



*Aseorías y Tutorías para la Investigación Científica en la Educación Puig-Salabarría S.C.
José María Pino Suárez 400-2 esq a Lerdo de Tejada. Toluca, Estado de México. 7223898475*

RFC: ATII20618V12

Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.

<http://www.dilemascontemporaneoseduccionpoliticayvalores.com/>

Año: VIII Número: Edición Especial. Artículo no.:54 Período: Junio, 2021.

TÍTULO: Plan estratégico para la reducción de pérdidas de agua potable en Portoviejo.

AUTORES:

1. Ing. Carlos Eduardo Cedeño Farfán.
2. Máster. Xavier Stephenson Molina Arce.
3. Ing. Milton Santiago Perero Intriago.

RESUMEN: Los prestadores del servicio de agua potable deben dedicar esfuerzos y recursos a la determinación y reducción del agua no contabilizada; por ello, este objetivo es trascendental para la búsqueda de la sostenibilidad del sistema, y es así que con un enfoque estratégico que consiste en potencializar la gestión de perdidas reales y aparentes en la zona abastecida por el tanque UTM en el sistema de agua potable de la ciudad de Portoviejo, se estima un índice de ANC del 70%, teniendo como bases un plan piloto de reducción, y proponiendo buenas prácticas y estrategias probadas. Se proyecta reducir los niveles de agua no contabilizada en un rango entre 35% y 30% en esta zona.

PALABRAS CLAVES: sistemas de agua potable, eficiencia, sostenibilidad, agua no contabilizada, pérdida de agua.

TITLE: Strategic plan for the reduction of drinking water losses in Portoviejo.

AUTHORS:

1. Eng. Carlos Eduardo Cedeño Farfán.
2. Master. Xavier Stephenson Molina Arce.
3. Eng. Milton Santiago Perero Intriago.

ABSTRACT: Drinking water service providers must dedicate efforts and resources to the determination and reduction of unaccounted for water; For this reason, this objective is transcendental for the search for the sustainability of the system, and it is thus with a strategic approach that consists of potentiating the management of real and apparent losses in the area supplied by the UTM tank in the drinking water system of In the city of Portoviejo, an ANC rate of 70% is estimated, based on a pilot reduction plan, and proposing good practices and proven strategies. It is projected to reduce the levels of unaccounted for water in a range between 35% and 30% in this area.

KEY WORDS: drinking water systems, efficiency, sustainability, unaccounted-for water, water loss.

INTRODUCCIÓN.

La relación entre la oferta y la demanda del recurso hídrico es cada vez más pareja; de acuerdo con (UNESCO, 2020), el uso del agua se ha incrementado en un 1% por año desde los años 80; todo esto producto de la evolución de las ciudades, tecnologías, crecimiento poblacional, urbanización, desarrollo socioeconómico y se espera que el incremento hasta el 2050 sea de un 50% en relación a los niveles actuales; por ello es imprescindible el planteamiento de soluciones integrales con un enfoque justo que garantice la gobernanza del agua.

En la ciudad de Portoviejo existen 53.359 conexiones de agua potable, y una planta de tratamiento que produce 88.000 m³/Día; sin embargo, en el año 2019 la pérdida de agua fue de 71.24%, logrando una eficiencia de apenas el 28,76%.

Según un informe emitido por la agencia de regulación y control del agua (ARCA), en los 15 años la empresa PORTOAGUAS EP - Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Portoviejo (prestadora de servicio de agua potable en la ciudad de Portoviejo) ha tenido un nivel de desempeño bajo en cuanto a la eficiencia en el uso de agua potable (EUAP) (Gordón, 2018).

De acuerdo con (Ziegler, y otros, 2011), las pérdidas de aguas están presentes en todos los sistemas de agua potable, y llevan asociados impactos económicos, técnicos, sociales y ambientales de gran envergadura que ponen riesgo los sistemas de distribución de agua potable; por lo tanto, es de suma importancia entender su naturaleza y contar con una desagregación precisa de las mismas, este conocimiento permite a las áreas de diseño, optimizar y garantizar la vida útil de los proyectos, así como a las áreas operativas técnicas y comerciales permite desarrollar programas eficientes encaminados al control y reducción de pérdidas.

Para lograr un porcentaje de agua no contabilizada aceptable, se debe contar con políticas institucionales tendientes a la gestión de pérdidas enmarcados en la determinación de las pérdidas reales y aparentes con enfoque de planificación, delimitación, y evaluación diagnóstica de las redes, y la implementación permanente de acciones para la reducción de aguas no contabilizadas.

El presente estudio tiene bases en la metodología implementada por la International Water Assosiation en la reducción de pérdidas y en un plan piloto desarrollado en el año 2018 en un sector de la ciudad donde se alcanzó para reducir las pérdidas al 12%, y con esos principios se proponen soluciones que permitirán lograr la gobernabilidad de la red con un enfoque progresivo de reducción de pérdidas por medio de la gestión de presiones, implementación de distritos hidrométricos, control activo de fugas, gestión comercial, y conciencia ciudadana, enmarcados en la transversalidad de las acciones propuestas tomando como referencia herramientas para la evaluación del desempeño y la mejora continua, a fin de lograr la excelencia en los servicios de abastecimiento y distribución de agua potable.

En los actuales momentos, la prestación del servicio de agua potable en la ciudad de Portoviejo presenta retos claves para una gestión eficiente, sobre todo con la misión de controlar las pérdidas de agua, ya que estos desafíos no solo están encaminados a reducir las pérdidas para conseguir una sostenibilidad financiera, sino que el impacto tiene efectos en lo social, ambiental, incluso político y de planificación de la ciudad. (Rogers & W Hall, 2003) mencionan que la crisis de los sistemas están relacionados directamente al incremento de las demandas, sumado a esto (American Water Works Association., 2008) señala que cuando los recursos hídricos son limitados un desperdicio de agua es una pérdida valiosa de recursos energéticos, ambientales, por lo que estos recursos en varios años podrían resultar en la puesta en marcha de planes para limitar el crecimiento y el desarrollo de la ciudad.

En la actualidad, la planta de tratamiento cuatro esquinas se encuentran en el límite de su capacidad, por lo que es imperativo reducir el estrés hídrico y en función a este análisis el volumen que se recuperaría con la gestión de pérdidas reales y aparentes será una contribución al futuro de la ciudad, ya que el ahorro está bordeando los 6.4 millones de m³ de agua potable al año que cubriría en parte la necesidad producto de la demanda creciente.

Resulta difícil pensar en un sistema de agua potable que no tenga pérdidas de agua, ya que efectivamente los sistemas con excelentes condiciones de operación y mantenimiento presentan estas problemáticas en una medida proporcional a las acciones efectivas que se tomen para aplacar este problema, es enfático en describir que es muy útil tener un diagnóstico inicial donde se respondan las interrogantes ¿Conocemos nuestro sistema? ¿Cuánta agua se pierde? ¿Dónde se pierde? ¿Cómo determinar las pérdidas? ¿Por qué se pierde? (Ziegler, y otros, 2011). Las respuestas a estos cuestionamientos con seguridad guían los planes de reducción de pérdidas, ya que están enfocados a entender estos problemas, concretamente en la zona abastecida por el tanque UTM del sistema de

agua potable de Portoviejo se ha efectuado un diagnóstico con bases en lo mencionado en las líneas anteriores.

Las empresas prestadoras del servicio de agua intentan construir un balance hídrico completo para su área de jurisdicción antes de intentar las pruebas y auditorías a pequeña escala más importantes. Es imperativo que una empresa pueda estudiar las pérdidas reales y aparentes en una escala menor (es decir un plan piloto) enfocado antes de implementar planes a gran escala. En el año 2017-2018, la empresa prestadora del servicio de agua potable de Portoviejo desarrollo un plan piloto de reducción de agua no contabilizada con la empresa VEOLIA Ecuador, en el que se obtuvieron resultados importantes implementados en las metodologías propuestas por la IWA, teniendo una hoja de ruta en la planificación estratégica y la obtención de información confiable para finalmente implementar acciones que lograron reducir las pérdidas del 52.3% al 12.3%.

DESARROLLO.

Metodología.

El presente artículo está enfocado a abordar la problemática que generan las pérdidas de agua potable, bajo una visión pragmática que haga énfasis en la investigación de posibles soluciones, que de implementarse, permitirían obtener resultados positivos para la empresa prestadora del servicio de agua potable en la ciudad de Portoviejo. El análisis realiza una revisión de las bases de datos de los catastros técnico y comercial, el registro de los volúmenes de agua producida y facturada en el sistema, y los reportes de gestión de la infraestructura. Se utilizan métodos cualitativos con el fin de proyectar un desempeño futuro del sistema a través de estrategias y buenas prácticas orientadas a la reducción de las pérdidas de agua potable.

El diagnóstico de las pérdidas empieza con la elaboración de un balance hídrico, complementado con la estimación de los límites de confianza para sus componentes (Cabrera, 2021). En concordancia con

(Ziegler, y otros, 2011), es necesario realizar estimaciones fiables que permitan desarrollar el análisis de las pérdidas de agua, y para tal efecto se han considerado las siguientes bandas de exactitud.

Tabla 1. Bandas de exactitud.

Variable	Descripción	Banda de exactitud
Volúmenes medidos	Agua Inyectada al sistema Consumo medido Agua exportada Medida	± 0.1 a 2%
Volúmenes estimados	Consumo no Medido Pérdidas Aparentes	± 5 a 50%
Volúmenes derivados	ANC Pérdidas reales	Depende de la exactitud de los datos de entrada medidos y estimados.

Fuente: Elaboración autores.

En la búsqueda de acciones que permitan sentar bases para un plan de reducción de pérdidas de agua, se concuerda con varios autores como (Farley & Trow, 2003) y (Rizzo, y otros, 2007) quienes exponen que el mejor camino para la implementación de estrategias inicia con la selección de zonas pilotos para la evaluación de las pérdidas, por ello se tomará las experiencias y resultados obtenidos en el estudio piloto desarrollado en la ciudad de Portoviejo en el año 2017-2018 para la construcción de las estrategias óptimas en la reducción de pérdidas de agua potable.

Para definir las zonas de acción para reducir pérdidas reales mediante la gestión de presiones se ha utilizado un modelo hidráulico en periodo estático, construido a partir del catastro de redes de agua potable, un modelo de elevación del terreno (MDT) de Portoviejo, además se ha utilizado el método de repartición espacial de caudales con el fin de asignar demandas en la red, de los resultados obtenidos se logra obtener un mapa de presiones que es la base para elaborar la propuesta para la gestión de presiones.

Con la finalidad de predecir la reducción de pérdidas reales por medio de gestión de la presión, (Thornton, Sturm, & Kunkel, 2008) recomiendan el uso del método de FAVAD (Fixed And Variable

Area Discharge paths) para simular el caudal de fuga, el cual considera la presión elevada a un exponente denominado N1, y expresado en la siguiente ecuación:

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N_1}$$

Donde:

Q₁= Caudal fugado después de la regulación de la presión.

Q₀= Caudal fugado antes de la regulación de la presión.

P₁= Presión después de la regulación de la presión.

P₀= Presión antes de la regulación de la presión.

N₁= Exponente de Fuga

Para efectos de analizar las problemáticas en la tabla 2 matriz de causa-efecto están resumidas las principales causales de las pérdidas de agua.

Tabla 2. Matriz Causa-Efecto.

Causa	Efecto
<ul style="list-style-type: none"> - Funcionamiento simultáneo de la red nueva y antigua en el sistema (Zonas del Tanque UTM como Cdla. Universitaria, El maestro 12 de marzo, San Cristóbal, Reales Tamarindos, Av. del ejército, Comercio, Los Bosques, Los Mangos, vía el Corozo y otras zonas). - Escasa gestión de renovación de infraestructura - Escaso control activo de fugas - Limitado equipamiento para detección de fugas - Poco personal para implementación de programas de reducción de pérdidas reales. - Redes de distribución están limitadas a la operación manual. - Existe un alto porcentaje de clientes con consumo estimados - Gran número de clientes no catastrados dentro de la base de datos comercial. - Medidores con bajo desempeño metrológico por años en funcionamiento, calidad de materiales, mala selección. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto porcentaje de agua no contabilizada. - Pérdidas aparentes por presencia de doble abastecimiento. - Fugas de agua potable por fatiga de los materiales y desgaste. - Las presiones nocturnas alimentan a las fugas no visibles y de fondo las mismas que no se reparan hasta que sean visibles y reportables por parte de los clientes. - Alto índice de perdidas aparentes por clandestinidad. - Porcentaje alto de perdidas por submedición. - Elevado número de reclamos de clientes por estimación de consumos o errores en la facturación.

Fuente: Elaboración autores.

Resultados.

Diagnóstico general.

El sistema de agua potable de ciudad de Portoviejo tiene cuatro nodos principales de abastecimiento; siendo la zona abastecida por el tanque UTM la de mayor cobertura con un área total de 1979,61 Ha. y abastece a un total de 27000 clientes lo cual representa un 49.9% del caudal total del sistema de acuerdo a un estudio realizado por la EMAP-Q y financiado por la CAF en el año 2017; además, en el año 2019, el volumen inyectado a la red fue de 16.669.758 m³ (datos que fueron obtenidos y leídos por medio de un equipo de medición), y fueron distribuidos en aproximadamente 450 km de red de distribución (red matriz, secundaria, terciaria, red antigua), siendo un sector de proyección urbanística y desarrollo económico para la ciudad de Portoviejo.

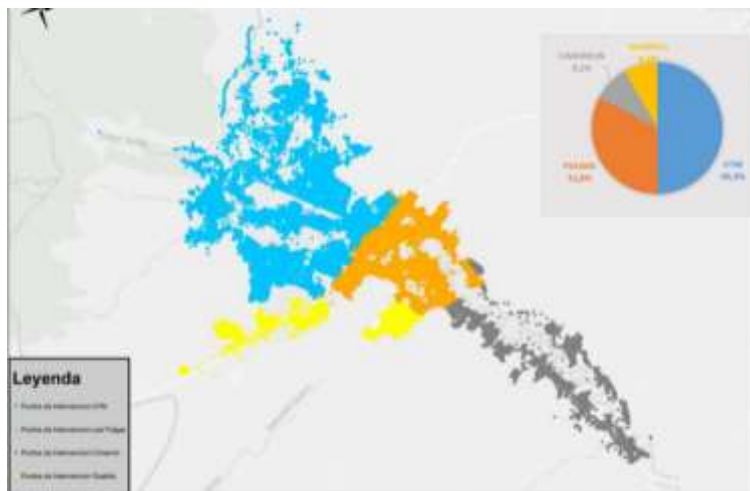


Ilustración 1: Distribución de clientes en el sistema de agua potable de Portoviejo.

La determinación de las pérdidas de agua en esta zona se realizó como primer paso detallando el origen de los datos ya sean medidos, estimados, o derivados de cálculos, además de asignar las bandas de exactitud de las variables del balance hídrico que de acuerdo con (Ziegler, y otros, 2011), con una probabilidad del 95%; las observaciones se situarían alrededor del valor promedio con una desviación estándar de ± 1.96 .

Variable	Origen de Datos	Volumen (M ³)	Banda de Exactitud	Desviación Estándar	Varianza
ingreso al sistema	M	16975938	±2,00%	173223,85	3,001E+10
consumo facturado medido	M	2189588	±2,00%	22342,73	4,992E+08
consumo facturado no medido	E	2676163	±20,00%	273077,89	7,457E+10
consumo autorizado	D	4865751	±11,90%	295420,62	8,727E+10
pérdidas de agua	D	12110186	±8,75%	540835,58	2,925E+11
pérdidas aparentes	E	4561143	±10,00%	232711,39	5,415E+10
pérdidas reales	D	7549043	±8,00%	308124,19	9,494E+10

***Origen: (M) medido, (D) Derivado, (E) Estimado.**

Tabla 3. Cálculo de Desviación estándar y Varianza considerando las bandas de exactitud.

Es importante comprender el origen de las pérdidas en la ciudad de Portoviejo y entender cómo funciona el sistema de agua potable, y cuáles son los desafíos que enfrenta. Esto permite generar un escenario donde el balance hídrico se convierte en una radiografía, que contribuye a un diagnóstico acertado para entender la problemática del agua no contabilizada, detallando que las Pérdidas de Agua o ANC es del 71,34% (±8.75%).

BALANCE HÍDRICO 2019 - Nodo de abastecimiento UTM		
VOLUMEN INYECTADO AL SISTEMA 100% (±2%) 16.669.758,35 m ³	CONSUMOS AUTORIZADOS 28,66% (±11.90%) 4.777.992,45 m ³	Consumos facturados Medidos 12,90% (±2%) 2.150.096,60 m ³
		Consumos No medidos 15,76% (±20%) 2.627.895,85 m ³
	PÉRDIDA DE AGUA 71,34% (±8.75%) 11.891.765,90 m ³	PÉRDIDA REAL 44,47% (±10%) 7.412.887,58 m ³
		PÉRDIDA APARENTE 26,87% (±8%) 4.478.878,32 m ³

Figura 1 Balance Hídrico Calculado en el Nodo de abastecimiento UTM

Lo evidenciado en el balance es que el porcentaje de pérdidas reales representa la mayor pérdida de agua potable con 7.42 millones de m³/año, y las pérdidas aparentes con 4.5 millones de m³/año en el año 2019, de acuerdo a los histogramas de inyección de agua potable vs facturación desde el año 2015 al primer semestre del año 2020, la tendencia de reducción es mínima, considerando que el año con mayor volumen de pérdida fue el 2016 asociado a fugas por el terremoto ocurrido en el 16/abril/2016.

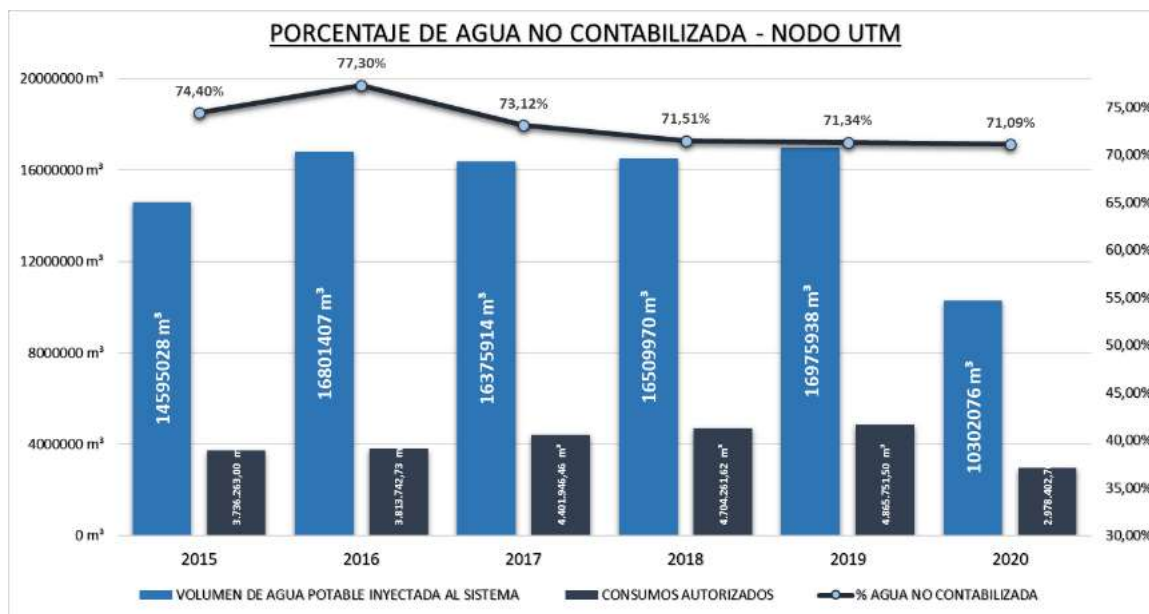


Ilustración 2. Histograma de Volumen Producido Vs. Volumen de pérdidas de agua potable.

Las pérdidas reales de agua potable en el 2019 fueron de 7.412.887 m³/Año; es decir, el 44.47% en relación con el volumen inyectado al sistema. Este volumen perdido se relaciona a las fugas y probablemente la presencia de red antigua que aún se encuentra en operación en la zona abastecida por el tanque UTM.

De acuerdo con (Hamilton & Charalambous, 2013), existen fugas de agua potable que no pueden ser detectadas y pueden pasar años fluyendo hasta ser reportadas, y en otros casos, producto de la presión emergiendo a la superficie.

Los datos estadísticos reportan que entre los años 2018-2020, en la ciudad de Portoviejo, las reparaciones de tuberías representan el 9,62 % del total de reparaciones ejecutadas; este valor es relativamente pequeño; sin embargo, es necesario considerar que las zonas de mayor incidencia se encuentran en sectores donde está operativa la red de asbesto cemento y Hierro Dúctil, las cuales tienen más de 30 años en operación. En el análisis reportado además se ha determinado que el 90,38% de fugas se localizan en collarines, tubería de la acometida, llaves de corte, neplos, uniones y llaves de control, si bien es cierto, los daños se manifiestan a nivel terciario, pero no se consideran que son fenómenos aislados (Silva., Torres & Madera, 2008).

Las pérdidas aparentes se definen como el volumen de agua entregado a un cliente, que se consume y no se registra. El balance hídrico de International Water Association IWA / AWWA -American Water Works Association, divide este concepto en tres componentes: fraudes, errores en la facturación y manejo de datos, y la inexactitud de los medidores. Si bien los dos primeros están ligados a la gestión de los clientes, el último componente depende de la elección correcta de la tecnología de los medidores, el tamaño correcto e instalación de los instrumentos y la política de frecuencia de reemplazo seguida por la empresa de suministro de agua (Arregui, Cabrera, Cobacho, & García-Serra, 2006).

De acuerdo al reporte de la unidad técnica de medidores de la empresa de agua potable de Portoviejo comprobaron que los medidores con más de 7 años de edad presentan errores de submedición que oscila en el 30% (determinado por medio pruebas de exactitud de campo realizadas); es decir, 4708 medidores, lo que genera grandes pérdidas económicas por concepto de error de medición, y repercute directamente en los valores facturados e incremento de reclamos por consumos estimados, para ello se presenta la distribución de edad de medidores en el siguiente gráfico.

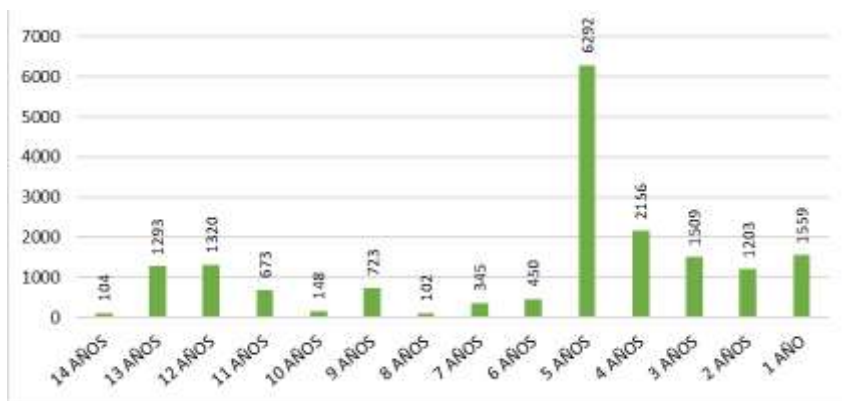
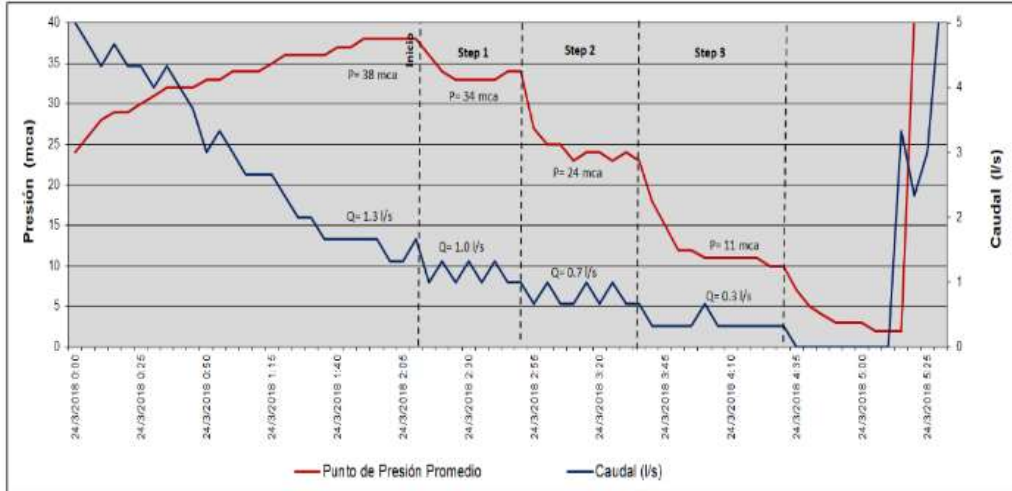


Ilustración 3. Distribución de medidores por edad.

Resultados obtenidos en Plan Piloto de reducción de pérdidas.

El trabajo fue ejecutado en cuatro etapas: Planificación y sectorización hidráulica, Levantamiento de línea base para evaluación inicial, Etapa de intervención de gestión de pérdidas reales y aparentes, y Etapa final de evaluación de resultados.

La gestión de pérdidas reales se la realizó mediante el control activo de fugas, durante las cuales se ejecutaron pruebas de determinación de caudales mínimos nocturnos donde se determinó el indicador de fugas estructurales (IFE) en 7 y un volumen perdido de 331.2 l/cx/día, lo que permite ubicar al sector piloto en la categoría B de desempeño técnico para países en vías de desarrollo (Rango definido por el Banco Mundial), lo que implica que aún hay un margen de mejora asociado a la gestión de la presión.



	Hora de inicio	Hora de fin	Presión (AZNP) [mca]	Caudal [l/s]	Consumo nocturno [l/s]	Pérdidas físicas [l/s]	Valores calculados de N1 para pérdidas físicas			
							Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Inicio		2:10	38.0	1.30	0.00	1.30				
Step 1	2:10	2:50	34.0	1.00	0.00	1.00	2.36			
Step 2	2:50	3:35	24.0	0.70	0.00	0.70	1.35	1.02		
Step 3	3:35	4:30	11.0	0.30	0.00	0.30	1.18	1.07	1.09	
Step 4										
N1 Promedio =							1.34			

Ilustración 4. Hoja de cálculo de la prueba Pressure step test en el sector piloto de la zona del Tanque UTM.

Mediante una prueba denominada Pressure Step Test, se determinó el exponente de fugas el mismo que en la prueba final se calculó en 1.34. De acuerdo con (MacKenzie., Bgagwan & Lambert, 2002), los sistemas que posean un exponente de fugas mayor a 1 tiene un alto porcentaje de fugas de fondo, las cuales son difícilmente detectables con instrumentos electroacústicos.

Caudal de ensayo (l/h)	5	10	20	36	90	185	375	625	875	1250	2250	3125
Rango caudales consumo	0 - 7	7 - 15	15 - 22,5	22,5 - 36	36 - 120	120 - 250	250 - 500	500 - 750	750 - 1000	1000 - 1500	1500 - 3000	> 3000
Porcentaje de consumo	0,71%	1,88%	1,77%	9,72%	11,82%	15,34%	25,01%	23,79%	6,91%	2,13%	0,93%	0,00%
Error promedio	-100,0%	-100,0%	-72,62%	-53,17%	-28,80%	-18,64%	-13,86%	-12,81%	-11,77%	-11,70%	-10,28%	-9,34%

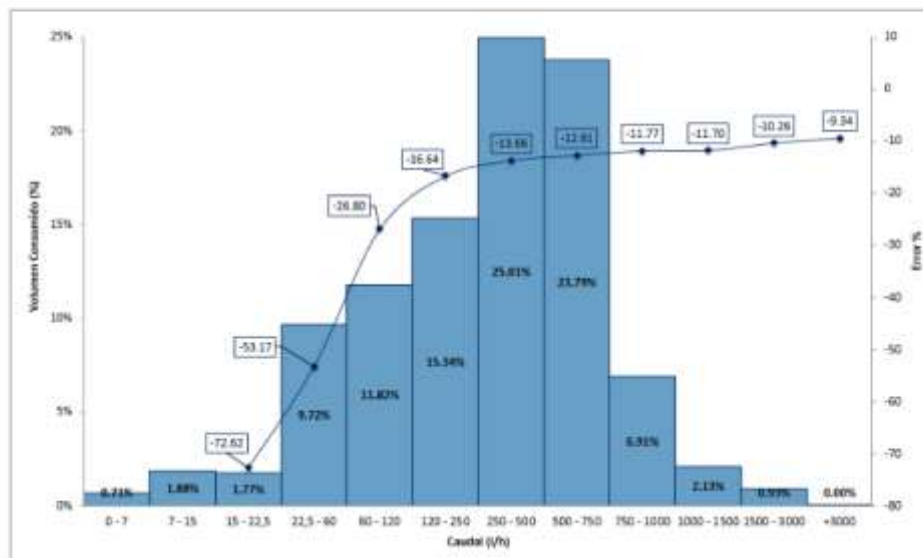


Ilustración 5. Histograma de consumos con 12 rangos de caudal.

El estudio del parque de medidores del sector piloto determinó que la calidad metrológica afecta altamente al porcentaje de pérdidas. Es así como en la línea base se determinó que las pérdidas aparentes 33.7% del total del volumen inyectado. Bajo la modalidad de muestreo aleatorio se ensayaron 58 medidores, los cuales fueron transportados al Laboratorio de Ensayo de Medidores de VEOLIA (laboratorio acreditado 32 bajo la norma ISO/IEC 17025 frente al Servicio de Acreditación Ecuatoriano - SAE), determinando que el error a caudales inferiores o iguales a 10 lt/h es 100%, en el rango de caudales entre el caudal mínimo y caudal de transición los errores llegan a ser hasta 10 veces el valor sugerido por la norma.

Los errores promedio obtenidos en el rango de caudales entre el caudal de transición y el caudal de sobrecarga (según norma ISO 4064:1993) están totalmente fuera del túnel de precisión ($\epsilon \pm 2\%$) hasta en 8 veces el error permisible; siendo aproximadamente -11% en el caudal permanente.

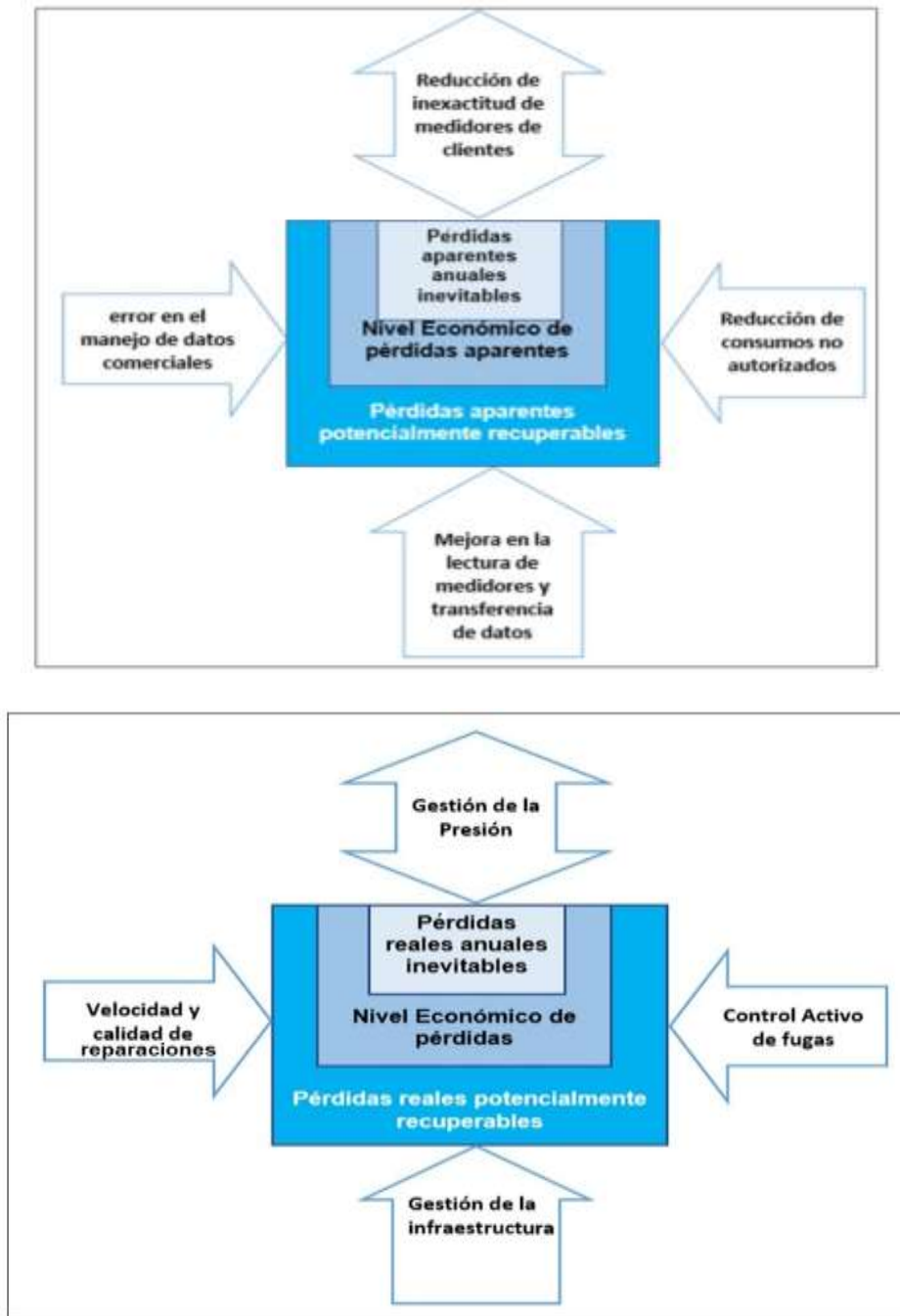
Al asociar los errores promedio y el histograma de consumo con 12 rangos de caudales; es decir, representando el porcentaje de volumen consumido en cada uno de los rangos de consumo del histograma como un peso porcentual y multiplicando por el error obtenido para cada uno de los caudales ensayados, resulta el error de medición del -22.3%.

El estudio de la zona piloto permitió delimitar dos grandes aristas del problema, ya que se logró determinar cuantitativamente que la calidad metrológica del parque de medidores tiene un alto porcentaje de error en la submedición, y por otro lado las pruebas operativas han determinado que las fugas de fondo predominan en el sistema en un rango del 80% del total de fugas.

Planteamiento de las estrategias y su posible impacto en la reducción de las pérdidas reales y aparentes.

(American Water Works Association., 2008) propone una estructura de reducción de agua no contabilizada, la cual está representada en la ilustración 6 por el rectángulo exterior mismo que paulatinamente debe reducirse proporcionalmente al tiempo y a la efectividad de las estrategias (Flechas) que empujan hacia alcanzar un nivel de pérdidas aceptables; además, estas estrategias permiten realizar un control y evaluación constantes de las pérdidas de agua, es así que las empresas prestadoras del servicio buscan establecer hojas de rutas en función a los costos y retorno financiero de la inversión, además debido a que nunca se puede esperar que las pérdidas (reales y aparentes) se eliminen totalmente, el nivel inevitable intenta definir el nivel mínimo absoluto que podría alcanzarse si se pudieran hacer todos los esfuerzos para contener las pérdidas, independientemente del costo.

Figura 6. 4 Pilares para la gestión de pérdidas reales y aparentes de la IWA.



Con base en los resultados del diagnóstico y en función a los resultados obtenidos en el plan piloto que se ejecutó en la zona del tanque UTM, es posible afirmar que aunque las pérdidas reales de agua son mayores basados en el volumen, siendo este el caso de estudio, en términos financieros el costo de las pérdidas aparentes son mayores, esto debido a que las pérdidas aparentes se valoran al precio

de venta al cliente, mientras que las pérdidas reales se calculan en función al precio de producción de agua potable.

Como resultado de las estimaciones, el valor de la pérdida real en la zona abastecida por el tanque UTM en el año 2019 fue de USD. 1.887.260,66 mientras que las aparentes USD. 2.736.686,06. Comprobando lo señalado por varios autores, la pérdida aparente tiene un mayor peso y con el fin de elaborar un plan estratégico consistente y decisivo por orden de prioridades se propone:

Tabla 2 Actividades estratégicas para la reducción de pérdidas.

Acciones estratégicas para la reducción de pérdidas en la zona abastecida por el tanque UTM en el sistema de agua potable de Portoviejo.
1. Instalación de medidores para clientes, con el fin de reducir pérdidas por inexactitud de los instrumentos de medición y evitar consumos estimativos.
2. Sectorización hidráulica de redes de la red y Gestionar la presión mediante válvulas moduladoras en zonas vulnerables a presiones altas.
3. Transversalmente se deben desarrollar capacidades para evitar los errores en el manejo de la información comercial y potenciar el catastro de clientes.
4. Fortalecer la normativa interna para evitar los consumos no autorizados.
5. Renovar la infraestructura que ha cumplido la vida útil.
6. Capacitar al personal y contratistas externos en temas inherentes a gestión de la calidad con el fin de garantizar velocidad y calidad de reparaciones.
7. Implementación de programas de control activo de fugas

Gestión de pérdidas aparentes.

Con base en el catastro de clientes y una evaluación del parque de medidores se calcularon las brechas de instrumentos de micromedición en la zona de estudio teniendo un total de 10470 clientes que requieren medidores nuevos (guías directas sin medidor) y 3560 instrumentos de medición que deben ser cambiados sumando un total de 14030; proyectando que en un plazo de 5 años la reducción de pérdidas aparentes sería de 9.669.410,42 m³ por lo que se traduce en términos financieros en \$5.801.646,25 en todo este tiempo.

Tabla 3. Evaluación de instalación de nuevos medidores.

Indicador	Antes	Con nuevo medidor
Número de Medidores nuevos Evaluados	6875	6875
Consumo de Agua Potable por cliente (m3)	17,83 m3	23,70 m3
Incremento en el volumen consumido (m3)		5,87 m3
% de incremento en el consumo		32,92%
Costo de factura de AAPP/ cliente \$	\$11,09	\$16,50
Incremento de factura de AAPP/ cliente \$		\$5,41

Para efectos de proyectar los volúmenes de recuperación de pérdidas debidos a cambios de medidores existentes, se considera la mejor estimación entre la inexactitud de medidores determinada en el plan piloto (-22,3%) y lo evaluado por la unidad encargada de gestionar el parque de medidores de la empresa prestadora de servicio (-30%); por lo que:

$$\% \text{ Inexactitud en medidores} = \frac{(-22,3\%) * (-30\%)}{2} = -26,15\%$$

La instalación del medidor de agua no solo garantiza una gestión de pérdidas si no que apalanca la gestión comercial que comprende los procesos de servicio al cliente, catastro de clientes, lectura de medidores, facturación y cobranza, además con la ayuda de un modelo de gestión garantizará la sostenibilidad financiera.

Para determinar la reducción de pérdida por medio de la instalación de medidores nuevos, nos basamos en los resultados obtenidos en función al incremento en la facturación, estimando que el consumo actual en promedio es de 17,83 m³ y con la instalación de medidores incrementará en un 32,92%.

Con la finalidad de monitorear la diferencia de los consumos facturados a clientes con medidores nuevos, se determinó que el consumo promedio de una muestra de 6875 abonados en el último semestre del año 2019 fue de 17,85m³. Considerando lo asegurado por (Szilveszter, Beltran, & Fuentes, 2017), las pérdidas aparentes se relacionan en su mayoría a la inexactitud de medidores; por ello se instaló medidores nuevos a esos mismos abonados teniendo un incremento en los consumos del 32,92%, es decir 23,7m³ de lo facturado en el 2019.

$$\Delta \text{Facturación total} = 5,87 \frac{m^3}{mes * cliente} * 14030 \text{ clientes} * 12 \text{ meses} = 988.273,2 m^3 / \text{año}$$

La gestión de la base datos comercial debe consolidarse en la empresa de agua potable de Portoviejo, tomando en consideración el mejoramiento del catastro comercial, y fortalecer las inspecciones por concepto de clientes que facturan cero m³.

En el año 2020 se determinó que en la zona del Tanque UTM hay 2994 clientes en esta condición, y de acuerdo a los reportes del área comercial, se estima que el 30% de estos clientes están haciendo uso del servicio de agua potable en condiciones normales; sin embargo, la facturación es nula. Así mismo el 4% de los clientes dentro del catastro se estiman que poseen conexiones ilícitas, es así como se proyecta la recuperación de agua debida a facturación de clientes con consumo cero y consumos no autorizados:

$$\Delta \text{ Facturación por clientes con consumo cero} = 2994 \text{ clientes} * 30\% * 23,7m^3 * 12 \text{ meses} = 255.448,08 m^3$$

$$\Delta \text{ Facturación por reducción de consumos no autorizados}$$

$$= 27000 * 4\% * 23,7m^3 * 12 \text{ meses} = 307152 m^3$$

En cuanto a las pérdidas aparentes como ya se explicó en los párrafos anteriores, la instalación de medidores tiene un impacto que representa el 11,34% del total de la pérdida, considerando que el incremento de facturación por reducción de la inexactitud de medidores del -26,15%, así mismo la

gestión de datos comerciales que consiste en realizar inspecciones de campo para verificar consumos, refacturaciones, reducción de clientes con consumos cero que representa un 1,96% de la pérdida y la reducción de consumos no autorizados que están asociados a guías clandestinas y dobles abastecimientos por la red antigua que representa el 2,67% del total de pérdida y se recomienda afianzar con la mejora de las normativas internas y la aplicación del régimen sancionatorio.

Gestión de pérdidas reales.

Conociendo en la desagregación del balance hídrico, las pérdidas reales se estiman en 7.549.043 m³. En el último año, esto es igual a 240 l/s, esta alarmante cifra es la que se plantea reducir con las acciones descritas para lo cual se calculan las variables de reducción de perdidas reales.

La sectorización hidráulica se ha guiado en el presente estudio con los criterios en base a lo recomendó por (Ziegler, y otros, 2011), donde recomienda que los sectores hidráulicos deben tener entre 500 y 3000 clientes con un solo punto de inyección, por lo que a continuación se presenta el resumen de la caracterización y los mapas de los 31 macro sectores en la zona del UTM.

La implementación de un sistema de gestión de presiones va a permitir controlar las presiones nocturnas y por ende la reducción de fugas y pérdidas reales, para ellos se ha elaborado una modelación hidráulica en periodo estático y condiciones de caudal máximo horario para establecer las zonas aptas para regular las presiones en la red, el modelo se lo realiza tomando como base el catastro técnico de redes, datos de materiales, edad, y se lo ejecuta estableciendo las demandas por medio de la repartición de caudales, así mismo se elabora un mapa de isolíneas de presión para evaluar los DHM, siendo las zonas altas, con redes antigua en operación y sectores hidráulicos con elevado número de derivaciones que no tiene características de hermeticidad, donde no se permite gestionar presiones por un bajo rendimiento hidráulico, como se muestra en la gráfica solo 20 sectores tienen

condiciones para gestionar la presión y 10 sectores deben ser intervenidos con infraestructura de redes nuevas y válvulas de sectorización hidráulica.

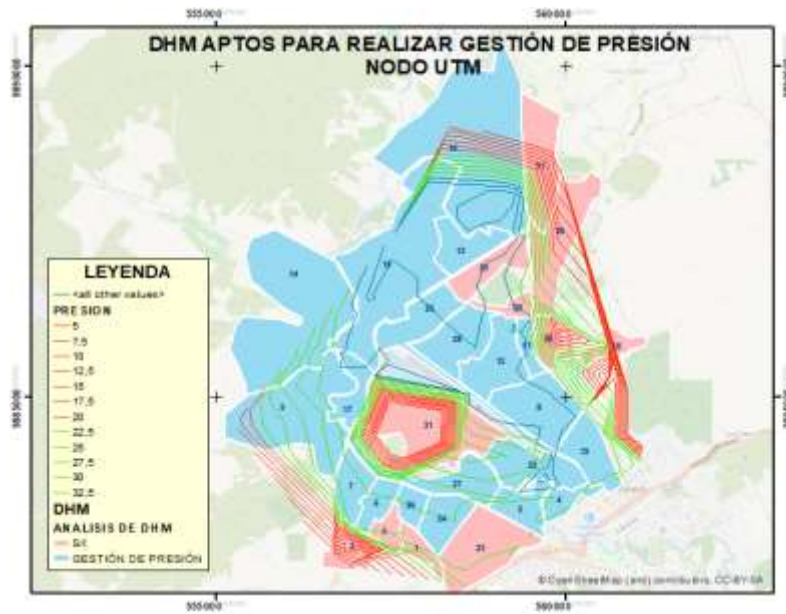


Ilustración 6. Mapa de macro sectores con isolíneas de presión para determinación de intervención con gestión de presiones.

De acuerdo con el Plan Piloto ejecutado, el valor de referencia para el número de fugas en la red es de 2,38 fugas/km de red, en este contexto teniendo en cuenta que la red de distribución del nodo UTM del sistema cuenta con 450 km de red, se estima un total de 1071 fugas con un caudal aproximado de 0,22L/s/fugas.

$$\# \text{ de fugas} = 2,38 \frac{\text{fugas}}{\text{km}} * 450 \text{ km} = 1071 \text{ fugas}$$

Considerando las pérdidas reales expresadas en L/s, se estima el caudal por fuga y por longitud de red:

$$Q_f = \frac{240 \text{ L/s}}{1071 \text{ fugas}} = 0,22 \frac{\text{L}}{\text{s}}/\text{Fuga}$$

$$Q_f = \frac{240 \text{ L/s}}{450 \text{ km}} = 0,53 \frac{\text{L}}{\text{s}}/\text{km}$$

En ese contexto y con el fin de realizar una aproximación del volumen de recuperación, tanto por gestión de la presión como por control activo de fugas, se plantea la ecuación de FAVAD (Thornton, Sturm, & P.E., 2008), considerando que la presión nocturna se reduciría en un 50% (de 40mca a 20mca) y la presión diurna en un 20% (25mca a 20mca), siendo necesario estimar una presión diaria promedio de además el exponente de fugas N1 se asume el valor obtenido en las pruebas por pasos en el plan piloto de reducción de ANC.

Siguiendo las recomendaciones de (Thornton, Sturm, & P.E., 2008) si $N1 = 1,34$ entonces se considera que el caudal de las fugas en una red de distribución con presiones excesivas se gestionará una reducción del 50%; es decir, presión promedio ($P1 / P0 = 0.5$) la reducción de los caudales de fugas será de:

$$\frac{L_1}{L_0} = (0,5)^{1,34} = 0,63$$

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N1}$$

$$Q_1 \text{ con presión promedio ponderada} = 0,533 \left(\frac{20}{28}\right)^{1,34} = 0,34 \frac{L}{s/km}$$

Entonces: 0.34 l/s/Km multiplicado para 450Km nos da un volumen futuro de pérdidas reales estimado en 152.8 l/s. Es decir, una reducción de 87 l/s (36% del caudal inicial de pérdidas reales).

Los caudales proyectados (meta) permiten estimar la reducción del volumen de pérdidas con gestión de presión es de 2.686.719,11 m3, considerando solo las zonas de la red donde se implementará esta actividad conforme lo ha determinado la modelación hidráulica.

Resulta necesario considerar, que acorde a lo identificado en el sector piloto, las fugas identificables corresponden al 20% del total de fugas, por lo resulta un caudal de 0,11 L/s/km, que multiplicado por la longitud de redes es 47,97 l/s, lo que resulta por cada fuga:

$$Q_{fugas} = \frac{47,7 \frac{l}{s}}{1071 fugas} =$$

$$0,045 \frac{L}{s} / fuga = 2,97 m^3/hr$$

(Ziegler, y otros, 2011) propone que para fugas con este volumen tomando en consideración la presión promedio de la red (28mca), con 2,97m³/hr/fuga, el diámetro del orificio donde se origina la fuga es de 2 mm.

Dentro de la planificación del sistema de agua ha sido necesario plantear la renovación de la infraestructura con la eliminación de la red del sistema antiguo en funcionamiento, por ello con base en esa planificación se proyecta la reducción de pérdidas de agua no contabilizada por este concepto, considerando que se realizaría el cambio de 200 Km de red en el proyecto de Zona Norte del Tanque UTM, además se consideran pérdidas mínimas de 0.20 l/s/Km como valor esperado de la nueva red, resultando una recuperación de pérdidas de 399.501,90 m³.

Proyección de reducción de agua no contabilizada.

Dentro de las actividades enunciadas en la figura 5 y en la tabla 6, se han realizado proyección de la reducción de pérdidas en función a las actividades y estimaciones, totalizando un reducción de 6.533.816,21 m³ que representa 53,9% del total de pérdidas actuales en el nodo de abastecimiento del tanque UTM, relacionando este resultado con los volúmenes inyectados a la red de estudio se define que la proyección del índice de agua no contabilizada es de 32,85% que corresponde a un volumen de perdidas de agua potable de 5.576.370,00 m³ al año.

Tabla 4. Proyección de reducción de pérdidas.

Actividades de reducción de pérdidas		
Actividad	Volumen / Año estimado de reducción de pérdidas de agua potable.	% de reducción
Instalación de nuevos medidores de agua potable.	1372213,20 m ³	8,08%
Gestión de datos comerciales.	255448,08 m ³	1,50%
Reducción de consumos no autorizados.	307152,00 m ³	1,81%
Macro sectorización de la red y gestión de la presión.	2.686.719,11 m ³	15,83%
Control activo de fugas por medio de búsqueda con métodos acústicos.	1512781,92 m ³	8,55%
Renovación de la infraestructura.	399501,90 m ³	2,35%

Discusión.

(Thornton, Sturm, & P.E., 2008) plantea que a nivel de red una fuga visible genera aproximadamente 0,046 L/s/mca @50mca, mientras que una fuga no visible en una conexión domiciliaria sería de 0,006 L/s/mca @50mca. En el contexto de la zona abastecida por el tanque UTM acorde a la presión media de la red (28mca aproximadamente) esto es 0.008 L/s/mca en red y conexiones en el caso del presente trabajo generado a partir del análisis del plan piloto. Al sumar 0.046 y 0.006 resulta 0.052 l/s/mca @50mca. Este valor llevado a 28mca resulta en 0.024 l/s/mca.

(Ziegler, y otros, 2011) en su guía de reducción de pérdidas expone un caso de estudio en la ciudad de Santo Amaro, São Paulo, Brasil donde se desarrolló un plan donde por medio de la modulación de la presión se logró una recuperación de hasta el 41%, y se redujeron las nuevas fugas hasta en un 50% teniendo un tiempo de retorno de la inversión de 5 meses. (Thornton, Sturm, & P.E., 2008) hacen una comparación de casos de estudio en relación al porcentaje de reducción de la presión de la presión y al impacto en la disminución de las fugas tanto en redes como en conexiones. En el caso del plan de reducción de pérdidas de la zona abastecida por el Tanque UTM en el sistema de agua potable de

Portoviejo, se estima que la reducción de las presiones nocturnas será de 50% por lo que de esta forma se lograría reducir el 36% del caudal de fugas, lo que representa 2.686.719,11 m³/Año.

(Soren Hvilshoj, 2015) asegura que a nivel mundial el agua no contabilizada representa entre el 25%-50%, y en otros casos, hasta el 75%; sin embargo, en Dinamarca esta problemática ha sido revertida en los últimos 30 años, poniendo en evidencia los beneficios obvios de emprender acciones que tiendan a la reducción de pérdidas ya que mientras menos es la producción de agua y menos se bombea a la red, los costos energéticos son menores. Cuando menos es el aporte de las fugas al sistema sanitario, menos agua residual tendrá que bombearse y tratarse en las PTARs.

Desde el ámbito de la gestión del recurso hídrico y gestión ambiental, las cuencas hidrográficas se benefician ya que en el balance la extracción es menor en cuanto las pérdidas disminuyan. Además, y no menos importante cuando existen pocas fugas el riesgo de que exista intrusión de agua en la red es menor.

país	empresa prestadora del servicio de AApp	presión máxima al inicio del programa	% de reducción de la presión	% de reducción de nuevas fugas	reducción de fugas por tipo
Bahamas	New Providence	39	34%	40%	RED
				40%	CONEXIONES
Bosnia Herzegovin	Gracanic	50	20%	49%	RED
				72%	CONEXIONES
Brazil	Caesb	40	30%	58%	RED
				24%	CONEXIONES
	Sanepa	45	30%	30%	RED
				70%	CONEXIONES
England	United Utilities	47,6	32%	72%	RED
				75%	CONEXIONES

Los desafíos en la reducción de pérdida a nivel mundial y en especial en los países en desarrollo generan grandes retos, el nivel de agua no contabilizada que experimenta el sistema de agua potable de Portoviejo es alto, especialmente en la zona abastecida por el tanque UTM (71,34%); (Liemberger, 2017) asegura que en el 2050 la población mundial será de 9.7 mil millones de personas, y relaciona

este crecimiento con el incremento de la demanda de agua potable, enfatiza que empresas de agua potable que afrontan este desafío deben cambiar el paradigma del “no puedo” por planteamientos sólidos como la instalación de medidores o la implementación de tecnología que en los últimos 20 años ha generado grandes innovaciones para afrontar la reducción de pérdidas siendo esta una gran herramienta que ayuda a los gestores del agua a ser más eficientes en el planteamiento de soluciones, y una oportunidad para la empresa prestadora del servicio de alcanzar la sostenibilidad, para ello el cumplimiento de los objetivos propuestos de lograr volúmenes aceptables de pérdidas son indispensables para el correcto crecimiento de la ciudad.

CONCLUSIONES.

En la zona que abastece el tanque UTM ha sido fundamental el estudio del Plan piloto, ya que ha permitido contar con un diagnóstico técnico que fundamenta dos estrategias que guían este documento por lo que se recomienda se deben priorizar: 1) Instalación de medidores, y 2) Sectorización e implementación de gestión de presiones. En la actualidad, el agua no contabilizada es del 71% y se estima que en 5 años de implementación del plan se reduzca el agua no contabilizada al 32,85% de acuerdo a las proyecciones.

Acorde al análisis de las pérdidas aparentes y las proyecciones realizadas, el instalar medidores de agua potable a los clientes genera un aumento progresivo de la facturación, es así como se estima un incremento de 5.84 m³/Cliente/Mes, generando sostenibilidad en el ciclo de gestión comercial que comprende a las áreas de servicio al cliente, medición, catastro-facturación, cartera y cobranza, en donde el medidor es el eje de desarrollo.

La reducción de pérdidas aparentes de acuerdo con American Water Works Association, AWWA, (2008) se deben valorar a costo de venta por cada metro cúbico, lo que genera un valor de USD. 1.160.887 / año luego de 5 años de reducción siendo 1.934.813,28 m³/año.

Las pérdidas reales se estiman generan un volumen de 0.533 Lt/s/km de pérdida, lo que de acuerdo a las proyecciones se espera reducir a 0.34 Lt/s/km en las zonas donde se plantea realizar una macro sectorización y gestión de presiones, en la zona abastecida por el tanque UTM.

La reducción de pérdidas reales luego de los 5 años de implementación del plan propuesto generaría un volumen de 4.599.002,93 m³/año lo que financieramente se traduce en USD. 919.000 considerando el valor por metro cúbico a costo medio de producción según lo recomendado por (AWWA, 2009); este ultimo dato debe generar un nuevo espacio de discusión y análisis debido a que en la revisión bibliográfica. (Thornton, Sturm, & P.E., 2008) sugieren, que en cuando existe un caso de estrés hídrico; es decir, el agua que recupeó producto de las fugas sirve para atender la demanda de agua de la ciudad, por lo que se debe valorar a costo de venta.

Para finalizar se determinó el ROI (Return On Investment) o retorno sobre la inversión, donde de acuerdo al beneficio obtenido en el proyecto y la inversión requerida se determinó que para un periodo de 5 años de proyecto el valor de este indicador es del 106%, de acuerdo con (Cuevas Villegas, 2001) cuando el ROI es positivo genera utilidad por lo que es rentable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. American Water Works Association. (2008). *Water Audits and Loss Control Programs: M36* (Vol. 36). United States of America: American Water Works Association.
2. Arregui, F. J., Cabrera, E., Cobacho, R., & Garcia-Serra, J. (2006). Reducing apparent losses caused by meters inaccuracies. *Water Practice and Technology*, 1(4). 1-8.
3. Cabrera Rochera, E. (2021). *Indicadores de desempeño para servicios de abastecimiento de agua*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València.
4. Cuevas Villegas, C. F. (2001). Medición del desempeño: retorno sobre inversión, ROI; ingreso residual, IR; valor económico agregado, EVA; análisis comparado. *Estudios Gerenciales*, 17(79), 13-22.

5. Farley, M., & Trow, S. (2003). *Losses in water distribution networks*. Tunbridge Wells, UK: IWA publishing.
6. Gordón Rosero, E. I. (2018). *Propuesta de planificación estratégica para la mejora en la toma de decisiones y aplicación de herramientas de control de gestión para la Agencia de Regulación y Control del Agua–ARCA período 2017-2021* (Master's thesis, Quito: UCE). Universidad Central del Ecuador.
7. Hamilton, S., & Charalambous, B. (2013). *Leak Detection Technology and Implementation*. London: IWA Publishing.
8. Liemberger, R. (2017). *Water utilities must adopt a “we can” attitude to water loss management*. IWA, London.
9. MacKenzie, D. R., Bgagwan, J. N., & Lambert, A. O. (2002). *Leakage reduction software developed through the Water Research Commission*. In *Int. Conf. “Leakage Management* (pp. 280-290).
10. Rizzo, A., Vermersch, M., John, G. S., Micallef, G., & Pace, R. (2007). *Apparent water loss control: the way forward*. *Water*, 21(9), 45-47.
11. Rogers, P., & Hall, A. W. (2003). *Effective water governance* (Vol. 7). Stockholm: Global water partnership.
12. Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). *Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión*. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 347-359.
13. Soren Hvilshoj. (2015). *Reduction of Non-Revenue Water Around the World*. IWA, London.
14. Szilveszter, S., Beltran, R., & Fuentes, A. (2017). *Performance analysis of the domestic water meter park in water supply network of Ibarra, Ecuador*. *Urban Water Journal*, 14(1), 85-96.
15. Thornton, J., Sturm, R., & Kunkel, G. (2008). *Water loss control*. México: McGraw-Hill Education.

16. UNESCO (2020). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático. París: UNESCO.
17. Ziegler, D., Sorg, F., Fallis, P., Hübschen, K., Happich, L., Baader, J., . . . Klingel, P. (2011). Guidelines for Water Loss Reduction – A Focus on Pressure Management. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).

BIBLIOGRAFÍA.

1. Kanakoudis, V., & Gonelas, K. (2014). Applying pressure management to reduce water losses in two Greek cities' WDSs: expectations, problems, results, and revisions. *Procedia Engineering*, 89, 318-325.
2. Martin, B., & Ries, T. (2015). Control Water Loss in Your Distribution System. *Opflow*, 41(4), 8-9.

DATOS DE LOS AUTORES.

1. **Carlos Eduardo Cedeño Farfán.** Ingeniero Hidráulico y Máster en Hidráulica mención Gestión de Recursos Hídricos. Pontificia Universidad Católica de Ecuador. Funcionario de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Portoviejo EP, Ecuador. E-mail: ccedeno4244@pucesm.edu.ec
2. **Xavier Stephenson Molina Arce.** Magíster en Hidráulica y Medio Ambiente. Profesor de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador-Sede Manabí. E-mail: smolina@pucesm.edu.ec
3. **Milton Santiago Perero Intriago.** Ingeniero Hidráulico y Máster en Hidráulica mención Gestión de recursos hídricos. Pontificia Universidad Católica de Ecuador. Funcionario de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Portoviejo EP, Ecuador. E-mail: mperero0849@pucesm.edu.ec

RECIBIDO: 4 de mayo del 2021.

APROBADO: 20 de mayo del 2021.