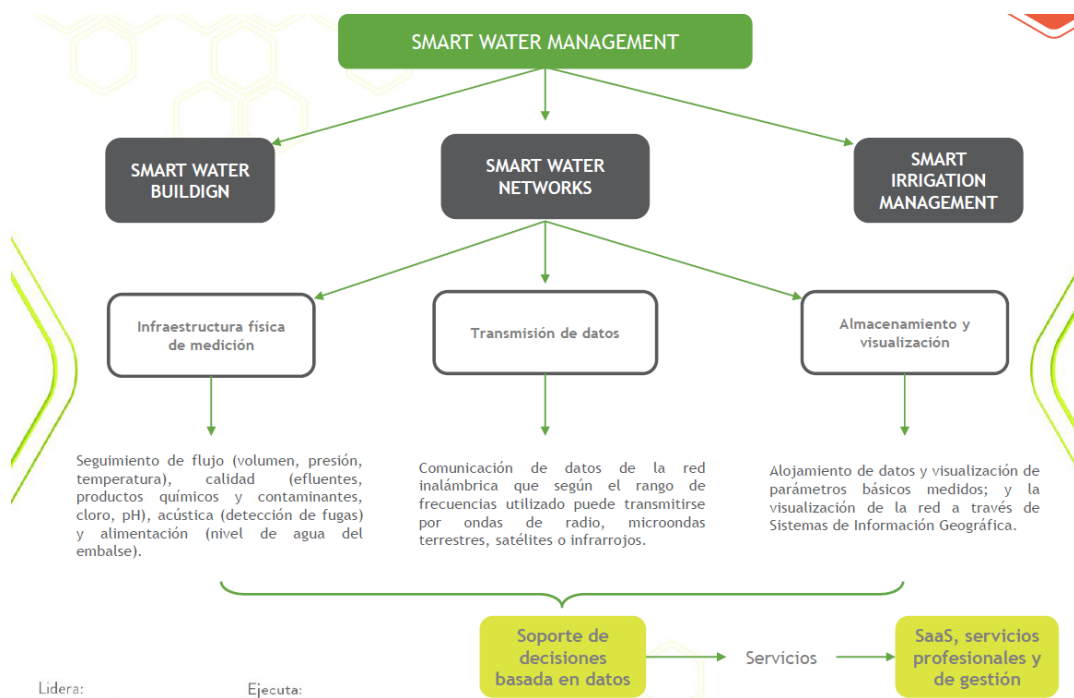


Nota. Tomado del informe No. 1 Área de oportunidad en Smart Water Management, Corporación Ruta N, 2014.

Frost y Sullivan lograron definir en términos geográficos el mercado que se dio en el año 2020, desglosándose de la siguiente manera: Norteamérica 34%, Europa 24%, Asia Pacífico 21%, Medio Oriente y África 12%, Centroamérica y América Latina el 9% (UK Water Research and Innovation Framework, 2014).

Figura 4.

Estimaciones y previsiones del mercado de Smart Water en el mundo.



Nota. Tomado del informe No. 1 Área de oportunidad en Smart Water Management, Corporación Ruta N, 2014.

Softwares creados de la industria de Smart Water

WaterWiSe

Los sistemas de distribución de agua llegan a abarcar una red compleja de tuberías enterradas que son prácticamente inaccesibles. Para lograr dar mantenimiento a estas redes es necesario controlar in situ o en línea los sistemas de distribución, facilitando una función eficaz en su mantenimiento. Permitiendo conocer los puntos averiados dentro de las tuberías al poco tiempo de presentarse, identificando las zonas más susceptibles en la red de distribución, por medio de la implementación de una red inalámbrica de sensores de reducido costo.

Por este motivo en el país de Singapur se creó la plataforma WaterWiSe en el año 2013, donde se gestionan y analizan datos de una red de nodos, por medio de sensores inalámbricos inteligentes, se instalaron nodos acústicos y de presión en la parte de la tubería, junto con nodos de caudal y calidad en el interior de la tubería. Durante este proyecto se analizaron 2 tipos de sensores.

El primer sensor era la composición de un transductor de presión, un hidrófono y un caudalímetro. Los primeros dos componentes permitían recolectar hasta 2,000 datos por segundo, el caudalímetro solo lograba recolectar un dato por segundo.

El segundo sensor utilizado consistía en los mismos componentes unido con un sensor de calidad de agua, con una frecuencia de 0.033 datos por segundos. Adicionándole una micro SD de 2 Gb permitiendo resguardar datos por varios días, anticipándose a un evento donde hubiese una interrupción en la comunicación inalámbrica. Cualquier dato obtenido por los sensores, es procesado por unidades de resistencia al agua.

A los 2 sensores, se les adicionó 1 modem de tecnología 3G, el cual permite la transmisión por internet y de forma continua de los datos obtenidos, al igual que un GPS para la coordinación del reloj interno del sensor con el horario universal, permitiendo equilibrio y uniformidad de los datos obtenidos.

La plataforma WaterWiSe consta de tres capas: una red de sensores inalámbricos en línea, el sistema integrado de datos y alertas electrónicas (IDEAS), y un módulo de herramientas de apoyo a las decisiones (DSTM).

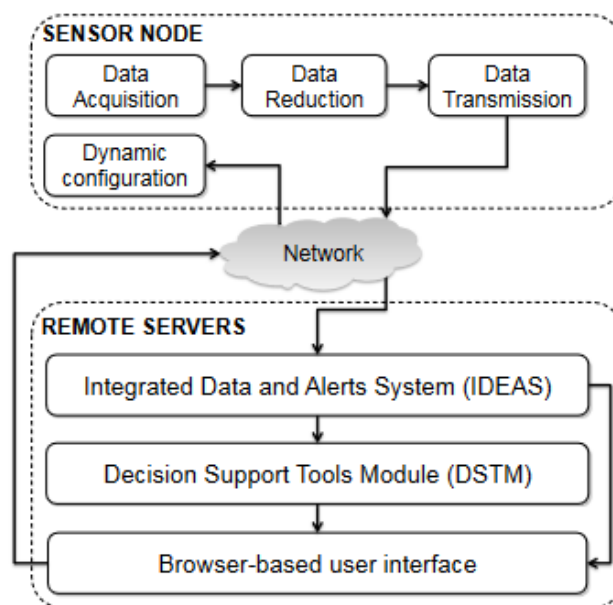
La WSN se despliega en red, y proporciona flujos de datos en línea. La capa IDEAS procesa los flujos de datos de la WSN para detectar y localizar eventos anormales (por ejemplo, fugas o contaminación hídrica). La capa DSTM proporciona un conjunto de herramientas de

apoyo a la toma de decisiones que utilizan un modelo hidráulico calibrado en línea de la red de distribución de agua. Por lo cual puede funcionar como sistema autónomo y componente de un sistema integrado de gestión del agua.

En el modo autónomo, se proporciona una interfaz web basada en mapas y un panel de control tanto para IDEAS como para DSTM. Esta interfaz de usuario es accesible a través del navegador web en cualquier computador, así como en tabletas y teléfonos inteligentes, permitiendo el análisis y la validación sobre el terreno por parte del personal de campo. Alojándose localmente en una empresa de agua o por drive en internet.

Figura 5.

Relación entre las capas de Water WiSe: IDEAS y DSTM.



Nota. Tomado de *SCADA System for Monitoring Water Supply Networks*, Dobriceanu et al., 2008.

Figura 6.

Sonda del sensor multiparámetro WaterWiSe (izquierda) y sonda acoplada a una válvula de compuerta (derecha).



Nota. Tomado de *SCADA System for Monitoring Water Supply Networks*, Dobriceanu et al., 2008.

En Filipinas por medio de la compañía Manila Water, la cual es provedora de servicios de agua y saneamiento en este país, se ofrece el servicio de WaterWiSe a más de 6,2 millones de personas en la zona este de la capital de Filipinas. La zona cuenta con un millón de hogares, servido por más de 800.000 conexiones de servicio de agua (Manila Water, 2014).

Waterbox

Cómo se ha expresado en proyectos anteriores, muchos comportamientos en la red de agua pueden simularse en un software, al igual que las respuestas hidráulicas en los cambios de válvulas, sin embargo, los simuladores de software no pueden incluir eventos exactos en fugas o reventones, para los modelos físicos. Por lo cual el proyecto de Waterbox trae innovación en las garantías de seguridad, con sus métodos de monitorización. Ya que usan algoritmos sofisticados para la reconfiguración de la red de agua, por medio de una simulación de algoritmos emergentes y avanzados en la supervisión de pruebas de fallas. La infraestructura hidráulica de hardware y

de software es tan sensible que permite realizar una buena cantidad de experimentos en curso, relacionados con el procesamiento de datos en el nodo y la toma de decisiones, optimización de energía y comunicación basada en diversos eventos con un control automático.

El mayor objetivo del desarrollo de WaterBox es la construcción de una red de agua autónoma e inteligente con tecnologías de progreso que puedan desplegarse en redes reales. Además, desarrollando una interfaz sencilla para implementar aplicaciones y algoritmos referidos a la toma de decisiones en el nodo, para el control de la optimización de las comunicaciones. Permitiendo una reconfiguración y adaptación un escenario de simulación.

WaterBox contiene sensores y actuadores que requieren hasta 5V y 12V, respectivamente, y con interfaces de comunicación estándar, al tiempo que permite la integración de otros sensores. La configuración estándar de un nodo es de un medidor de flujo, basado en pulsos que requieren una alimentación de 5 a 24VDC, cada pulso es aproximadamente de 2,25 mililitros. Esta arquitectura en base a los pulsos del sensor refleja un menor consumo de energía.

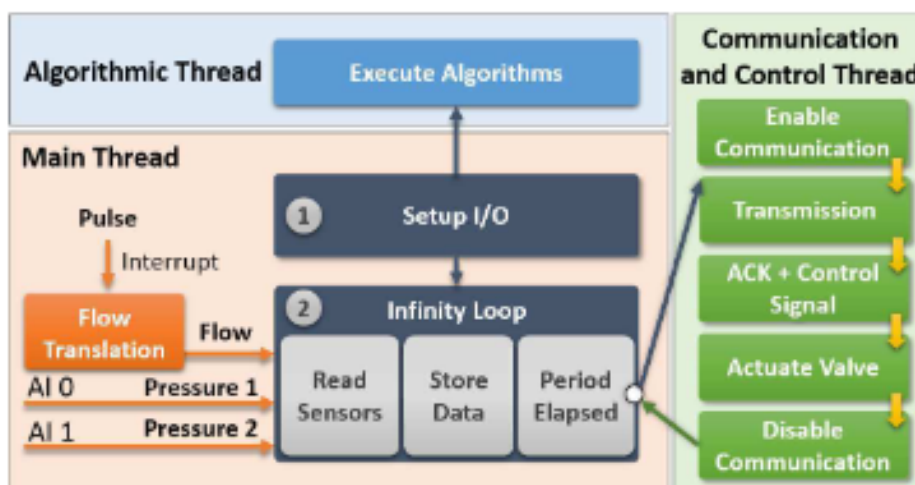
WaterBox contiene seis nodos con sensores, uno por cada oferta y demanda de DMA. Cuatro nodos consisten en placas de desarrollo Intel Galileo con Windows IoT que están conectadas a la red local a través de Ether red, y dos placas Intel Edison con Linux Yocto que se comunican a través de WiFi. Con el fin de crear algoritmos estables, por medio de Visual Studio, que permite la depuración remota.

Por lo tanto, en primer lugar, los algoritmos se aplican a los nodos Intel Galileo y luego separa los nodos Intel Edison. En este proyecto se creó una aplicación para que los usuarios, apliquen sus algoritmos generando tres hilos principales. El hilo principal activa la E/S de hardware basada en los sensores y actuadores conectados. El segundo hilo se activa para ejecutar algoritmos junto con la configuración de un bucle infinito, el cual recupera y almacena

continuamente las mediciones dirigiéndose a un evento periódico una vez transcurre un tiempo preestablecido. Finalmente, el tercer hilo da acceso a la comunicación y control de la válvula.

Figura 7.

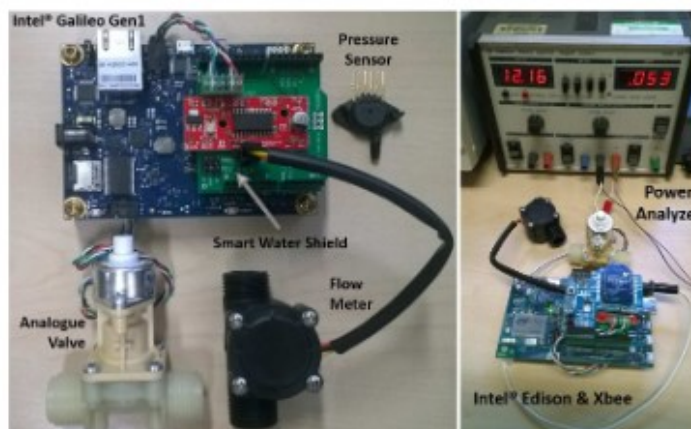
Infraestructura de software de experimentación.



Nota. Tomado de WaterBox: A Testbed for Monitoring and Controlling Smart Water Network
Edo & Kartakis, 2016.

Figura 8.

Nodo sensor WaterBox y análisis de potencia.



Nota. Tomado de WaterBox: A Testbed for Monitoring and Controlling Smart Water Network
Edo & Kartakis, 2016.

En el país de Burkina-Faso en la ciudad de Boromo, la cual cuenta con una población de 30.000 habitantes, los cuales son abastecidos hídricamente por una planta de tratamiento administrada por la ONEA (Oficina Nacional de Agua y Saneamiento), a partir del agua del río Mouhoun.

Hoy en día la ciudad ha alcanzado una capacidad de tratamiento de la planta que alcanza unos 500 m³/día, lo cual es una cifra que aunque debería ser satisfactoria, no garantiza una cobertura ideal a toda la población, dejando a más del 30% de la población sin acceso al recurso hídrico, ya que la situación de Boromo es muy complicada en aspectos socioeconómicos, por ser conocido como el paso constante de desplazados en África, al compartir una cercanía con la ciudad de Loroum, la cual se caracteriza por ser una de las ciudades con más violencia de conflicto armado en éste país, en vista que es donde la milicia civil arremete contra el yihadismo constantemente, dejando cientos de víctimas en periodos cortos y sobrevivientes desplazándose continuamente a Borom. Conflicto que genera constante cambio y aumento en la población, impidiendo que el proyecto de la instalación de WaterBox, pueda abarcar a toda la población que se estimó desde su inicio.

El proyecto de Waterbox ganó una convocatoria de la DG Hacienda para proyectos "Soluciones innovadoras para ciudades sostenibles en África". Dónde LMS World Water Treatment, propuso el uso de este sistema de tratamiento del agua sin el uso de productos químicos.

El sistema de WaterBox, no solo implementa un seguimiento constante en el monitoreo de la red de distribución hídrica, sino que, a su vez, implementa electrocoagulación, capaz de generar coagulantes in situ a partir de materiales de hierro y aluminio que son fáciles de encontrar en el sitio.

Donde la filtración se proporciona por membranas cerámicas a 0,1 micras. La energía se proporciona por un generador fotovoltaico de 23 kWp con almacenamiento de batería de 72 kWh, que da la posibilidad de cambiar a la red eléctrica nacional durante horas nocturnas.

Al inicio en la implementación de la planta, se dimensionó un demostrador de 12 m³/h, capaz de tratar unos 250 m³/día, lo que aumentó el 50% de la capacidad de agua que se manejaba en la ciudad. Se instaló una estación en un contenedor de 40', brindando facilidad en su implementación y conexión.

La operación se automatizó concorde al análisis de turbidez de la entrada de agua cruda. Un módulo de comunicación permitió así la monitorización remota de todos los parámetros de funcionamiento de la estación, tanto para el monitoreo de la producción hídrica como de la producción energética.

Figura 9.

Operación de instalación de WaterBox.



Nota. Tomado de *WATERBOX*, Red Internacional de los Organismos de Cuenca, 2010.

SCADA.

SCADA es un software para supervisar la red de suministro de agua, asegurando la adquisición de los transductores de los parámetros propios del funcionamiento de las instalaciones tecnológicas de distribución de agua.

Este software permite la supervisión y control de las bombas a nivel de las estaciones locales, la toma de datos recolectados, el seguimiento de la funcionalidad de las estaciones por medio de esquemas sinópticos, la producción del boletín de seguimiento, junto con los balances de las estaciones y el envío de resultados a los factores de decisión. Permitiendo así que cada estación disponga de su propio equipo local para la adquisición de datos, a su vez brinda el control por medio de un computador local el cual se comunica con el computador del despachador. El equipo se interroga a un lapso de tiempo fluido, el cual se fija por medio del computador local. Logrando el registro a nivel del ordenador local, por medio todas las entradas y salidas analógicas y/o digitales.

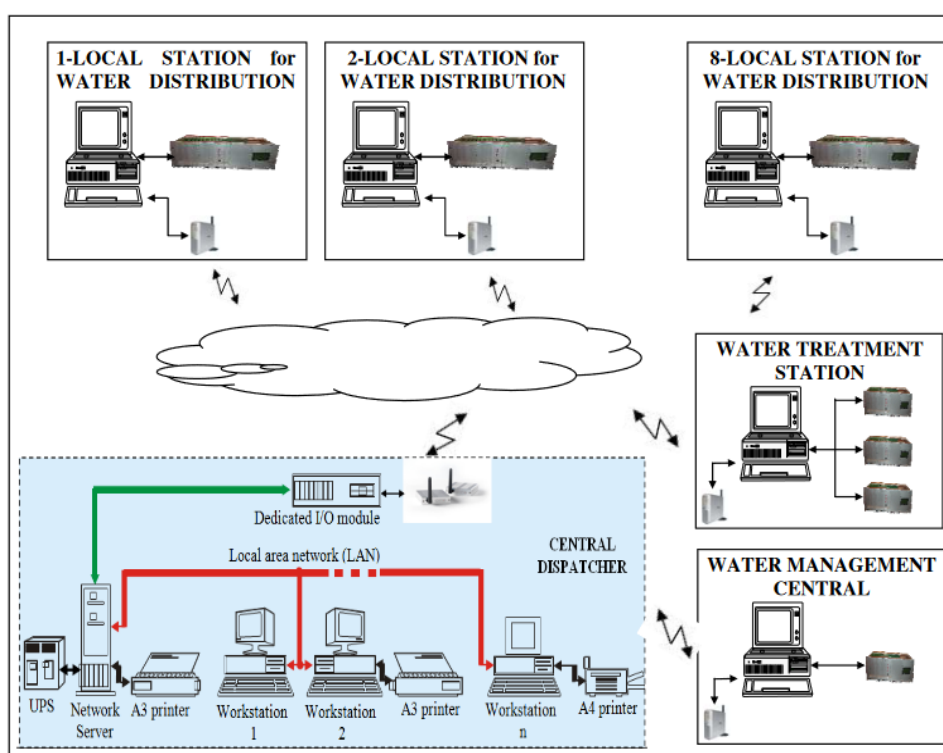
El accionamiento de las bombas se da por el impulso de los motores dentro de la estación respectiva, a través de arrancadores y/o inversores suaves, en general, se usan arrancadores suaves hasta que el motor alcanza la revolución nominal, y por medio del inversor se ajusta la evolución en función de la presión medida.

Los inversores son el suministro de tensión y la frecuencia de variabilidad en las bombas de agua asíncronas y motores de accionamiento de las bombas de agua, permitiendo el cambio de la evolución entre cero y la tensión nominal. Todos los ordenadores locales son interrogados por la central en relación con los datos almacenados, hasta que recibe los datos necesarios, gracias a la implementación de un protocolo de comunicación de 10 preguntas. Si un ordenador local detecta el estado de advertencia, se genera un mensaje especial que va dirigido directamente al

despachador, informando sobre la alerta. Este estado se produce por el cruce de algunos límites impuestos por el usuario del sistema en los canales analógicos o la activación o desactivación de algunas entradas digitales. Estos eventos importantes se almacenan dentro de un archivo local y en el despachador. Los datos generales o importantes se usan en la central para generar diferentes informes en el funcionamiento o evolución de algunos parámetros solicitados por el usuario.

Figura 10.

Diagrama de bloques del sistema SCADA.



Nota. Tomado de SCADA system for monitoring water supply networks, Dobriceanu et al., 2008.

Israel se reconoce por ser uno de los países con menor disponibilidad en recursos hídricos en el mundo. En los últimos años este país ha pasado por sequías fuertes y actualmente ha luchado bastante contra otras presiones a sus suministros de agua (ITU y UNESCO, 2014).

El NewTech es un programa nacional de apoyo al sector de la tecnología del agua israelí, que ha sido muy significativo en el avance del sector de la tecnología hídrica. Basándose en la

solución práctica ante las problemáticas de falta hídrica, incorporando elementos industriales autónomos en la mejora del sector (Israel NewTech, 2014) como el software SCADA para su gestión de procesos hídricos.

Incrustada en la cultura de Israel se encuentra una conciencia nacional sobre temas de escasez de agua. El consumo total de agua de Israel se ha mantenido sin cambio desde la década de los años 60, a pesar de una creciente población, aumentos en la demanda de agua, e incrementos en la producción agrícola. El Éxito de Israel en responder a sus necesidades de agua surge de su habilidad en incorporar una extensa variedad de soluciones bajo-múltiples limitantes.

Mekorot, compañía suministradora de agua nacional de Israel, recupera el 68% de los afluentes reutilizados para la agricultura. Trata el 32% de sus aguas de desecho dentro de Israel. Transfiere agua desde la fértil región norte a la porción árida en el sur del país. Aumenta la precipitación pluvial hasta en un 15%. Administra 29 de las 32 plantas de desalinización del país. Prueba la calidad del agua en 200,000 análisis distintos al año. Monitorea de manera remota su sistema de aguas. Actúa como pruebas de campo para nuevas iniciativas en el sector, auxiliando en la evaluación de nuevas tecnologías en sus instalaciones nacionales. La planta de tratamiento y recuperación Shafdan es una de las más grandes plantas recicladoras del mundo, y realiza las siguientes funciones:

Tratamiento de aguas residuales generadas por casi 2.3 millones de habitantes de 13 municipios en el área de Tel-Aviv.

Purificación del 30% aproximadamente del agua residual de todo Israel.

Suministro de agua tratada a la región desértica de Israel, para fines de irrigación.

Israel es el hogar de la planta de desalinización del agua de mar por Osmosis Inversa (Seawater Reverse Osmosis, SWRO), más grande del mundo, la cual produce 100 millones de

metros cúbicos al año, con un costo de aproximadamente \$0.52 USD / m³ de agua: la mejor eficiencia de costo en su categoría en el mundo. Israel crea el 25% de su agua de consumo. El consumo total de agua en Israel ha permanecido constante desde los años 60, no obstante, el crecimiento de su población, el aumento en la demanda de agua y el incremento de su producción agrícola.

Figura 11.

Aspectos hídricos de Israel Fuente.



Nota. Tomado de *Agua La Experiencia Israelí*, Ministerio de Industria Comercio y Trabajo Israelí, 2014.

En 2006, Israel estableció el programa de Tecnologías del Agua (NewTech) que se aplicó de manera efectiva en veintiséis proyectos de agua financiados con fondos gubernamentales.

El programa NewTech dio a conocer mundialmente por medio de las empresas más grandes del país (TaKaDu y Whitewater) el buen uso de sistemas de control y seguimiento en redes como lo es el software de SCADA en la industria de la implementación de SmartWater permitiendo reembolsar el 70% de los costes de instalación de los proyectos.

Resumen de métodos o sistemas de control y seguimiento en redes de distribución hídrica

Para desarrollar un correcto seguimiento en redes de distribución hídrica, es necesario reconocer la normatividad internacional y nacional vigente, para un buen reconocimiento de los diferentes sistemas de distribución hídrica en el mundo. Posteriormente se pueden identificar los tipos de sistemas de abastecimiento y distribución, permitiendo llegar a investigar el tipo de pérdidas de agua no contabilizada que se presente en los distintos tipos de redes de distribución, para la identificación del tipo de pérdidas que puedan llegar a presentarse se puede desarrollar un balance hídrico en la zona de estudio de interés, obteniendo así modelos de simulación matemática para diferentes estados que se producen en la red de distribución, los cuales permiten la realización de una planificación, operación y gestión de la red de distribución, logrando generar proyectos que permitan la reducción y prevención del IANC en las redes. Este tipo de proyectos generados a través de la problemática por presencia de IANC en redes de distribución, permiten la implementación de diversas tecnologías que no solo reducen las afectaciones generadas por la problemática presentada, si no que a su vez permiten la optimización y desarrollo socioeconómico en diferentes zonas de estudio, donde la obtención del recurso hídrico es un privilegio.

La industria de Smart Water refleja una propuesta de control y seguimiento en redes de distribución hídrica que abarca bastantes oportunidades, como la infraestructura física y medición de redes de distribución, la transmisión de datos desde el punto de la red inalámbrica hasta el rango de frecuencias que se use para ésta comunicación, ya sea Por ondas de radio microondas terrestres satélites o infrarrojos, A su vez el almacenamiento de datos y visualización de parámetros base que se hayan obtenido junto con la visualización de la red a través de un sistema de información geográfica.

Las grandes ventajas que nos puede ofrecer esta industria son cada vez mayores ya que mundialmente en los gobiernos e instituciones siempre se está integrando la apuesta para el mejoramiento de procesos en la gestión del ciclo del agua lo cual permite llegar a los siguientes beneficios con la instalación de estos sistemas:

Mantenimiento más eficaz dentro de la operación gracias a que los contadores pueden leerse a cualquier distancia, detectando diferentes percances que se presenten en la distribución de la red hídrica alertando así a los usuarios del servicio.

Identifica cualquier problemática que se presente frente a una fuga ruptura o atasco dentro de la red distribución, obteniendo así la ubicación del punto exacto donde se presente alguna de estas anomalías, permitiendo generar una reparación inmediata en los puntos susceptibles o un mantenimiento preventivo dentro de las redes de distribución hídrica.

Puede reducir considerablemente los costos que se den en la operación gracias a los puntos mencionados anteriormente.

La empresa que adquiera cualquier software que propone esta industria puede llegar a optimizar considerablemente el modelo de gestión de servicio que está brindando.

Una de las ventajas más importantes que tiene esta industria, es la de una mayor sostenibilidad logrando reducir el consumo energético y la huella hídrica.

Las desventajas presentadas mundialmente por la implementación de sistemas Smart Water, suelen reflejarse en países subdesarrollados, a continuación, se presentan las desventajas más reconocidas en esta industria:

La poca financiación que se le da a esta tecnología, impidiéndose una introducción en los contratos de riesgo hídrico generalmente en Latinoamérica, en vista que bastantes alianzas públicas privadas que no permiten que diferentes lleguen a reducir la inversión inicial requerida.

Para poder implementar esta tecnología en Colombia, es necesario contar con una certificación leed, la cual hace referencia a que la empresa que obtenga estos servicios deberá tener una certificación de eficiencia energética y diseño sostenible para su aplicabilidad según (LEED, 2014).

Conclusiones

Aunque las fugas sean una representación importante de las pérdidas dentro de los sistemas de las redes, pueden disminuirse radicalmente por medio de la uniformización de las presiones, por medio de un programa de detección eficiente que permita localizar la ubicación de las fugas presentes.

Una vez se reducen las fugas mediante un proceso de optimización, se logra incrementar el nivel del servicio del sistema de la empresa prestadora de servicios, reduciendo a su vez los costos por conceptualización en la renovación y/o rehabilitación en el sistema, además de reducir el IANC significativamente.

Al lograr obtener un menor porcentaje del IANC no solo la empresa prestadora del servicio hídrico se beneficia, sino que se logra una reducción en los impactos que reciben las fuentes de agua.

Por medio del mantenimiento preventivo en el sistema de acueducto, se logra mantener el funcionamiento de los medidores dentro de un nivel determinado de error de medición, por medio de la calibración, reparación o sustitución de algunas piezas del conjunto metrológico o reemplazo del medidor. Lo cual demuestra la importancia de prevenir las pérdidas de agua antes de que sucedan.

El servicio intermitente de agua es un problema común en varios países en vías de desarrollo. Brindar un servicio de 24 horas continuo es posible mediante la reducción de las fugas y el agua no contabilizada, con el uso de contabilizadores de medidas hídricas y suficiente agua en las fuentes.

Implementar sensores inteligentes para el monitoreo hídrico, en países donde hay dificultades en el acceso del agua, mejora sustancialmente la calidad de vida, ya que los aspectos políticos y sociales son las principales fuentes de negligencia para el acceso equitativo en una población, Colombia al atravesar situaciones similares en la precariedad de servicios hídricos espacialmente en zonas rurales, puede verse significativamente beneficiado como la implementación de la industria SmartWater.

Es relevante en la instalación de algún software de monitoreo hídrico, la capacidad de agua que se va a distribuir, y la verificación de nodos requeridos.

Los países menos desarrollados mundialmente suelen ser los más afectados en la obtención básica de sus recursos naturales, en vista que los factores Económicos son quienes lideran su distribución e intereses.

Recomendaciones

Es necesario generar programas para la toma de acciones respecto al control de las pérdidas técnicas y comerciales.

A su vez la generación de un plan de reducción de pérdidas por parte de los profesionales según encargados de la gestión de abastecimiento permitirá evitar las pérdidas por fugas clandestinas, ya que, con el correspondiente cubrimiento geográfico y aplicación de del sistema su aspecto social, se evitará uno de los mayores porcentajes de IANC presentados.

Se deben generar Incentivos a la micro medición. Como derecho y deber de todos los usuarios y prestadores del servicio de acueducto

Generando campañas de conocimiento y abastecimiento en los sectores más vulnerables se incrementará la responsabilidad del recurso hídrico, mitigando todos los impactos provocados al ambiente por la afectación sociopolítica en las comunidades.

Los casos más exitosos de industria de SmartWater, suelen ser en los países con más desarrollo político y social, en vista que es donde se brinda más implementación de sensores inteligentes para múltiples redes de distribución, por lo cual se recomienda que en países como Colombia se generen estas propuestas e iniciativas para crecer no solo en ámbitos ambientales, sino económicos al generar menos pérdidas en fugas y daños para sus redes de distribución hídrica.

Referencias bibliográficas

- Acevedo, S. (s.f.). *Informe de rendición de cuentas CRA 73*. Ministerio de Cultura.
<https://www.cra.gov.co/sites/default/files/documents/2021-12/Informe-RendicionCuentas-CRA-2019.pdf>
- Agua no contabilizada. (30 de abril de 2022). En Wikipedia. https://hmong.es/wiki/Non-revenue_water
- Alvarado, J., & Ortíz, J. (2019). *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*. 136. Comisión Reguladora de Agua, https://www.paho.org/col/dmdocuments/analisis_sectorial_aguaysanea_colombia.pdf
- Areiza, J., & Caraballo, J. (2019). *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*. [tesis de especialización, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UNAD.
<https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/28359/1/jfareizaa.pdf>
- Bakker, K. (2002). From State to Market?: Water *Mercantilización* in Spain. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 34(5), 767-790.
<https://doi.org/10.1068/a3425>
- BBC News Mundo. (2013, julio 31). *Cómo puede la tecnología salvar el agua*. [comunicado de prensa].
https://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/08/130731_tecnologia_agua_salvar_dp
- Bolaños Trochez, F. V. (2016). *Marco normativo de la gestión pública del agua potable en Colombia y su contribución en los procesos de integración territorial metropolitana*. Entorno

Geográfico, 11, 140-151. <https://doi.org/10.25100/eg.v0i11.3669>

Bristol, U. of. (s. f.). *Smart Networks for Sustainable Futures*. University of Bristol, 21(5) 48-63 <https://www.bristol.ac.uk/fssl/research/groups/smart-networks-for-sustainable-futures/>

Cabrera-Béjar, J. A., & Tzatchkov, V. G. (2012). *Modelación de redes de distribución de agua con suministro intermitente*. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 2(2), 2-22.

<https://www.redalyc.org/pdf/3535/353531977001.pdf>

Cardona, D. (s.f.). *IANC Análisis de las pérdidas de agua en los sistemas de abastecimiento—Análisis de las pérdidas de agua en los sistemas de abastecimiento—Análisis de las pérdidas de agua en los sistemas de abastecimiento*. Consultado el 2 de mayo 2022.

<http://www.dinamica-de-sistemas.com/revista/1214g.htm>

Cordis. (2016, 23 de mayo). *Smart sensors monitor water supply and harvest energy harvesting for real time monitoring in urban water infrastructure*. European Commission.

<https://cordis.europa.eu/article/id/170297-smart-sensors-monitor-water-supply-and-harvest-energy>

Comisión Nacional del Agua. (s.f.). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Diseño de redes de distribución de agua potable*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%20s.f.a.%20Dise%C3%B1o%20de%20redes%20de%20distribuci%C3%B3n%20de%20agua%20potable.pdf

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2001). Resolución 151, regulación integral de los servicios públicos de Acueducto, Alcantarillado y Aseo. Bogotá, Colombia. <https://eaaay.gov.co/media/makfnur4/resolucion-cra-151-de-2001.pdf>

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2004). Resolución

287, por la cual se establece la metodología tarifaria para regular el cálculo de los costos de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado. Bogotá, Colombia.

<http://www1.eaaay.gov.co/gel/RESOLUCION-CRA-287-DE-2004.pdf>

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. (s.f.). *Pérdidas de agua en sistema de acueducto, uso suficiente y ahorro del agua* [presentación de diapositivas].

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. <https://www.smart-energy.com/wp-content/uploads/Cristian.pdf>

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2004). Resolución 3483, por la cual se establece la metodología tarifaria para regular el cálculo de los costos de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado. Bogotá, Colombia.

https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/concepto_cra_0003483_2004.htm

Comisión Reguladora de Agua. (1997). *Análisis del sector de agua potable y saneamiento en Colombia*. Comisión Reguladora de Agua,

https://www.paho.org/col/dmdocuments/analisis_sectorial_aguaysanea_colombia.pdf

CONAGUA. (s.f.). *Diseño de redes de distribución de agua potable—Diseño de Redes de Distribución*. Comisión Nacional del Agua,

<https://www.studocu.com/bo/document/universidad-mayor-de-san-simon/ingenieria-sanitaria-i/conagua-sfa-diseno-de-redes-de-distribucion-de-agua-potable/13280973>

Corporación Ruta N. (2014). *Observatorio CT+i* [presentación de diapositivas]. Tecnova.

https://www.rutanmedellin.org/images/biblioteca/observatoriocti/2015/3_TICS/VT_SMART_WATER_EAFIT.pdf

Dobriceanu, M., Bitoleanu, A., Popescu, M., Enache, S., & Subtirelu, E. (2008). *SCADA*

System for Monitoring Water Supply Networks: International Journal of Software & Hardware, 7(10), 11. <https://core.ac.uk/download/pdf/80817676.pdf>

EASLEY COMBINED UTILITIES. (2014). *Water Quality Report for 2014*. Community Tradition, <https://www.easleyutilities.com/CCR%202014.pdf>

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá ESP. (2006). *Plan maestro de acueducto y alcantarillado*. Acueducto.

<https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/empresa/DocumentotecnicoDTS.pdf>

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá ESP. (2021). *Catálogo de normas y especificaciones técnicas*. Acueducto.

https://www.acueducto.com.co/wps/wcm/connect/EAB2/7c2a586c-1650-4963-aa6b-cbdd3c2b2f10/Catalogo+de+Normas+y+Especificaciones+T%C3%A9nicas.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE.Z18_K862HG82NOTF70QEKDBLFL3000-7c2a586c-1650-4963-aa6b-cbdd3c2b2f10-n6tTWD0

Empresas Públicas de Medellín. (2009). *Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto de EPM*. EPM.

https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/NormasDisenoSistemasAcueducto.pdf

Escuela Abierta de Desarrollo en Ingeniería y Construcción. (2013, 23 de julio). *Curso de Planes directores de abastecimiento y saneamiento de poblaciones y regiones* [presentación de diapositivas]. EADIC. <http://eadic.com/wp-content/uploads/2013/07/Curso-de-Planes-directores-de-abastecimiento-y-saneamiento-de-poblaciones-y-regiones.pdf>

Farley, M., & Trow, S. (2015, octubre). *Losses in Water Distribution Networks: A Practitioners' Guide to Assessment, Monitoring and Control*. Water Intelligence Online, 4(0).

<https://doi.org/10.2166/9781780402642>

France 24. (2021, 26 diciembre). *Burkina Faso declara luto nacional por la muerte de 41 personas tras ataque terrorista*. [comunicado de prensa].

<https://www.france24.com/es/%C3%A1frica/20211226-burkina-faso-ataque-luto-yihadismo>

García, J. M., Racero, J., Eguía, I., & de Vega, R. G. (2008, 3-5 de septiembre). *Modelo de análisis de pérdidas de agua en redes de distribución*. Congreso de ingeniería de organización, Burgos, Spain.

http://www.adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2008/QUANTITATIVE_METHODS/1533-1542.pdf

Government Agency. (2017). *Water Quality Standards Handbook*. EPA Office of water. <https://www.epa.gov/wqs-tech/water-quality-standards-handbook>

Grupo Kavilando. (2013, 13 de octubre). *La CRA, reduce los rangos de consumo Básico de Agua, ¿impactará esta medida en la aplicación de los subsidios al consumo?* Kavilando. <https://kavilando.org/index.php/2013-10-13-19-52-10/territorio/4385-la-cra-reduce-los-rangos-de-consumo-basico-de-agua-impactara-esta-medida-en-la-aplicacion-de-los-subsidios-al-consumo>

Higiene Ambiental. (2014, 18 de noviembre). *Control, en tiempo real, del agua potable en la red de distribución | Higiene Ambiental*. WIDESSENS. <https://higieneambiental.com/aire-agua-legionela/control-en-tiempo-real-del-agua-potable-en-la-red-de-distribucion>

Huzsvar, T., Weber, R., & Hos, C. J. (2020, 11 de marzo). *Fire and drinking water capacity enhancement in water distribution networks*. *Water Supply*, 20(4), 1207-1214.

<https://doi.org/10.2166/ws.2020.037>

Ibañez, J. (2066, 26 de junio). *Niveles de Humedad del Suelo y Agua disponible: El Agua*

en *El Suelo* 3. Un Universo invisible bajo nuestros pies.

<https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/06/26/33002>

IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2007). *Conceptos de reducción y control de pérdidas, y de sectorización de redes de distribución*. IMTA.

https://mbuenfil.webs.com/documentos_estudios/IMTA_6_control-perdidas.pdf

Josegoingenieria. (2013, marzo 2). *Tipos de redes de abastecimiento*. Jimbo.

<http://josegoingenieria.jimdofree.com/2013/03/02/tipos-de-redes-de-abastecimiento/>

Kartakis, S., Abraham, E., & McCann, J. A. (2015). WaterBox: A Testbed for Monitoring and Controlling Smart Water Networks. *Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Cyber-Physical Systems for Smart Water Networks*, 1-6.

<https://doi.org/10.1145/2738935.2738939>

Maquinaria, A. (s. f.). *Abastecimiento urbano. Red de distribución de agua potable*.

Aristegui Maquinaria. <https://www.aristegui.info/abastecimiento-urbano-red-de-distribucion-de-agua-potable/>

Ministerio de Ambiente. (s.f.). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

<https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico/>

Ministerio de Ambiente. (s.f.). *Planificación del Recurso Hídrico*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del->

recurso-hidrico/planificacion-del-recurso-hidrico/

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019, 22 de marzo). Auto admisorio. <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/auto-admisorio-22-de-marzo-de-2019/>

National Research Council. (2006). *Drinking Water Distribution Systems: Assessing and Reducing Risks*. NAP.edu. <https://doi.org/10.17226/11728>

Nelson, K., & Erickson, E. (2017, enero). *Suministro intermitente en el contexto de esfuerzos por mejorar el abastecimiento de agua potable en América Latina y el Caribe: Lecciones de un estudio de caso en Arraiján, Panamá*. Banco interamericano de desarrollo. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Suministro-intermitente-en-el-contexto-de-esfuerzos-por-mejorar-el-abastecimiento-de-agua-potable-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-Lecciones-de-un-estudio-de-caso-en-Arraij%C3%A1n-Panam%C3%A1.pdf>

Norma Técnica de Distribución de Agua Potable: *Estaciones control hidráulico ED 9 abril 9-14*. <https://www.emcali.com.co/documents/107516/125174/NDI-SE-DA-007.pdf>

Noticias ONU. (2020, 26 de noviembre). *El agua, un recurso que se agota por el crecimiento de la población y el cambio climático*. [comunicado de prensa] <https://news.un.org/es/story/2020/11/1484732>

Novel Efficient Water Technologies. (2014). *El Agua es un bien extremadamentepreciado en Israel. El terreno allí proporciona el entorno perfecto para la investigación y desarrollo de tecnologías de agua en condiciones “reales” para su mercadeo y venta a nivel global*. New Tech. <https://www.hidrojing.com/wp-content/uploads/2014/01/NEWTechbrochureSPANISH.pdf>

ONU Habitat. (2011, marzo). *El derecho al agua*. Organización Mundial de la Salud. <https://www.ohchr.org/sites/default/files/Documents/Publications/FactSheet35sp.pdf>

OXFAM Intermon. (2018, 27 de febrero). *La importancia del abastecimiento de agua*. (2018, febrero 27). Ingrediente que suman. <https://blog.oxfamintermon.org/la-importancia-del-abastecimiento-de-agua/>

PAREX. (2019, diciembre) *Especificaciones técnicas para la construcción de acueductos* *parex resources Colombia especificaciones técnicas para la const.* Parex Resources Colombia. <https://www.fiduprevisora.com.co/wp-content/uploads/2019/12/Anexo-No-8.-Especificaciones-t%C3%A9cnicas-para-construcci%C3%B3n-ACUEDUCTO.pdf>

Parra, A., Castillo, D., Rojas, J., Puerto, C., & Villalba, N. (2018). *Estudio Sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado 2014—2017*. DNP. https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2019/Ene/informe_sectorial-cuatrenio_2014-2017_.pdf

Red de Distribución de Agua Potable. (2012, 26 de marzo). *¿Abierta o Cerrada?* Tutoriales al Día - Ingeniería Civil. <https://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/red-de-distribucion-de-agua-potable-abierta-o-cerrada/>

Riod. (s.f.). *Waterbox*. Red Internacional de Organismos de Cuenca. <https://www.riob.org/es/incubaci%C3%B3n/waterbox>

Rodgers, K. (s.f.) *Presentación*. <https://www.oas.org/DSD/publications/Unit/oea41s/ch01.htm#TopOfPage>

Salgado, F. (s.f.). *Administración y Mantenimiento de Micromedidores*. (s. f.). Senasba. <https://bivica.org/files/micromedidores-guia.pdf>

Sampayo, Y., & Acevedo, L. (2017, noviembre). *PLAN DE REDUCCIÓN PÉRDIDAS 2017—2025*. Aguas de Barrancabermeja. <http://www.aguasdebarrancabermeja.gov.co/images/planes/4.Plan%20de%20Reducci%C3%B3n>

%20Perdidas.pdf

Secretaría Distrital del Hábitat. (2018). *Mesa de diálogo sector hábitat*. SDH.
<https://www.habitatbogota.gov.co/sites/default/files/documents/2018-03/Mesa%20de%20Di%C3%A1logo%20Sector%20H%C3%A1bitat.pdf>

Solidarites International. (2017, mayo 05). *Design and production of a drinking-water supply network our expert assessment*. Solidarites International. <https://www.solidarites.org/wp-content/uploads/2017/05/Design-and-production-of-drinking-water-supply-network-2015.pdf>

SSWM. (s.f.). *Find tools for sustainable sanitation and water management*. Red de distribución comunitaria. <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/red-de-distribuci%C3%B3n-comunitaria>

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2002, 21 de mayo). *Decreto 990 de 2002*. Diaro oficial de la nación.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=6070>

Teichmann, M., Kuta, D., Endel, S., & Szeligova, N. (2020). *Modeling and Optimization of the Drinking Water Supply Network—A System Case Study from the Czech Republic*. *Sustainability*, 12(23), 9984. <https://doi.org/10.3390/su12239984>

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2019, octubre). *Informe Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. UN-ilibrary. <https://doi.org/10.18356/e96937a1-es>

USGBC. (S.F.). *A LEED for every Project*. U.S. Green Building Council.
<https://www.usgbc.org/leed>

Wahman, J. (2014). *Assuring Purity of Drinking Water*. Water Distribution System.
<https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/water-distribution-system>

WEDC. (2013). *Rehabilitating small-scale piped water distribution systems*. World Health Organization. https://wedc-knowledge.lboro.ac.uk/resources/who_notes/WHO_TNE_04_Rehabilitating_small-scale_piped_water_distribution_systems.pdf

Whittle, A. J., Allen, M., Preis, A., & Iqbal, M. (2013, 9-11 diciembre). *Sensor networks for monitoring and control of water distribution systems*. [ponencia]. 6th International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure, Hong Kong, <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/92764/Whittle%20et%20al-%20SHMII-Keynote%202013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

World Health Organization. (2014). *Water safety in distribution systems*. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/204422>