

Propuesta integral para la reducción de pérdidas en el sistema de acueducto de la empresa Red Vital ESP, del municipio de Paipa

Integral proposal for the reduction of losses in the aqueduct system of the company Red Vital ESP, of the municipality of Paipa

Oscar Alberto Alarcón Pérez
Javier Santiago Díaz Lizarazo

Facultad de Ingeniería Industrial, Duitama, Colombia

Resumen— En el siguiente trabajo se describe el mixta, puesto que estudia variables cuantitativas y proceso que realiza el sistema de acueducto de la cualitativas a partir de un enfoque descriptivo, empresa Red Vital E, S, P para la distribución de caudal exploratorio y aplicado. Dicha metodología está enfocada en este proceso de captación, tratamiento, distribución y en tres fases, sustentadas mediante unas actividades. La comercialización. En consecuencia, durante este proceso primera fase tiene como propósito caracterizar todos los se presentan pérdidas técnicas y comerciales de agua por procesos del sistema de acueducto de Red Vital. Para ello, diversas causas que han sido identificadas, Como una herramienta fundamental son las fichas de conexiones fraudulentas, fugas, roturas, distribución de caracterización. La segunda fase busca realizar un caudal y falta de sectorización hidráulica En esa medida, análisis para identificar las variables y los puntos críticos el presente proyecto se centró en las causas de pérdidas que presente el sistema de acueducto de dicha empresa técnicas y comerciales de agua no contabilizada, debido a en el municipio de Paipa. Finalmente, la tercera fase que no se han realizado acciones para disminuirlas, diseñará la propuesta de mejora. Esto es, la disminución además de las gestiones que realiza previamente la de pérdidas de agua no contabilizada del componente empresa Red Vital E.S.P. integral en el sistema de acueducto red vital.

Por consiguiente, se propone la mejora en las redes de

distribución de agua potable y sectorización hidráulica optimización, sistema de abastecimiento. Palabras clave: servicios públicos, reducción de pérdidas,

con el fin de minimizar estas pérdidas. En cuanto a la

metodología, esta contempla una investigación de tipo

Abstract: In the following work, it is described the process of water- supply system conducted by RED VITAL E, S, P company in order to purify water. In this water catchment process, treatment, distribution and marketing, some technical and commercial water losses are identified by different concerns. This project aims at working on the causes of technical and commercial losses of unaccounted water, due to no actions to reduce the losses have been carried out, except the arrangements done previously by the company.

Therefore, it is proposed an improvement to drinking water distribution networks and hydraulic sectorization to mitigate the losses. To achieve this, it is considered mix research, studying quantitative and qualitative variables; regarding descriptive, exploratory and applied approach. The methodology implies three stages, which include certain activities to be developed. The first stage has the goal of characterizing all the processes of water- supply system of RED VITAL company, using surveys and description cards as tools. The second stage aims to run an analysis, identifying the variables and critical issues in the water- supply system of RED VITAL company in Paipa town. The third stage is to design an improvement proposal to decrease losses of unaccounted water of integral component in the water- supply system. **Key words:** public services, loss reduction, optimization, supply system

Key Word — Inventories, improvement, management, ironmongery.

1. INTRODUCCIÓN

La empresa de servicios públicos Red Vital de Paipa se creó mediante un acuerdo municipal el 05 de septiembre de 2008 y fundada el 10 de septiembre de ese mismo año por el honorable consejo municipal. Entre otros deberes y derechos, son responsables del bienestar de la vida de la población de Paipa a través de la prestación de labores en las áreas de acueducto alcantarillado, aseo y demás actividades complementarias.

Por otro lado, el proyecto de propuesta integral de reducción de pérdidas surge de la necesidad de evaluar las pérdidas técnicas y comerciales. Este buscar establecer mecanismos en relación con el análisis y

reducción de los índices de pérdidas de agua no contabilizados en el sistema de acueducto en el municipio de Paipa, orientado a los sectores críticos de pérdidas de agua de dicho sistema. Asimismo, determinar qué tipos de modelo pueden brindar solución a esta problemática.

El mal manejo de las instituciones de agua potable y alcantarillado conlleva a pérdidas elevadas, tarifas o cargos fijos por m³, que no cubren a veces ni los costos operacionales, lo que afecta la calidad del agua. De igual modo, el elevado consumo de agua de los usuarios conectados a la red de distribución también contribuye al desequilibrio entre la oferta y demanda de agua.

De tal manera que resulta necesario plantear nuevas formas de estrategias para ejecutar las actividades de la empresa y medir el resultado de la gestión para lograr un enfoque importante que permita conocer dónde se está ubicado actualmente y cuál debe ser el horizonte al que se debe dirigir para alcanzar de una manera organizada y sistemática la realización de las metas propuestas.

En consecuencia, y al considerar que es necesario evaluar y gestionar las pérdidas de agua, en este caso técnicas y comerciales, se desarrolló el siguiente documento con el fin de diseñar una metodología que disminuya de pérdidas operacionales.

2. METODOLOGIA

Tipo y Enfoques de Investigación

El presente proyecto contempla una investigación de tipo mixto, al estudiar variables cuantitativas y cualitativas; con enfoques descriptivo, exploratorio, aplicado; descriptivo al evidenciar el estado actual de este tipo de organización; exploratorio ya que se utilizarán instrumentos de recolección de información y aplicado puesto que la metodología diseñada será susceptible de aplicar en Empresas prestadoras de servicios públicos con contexto similar al del campo de estudio. (Hernández et al., 2010, p.)

El método de investigación será inductivo, debido a que, en primer lugar, se realizó una caracterización de los procesos de prestación de servicio de la empresa Red Vital del municipio de Paipa. Acto seguido, se prosigue con la identificación del flujo de sus procesos y el análisis de herramientas susceptibles de ser implementadas en este tipo de empresa. Finalmente, se procederá con la propuesta metodológica de aplicación y el uso de estas herramientas.

Diseño Metodológico

La metodología que se llevará a cabo para el desarrollo de este trabajo de investigación está compuesta por tres fases para dar cumplimiento a los objetivos establecidos. En dichas fases se mencionarán cada una de las actividades correspondientes, los resultados y las variables de análisis para tener en cuenta dentro del estudio, como se muestra en la siguiente fase

Fase 1: Caracterizar procesos de prestación de servicio de la empresa Red Vital, Actividades metodológicas.

Diseñar un instrumento de recolección de información, fichas de caracterización del proceso. Aplicar instrumento de recolección
Análisis y documentación de información recolectada

Fase 2: Identificar puntos críticos de pérdidas en el sistema de acueducto de la empresa Red Vital.

Actividades metodológicas Identificación de proceso crítico a través del software sysman

Fase 3: Diseñar propuesta de mejora de disminución de pérdidas de agua del componente integral no contabilizadas en el sistema de acueducto Red Vital.

Definición de proceso de implementación de mejoras, Análisis de requerimientos de implementación, Análisis de propuestas de mejora Selección de propuestas de mejora.

3. RESULTADOS

La caracterización de los procesos en la empresa Red Vital S.A ESP se realiza con el fin de generar una reducción de pérdidas en el sistema de acueducto, cuyo alcance está ligado desde la captación del agua hasta la distribución y comercialización al cliente. Por otra parte, el punto de abastecimiento del proceso en el sistema de acueducto es la quebrada Toibita, suministra por las empresas encargadas de SST. Al basarse en el ciclo PHVA, se tienen en cuenta las fases mencionadas: planear y realizar análisis en las redes de distribución del caudal preventivamente; en la fase de hacer hay una distribución del caudal correctamente a las PTAP (san Felipe II), en la fase de verificar: realizar seguimiento y control de tratamiento y potabilización del caudal; fase de actuar: llegada de caudal correctamente a los habitantes del municipio de Paipa. Esto se lleva a cabo por la dirección administrativa y el personal operativo; cumpliendo todos los requerimientos en el tiempo establecido.acumulado

. Identificación de puntos críticos

Tabla 1.

Variables que afectan el sistema de acueducto

PUNTOS CRITICOS	% Perdidas	% Acumulado	% Total
Pérdidas por distribución de caudal	19,12%	19,12%	51,45%
Pérdidas por aducción	10,53%	29,65%	28,34%
Pérdidas por conducción	6,69%	36,34%	18,00%
Pérdidas por desarenador	0,82%	37,16%	2,21%
TOTAL	37,16%		100,00%

Fuente: Empresa Red Vital

Fuente: *Elaboración propia A Partir De La Empresa Red Vital*

Este problema de perdidas por distribucion de cauda como se observa en las figura 10 y la tabla 6 representa el mayor porcentaje de pérdidas en el sistema de acueducto, con un 19,12%. Es importante investigar y abordar las causas de estas pérdidas, ya que están teniendo un impacto significativo en la eficiencia del sistema.

Pérdidas por aducción: Aunque en menor medida que las pérdidas por distribución de caudal, las pérdidas por aducción también son un factor crítico. Representan un 10,53% del total de pérdidas y su acumulado alcanza el 29,65%. Es necesario analizar y corregir las posibles causas de estas pérdidas en la etapa de aducción del agua al sistema.

Pérdidas por conducción de caudal: Aunque su porcentaje es menor, las pérdidas por conducción de caudal representan un 6,69% del total de pérdidas y su acumulado llega al 36,34%. Estas pérdidas pueden deberse a fugas en las tuberías o a un mantenimiento deficiente de la infraestructura de conducción. Es crucial abordar estas pérdidas para minimizar el desperdicio de agua.

Pérdidas por desarenadero: Aunque representan el porcentaje más bajo de pérdidas, con un 0,82%, es importante tener en cuenta las pérdidas por desarenadero. Esto puede indicar la necesidad de mejorar la eficiencia y el funcionamiento de los sistemas de filtrado y tratamiento del agua en los desarenaderos. En general, estos puntos críticos revelan áreas específicas en las que se están produciendo pérdidas de agua significativas en el sistema de acueducto. Identificar y abordar estas áreas clave será fundamental para

reducir las pérdidas, mejorar la eficiencia del sistema y garantizar una gestión más sostenible del recurso hídrico.

Vital

Análisis de proceso.

A partir de la recolección de información realizada en la fase anterior se determina un porcentaje de pérdidas técnicas del 37,65 % que engloba todos los componentes y pérdidas operacionales del sistema de acueducto, donde la Resolución 0330 de 2017 establece que el porcentaje de pérdidas técnicas máximas, así como las

En la Tabla 2 se puede apreciar claramente el contraste entre la cantidad de agua que ingresa al sistema versus la que se consume, discriminada de acuerdo con el mes analizado.

Tabla 2.

Pérdidas Totales en el Sistema de Acueducto Urbano de Paipa

Mes	CAUDAL CAPTADO (L/S) Cap	ENTRADA DESARROLLADA (L/S) Q _{de}	PERDIDA ADUCCION DESARROLLADA (L/S) P _{ad}	PERCENTAJE PERDIDAS ADUCCION (L/S) P _{ad} % P _{ad}	CAUDAL SALIDA DESARROLLADA (L/S) Q _{de}	PERDIDA DE PERDIDAS DESARROLLADA (L/S) Q _{de}	PERCENTAJE PERDIDAS DESARROLLADA (L/S) Q _{de} % P _{de}	CAUDAL ADUCCION DESARROLLADA (L/S) Q _{de}	PERDIDA DE PERDIDAS DESARROLLADA (L/S) Q _{de}	PERCENTAJE PERDIDAS DESARROLLADA (L/S) Q _{de} % P _{de}	CAUDAL SALIDA RANGUERO (L/S) Q _{de}	PERDIDA DE PERDIDAS RANGUERO (L/S) Q _{de}	PERCENTAJE PERDIDAS RANGUERO (L/S) Q _{de} % P _{de}	CAUDAL CONSUMO (L/S) Q _{de}	PERDIDA DE PERDIDAS CONSUMO (L/S) Q _{de}	PERCENTAJE PERDIDAS CONSUMO (L/S) Q _{de} % P _{de}	TOTAL PERDIDAS (L/S) Q _{de}	PERCENTAJE PERDIDAS (L/S) Q _{de} % P _{de}
Enero	43,46	38,84	4,62	10,65%	38,82	0,02	0,05%	38,40	0,12	0,31%	36,30	1,90	4,95%	28,28	9,2	25,37%	10,16	24,97%
Febrero	43,46	38,84	4,62	10,65%	38,82	0,02	0,05%	38,10	0,42	1,10%	36,12	1,98	5,19%	27,82	8,46	23,51%	10,83	28,42%
Marzo	43,46	38,84	4,62	10,65%	38,82	0,02	0,05%	38,48	0,04	0,11%	36,48	2,00	5,20%	25,27	11,27	30,86%	10,25	41,89%
Abril	43,46	38,84	4,62	10,65%	38,82	0,02	0,05%	37,45	1,05	2,74%	34,75	2,71	7,25%	28,48	8,3	23,90%	10,10	24,48%
Mayo	43,46	38,84	4,62	10,65%	38,82	0,02	0,05%	37,53	0,99	2,57%	35,05	2,48	6,61%	24,51	10,8	30,80%	10,21	43,61%
Junio	43,46	38,84	4,62	10,65%	38,82	0,02	0,05%	37,91	0,61	1,58%	35,38	2,55	6,74%	28,85	8,90	25,16%	10,21	28,98%
Julio	43,46	38,84	4,62	10,65%	38,82	0,02	0,05%	37,45	1,05	2,74%	35,78	1,68	4,42%	28,85	8,85	24,95%	10,81	28,21%
Agosto	43,46	38,84	4,62	10,65%	38,82	0,02	0,05%	36,30	0,45	1,15%	37,22	0,91	2,32%	29,70	8,3	22,07%	14,82	31,67%
Septiembre	43,46	38,84	4,62	10,65%	38,82	0,02	0,05%	37,86	0,56	1,45%	36,22	1,74	4,59%	28,52	7,9	21,27%	15,14	34,38%
Octubre	43,46	38,84	4,62	10,65%	38,82	0,02	0,05%	36,45	0,79	2,04%	35,99	1,24	3,45%	28,89	8,2	22,79%	10,67	29,92%
Noviembre	43,46	38,84	4,62	10,65%	38,82	0,02	0,05%	38,37	0,15	0,39%	35,51	2,86	7,42%	27,86	7,65	21,50%	10,80	30,25%
Diciembre	43,46	38,84	4,62	10,65%	38,82	0,02	0,05%	38,22	0,38	0,97%	36,72	1,50	3,91%	30,38	8,15	22,18%	14,9	30,16%
Promedio	43,46	38,84	4,62	10,65%	38,82	0,02	0,05%	36,52	0,45	1,17%	35,42	1,99	5,60%	27,16	8,79	24,82%	10,3	27,08%

Fuente: Elaboración propia A Partir De La Empresa Red necesidades de la planta de tratamiento de agua potable, no deben superar el 25 % (Artículo 44). Esta sería la problemática principal: la conducción y distribución. Por tal motivo, se hace necesario la optimización de la redes de distribución y sectorización hidráulica para el control adecuado de la zona.

Identificación de causas

A partir del uso del diagrama de Ishikawa se identificaron las causas que conllevan a la existencia de las pérdidas por conducción y distribución de caudal dentro de proceso del sistema de acueducto en la empresa Red Vital.

Figura 1.

San Felipe I y II versus los consumos en los diferentes sectores de la ciudad para el mismo periodo de mediciones, corresponde al 37,65 %, al considerar los últimos 12 meses de registros simultáneos.

Es decir, con el agua que se pierde sería posible abastecer casi a la misma población, aunque el límite aceptado por el RAS 2017 es del 25 %, es necesario hacer un control de pérdidas para reducir el 13 % adicional. Ante esta situación, se justifica todo el esfuerzo en cuanto a renovación de tuberías, sectorización y optimización del sistema.

La suma de la capacidad del almacenamiento útil que actualmente se usa es 1950 m3. En este sentido, se

Valoración gestión inventarios área operativa



Nota: Elaboración propia a partir de encuesta de áreas

Entre las causas que se presentan anteriormente en el diagrama de Ishikawa, se evidencian las fugas constantes, conexiones fraudulentas, tuberías obsoletas, entre otros. Las causas que se presentaron en el diagnostico, las pérdidas de agua de acuerdo con los registros de macro medición a la entrada de la PTAP

recomienda la reparación del Tanque CTA1 y la activación del Tanque CTA2, con lo que se tendría una capacidad adicional de 745 m. Sin embargo, el potencial de almacenamiento es 2695 m3. Para el Tanque CTA2 es necesario verificar su conexión real con el sistema para evaluar a qué sector le podría aportar compensación.

En cuanto a las redes de distribución, resulta pertinente seguir generando los demás sectores que faciliten la operación y renovación de redes, principalmente en la zona central de la ciudad donde se encuentra concentrado el mayor porcentaje de redes antiguas y donde se genera el mayor impacto con las roturas y reparaciones. Igualmente, se deberán seguir adelantando procesos de renovación de tubería, no solo por materiales, sino por capacidad, esto acorde con los estándares actuales y las proyecciones de la ciudad.

Diseño propuesta de mejora sectorización de redes hidráulicas

Dado que como el principal problema que presenta la empresa municipal de servicios públicos Red Vital S.A en sus redes de distribución en donde se evidencian Daño, Roturas, Reposición de redes. Y radica en que no cuenta con una sectorización definida para atender la actividad sino que se debe trabajar con el flujo. Por tal motivo, lo que ocasiona el fenómeno que con un mínimo daño rotura en cualquier punto de la red, el suministro de agua se debe suspender a todos los usuarios del sistema se propone hacer la sectorización hidráulica

Esta sectorización debe realizarse partiendo de una modelación hidráulica de lo que se tiene actualmente con los límites señalados para luego analizar la proyección de las zonas de expansión urbanística del municipio y así cuantificar la demanda futura del agua de todo el sistema, sumando los requerimientos individuales de cada zona establecida. Lo anterior normalmente se basa en las especificaciones de la última versión del Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, adoptado mediante la Resolución 0330 de 2017 expedida por el Ministerio de Vivienda conforme con las solicitudes y diseños propuestos.

Según esta norma, la sectorización hidráulica en los sistemas de distribución de agua potable es la principal estrategia en la búsqueda de contrarrestar las pérdidas. Para estructurar cualquier modelo de sectorización hidráulica deben priorizarse los hechos que la operación y control de la red de distribución del acueducto minimicen el impacto propio de las tareas de operación y mantenimiento sobre la calidad y continuidad del suministro, además de garantizar las suficientes presiones de servicio, pues en la medida que se tenga un control operativo de las redes de acueducto, las tareas de mantenimiento, adecuación o reparación se podrán hacer de manera más sencilla (Resolución 0330, 2017).

La información topográfica local de los sectores será clave para la modelación topológica de la sectorización hidráulica, buscando siempre y en cada caso que la alternativa sectorial propuesta afecte en determinado suceso al menor número de usuarios, llegando de esta manera a definir el tamaño óptimo de cada sector. En este punto vale la pena precisar que la sectorización se debe ver como estrategia que va más allá de simplemente redefinir zonas de aislamiento para intervenciones en la red, aunque en casos extremos puede ser utilizada con este fin.

El objetivo fundamental a la hora de modelar la sectorización es sin duda alguna el de control de pérdidas de agua potable dentro del sistema, pues al no contar con una sectorización como ocurre actualmente, se carece de información oportuna y detallada sobre el tema a pesar de que se tenga idea de los factores que puedan ser los causantes de dichas pérdidas. Lo anterior ocasiona que a la hora de identificar o localizar en donde

se producen las pérdidas, sea una búsqueda casi a ciegas. La opción que se propone consiste básicamente en conformar una especie de unidades operativas controladas, denominadas Sectores Hidráulicos, cuya extensión particular corresponda a un porcentaje determinado del área total de servicio; al hacer este fraccionamiento geográfico la operación facilitará la búsqueda de reducción de las pérdidas y así permitirá optimizar el sistema.

Sectorización del casco urbano para la prestación del servicio público de acueducto

La propuesta de división en sectores del casco urbano del Municipio, se basa en la instalación de válvulas y macro medidores en cada sector. La operación adecuada de dichas válvulas permitirá efectuar eventuales reparaciones de la red o renovación de diámetros sin dejar sin suministro la totalidad de la población.

Es importante aclarar que esta propuesta de sectorización se hace de acuerdo con la información recolectada durante el desarrollo del diagnóstico con la empresa Red Vital S.A.; además de esto se realizó un cálculo y distribución de caudales teniendo en cuenta las proyecciones de población que permiten hacer una distribución efectiva entre caudales de suministro, densidad de población y áreas de los sectores. La sectorización propuesta define cinco (5) sectores con base en la distribución geográfica, y poblacional de la siguiente manera:

Zona A: correspondiente al centro del municipio, zona occidental, delimitado por la vía doble calzada, el río Chicamocha y la calle 25 vía piscinas. Zona B: correspondiente al centro del municipio, zona oriental, delimitado por la vía doble calzada, el río Chicamocha y la calle 25 vía piscinas.

Zona C: correspondiente al norte del municipio, delimitado por la vía doble calzada y la cota máxima del servicio de acueducto.

Zona D: correspondiente al occidente del municipio, delimitado por la vía doble calzada y la cota máxima del servicio de acueducto.

Zona E: correspondiente al sur del municipio, delimitado por el río Chicamocha y hasta el Instituto Técnico agrícola, ITA.

Para asegurar que la configuración de la sectorización sea óptima, se han seguido los siguientes criterios y procedimientos:

Instalación de macro medidores y actualización de micro medidores.

En cada sector se han colocado macro medidores y micro medidores para permitir un mejor control y operación del sistema. Estas herramientas facilitan la detección y reparación de posibles fugas o daños en la red, sin afectar el suministro de agua en toda la población. Esta estrategia

garantiza una mayor eficiencia en la gestión del servicio de acueducto

La propuesta de sectorización se basa en la información recopilada durante el desarrollo del diagnóstico realizado en colaboración con la empresa Red Vital S.A. Esto implica un análisis exhaustivo de las características geográficas, poblacionales y de infraestructura del municipio para identificar las necesidades específicas de cada sector. Cálculo y distribución de caudales: Se ha realizado un cálculo y distribución adecuada de los caudales de suministro, teniendo en cuenta tanto las proyecciones de población como la densidad de la misma en cada sector. También se han considerado las áreas geográficas de los sectores para lograr una distribución efectiva de los recursos hídricos.

Distribución geográfica y poblacional: La sectorización propuesta se ha diseñado en base a la distribución geográfica y poblacional del municipio. Se han definido cinco sectores (A, B, C, D, E) que abarcan las diferentes áreas del casco urbano, asegurando una cobertura equitativa y eficiente del servicio de acueducto. Al seguir estos criterios y procedimientos, se busca garantizar que la sectorización del casco urbano para la prestación del servicio público de acueducto sea óptima, permitiendo una gestión más efectiva y eficiente del suministro de agua en el municipio.

Se realizó un cálculo y distribución de caudales teniendo en cuenta el software (SYSMAN). Y las proyecciones de población que permiten hacer una distribución efectiva entre caudales de suministro, densidad de población y áreas de los sectores. El cuadro siguiente determina los caudales actuales y futuros para los cinco sectores y subsectores determinados, con sus correspondientes áreas:

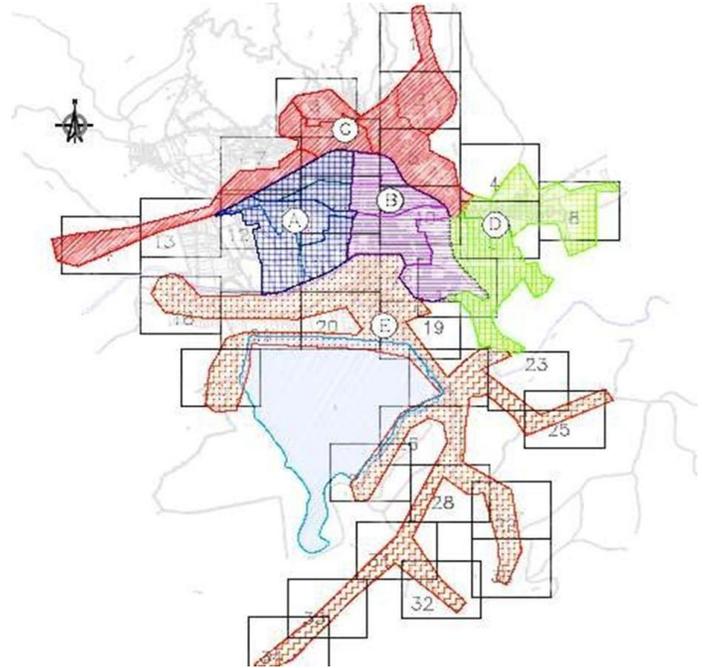
comportamiento a modelos de tipo lineal y adaptar sus condiciones a esta estructura, pero se requieren efectuar varias suposiciones sobre el proceso general y esto afecta la realidad. Los modelos en general se encuentran estructurados con base en el tipo de datos que se presentan en cada organización, en general los acoples de inventarios requieren determinar el tipo de demanda, por lo cual se estudia si la demanda es determinística o probabilística.

Tabla 3.

Sector	Ha	Subsectores	Caudal actual, LPS Qmd	Caudal Proyectado, LPS *K1 Qmd (1)	Población proyectada (1)	Caudal LPS Modelado Futuro
A	79,28	A1, A2, A3-1 A3-2, A3-3	9,88	14,12	7595	14,12
B	75,8	B1, B2, B3-1, B2-2	11,41	16,40	8830	16,40
C	130,32	C1, C2, C3, C4, C5	8,31	11,87	6378	11,87
D	88,77	D1, D2	7,04	10,06	5420	10,06
E	238,53	E1, E2, E3	5,70	8,14	4378	8,14
Total	612,7		40,34	60,60	32601	60,60

Fuente: Elaboración propia A Partir De La Empresa Red Vital

Figura 2.



Fuente: Elaboración propia A Partir De La Empresa Red Vital

Enlace de sectores definidos con las rutas de facturación

La propuesta es sencilla: se trata de sincronizar las rutas mensuales de facturación de los servicios públicos, con los respectivos sectores y subsectores definidos en las figuras 13, 14, con el fin de comparar en tiempo real, el volumen suministrado a cada sector, lo cual se cuantifica mediante la macro medición sectorial versus el volumen facturado que arroja la sumatoria del gasto de agua de todos los usuarios adscritos al correspondiente sector. Con lo anterior, la empresa Red Vital S.A. dispondrá de una herramienta confiable y valiosa como la Tabla 9 para la toma de decisiones de manera ágil y efectiva, especialmente en aquellos sectores donde se muestre un desfase significativo entre el volumen suministrado y el volumen facturado.

Tabla 4.
Propuesta Cuantitativa para determinar las pérdidas de agua en los Sectores

Mes y Día de Facturación	Sector	Número de usuarios	Volumen de agua entregado. Macro medición (M ³)	Volumen de agua facturado. Micro medición (M ³)	Diferencia de Volumen (M ³)
Día 11 Enero	Zona A	Xa	9,8882 l/s x 30 x 86,400 = 25,630,21 l/s	Va Σ Xa (por Consumo facturado)	25,630,21 M ³ / Mes - Va
Día 22 Enero	Zona B	Xb	11,4814 l/s x 30 x 86,400 = 29,759,78 l/s	Vb Σ Xb (por Consumo facturado)	29,759,78 ltsM ³ / Mes - Vb
Día 30 Enero	Zona C	Xc	8,3104 x 30 x 86,400 = 21,540,55 l/s	Vc Σ Xc (por Consumo facturado)	21,540,55 ltsM ³ / Mes - Vc
Día 4 Enero	Zona D	Xd	7,0434 x 30 x 86,400 l/s	Vd Σ Xd (por Consumo facturado)	18,256,49 ltsM ³ / Mes - Vd
Día 10 Enero	Zona E	Xe	5,7015 x 30 x 86,400 l/s	Ve Σ Xe (por Consumo facturado)	14,778,28 ltsM ³ / Mes - Ve

Fuente: Elaboración propia A Partir De La Empresa Red Vital

Análisis volumen de Agua medido en la Macro medición vs .Volumen facturado

Corresponde al establecimiento y análisis de la diferencia entre el registro totalizado del volumen de agua suministrada al sistema, esto es, a las 5 zonas determinadas para el Municipio, menos el volumen de agua facturado para determinar las pérdidas de agua en el sistema. Es la comparación entre la sumatoria de la macro medición general de los 5 sectores contra la sumatoria de facturación. La Tabla 9 mostrara con claridad la cuantificación de pérdidas individuales en cada sector mediante la diferencia entre el volumen suministrado (Macromedición) y la sumatoria de la

Micromedición. La sumatoria de los cinco sectores arroja el volumen total de pérdidas del sistema gracias a las 6 rutas de facturación que existen en la empresa

Σ De Macromedición de los 5 sectores de agua ingresada = Vt expresado en M3 de agua mensual.

Σ Micro medición de todos los usuarios adscritos a la empresa Red Vital = Vf expresado en M3 de agua mensual.

Volumen de pérdidas mensuales de agua Vp, expresado en M3 de agua mensual.

Se establece la siguiente formula:

$$Vp = Vt - Vf$$

La cuantificación de Vp es el punto de partida para entrar a combatir las pérdidas en el sistema de distribución del acueducto municipal, partiendo de los análisis sectoriales y subsectoriales propuestos. A partir de las estadísticas de facturación in situ e inmediata, se propone asignar un día específico de trabajo para cada sector, de manera tal que al término de cada jornada se establezca el volumen facturado para compararlo con el volumen suministrado al referenciado sector o zona.

Medidas propuestas para la disminución de pérdidas

Es importante comentar que la implementación de medidas para disminuir las pérdidas debe ser un proceso rutinario y constante de la Empresa Red Vital S.A. ESP, si realmente se desea contrarrestar este fenómeno, el cual perjudica las finanzas de la empresa, amenazando su sostenibilidad, y lo que es peor, causa una deficitaria prestación del servicio de agua potable a los usuarios del sistema.

Adicionalmente debe hacerse un monitoreo constante y el seguimiento a los resultados de las medidas implementadas para evaluar su efectividad y hacer los ajustes necesarios.

Existen varias medidas para contrarrestar las pérdidas de agua de manera sencilla e inmediata; las más prácticas que se proponen son las siguientes: Actualización e instalación de macro medidores

Actualización de micros medidores

Conexiones Fraudulentas

Reposición de Redes

Implementación e instalación de macro medidores

La implementación está dirigida a la instalación de macro medidores con el fin de lograr el control y consumo de agua en los 5 sectores y subsectores que actualmente no cuentan con dicho macro medidor en la siguiente tabla podemos ver la implementación e Instalación de los macro medidores

Tabla 5.

Implementación e instalación de macro medidores

Sector/ Ubicación	Subsector	Número de Macro Medidores	Dimensión Macro medidor (Pulgadas)	Valor Estimado (millones de \$)
Zona A	A1	1	4	\$ 3.700.000
	A2	1	3	\$ 2.975.000
	A3 -1	1	3	\$ 2.975.000
	A3 -2	1	2	\$ 2.500.000
	A3 -3	1	2	\$ 2.500.000
Zona B	B1	1	4	\$ 3.700.000
	B2	1	3	\$ 2.975.000
	B2 -2	1	2	\$ 2.500.000
	B3 -1	1	3	\$ 2.975.000
Zona C	C1	1	4	\$ 3.700.000
	C2	1	4	\$ 3.700.000
	C3	1	3	\$ 2.975.000
	C4	1	2	\$ 2.500.000
	C5	1	2	\$ 2.500.000
Zona D	D1	1	4	\$ 3.700.000
	D2	1	3	\$ 2.975.000
Zona E	E1	1	4	\$ 3.700.000
	E2	1	3	\$ 2.975.000
	E3	1	3	\$ 2.975.000
General	Salida PTAP	1	18	18.000.000
Total		20		\$ 74000000

Fuente: Elaboración propia A Partir De La Empresa Red Vital

Se propone implementar e instalar el sistema de macro medidores acorde a la sectorización hidráulica, en los tamaños y diámetros descritos en la Tabla 10. El valor total estimado del conjunto de macro medidores, incluyendo el general a la salida de la PTAP es de \$ 74.000.000 millones, Es necesario para el desarrollo y ejecución de instalación de macro medidores contar con las instalaciones de la empresa Red Vital donde se realizarán los procesos administrativos, almacenamiento de materiales y herramientas, también será la base de operación para el personal necesario para su ejecución.

Definición de costos de operación y mantenimiento

Mensualmente, se incurren en costos fijos y variables como personal administrativo, personal operativo, adquisición de medidores valores mensuales, reserva de contingencia, representados en la siguiente tabla

La propuesta es actualizar todos los micro medidores

Tabla 6.

Presupuesto preliminar suministro e instalación de macromedidores en el casco urbano del municipio de Paipa

PRESUPUESTO COSTOS MENSUALES	
Concepto (Valores mensuales)	Monto
Personal administrativo	\$17.697.158
Personal Operativo	\$ 29.879.272
Adquisición medidores	\$ 74.000.000
Otros Gastos (arrendos, herramientas, etc.)	\$ 13.920.833
Reserva de contingencia	\$ 5.250.833
TOTAL, Presupuesto suministro (Mensual)	\$ 140.748.096
TOTAL, Presupuesto instalación (Duración 6 meses)	\$ 844.488.576,
Valor Total estimado del proyecto	\$ 844.488.576.

Fuente: Elaboración propia A Partir De La Empresa Red Vital

La proyección se realiza mes a mes y los costos se verán reflejados en el pago de salarios, compra de materiales e insumos, otros gastos y en la reserva de contingencia, y los costos que se originen dentro de la ejecución de la implementación e instalación de macro medidores durante cada mes hasta cumplir con la instalación en todos los sectores.

Actualización de micro medidores

existentes que tengan más de cinco años de antigüedad los que tengan más de 3000 m3 de lectura, e instalar los nuevos que sean necesarios, con la adquisición por cuenta propia o de la empresa Red Vital S.A. Para inicios de año 2022 se identificaron 1600 medidores en mal estado y cumpliendo con la vida útil, dado esto se ve la necesidad de realizar el proceso de actualización de equipos de medición.

El costo individual del micro medidor para el usuario es de \$135.000. Es una inversión de bajo costo que debe acarrear cada usuario del sistema puesto que esto le corresponde por norma; el cobro del medidor nuevo se puede diferir en la factura mensual de los servicios públicos hasta por seis periodos de facturación.

Muestreo Estadístico de la Información

Para el cálculo de la muestra estadística de la información se siguió el parámetro expuesto a continuación Se estima a la fecha que por lo menos 32.601 usuarios en el casco urbano del municipio cuentan con medidores de más de cinco de años de antigüedad,

Donde se implementa la siguiente formula n :

Número de elementos de la muestra.

N: Número de elementos del universo a estudiar

Z: Nivel de Confianza

E: Margen de Error

P: Probabilidad de Éxito

Probabilidad de Fracaso (1-P)

$$\frac{N * Z^2 * P * Q}{E^2 * (N - 1) + Z^2 * P * Q}$$

Se reemplazan las variables con los siguientes valores:

N: 32.601 suscriptores activos.

Z: 1,96% (95% de confianza).

E: 6%

P: 50% (Homogeneidad de la información)

Q: 50%

331 micromedidores por analizar. Para los efectos del estudio, se ha tomado un nivel de confianza del 95%; es decir un valor de Z= 1.96 y un error máximo de la muestra del +/- 6%; es decir 0.06. Por tanto, para un total de 32.601 usuarios, el tamaño de la muestra

resulta ser de 331 Micro medidores

Selección de la Muestra

Para la selección de la muestra, se han distribuido los 331 micro medidores conforme a la sectorización hidráulica en la Tabla 12. Por lo tanto, la muestra quedará distribuida de la siguiente manera:

Tabla 7.
Selección de la muestra

Sectores	Número de población	% Participación	Medidores por retirar
Zona A	7,595	% 23,29	72
Zona B	8,830	% 27,08	86
Zona C	6,378	% 19,56	64
Zona D	5,420	% 16,62	60
Zona E	4,378	% 13,42	49
Total	32,601	100%	331

Fuente: Elaboración propia A Partir De La Empresa Red Vital

La distribución de los medidores se aplica con base en la población atendida en cada sector, acorde con la sugerencia de la empresa red vital, como prestadora del servicio de acueducto. Se tuvo en cuenta el tamaño de la población y su porcentaje de participación para determinar la cantidad de medidores a cambiar.

Metodología De Operación

Teniendo en cuenta lo anterior, los aspectos a contemplar para el proceso de integración de los datos, procesamiento y resultados se presentan a continuación: Identificación del área geográfica donde se actualizarán los medidores así como la consecución de los permisos por parte de los usuarios a los cuales se les realizará el monitoreo del consumo y el retiro del medidor actual para ser analizado en el laboratorio.

Notificación del retiro del medidor y explicación del debido proceso al cliente. En el Anexo 1 se presenta el modelo de la carta empleada para la notificación. Para este proceso se deberá notificar a los clientes con un tiempo de antelación mínimo de 48 horas (ver Anexo 4). Retiro e instalación de medidores. Los retiros de los medidores usados y la instalación de medidores con emisión de pulsos será una sola actividad cuyo costo está contemplado en el análisis de precios unitarios, esta

actividad estará a cargo de personal contratista del área operativa, quien además llevará los medidores usados al Laboratorio para su calibración. Análisis de los micro medidores retirados. Cada vez que se retiren los medidores se realizará una calibración antes de ser instalados nuevamente, datos que se llevaran en una hoja de vida metrológica de cada medidor especial. El laboratorio generará el certificado de calibración para cada caso estudiado, donde se detallarán las pruebas básicas realizadas al equipo. Así mismo, en caso que el medidor no esté conforme con la norma, se procede a notificar al cliente por medio del modelo planteado en el Anexo 5. Valoración Económica De La Actualización

A continuación se detalla una valoración de los costos de implementar la propuesta en un tiempo de 12 meses, esto teniendo en cuenta la cantidad de equipos de medida que se deben revisar los cuales ascienden a 1600

. En primer lugar en la tabla 6 se detalla de costos que la empresa Red Vital del municipio de Paipa tiene estructurado a pesos de hoy para la actividad del retiro del medidor, incluyendo los procesos de notificación, costo del retiro del equipo en terreno, procesos de notificación de resultados, instalación del equipo revisado en terreno.

Tabla 8.

Costo de la actividad para revisar un micromedidor

ACTIVIDAD	VALOR ACTIVIDAD
Notificación de Retiro del Equipo	\$ 3.547
Retiro del Medidor	\$ 18.825
Costo de Revisión del Equipo en el laboratorio	\$ 9.700
Notificación de Resultados al Cliente	\$ 3.547
Reinstalación del Equipo o reposición del medidor	\$ 135.000
Total	\$ 170,619

Fuente: Elaboración propia A Partir De La Empresa Red Vital

Teniendo en cuenta los valores expuestos en la Tabla 7 y 8 se procede entonces a realizar la siguiente tabla para aproximar el valor de la actualización de micro medidores

Tabla 9.

Evaluación financiera del proyecto y análisis de indicadores

No	Actividad	Costo	Beneficio
1	Diagnostico	\$ 35.619.000	Verificar la continuidad cobertura y volumen de suministro
2	actualización de micro medidores	56,474,889	Garantizar el cumplimiento de los requisito de medición
3	Reinstalación del Equipo o reposición del medidor	\$ 135,000	Lograr asegurar que el trabajo realizado regule el consume de agua
	Total	\$ 92,228,889	

Fuente: Elaboración propia A Partir De La Empresa Red Vital

Se realizó la comparación entre la ejecución de las actividades y los beneficios intangibles a recibir, el desarrollo del proyecto es viable financieramente debido a que en la actividad de actualización que es el rubro más alto de las actividades, hace que la regulación del suministro de la empresa Red Vital pueda recuperar las fuentes de apalancamiento en nuevas mediciones de la lectura del servicio e ir mejorando la planta de tratamiento.

Conexiones fraudulentas

Las conexiones fraudulentas en las redes de acueducto son una práctica ilegal pero recurrente que acarrea daños económicos y ambientales, además de afectar la calidad y suministro del agua a los usuarios correctamente instalados. Es quizás el punto más vulnerable y al que más atención debe ponerle la Empresa Red Vital S.A. Para mejorar la detección y prevención de conexiones fraudulentas en las redes de acueducto, se propone la implementación de algunas medidas como:

Campañas de sensibilización: Realizar campañas periódicas de concientización para que los usuarios comprendan los riesgos y consecuencias de conectarse ilegalmente al sistema de acueducto.

Inspecciones cotidianas: Realizar inspecciones cotidianas en los sectores y subsectores vulnerables, para detectar las posibles conexiones ilegales y proceder de inmediato. Instalar equipos de pitometría para el monitoreo en las zonas críticas de la red, especialmente aquellas donde se disminuye de manera abrupta e inexplicable la presión del agua a fin de detectar fugas y posibles conexiones ilegales en tiempo real.

Hacer efectivas las sanciones legales y multas para los usuarios que realicen conexiones fraudulentas, lo cual puede llegar hasta causas penales por el delito de defraudación de fluidos.

Es importante tener en cuenta que estas medidas deben ser aplicadas de manera integral y coordinada, involucrando tanto a las autoridades y funcionarios encargados de la red de acueducto como a los usuarios, para lograr una efectiva prevención y eliminación de las conexiones fraudulentas en el sistema de acueducto

Reposición de la red

La reposición y actualización de las redes hidráulicas de distribución de agua es un proceso importante y cotidiano para garantizar el suministro seguro y eficiente de servicios públicos a los usuarios. Para el efecto, un suficiente stock de tuberías y accesorios en los diferentes diámetros, la disposición de maquinaria y equipos para intervenir la red de forma segura e inmediata, la motivación y capacitación del personal que opera y mantiene el sistema de acueducto son requerimientos fundamentales para garantizar la reducción de pérdidas y, además la eficiencia y seguridad del sistema.

Es fundamental recordar que la implementación de medidas para disminuir las pérdidas debe ser un proceso constante y periódico. Por lo tanto, debe haber un monitoreo constante de los resultados de las medidas implementadas para evaluar su efectividad y hacer ajustes en caso necesario.

De acuerdo con el material con el cual está compuesta la red de distribución del sistema de acueducto la longitud total de las redes de Paipa es de 87,97 km se presenta a continuación en la tabla 15 las diferentes tuberías con su respectivo, pulgadas, material, longitud

Tabla 10.
Clasificación de acuerdo con el material

Longitud de tubería según diámetro y material						
DIÁMETRO	PVC	AC	HG	HDPE	TOTAL	%
1	19.837	0	566	0	20404	23,2
1½	5.329	0	0	0	5329	6,1
2	28.231	90	13	68	28402	32,3
3	14.193	5.188	14	943	20337	23,1
4	6.606	526	1.181	336	8648	9,8
6	3.726	456	31	0	4213	4,8
8	0	638	0	0	638	0,7
TOTAL	77923	6897	1805	1346	87971	100,0
%	88,6	7,8	2,1	1,5	100,0	

Fuente: Elaboración propia A Partir De La Empresa Red Vital

Los materiales AC (Asbesto Cemento) y HG (Hierro Galvanizado) mostrados en la tabla, además de ser materiales que en la actualidad no se utilizan en los proyectos de acueducto, debido a que se deterioran fácilmente ante cambios continuos de presión, estos se encuentran instalados desde hace varias décadas, lo cual, sumado a lo anterior, hace que sean uno de los focos frecuentes de daños roturas y perdidas. Por ende se recomienda la reposición en tubería PVC ya que este material es invulnerable a la corrosión tanto subterránea como de exteriores, gran resistencia hidrostática, gran resistencia al golpe de aire, alta resistencia al impacto Máxima flexibilidad para así ya tener la mayoría de la red en una mejor condición de material optimizada y reducir las pérdidas que se presentan

Figura 9.
Costo faltante promedio

COSTOS DE MANO DE OBRA (cuadrilla requerida (rendimiento 100m instalados diarios))	costo día	costo de mano de obra para cambio de tubería de asbesto e hierro galvanizado (8702 m)
obrero 1	\$ 40.000,00	\$ 3.480.800,00
obrero 2	\$ 40.000,00	\$ 3.480.800,00
obrero 3	\$ 40.000,00	\$ 3.480.800,00
obrero 4	\$ 40.000,00	\$ 3.480.800,00
obrero 5	\$ 40.000,00	\$ 3.480.800,00
maestro de obra	\$ 70.000,00	\$ 6.091.400,00
Ingeniero	\$ 100.000,00	\$ 8.702.000,00
operario de retro	\$ 100.000,00	\$ 8.702.000,00
costo total día	\$ 470.000,00	\$ 40.899.400,00
COSTO DE MAQUINARIA	costo día	costo total maquinaria
retro excavadora (7 horas diarias)	\$ 700.000,00	\$ 60.914.000,00
	costo día	costo total
COSTO TOTAL (MANO DE OBRA MAS MAQUINARIA)	\$ 1.170.000,00	\$ 101.813.400,00

Fuente: Elaboración propia A Partir De La Empresa Red Vital

Es fundamental recordar que la implementación de medidas para disminuir las pérdidas debe ser un proceso constante y periódico. Por lo tanto, debe haber un monitoreo constante de los resultados de las medidas implementadas para evaluar su efectividad y hacer ajustes en caso necesario.

CONCLUSIONES

Al identificarse el proceso del sistema de acueducto actual de la empresa Red Vital E.S.P se permitió conocer el comportamiento de la captación, potabilización, almacenamiento y distribución de Paipa para el casco

urbano y algunas zonas rurales hasta donde se extienden las redes de distribución actualmente.

Tomando como base el modelo actual, los lineamientos impartidos por la Resolución 0330 de 2017 del Ministerio de agua, vivienda y territorio, las características topológicas de las redes y las zonas de suministro actual, se proyectó la sectorización hidráulica más adecuada para formular esta propuesta de investigación.

En este sentido, se proyectaron los puntos de medición y equipos necesarios para una instrumentación adecuada del sistema, siguiendo los lineamientos de la normativa actual y persiguiendo el objetivo de tener un sistema instrumentado que permita la recolección de información para que los futuros procesos de calibración y validación del modelo hidráulico, siendo una exigencia de la normativa actual, permita conocer con mayor precisión y menor incertidumbre las presiones y caudales que posee la red y, asimismo, posibilite una operación con una mejor información para la toma de decisiones en tiempo real.

En cuanto a la sectorización, se analizaron los sectores hidráulicos acordes con los requerimientos de presiones máximas y mínimas de la normativa vigente acordes con los diámetros mínimos establecidos. Finalmente, se ubicaron y proyectaron elementos que ayudarán a una adecuada operación del sistema, como ventosas, purgas, hidrantes, válvulas de corte y control.